المملكة العربية السعودية
وزارة الداخلية
كلية الملك فهد الأمنية
مركز الدراسات والبحوث

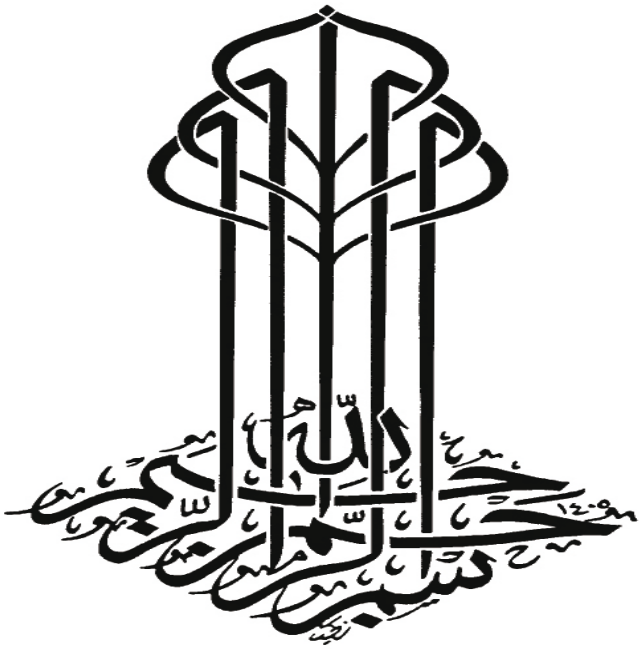
الكيمياء الجنائية

Forensic Chemistry

تأليف

د . عبدالرحمن بن محمد الضباح سلطان بن سعيد آل جابر

١٤٣٥هـ - ٢٠١٣م


بسم الله الرحمن الرحيم

المحتويات

الموضوع ..... الصفحة

مقدمة.....١٧

الفصل الأول

الخطوات الأساسية للتعامل

مع العينات في مسرح الحادث

١-١تحديد وجمع العينات ٢٣

١-٢ تحريز العينات.....٢٤

١-٣ حفظ العينات ٢٥

١-٤ نقل العينات ٢٦

١-٥ تسليم العينات..... ٢٧

الفصل الثاني

كيمياء الحريق

٢-١ نظرية مثلث الحريق ٣١

٢-٢ نظرية الحريق رباعي الأوجه ٣٢

أضلاع الحريق رباعي الأوجه ٣٣

١- المواد القابلة للاحتراق (الوقود) ٣٣

٢-المواد المؤكسدة (مصدر الأكسجين) ٣٤
٣-الطاقة الحرارية (مصدر الاشتعال) ٣٤
٤- سلسلة التفاعلات الكيميائية..... ٣٥
٢-٣ مسرعات الاشتعال وأدوات الاحتراق ٣٦
٢-٤حدود الاشتعال ٣٩
٢-٥ أسباب الحرائق ٤٠
أولا) الحرائق العرضية ٤١
ثانياً) الحرائق الطبيعية ٤١
ثالثا) الحرائق المتعمدة ٤٢
٢-٦ آلية الاحتراق ٤٤
٢- ٧ التحليل الجنائي لمخلفات الحرائق الجنائية ٤٥
٢-٧-١ جمع عينات مخلفات الحرائق ٤٧
٢-٧-٢ تجهيز وتحضير العينة للتحليل ٤٩
٢-٨ أهم الطرق المستخدمة في تجهيز العينات:..... ٥١
٢-٩ تقنيات تحليل بقايا الحريق ٥٦

الفصل الثالث

كيمياء المتفجرات

٣-١ تعريف المتفجرات ٦١
٣-٢ تصنيف المتفجرات ٦٢
٣-٢-١من حيث طريقة الانفجار..... ٦٢
٣-٢-٢ من حيث القوة ٦٣

ثانياً: المتفجرات العالية ٦٤
٣-٢-٣ من حيث الحساسية ٦٧
٣-٣ تأثيرات الانفجارات.....٦٧
٣-٤ ميكانيكية الانفجار.....٦٨
٣-٥ قياس قوة الانفجار.....٧٢
٣-٦ جمع عينات مخلفات الانفجارات ٧٥
٣-٧ التحليل المعملي للمتفجرات ٧٦
طرق تحليل المتفجرات ٧٦
٣-٧-١ طرق فحص المتفجرات في المواقع والأماكن الحساسة ٧٦
٣-٧-٢ طرق فحص المتفجرات في المعمل ٧٨
٣- ٨ تقنيات الفصل الكروماتوجرافي.....٨١

الفصل الرابع

مخلفات الإطلاق الناري

٤-١مقدمة ٨٧
٤-٢ مكونات الطلقة النارية.....٨٨
٤-٣ ميكانيكية خروج المقذوف من سبطانة السلاح ٩٣
٤-٤ حساب طاقة وسرعة المقذوف والغازات المنطلقة ٩٥
٤-٥ التحليل العضوي لمخلفات الإطلاق الناري.....٩٦
٤-٦ التحليل اللوني لمخلفات الإطلاق الناري.....٩٨
٢-اختبار وولكر ٩٩
٤-٧ طرق التحليل الآلي لمخلفات الإطلاق الناري المعدنية ١٠١

٤-٨ التحليل الجنائي لبقايا مخلفات الإطلاق ١٠٣
٤-٩ طرق رفع مخلفات الإطلاق الناري..... ١٠٦

الفصل الخامس

كيمياء الطلاء

٥-١ مقدمة ١١٣
٥-٢ تعريف الطلاء ١١٣
٥-٣ مكونات الطلاء ١١٤
٥-٤ أنواع الطلاء وتطبيقاته ١١٧
٥-٥ طرق رفع وتحريز عينات الطلاء، ١١٩
٥-٥-١ طرق رفع عينات الطلاء ١٢٠
٥-٦ التحليل الجنائي لعينات الطلاء ١٢٤
٥-٦-١ الفحص بالمجهر الضوئي ١٢٥
٥-٦-٢ التحليل بالأشعة تحت الحمراء ١٢٥
٥-٦-٣ التحليل بواسطة جهاز SEM-EDS..... ١٢٧
٥-٦-٤ التكسر الحراري المرتبط بكروماتوجرافيا الغاز ١٢٧
٥-٧ كتابة النتائج والتقارير ١٢٧

الفصل السادس

الزجاج

٦-١ مقدمة ١٣١
٦-٢ المواد الخام المكونة للزجاج ١٣٢

١-المكونات الأساسية..... ١٣٢
٢- المكونات الثانوية ١٣٢
٦-٣ أنواع الزجاج..... ١٣٣
٦-٣-١ من حيث التركيب الكيميائي..... ١٣٣
٦-٣-٢ أنواع الزجاج من حيث الاستخدام: ١٣٥
٦-٤ خصائص الزجاج ١٣٦
١ – الخواص الحرارية..... ١٣٦
٢ – الخواص الميكانيكية ١٣٦
٣ – الخواص الإلكترونية ١٣٦
٤ – الشفافية ١٣٧
٥-التشتت ١٣٨
٦-الكثافة ١٣٨
٦-٥ أنواع تكسر الزجاج وطريقة تحديد اتجاه الكسر..... ١٣٩
٦-٦ جمع عينات الزجاج من مسرح الحادث..... ١٤٢
٦-٧ طرق انتقال الزجاج..... ١٤٤
٦-٨ التحليل الجنائي لعينات الزجاج ١٤٦
٦-٨-١ التعامل مع عينات الزجاج في المعمل الجنائي..... ١٤٧
٦-٨-٢ تحضير الشظايا للتحليل..... ١٤٨
٦-٨-٣ المقارنة والتحليل ١٤٨
٦-٩ كتابة النتائج والتقارير ١٥١

الفصل السابع

التربة

٧-١مقدمة ١٥٥

٧-٢ تعريف التربة ١٥٥

٧-٣ ألوان التربة ١٥٥

٧-٤ مصادر التربة:..... ١٥٦

٧-٤-١ بناء على طبيعتها ١٥٦

٧-٤-٢ بناء على مكان وجودها ١٥٧

٧-٥ الأهمية الجنائية لآثار الأتربة..... ١٥٨

٧-٦ طرق رفع وتحريز عينات التربة ١٥٩

٧-٧ التعامل مع عينات التربة في المعمل الجنائي..... ١٦١

٧-٧-١ الفحوص الفيزيائية..... ١٦١

٧-٨ كتابة النتائج والتقارير ١٦٥

المراجع ١٦٧

أولاً- المراجع العربية ١٦٧

ثانياً- المراجع الأجنبية ١٦٨

ثالثاً- المراجع من شبكة الانترنت ١٦٩

رابعاً -مراجع الصور والأشكال ١٦٩

قائمة الأشكال

رقم	العنوان	ص
(١-١) (١-٢)	جمع العينات	٢٣
(١-٣)، (١-٤)	تحريز العينات	٢٤
(١-٥)، (١-٦)	حفظ العينات	٢٦
(١-٧)	المركبة الخاصة بنقل العينات	٢٧
(١-٨)	نقل العينات	٢٧
(١-٩)	تسليم العينات	٢٧
(٢-١)	مثلث الحريق	٣٢
(٢-٢)	رباعي أضلاع الحريق	٣٢
(٢-٣)	انتشار الدخان في جو مفتوح	٤٣
(٢-٤)	أدوات تحريز مخلفات الحرائق.	٤٨
(٢-٣)	المقدر الهيدروكربوني.	٤٨
(٢-٥)	خطوات فحص وتحليل عينات مخلفات الحرائق	٥٠
(٢-٦)	جهاز التقطير	٥١
(٢-٧)	.SPME	٥٣
(٢-٨)	طريقة الاستخلاص باستخدام SPME	٥٥
(٢-٩)	القمم الكروماتوجرافية للجازولين (وقود البنزين)	٥٧

رقم	العنوان	ص
(٢-١٠)	القمم الكروماتوجرافية للكيروسين	٥٧
(٣-١)	عملية انفجار نووي	٦٢
(٣-٢)	رسم تخيلي لمراحل الانفجار والتأثيرات الناتجة عنه	٧٣
(٣-٣)	يوضح جهاز الماسح الأيوني	٧٦
(٣-٤)	الطيف الأيوني لعدد من المتفجرات	٧٨
(٣-٥)	التحليل بطريقة كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة	٨١
(٣-٦)	جهاز كروماتوجرافيا الغاز مطياف الكتلة	٨٢
(٣-٧)	كروماتوجرافي لعدد من المتفجرات	٨٢
(٣-٨)	جهاز كروماتوجرافيا السائل ذو الأداء العالي HPLC.	٨٣
(٤-١)	المقذوف الناري وبقايا مخلفات الإطلاق الناري	٨٧
(٤-٢)	انتشار بقايا الإطلاق الناري على مخروطي	٨٧
(٤-٣)	آثار مخلفات إطلاق ناري على جسم (إطلاق قريب)	٨٨
(٤-٤)	المقذوف الناري وبقايا مخلفات الإطلاق الناري	٩٠
(٤-٥)	انطلاق المقذوف من سبطانة السلاح	٩٣
(٤-٦)	طريقة خروج المقذوف الناري من فوهة الإطلاق	٩٤
(٤-٧)	يوضح لمجهر الإلكتروني الماسح	١٠٢
(٤.٨)	طيف إلكتروني لجزء من بقايا معادن الإطلاق	١٠٢
(٤-٩)	حلقة الكربون اللاصقة المستخدمة للكشف عن مخلفات الإطلاق	١٠٣
(٤-١٠)	أدوات رفع بقايا الإطلاق الناري التقليدية	١٠٧

رقم	العنوان	ص
(٤-١١)	جهاز الامتصاص الذري	١٠٧
(٤-١٢)	حلقات الكربون اللاصق المستخدمة في رفع بقايا الإطلاق	١٠٩
(٥-١)	طريقة ذوبان الصبغات والمخضبات في المحاليل	١١٤
(٥-٢)	المجهر الضوئي.	١٢٥
(٥-٣)	مطيافية الأشعة تحت الحمراء	١٢٦
(٥-٤)	حزم امتصاص أهم المجاميع الوظيفية الفعالة للأشعة تحت الحمراء	١٢٦
(٥-٥)	أطياف الأشعة تحت الحمراء لعدد من الصبغات العضوية	١٢٦
(٥-٦)	يوضح جهاز التحليلPyGC-MS	١٢٧
(٦-١)	معامل الانكسار مقدراً بزاوية السقوط والانكسار	١٣٨
(٦-٢)	التكسر الشعاعي	١٣٩
(٦-٣)	التكسر المحوري	١٤٠
(٦-٤)	مقارنة التصدع الحديث والقديم	١٤١
(٦-٥)	جهاز جريم GRIM	١٤٩
(٦-٦)	المجاهر الحرارية المرتبطة بجهاز جريم	١٥٠
(٧-١)	يوضح أنواع مختلفة من التربة	١٥٦
(٧-٢)	تضاريس متنوعة للأرض ومدى الاختلاف في تركيب التربة	١٦١
(٧-٣)	طريقة اختبار مخبار الكثافة المتدرج	١٦٣
(٧-٤)	جهاز مقياس الأس الهيدروجيني	١٦٤
(٧-٥)	جهاز الحث البلازمي المقترن بمطياف الكتلة (MS -ICP)	١٦٤

قائمة الجداول

رقم	العنوان	ص
(٢-١)	أنواع الوقود وبعض الأمثلة عليها	٣٣
(٢-٢)	تصنيف مسرعات الاشتعال السائلة	٣٧
(٢-٣)	حدود الاشتعال لبعض أنواع الوقود.	٤٠
(٢-٤)	يوضح الطرق النظامية العالمية المتبعة لاستخلاص وتحليل العينات	٤٦
(٣-١)	خصائص عدد من المتفجرات الأولية	٦٥
(٣-٢)	خصائص عدد من المتفجرات الثانوية	٦٦
(٣-٤)	نتائج الاختبارات اللونية لبعض المتفجرات.	٨٠
(٤-١)	أهم المكونات العضوية لمخلفات الإطلاق الناري و وظائفها	٩٦
(٦-١)	الفرق بين التكسر الشعاعي والمحوري	١٤٠
(٧-١)	البيانات الخاصة باختبار الكثافة المدرج	١٦٢

تمهيد

بسم الله والحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله، وبعد: فقد بعث الله سبحانه نبيه محمد صلى الله عليه وسلم خاتماً للأنبياء والمرسلين وأنزل عليه القران العظيم باللغة العربية، ومن المعروف إن في هذا الأمر تكريماً لهذه اللغة الخالدة، ودليلاً على قدرتها على استيعاب جميع فروع العلوم والمعرفة، ومن هذا المنطلق حرصنا على تأليف هذا الكتاب ليكون - بإذن الله - عوناً وسنداً لكل طالب علم يرغب في التعرف أو دراسة العلوم الجنائية بشكل عام والكيمياء الجنائية بشكل خاص، آخذين في الحسبان أهمية المصطلحات الأجنبية المستخدمة عالمياً والتي أدرجناها جنباً إلى جنب مع المصطلحات العربية، كما تمّت الاستعانة بالعديد من المراجع العربية والأجنبية المتخصصة في هذا الحقل من العلوم والذي نرجو من الله أن يحوز رضا القارئ الكريم.

وحاولنا بقدر المستطاع أن نتّبع الأسلوب البسيط والوسيلة الجيدة عند كتابة هذا الكتاب مع تقديم الأساس العلمي السليم ودون الإخلال بجودة المحتوى، فقد تضمن هذا الكتاب العديد من الصور والرسومات والأشكال التوضيحية والجداول ، إضافة إلى توضيح للمفاهيم العلمية بشكل يمنع أي لبس بإذن الله. وتكون الكتاب من سبعة فصول: اهتم الفصل الأول بالخطوات الأساسية للتعامل مع العينات المختلفة، وتضمن الفصل الثاني شرحاً وافياً عن كيمياء الحريق، بينما تناول الفصل الثالث كيمياء المتفجرات، والفصل الرابع طرق الكشف عن مخلفات الإطلاق الناري، في حين تناول الفصل الخامس كيمياء الطلاء، وفي الفصلين السادس والسابع تمّ الحديث عن كلٍ من الزجاج والتربة. وتخلل كل فصل شرح وافٍ عن ماهية العلم المدروس، وأنواعه، وطرق تحليله من وجهة النظر الجنائية.

وأخيراً نتوجه بالشكر لكلية الملك فهد الأمنية ممثلةً في مركز الدراسات على دعمها هذا المؤلف الذي نسأل الله سبحانه أن ينفع به جميع طلاب العلم.

والله ولي التوفيق

المؤلفان

مقدمة

تزايدت في هذا العصر الذي يستحق أن نطلق عليه عصر السرعة طرق الاستفادة من وسائل التقنية الحديثة واستخداماتها، كما لا يخفى على أحد أن هذا التطور التقني والتكنولوجي امتد إلى مجالات متعددة، بعضها نافع وبعضها الآخر- للأسف- ضار؛ وقد صاحب ذلك زيادة ونمو مطرد في معدل الجريمة، حيث استطاع مرتكبو الجرائم تسخير هذه التقنيات، والاستفادة منها، في محاولة إبعاد الشبهة الجنائية عنهم؛ طمعاً في الإفلات من يد العدالة.

لذا أصبح من الضروري البحث عن وسائل وطرق فعّالة تكشف هؤلاء المجرمين، وتقدمهم للمحاكمة، وتحمي الأنفس والممتلكات بإذن الله من شرهم وأذاهم، فظهر ما يعرف بعلم الأدلة الجنائية Forensic Science الذي يعد أحد العلوم المهمة المكملة لدور رجال الأمن والقانون في تعقب هؤلاء المجرمين.

يهتم هذا العلم بتطوير ومتابعة كل جديد في كيفية إجراء الفحوص الجنائية كرفع الآثار وتحليلها، عبر عدد كبير من التخصصات مثل الكيمياء الجنائية والفحوص الحيوية وفحص المستندات وطرق الكشف عن عمليات التزييف والتزوير وفحص وتحليل السموم والمخدرات والأدوية والعقاقير والسلائف الكيماوية والمواد المشعة، إضافة إلى تخصصات أخرى لا يتسع المجال لذكرها.

وتعد الكيمياء الجنائية Forensic Chemistry واحدةً من أهم علوم الأدلة الجنائية المكملة لبقية علوم الأدلة الأخرى، والمختصة بالفحص الكيميائي للمخلفات الكيميائية بواسطة طرق التحليل التقليدية وطرق التحليل الآلية.

إن الكيمياء الجنائية مفهوم يعبر عن الكيمياء التحليلية التطبيقية ولكن بشكل أوسع، فالكيمياء التحليلية تشمل التحاليل الكمية والنوعية فقط، بينما تشمل الكيمياء الجنائية- علاوةً على اعتمادها على التحاليل الكمية والنوعية- إمكانية قيامها بإجراء المقارنة والمضاهاة بين العينات المختلفة، ومدى الارتباط

فيما بينها في المجالات المختلفة المرتبطة بالجرائم .

كما تتمثل مهمة معمل الكيمياء الجنائية في: ربط العلاقة بين المشتبه به suspect ومسرح الحادث crime scene،حيث يضطلع الكيميائي الجنائي بمهمات شاقة، فيجب عليه معرفة العوامل والظروف الطبيعية والكيميائية المصاحبة لعملية جمع ورفع وتحريز ونقل العينات،ثمّ تحليلها وتفسير نتائجها، بالإضافة إلى المحافظة على هذه العينات- سواء المرفوعة من مسرح الحادث، أو من المشتبه به- من التلوث والتلف لاحتمال الاستفادة منها مستقبلاً.

ومن المعروف أن استخدام الطرق العلمية الصحيحة عند الكشف عن القضايا الجنائية المختلفة يؤدي إلى الحصول على نتائج ذات دقة ومصداقية عالية، فكلما تمّ التعامل مع العينات في مسارح الحوادث بشكل سليم، كانت النتائج المتحصل عليها في المعمل سليمة بإذن الله.

يتم في مختبر الكيمياء الجنائية فحص الآثار المادية الضئيلة trace evi-dence الناتجة عن بقايا العمليات التالية:

١- مخلفات الحرائق ire debris

٢-المتفجرات Explosive

٣- مخلفات الإطلاق الناريGunshot residue

٤- الطلاءPaint

٥-الزجاجGlass

٦-التربة Soil

فلكل نوع من هذه الآثار طريقة خاصة لرفعها من مسرح الحادث، ومن ثمّ نقلها إلى المعمل الجنائي. ويمكن الحصول على آثار للمواد السابقة في مسارح

الحوادث المختلفة: كمسارح التفجيرات الإرهابية، والحرائق المتعمدة، وحوادث الإطلاق الناري، وحوادث السيارات التي ينجم عنها هروب المشتبه به، إضافةً إلى جرائم الاقتحام، والسطو، وسرقة المنازل والمحال التجارية والشركات.

ويمكن الكشف عن المواد المجهولة من خلال طريقتين:

١. استخدام الطرق الكيميائية اللونية الأولية التي تعتمد على استخدام كواشف معينة تسهم في التعرف الأولي على هذه الآثار والمخلفات.

٢. استخدام الأجهزة التحليلية الحديثة، لإعطاء دقة ومصداقية عالية.

ويعزى عدم استخدام الأجهزة التحليلية الحديثة في البداية، مع أنها تتميز بسرعة التحليل والدقة العالية، إلى احتياجنا إلى إجراء الكشف الأولي على المادة المدروسة، لتحديد الطريقة المناسبة للتحليل، ثمّ بعد ذلك يمكن تحديد أي نوع من الأجهزة يمكن استخدامه.

ولعل من الجدير بالذكر هنا أن نفرق بين مصطلحين مهمين في المجال الجنائي هما[1]:

الأثر المادي: وهو العينة التي ترفع وتحرّز Packing من مسرح الحادث مهما كانت طبيعتها.

الدليل المادي: وهو الأثر الذي يعطي نتيجة إيجابية بعد تحليله ومقارنته بالعينات القياسية.

وسيتم في هذه الكتاب توضيح وشرح عدد من المفاهيم الجنائية، إضافةً إلى بيان طرق التعامل مع العينات الجنائية المختلفة في مسرح الحادث قبل نقلها إلى المعمل الجنائي، وبعد نقلها لإجراء التحليل والكشف.

---

(١) د. كاظم المقدادي، الطب العدلي والتحري الجنائي، الأكاديمية العربية، الدنمارك، (٢٠٠٨)..

الفصل الأول

الخطوات الأساسية للتعامل

مع العينات في مسرح الحادث

عند التعامل مع العينات المختلفة في مسرح الحادث، يجب على الخبير الكيميائي إجراء عدد من الخطوات الهامة والضرورية عند تحريز ورفع هذه العينات من مسرح الحادث؛ لأجل المحافظة عليها سليمة حتى نقلها إلى المعمل الجنائي. حيث إن أي خطوة خاطئة من خطوات التعامل معها يؤدي إلى حدوث أخطاء في نتائج التحليل، ومن ثم حدوث أخطاء في نتيجة الحكم للقضية محل الدراسة، فقد يُبرأ مجرم، أو يدان بريء بسبب الإهمال أو الخطأ في هذه الخطوات؛ لذا يجب على الكيميائي الجنائي العمل بدقة وحرص عالٍ عند جمع وفحص وتحليل هذه العينات، ويمكن تلخيص التعامل مع المواد والعينات المختلفة في الخطوات التالية: [1]

شكل (١-١) جمع العينات[٢]

شكل (١-٢) جمع العينات[٣]

١-١ تحديد وجمع العينات Locating and collection of samples

تعد هذه الخطوة من أهم الخطوات عند التعامل مع الأثر المادي، ذلك أن جمع الأثر (٢،٣) في وقت قياسي وبطريقة علمية ومن مواقع مختارة بدقة وعناية، يساعد على التوصل إلى نتائج جيدة عن طبيعة وماهية العينات المدروسة، بالإضافة إلى إمكانية كشف غموض القضية المدروسة عن طريق المقارنة والمضاهاة مع العينات القياسية. كما يجب على الكيميائي الجنائي التقيد بالطرق العلمية الصحيحة

(1) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, « Fire Debris Analysis «, Academic Press, California ,USA ,2008

(2) http://www.rcmp.gc.ca.

(3) http://www.vgl.ucdavis.edu.

للرفع، وذلك للمحافظة على سلامة الآثار من التلف، أو التلوث contamination، أو الاختلاط مع العينات الأخرى. وقبل ذلك المحافظة على سلامته-أي الكيميائي-من بعض الآثار التي قد تشكل خطراً عليه، كعينات المتفجرات. كما يجب عليه أيضاً أن يحدد نوع المواد والأدوات المطلوب استخدامها للرفع، حسب طبيعة العينة: مثل الحاويات المعدنية، والأكياس البلاستيكية، والملقاط، والمقص، والقطن، والمحاليل المصاحبة لها.. كما هو موضح في شكل (١-١) و (١-٢). مع ملاحظة عدم استخدام الأدوات المستهلكة، والتي تكون مخصصة للاستخدام مرة واحدة فقط، لأكثر من مرة؛ تجنباً للتلوث، وللتأكيد على أهمية أن تكون المواد المستخدمة لرفع هذه الآثار نظيفةً وخاليةً من الشوائب.

١-٢ تحريز العينات Packing of samples

شكل (١-٣) تحريز العينات [١]

شكل (١-٤) تحريز العينات [٢]

تعتمد هذه الخطوة على الخطوة السابقة، فبعد تحديد مواقع الآثار وتجهيزها، يتم تحريزها وحفظها حسب طبيعة العينة المرفوعة؛ فعينات الحرائق والمتفجرات تحرز في أكياس بلاستيكية خاصة عديمة المسامات للمواد المتطايرة، ثمّ في حاويات معدنية محكمة الإغلاق، كما يجب رفع كل عينة على حدة، وبشكل منفصل.. كما هو موضح في شكل (١-٣) و (١-٤).

أما عينات مخلفات الإطلاق الناري فتحرز بعدة طرق أهمها: حلقات

(1) http://www.spexforensics.com

(2) http://www.all-about-forensic-science.com

الكربون اللاصقة التي تؤخذ كمسحة من يدي ووجه الشخص المشتبه بقيامه بالإطلاق الناري، أو من سلاح الجريمة، أو من المجني عليه. كما يمكن استخدام طريقة أخرى لرفع مخلفات الإطلاق، وهي عبارة عن مسحات من القطن التي يتم غمسها بحمض النيتريك HNO_3 المخفف بنسبة ١-٥٪.

أما في عينات الطلاء الناتجة عن حوادث السيارات فتحرز بطريقتين، حسب طبيعة مسرح الحادث، وهما: إما مسحات، أو قشور. ففي حالة رفع العينات على هيئة مسحات يُستخدم مسبار من القطن مع قليل من الأسيتون، ثم تحرز في علب بلاستيكية أو زجاجية تجنباً لتلوث العينة، أما في حالة رفع العينات على هيئة قشور فترفع العينات وتحرز في أكياس ورقية.

بالمجمل يجب استخدام الحرز المناسب اعتماداً على نوع مسرح الحادث ونوع العينات المطلوب رفعها، كما يجب التأكد من إغلاق غطاء الحرز وربطه بشكل جيد حتى لا يتعرض للهواء الخارجي، بعد ذلك يكتب رمز يدل على نوع هذا الحرز وبعض المعلومات التي تدل على مكان الرفع وطبيعة الأثر، وتوضع بطاقة تعريفية تلصق على الحرز من الخارج، ثمّ يوضع شريط لاصق حول الحاوية، ويتم التشميع على أجزاء الشريط، وتكتب معلومات الحرز في الخطاب المرفق مع الآثار الموجودة في داخله. والهدف من هذه الخطوة التأكد من تطابق المعلومات عند فتحه من قبل خبراء الفحص في معمل الكيمياء الجنائية.

١-٣ حفظ العينات Saving of samples

توجد مسارح الحوادث- غالباً- في مواقع بعيدة عن المعامل والمختبرات الجنائية – ولأجل أن يتم التحليل بشكل صحيح- يجب حفظ الآثار المادية المرفوعة والمحرزة بطريقة تضمن المحافظة عليها من أي تلوث، أو من تعرضها لظروف جوية أو خارجية أخرى قد تغير من نتيجة الأثر المرفوع، حيث إن بعض المواد تتصف بخواص كيميائية خاصة مثل: قابليتها للتطاير، أو التفاعل مع الجو المحيط، أو التبخر، لذا يجب حفظ هذه الآثار المادية وتخزينها بطريقة صحيحة

وسليمة للمحافظة عليها من التلف، كما يجب حفظها في أماكن ذات درجة حرارة معتدلة أو باردة نسبياً، كما هو موضح في شكل (١-٥) و(١-٦).

شكل(١-٥) حفظ العينات [١]

شكل (١-٦) حفظ العينات [٢]

١-٤ نقل العينات Transportation of samples

يعد نقل العينات من مسرح الحادث إلى معامل التحليل من الخطوات المهمة والحساسة، حيث يجب عند النقل مراعاة طبيعة العينات المرفوعة ومدى ملائمة وسيلة النقل لها من حيث درجة الحرارة المناسبة، ووسائل السلامة والأمان، وطريقة وضع العينة في وسيلة النقل. فمثلاً: يختلف نقل العينات المرفوعة من مسرح حادث تفجير، عن العينات المرفوعة من مسرح حادث حريق أو حادث مروري، كما هو موضح في شكل (١-٧) و (١-٨).

(1) http://www.ehow.com/info-forensic-scientist.html

(2) http://www.oxfordtimes.co.uk

شكل (١-٧) المركبة الخاصة بنقل العينات[١] شكل (١-٨) نقل العينات[٢]

١-٥ تسليم العينات Delivery of samples

وحتى يتم تحليل هذه العينات في المختبر الكيميائي، لابد من توافر أوراق رسمية مرافقة للعينات المرسلة للمختبر الكيميائي تحتوي على معلومات كاملة عن العينات المرفوعة، وملخص للفحص المطلوب إجرائه. أيضاً يجب أن يوضح في هذه الأوراق المرفوعة مكان وظروف جمع العينات، كما هو موضح في شكل (١-٩).

شكل (١-٩) تسليم العينات [٣]

(1) http: // www. benihana.com

(2) http://www.spexforensics.com

(3) http://www.cellmarkforensics.co.uk

الفصل الثاني

كيمياء الحريق

Chemistry of Fire

تمهيد

يعرف الحريق بأنه عبارة عن تفاعل كيميائي طارد للحرارة (Exother-mic) يتكون من: تفاعل مواد قابلة للاحتراق (combustible) أو ما يسمى بالوقود Fuel، مع أكسجين الهواء الجوي، أو غيره من المصادر، في وجود طاقة كافية (مصدر للحرارة). وينتج عن هذا التفاعل ضوء وحرارة، كما يمكن أن يكون من ضمن النواتج: أبخرة، أو غازات، أو مواد صلبة مثل الرماد Ash .

يوجد عدد كبير من النظريات المستخدمة لوصف ميكانيكية حدوث الحريق مثل: نظرية مثلث الحريق Fire Triangle، ونظرية الحريق رباعي الأوجه Fire Tetrahedron، ونظرية الحريق الخماسي Fire Pentagon. وتعد نظريتا مثلث الحريق والحريق رباعي الأوجه من أكثر النظريات شهرة ودقة[1].

٢-١ نظرية مثلث الحريق Fire triangle

تعتبر هذه النظرية من النظريات القديمة والمعروفة بشكل واسع والتي تشترط لحدوث هذا النوع من الحريق توافر ثلاثة عناصر رئيسة، هي:

١. المواد القابلة للاحتراق Combustibles

٢. المواد المؤكسدة Oxidizers

٣. الطاقة الحرارية Thermal Energy

---

(1) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, Fire Debris Analysis, Academic Press, California ,USA ,(2008)

حيث تتحد هذه العناصر مع بعضها بعضاً ، ويوضح الشكل (٢-١) مفهوم هذا النوع من الحريق، كما يجب ملاحظة إن غياب أحد هذه العناصر يعيق عملية حدوث الحريق.

شكل (٢-١) مثلث الحريق[١]

٢-٢ نظرية الحريق رباعي الأوجه Fire Tetrahedron

يكمن الاختلاف بين هذه النظرية والنظرية السابقة في وجود ضلع رابع يضاف إلى الأضلاع الثلاثة وهو ما يسمى بالتفاعل المتسلسل، أو سلسلة التفاعل الكيميائية Chemical chain reaction، ومعنى ذلك أنه لكي يستمر الحريق في الانتشار يجب دخول جميع الأضلاع في التفاعل وبنسب متكافئة، ويوضح شكل (٢-٢) هذا النموذج.

شكل (٢-٢) رباعي أضلاع الحريق [٢]

(١) http://www.education.gov.bh

(٢) http://ar.wikipedia.org

أضلاع الحريق رباعي الأوجه:

١. المواد القابلة للاحتراق Combustibles

٢. المواد المؤكسدة Oxidizers

٣. الطاقة الحرارية Thermal Energy

٤. سلسلة التفاعلات الكيميائية Chemical Chain of Reaction

ويمكن توضيح عناصر الحريق بالشرح التالي:

١- المواد القابلة للاحتراق (الوقود) Combustibles Fuel

هي مواد كيميائية لها القدرة على التفاعل مع المواد المؤكسدة عند توفر مصدر مناسب للاشتعال، وهي إما مواد عضوية كالمواد البترولية (جازولين أو كيروسين أو ديزل) والخشب والصوف، أو مواد غير عضوية مثل الفسفور والكبريت. كما يمكن أن تتواجد المواد القابلة للاحتراق في جميع حالات المادة الثلاث (الصلبة– السائلة–الغازية). ويوضح الجدول (٢-١) أمثلة على بعض أنواعها وأثر الحرارة والاشتعال عليها:

الوقود	أمثلة	أثر الحرارة والاشتعال عليها
صلب	١-الأثاث والتركيبات. ٢-المواد الطبيعية مثل الخشب أو الورق أو الصوف. ٣-مواد صناعية مثل البلاستيك أو الرغوة PU أو الاكريليك.	١-التحلل الحراري pyrolyse لها بفعل التسخين فتتكون غازات سريعة الاشتعال. ٢-انصهارها melt وتحولها إلى سوائل. ٣-احتراقها بدون لهب smolders عن طريق التفاعل على سطح المادة مباشرة.
سائل	جميع مسرعات الاشتعال المحتوية على مواد هيدروكربونية مثل منتجات المواد البترولية (كيروسين، ديزل، جازولين)، المواد الكحولية وغيرها.	تبخرها وتحولها إلى غازات وأبخرة.
غاز	اسطوانات الغازات المعبأة بالغازات الطبيعية مثل الميثان، الهيدروجين، البيوتان، البروبان.	احتراقها بشكل فجائي deflagrate أو اشتعالها Flare مما يجعلها قابلة للانفجار Explode.

جدول (١.٢) أنواع الوقود وبعض الأمثلة عليها[١]

(١) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual, London.UK (2007) .

٢-المواد المؤكسدة (مصدر الأكسجين) Oxidizers (Source of Oxygen)

يعد الأكسجين الداعم الرئيس لحدوث عملية الاحتراق، ويمكن وجوده بعدة صور منها:

(أ) **الهواء** Air: حيث يتوفر الأكسجين في الهواء الجوي بنسبة ١٩-٢١٪ .

(ب) **المؤكسدات** Oxidants: يوجد الأكسجين ضمن مكونات بعض المواد الكيميائية ويطلق عليها اسم المؤكسدات، وهي مواد تساعد على حدوث عملية الاحتراق. ومن أكثر المواد المؤكسدة شيوعاً: نترات الصوديوم $NaNO_3$ ،ونترات البوتاسيوم KNO_3، وكلورات الصوديوم $NaClO_3$ ، وغيرها من المركبات، حيث تتفكك عند تسخينها، مما يسهم في تصاعد غاز الأكسجين، وإمداد الحريق بكمية وافرة من الأكسجين مما يؤدي إلى استمراره .

وتعتمد نسبة الأكسجين الداخلة في التفاعل على حالة المادة المتفاعلة كما يلي[١]:

١. التفاعلات المتجانسة مثل: غاز مع غاز، فتحتاج إلى نسبة لا تقل عن ١٠٪ من الأكسجين لبدء واستمرار الحريق .
٢. التفاعلات غير المتجانسة مثل: غاز مع صلب أو غاز مع سائل، فتحتاج إلى نسبة تكون أقل من ١٠٪ لبدء واستمرار التفاعل.

٣-الطاقة الحرارية (مصدر الاشتعال) Ignition Source (Thermal Energy)

عند توفر الحرارة بنسبة ملائمة، فإن ذلك يوفر بيئة مساعدة للاشتعال، وكما أشير سابقاً، فإن الحرارة أحد أضلاع مثلث الحريق الرئيسة، وبدونها لا يمكن أن يحدث الحريق، وينبغي أن تكون درجة الحرارة كافية لحدوث الاشتعال. وتختلف درجة حرارة الاشتعال باختلاف المواد، وقد تختلف درجة الاشتعال للمادة نفسها حسب قوة تماسكها، ومدي مساحة سطح التلامس بينها وبين المواد

(١) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, Fire Debris Analysis, Academic Press, California ,USA ,(2008) .

المؤكسدة، فمثلاً لا تحتاج نشارة الخشب لنفس كمية الحرارة المطلوبة لإشعال قطعة من الخشب حتى لو كان لهما نفس الوزن، ويرجع ذلك إلى قدرة الأحجام الصغيرة من المادة على امتصاص الحرارة في وقت قصير، مما يساعد على سرعة تحلل المادة بالحرارة ويزيد من سرعة تبخرها، وبالتالي الوصول لمرحلة الاشتعال بشكل سريع[1].

تجدر الإشارة إلى أن وجود مصدر الاشتعال فقط دون وجود الجو الملائم له لا يؤدي إلى حدوث الاحتراق ، فدور مصدر الاشتعال يقوم على توفير ونقل الطاقة الكافية إلى المواد القابلة للاحتراق لتكون قادرة على الاشتعال، وللطاقة الحرارية مصادر عدة، هي:

١. طاقة الحرارة الكيميائية Chemical Heat Energy
٢. طاقة الحرارة الكهربائية Electric Heat Energy
٣. طاقة الحرارة الحركية (الميكانيكية) Mechanical Heat Energy
٤. طاقة الحرارة الذرية (النووية) Nuclear Heat Energy
٥. الطاقة الحرارية للشمس (الطاقة الشمسية) Solar Heat Energy

وتنتقل الحرارة بعدة طرق، هي :

١. التوصيل Conduction
٢. تيارات الحمل Convection
٣. الإشعاع Radiation

٤- سلسلة التفاعلات الكيميائية Chemical Chain of Reaction

وهي تعني- بإيجاز- حركة الجزئيات النشطة (الجذور الحرة Free radi-cals) المكونة للهب بوصفها عنصراً من عناصر الحريق، وليست ناتجاً من نواتجه.

---

(١) هاك، ريتشارد ، آدمز، بايرا، أساسيات مكافحة الحريق، الجمعية الدولية للتدريب على خدمات الحريق ، جامعة ولاية أوكلاهوما ، الولايات المتحدة الأمريكية ، (1998) .

٢-٣ مسرعات الاشتعال وأدوات الاحتراق Accelerants and Incendiary Devises

تعرف مسرعات الاشتعال بأنها: أي مادة يمكن وضعها بشكل متعمد في أماكن محددة لإحداث حريق واستمراره، وقد تكون مواد صلبة كالخشب أو الورق أو السجاد، أوتكون سائلة مثل البنزين (الجازولين) الكيروسين، أو مواد غازية مثل الغاز الطبيعي، والبروبان، والبيوتان. ومن المعروف أن مثلث الحريق يتطلب وجود ثلاث مكونات رئيسة: هي الوقود، والعامل المؤكسد، ومصدر إشعال الحريق. حيث يهتم الخبير الكيميائي بعاملين من هذه العوامل، هما: الوقود، ومصدر الإشعال (أداة الحرق)، ويمكن أن تكون أداة الحرق من أشياء بسيطة مثل: الكبريت، أو الشمعة، أو أعقاب السجائر، كما يمكن أن تكون من أدوات أكثر تعقيداً[١].

إن مصدرمعظم المواد المستخدمة كمسرعات اشتعال يكون من منتجات المواد النفطية السائلة مثل: الجازولين، الكيروسين، والديزل. وتصنف هذه المنتجات إلى عدة أصناف بناءً على درجة التطاير من جهة، وعلى طول السلسة الهيدروكربونية من جهة أخرى، وذلك بناءً على تصنيف ASTM والموضح في جدول (٢-٢).حيث تستخدم هذه المواد لبدء الحريق وزيادة معدل انتشاره ونموه.

---

(١) عطيات. عبدالرحمن شعبان، «التحقيق العلمي للكشف عن مسببات الحريق العمد» ، المركز العربي للدراسات الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ، (١٤٠٨).

جدول (٢-٢) يوضح تصنيف مسرعات الاشتعال السائلة[١]

الصنف	ضعيفة $C_٤$-$C_٩$	متوسطة $C_٨$-$C_{١٣}$	ثقيلة $C_٨$+
البنزين(الجازولين)	بدأ من $C_٤$-$C_{١٢}$	-	-
المواد البترولية المقطرة	الإيثر السوائل الخفيفة (بيوتان)	السوائل الفحمية Charcoal starter fluids	كيروسين،زيت الديزل
البارافين	غازات متطايرة	مخففات الدهان مساحيق الأحبار	المذيبات
المواد العطرية	مواد إزالة الشحوم (تولوين – زايلين)	مواد التشحيم ، مواد التنظيف ، مضافات الوقود	مذيبات التنظيف الصناعية
بارافينات النفثالين	مذيبات الهكسان الحلقي	زيوت المصابيح	زيوت المصابيح والمذيبات الصناعية
الألكانات	مذيبات الهبتان	زيت الشمع	مساحيق الأحبار
السوائل العطرية قليلة التطاير	زيوت المواقد	بعض مخففات الدهان	كيروسين عديم الرائحة
المذيبات المحتوية على الأكسجين	كيتون ، ليكر	منظفات المعادن	-
متفرقات Miscellaneous	خليط	زيت التوربين	المنتجات المخصصة

ولفهم آلية الاحتراق وكيفية نشوء الحريق، فإن خبراء الحرائق بينوا بعض الخواص الفيزيائية الخاصة بمواد الحريق، ومن هذه الخواص التالي[٢]:

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

(2) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, « Fire Debris Analysis «, Academic Press, California ,USA ,(2008) .

١. **درجة الوميض** Flash point

هي أقل درجة حرارة يمكن أن تنتج فيها المادة السائلة كمية كافية من بخارها لتكون خليط منه مع الهواء، مما يسمح باشتعالها لفترة محدودة عند اتصالها بمصدر الاشتعال.

٢. **درجة الاحتراق** Fire Point

هي أقل درجة حرارة يمكن أن تنتج فيها المادة المحترقة كمية من الحرارة تعمل على انتاج أبخرة إضافية لاستمرار احتراق المادة بعد اشتعالها ، كما تجدر الإشارة إلى أن درجة الاحتراق تكون أعلى من درجة الوميض بقيم قليلة.

٣. **درجة الاشتعال الذاتي** Point

هي أقل درجة حرارة يمكن أن تشتعل فيها المادة بدون الحاجة إلى مصدر خارجي مثل الشرارة أو اللهب.

يعد مفهوم درجة الوميض من المفاهيم المهمة عند تفسير كل من السوائل القابلة للاشتعال والسوائل القابلة للاحتراق . ففي الولايات المتحدة الأمريكية تصنف السوائل المشتعلة Ignitable حسب نقطة الوميض إلى :

١. **مواد قابلة للاشتعال** Flammable وهي عبارة عن المواد التي تكون نقطة الوميض لها أقل من (١٠٠فهرنهايت =٣٧,٨°م).

٢. **مواد قابلة للاحتراق** Combustibleوهي عبارة عن المواد التي تكون نقطة الوميض لها تساوي أو أعلى من (١٠٠فهرنهايت =٣٧,٨°م).

كما يمكن إطلاق مصطلح السوائل المشتعلة Ignitable liquids على كل من المفهومين السابقين عند عدم توفر معلومات كافية عن نقطة الوميض للمادة المدروسة.

٢-٤ حدود الاشتعال[١]: Flammability Limits

لكي يحدث الحريق لابد من توفر جميع أضلاع مثلث الحريق وهي الوقود، والأكسجين (المؤكسد)، والحرارة (مصدر الاشتعال)، ولكن لا يعني توافرهم حدوث الحريق؛ إذ لابد من توافر شروط أخرى، فمثلاً: يجب أن تكون نسبة الأكسجين في الهواء في حدود أعلى من ١٠٪ للتفاعلات المتجانسة وأقل من ١٠٪ للتفاعلات غير المتجانسة، كذلك إن وجود المواد القابلة للاشتعال في الحالة البخارية (الغازية) لا يكفي لحدوث الحريق بل لابد أن تتوفر عند مدى معين لا تقل عنه و لا تتجاوزه، وبصورة عامة يوجد لكل مادة مدى معين يحدد مدى إمكانية أو عدم إمكانية دخولها في عملية الاحتراق:

١. أقل مدى للاشتعال LOwer Flammability Levels (LFL)

٢. أعلى مدى للاشتعال Upper Flammability Levels (UFL)

ومن أبسط الأمثلة على ذلك البنزين؛ حيث إن أقل نسبة لاشتعاله هي ١,٥٪ وأعلى نسبة لاشتعاله هي ٧,٦٪، وهذا يعني أنه عند اتحاد ١,٥٪ من بخار البنزين مع الهواء الجوي، وعند وجود مصدر للاشتعال، فإنه سيشتعل، أيضا عند اتحاد ٧,٦٪ من بخار البنزين مع الهواء الجوي، وعند وجود مصدر للاشتعال، فإنه سيشتعل.

من جهة أخرى لوحظ أنه كلما كان الفرق بين أقل وأعلى مدى لاشتعال المادة الداخلة في التفاعل كبيراً، كانت المادة أكثر خطورة. ومن الأمثلة على ذلك بخار الاستيلين ($HC\equiv CH$)، حيث يتراوح LFL وUFL بين ٢,٥٪ و ٨١٪ على التوالي؛ لذا يصنف بأنه من أشد المواد خطورة، نظراً للفارق الكبير

(١) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, « Fire Debris Analysis «, Academic Press, (California ,USA ,(2008).

بين المستويين، وبالتالي سهولة اشتعاله عند توفر الأكسجين المناسب ومصدر للاشتعال، ويوضح الجدول (٢-٣) حدود الاشتعال لعدد من المواد:

جدول (٢-٣) يوضح حدود الاشتعال لبعض أنواع الوقود.

الوقود	الحد الأدنى LFL%	الحد الأعلى UFL%
بخار البنزين(الجازولين)	١,٥	٧,٦
الميثان (الغاز الطبيعي)	٥,٣	١٤
البروبان	٢,٢	٩,٥
الهيدروجين	٤,٠	٧٥
الاستيلين	٢,٥	٨١

٢-٥ أسباب الحرائق Causes of Fire

يستخدم الإنسان النار كضرورة لحياته لكن عند إفلاتها عن سيطرته، فإنها تسبب له الكثير من المآسي. وبشكل عام لا يمكن حصر أسباب الحرائق، فلكل حريق سببه الخاص. وقد تتشابه بعض الحرائق في بعض الجوانب، لكنها تكون مختلفة في التفاصيل، والأسباب. ويوجد ثلاثة أنواع رئيسة من الحرائق، هي[١][٢]:

١. الحرائق العرضية Accidental Fire

٢. الحرائق الطبيعية Natural Fire

٣. الحرائق المتعمدة Arson Fire

(١) حسين. محمد سيد، «مكافحة حرائق المباني» ، موسوعة علم الإطفاء، الكتاب الثاني، (٢٠٠٦).

(٢) عطيات. عبدالرحمن شعبان، «التحقيق العلمي للكشف عن مسببات الحريق العمد» ، المركز العربي للدراسات الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ، (١٤٠٨).

أولا) الحرائق العرضية Accidental Fire

تحدث الحرائق العرضية- في الغالب- بسبب الإهمال. في الواقع لا يوجد للإهمال تعريف محدد، إلا إنه يمكن تعريفه بالتسبب غير المقصود في حدوث الحريق، وذلك بالفعل أو بالترك.. إجمالاً لا يمكن حصر الأسباب الناجمة عن الإهمال لكثرتها، لكن سوف نضرب الأمثلة عليها، مثل:

- إلقاء أعقاب السجائر من النوافذ والشرفات.
- التدخين في الأماكن المحظورة كمحطات الوقود.
- ازدحام المنشآت الصناعية بالمخلفات القابلة للاشتعال.
- التداول السيئ للسوائل والغازات البترولية.
- عدم القيام بالصيانة الدورية للمواقد والمداخن.
- عدم الالتزام بتعليمات الوقاية من الحريق بصفة عامة.
- زيادة الأحمال على الأسلاك الكهربائية، وعدم تجديد التوصيلات المتهالكة، وخاصةً المركبة في العراء.

ثانياً) الحرائق الطبيعية Natural Fire

تتسبب بعض الظواهر الطبيعية في إشعال الحرائق. وتعد الزلازل والبراكين من أهم أسباب الحرائق المدمرة،أيضاً إن تجمع وتركز موجات الأشعة على الزجاج المحدب أو المقعر يمدها بطاقة تكفي لإحداث الحريق، كما تؤدي الصواعق بما تحمله من شحنات كهربائية كبيرة إلى إشعال الحرائق، وكذلك قد يتسبب سقوط النيازك في إشعال بعض الحرائق.

ثالثا) الحرائق المتعمدة Arson fire

يقصد بالحريق العمد «إشعال النار بقصد إحداث إيذاء بالأرواح أو الأموال أو بهما معاً»، ولقد قامت مجموعة من الباحثين بالهيئة القومية لمكافحة الحريق بالولايات المتحدة الأمريكية بدراسة دوافع الحريق العمد، وانتهت إلى تحديد عدد من الدوافع، هي:

١. الحرائق التي تشعل للتدليس على شركات التأمين (بقصد تعويض الخسائر).
٢. الحرائق بدافع الانتقام أو التخلص من منافسة تجارية.
٣. الحرائق التي يشعلها الأطفال ويفشلون في السيطرة عليها.
٤. الحرائق بدافع التخريب أو لإخفاء آثار جرائم أخرى كالاختلاس، والقتل، وغيرها.

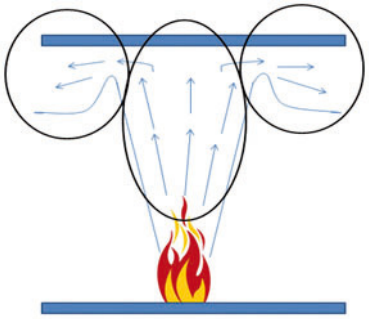
تتسم الحرائق المتعمدة بآثارها التخريبية الكبيرة، ومع ذلك فقد أخذت الحرائق في الانحسار بشكل كبير؛ بسبب تقدم الأساليب العلمية في كشفها، وتشديد العقوبات في ردع مرتكبي تلك الجرائم وإحجامهم عن التورط فيها.

ويمكن توقع ما إذا كان الحريق متعمداً أم لا بعدة وسائل، فمثلاً: في حالة الحريق العمدArson fire يوجد أكثر من منطقة لبداية الحريق Point of origin، وهذا بالتأكيد دليل واضح على أنه حريق عمد، بعكس الحوادث العرضية التي تنشأ من مصدر واحد مثل حرائق التماس الكهربائي.

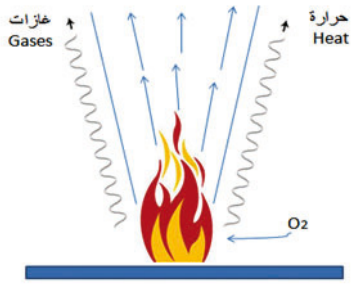
كيف يتكون حرف V في الحرائق المتعمدة ؟

يغلب في الحرائق الجنائية استخدام مواد مسرعة للاشتعال، فعند حدوث الاحتراق تتصاعد الغازات الساخنة وألسنة اللهب إلى الأعلى، وإلى خارج منطقة الاحتراق، ومن المعروف أنه: كلما ارتفعت درجة الحرارة ، قلت الكثافة ؛

لذا تتميز الغازات الساخنة بأنها أقل كثافة من الغازات الباردة، فتطفو للأعلى؛ لذلك يلاحظ أن ألسنة اللهب تحترق، ويتكون شكل مشابه لشكل الريش، وهذا يترك أثراً ودليلاً مادياً وكيميائيا، كما في الشكل (٢-٣-أ) و(٢-٣-ب)[١]، [٢].



شكل(٢-٣-ب) انتشار الدخان في جو مغلق



شكل (٢-٣-أ) انتشار الدخان في جو مفتوح

حيث يلاحظ أنه في الأماكن المفتوحة كما في الشكل (٢-٣-أ) تنتج حرارة وغازات ساخنة حيث ترتفع إلى الأعلى وإلى خارج منطقة الاحتراق بسبب انخفاض كثافتها مع ارتفاع درجة الحرارة- كما ذكر سابقا- مما ينتج شكلاً مشابها لحرف (V)، كما يلاحظ أن شعلة اللهب في هذا النوع تكون كبيرة مقارنة بما يحدث في الغرف المغلقة، نظراً لأن إمدادها بأكسجين الهواء الجوي يكون مباشر، وبشكل متواصل.

من جانب آخر، يلاحظ في الغرف المغلقة أن شعلة اللهب تكون أقل حجماً لقلة إمدادها بأكسجين الهواء الجوي، ومع ذلك تنطلق الغازات الحارة بشكل مباشر للأعلى، لكنها تصطدم بالسقف، وتنتشر على مستوى السقف، كما هو موضح في الشكل (٢-٣-ب).

---

(١) David , R .et al « Practical Fire and Arson Investigation « 2ed Ed ,CRC Press , New Your , USA , (1997).

(٢) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

كما يمكن أن يظهر في حالة الغرف المغلقة ما يسمى بالانفجار الوميضي Flashover، وتنشأ هذه الحالة عند تحول الوقود الناتج من الأثاث، والملصقات، والأرضيات إلى غازات وأبخرة حارة قابله للاشتعال، مما يوفر ضلعين رئيسين من أضلاع مثلث الحريق هما: (الحرارة، والوقود). وينقص هذين الضلعين الأكسجين لعدم توفره بشكل كافٍ، وبمجرد دخول الأكسجين إلى هذا الحيز المغلق بأي طريقة؛ تشتعل الغرفة مباشرة، وبشكل كامل. ويمكن أن يصاحب ذلك بعض الانفجارات المفاجئة. ويعد هذا النوع من الحرائق من أخطر الأنواع بالنسبة لرجال الإطفاء لاحتمال تعرضهم- لا قدر الله- إلى هذه الانفجارات .

٢-٦ آلية الاحتراق Concept of combustion

ترتبط عملية الاحتراق بعدد من المفاهيم، وفيما يلي شرح موجز لأهم هذه المفاهيم[١]:

١-انتقال الحرارة heat transfer

لكي يبقى التفاعل مستمراً لابد من توفر طاقة كافية للمواد المتفاعلة، مساوية أو أكبر من طاقة التنشيطEa .

٢-الأكسجين Oxygen

يعد الأكسجين من العوامل الضرورية و المهمة لفهم ميكانيكية الحريق، حيث إن نسبة وجوده، ومعدل سرعته له أكبر الأثر في عملية الاحتراق.

٣-الحركية الكيميائية للمتفاعلات Kinetic

يقوم هذا المفهوم على أساس معرفة مدى سرعة تفاعل المواد المتفاعلة- أي الوقود والأكسجين- وكذلك تحديد نوع الميكانيكيات المتوقعة له، وكمية الجذور الحرة free radical الناتجة من هذه العملية.

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

٤-الثيرموديناميك الكيميائي Thermodynamic chemistry

يرتبط هذا المفهوم بمفاهيم الطاقة الأساسية مثل الانثالبي H، والانتروبي S، والطاقة الحرة G، والمعادلات التي تربط بينهم، وعلاقة ذلك بعملية الاحتراق، من حيث: كون التفاعل ماصاً أو طارداً للحرارة، وكونه تلقائياً أوعكسياً.

٥- انتقال الكتلة Mass transferee

وهو ما يعرف بمدى انتقال أكسجين أو نيتروجين الهواء الجوي إلى منطقة الاحتراق، وينتج عنه رفع درجة حرارة الغازات.

٢ - ٧ التحليل الجنائي لمخلفات الحرائق الجنائية Forensic analysis for fire debris

لا يختلف مسرح الحريق عن أي مسرح جريمة أو حادث آخر من حيث أهمية المحافظة عليه من العبث والتغيير، حيث إن أي تغيير فيه قد يؤدي إلى حدوث خطأ في تتبع أسلوب الحريق ، لذا يجب منع أي شخص من الدخول إلى مواقع الحريق ما لم يكن دخوله ضروريا، إما لإطفاء، أو إنقاذ، أو غيره. وتتميز حوادث الحريق بإمكانية مشاهدة تطورها وتسلسلها أثناء حدوث الحريق، مما يمّكن من الحصول على معلومات تكون- في الغالب- بالغة الأهمية للخبراء والمحققين. تتمثل الصعوبات التي يواجهها الخبراء في مسرح الحادث بشكل رئيسي في الأضرار التي تلحقها النار بالممتلكات ومكان الحريق. فإذا تم إخماد الحريق بسرعة فإن العثور على أدلة مادية يمكن أن يكون مسألة سهلة نسبياً، أما إذا لم تتم السيطرة على الحريق وتحولت أجزاء كبيرة من الممتلكات إلى رماد وبقايا حريق، فإنه من الصعوبة بمكان الحصول على أدلة مادية ذات قيمة كبيرة أثناء عملية المسح، ومع ذلك، فإن المسح بدقة وتأنٍ من قبل المحققين سيؤدي في الغالب إلى نتائج هامة تتعلق بطريقة تنفيذ ووقوع الحريق، وسيسمح بإعادة بناء سلسلة الأحداث التي أدت إلى حدوث الحريق.

توجد عدة طرق لتحليل العينات الناتجة من مخلفات الحرائق بناءً على الطريقة المستخدمة للتحليل، ويوضح الجدول(٢-٤) الطرق النظامية العالمية المتبعة لاستخلاص وتحليل العينات المشتبه باحتوائها على مواد بترولية بناءً على رقم التصنيف العالمي للمعايير المطبقة وفقاً لجمعية ASTM [١].

جدول (٢-٤) الطرق النظامية العالمية المتبعة لاستخلاص وتحليل العينات

الرمز	العنوان والموضوع
E-1385	فصل واستخلاص بقايا المواد السائلة المسرعة للاشتعال بواسطة التقطير البخاريSteam distillation
E-1386	فصل واستخلاص بقايا المواد السائلة المسرعة للاشتعال بواسطة استخلاص المذيبات Solvent extraction
E-1387	فصل واستخلاص بقايا المواد السائلة المسرعة للاشتعال بواسطة كروماتوجرافيا الغاز GC.
E-1388	فصل واستخلاص الأبخرة المتصاعدة من بقايا المواد المسرعة للاشتعال بواسطة تقنية سحب الغازات فوق العينات Headspace .
E-1389	تنظيف عينات مخلفات الحرائق المستخلصة عن طريق النزع الحمضي لإزالة جزيئات النيتروجين والأكسجين من العينة المستخلصة Acid stripping .
E-1412	فصل واستخلاص بقايا المواد السائلة المسرعة للاشتعال من العينات المحترقة عن طريق الفحم المنشط Activated charcoal باستخدام Headspace .
E-1413	فصل وزيادة تركيز السوائل القابلة للاشتعال بواسطة التركيز الديناميكي للفحم.
E-1618	الكشف عن بقايا مخلفات الحرائق للمواد السائلة المسرعة للاشتعال بواسطة جهاز كروماتوجرافيا الغاز -مطياف الكتلة GC-MS.
E-1254	فصل واستخلاص المواد المسرعة للاشتعال من مخلفات الحرائق بواسطة الاستخلاص الدقيق على الطور الصلب SPME.

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

٢-٧-١ جمع عينات مخلفات الحرائق

يجب على الكيميائي المسئول عن رفع العينات في مسرح حادث الحريق لبس القفازات النظيفة، واستخدام أدوات رفع نظيفة، مع ملاحظة أن أدوات الرفع تختلف باختلاف العينة المطلوب رفعها، كما يجب عليه القيام بأهم خطوة في هذا النوع من المسارح وهي، تحديد نقطة بداية الحريق قبل البدء في رفع العينات، ويمكن التعرف عليها بإحدى الوسائل التالية[١]:

١. **الظواهر الفيزيائية ومنها :**

- تشكل حرف V وهي دلالة على نقطة بداية الحريق.
- وجود أعواد ثقاب .
- وجود حاويات تحتوي على وقود قابل للاشتعال.

٢. **استخدام المقدر الهيدروكربوني** Hydrocarbon detector

وهو عبارة عن جهاز متنقل، سهل الحمل، يمكن الاستفادة منه في التعرف على المواقع المحتملة لبقايا المواد البترولية المستخدمة كمسرعات للاشتعال مثل: البنزين، والديزل، والكيروسين في مسرح الحادث، كما في شكل (٢-٣). ويقوم هذا الجهاز بإعطاء قراءات عند وجود مواد هيدروكربونية. ويوجد من هذا الجهاز عدة أنواع، أفضلها الذي يحتوي على المقدرين التاليين :

- مقدر التأين اللهبي (FID) Flame Ionization Detector
- مقدر التأين الضوئي (PID) Photo Ionization Detector

(١) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, « Fire Debris Analysis «, Academic Press, California ,USA ,(2008) .

ويتميز هذا الجهاز بأن حدود الكشف عن المركبات العضوية فيه يصل إلى تراكيز منخفضة، حيث يصل إلى ٣٠٠ جزء من المليار ppb في مقدر FID، وإلى ١٠٠ جزء من المليون ppm في مقدر PID.

شكل (٢-٣) المقدر الهيدروكربوني.

ويساعد هذا الجهاز خبراء مسرح الحادث في جمع العينات عن طريق تحديد نقطة بداية الحريق، ومواقع بقايا المواد البترولية دون الحاجة إلى أخذ عينات ليست ذات فائدة.وبعد تحديد نقطة بداية الحريق يتم رفع العينات حسب حالتها الفيزيائية، وفيما يلي توضيح لطريقة الرفع :

أ - العينات الصلبة

شكل (٢-٤) أدوات تحريز مخلفات الحرائق.

عند وجود عينات صلبة محترقة في مسرح حادث الحريق، يجب رفع العينات الممتصة للسوائل كالسجاد، والورق، والقماش. ويفضل أن تكون هذه العينات محترقة جزئياً، لاحتمالية وجود بقايا لمسرع الاشتعال متشبعة بالجزء غير المحترق فيها. بعد ذلك، يتم رفعه وتحريزه في أكياس بلاستيكية عديمة المسامات كأكياس النايلون، أو البولي استر، ثمّ تربط بأحكام وتوضع في علب معدنية محكمة الإغلاق، تلافياً لتطاير مكونات مسرع الاشتعال.

ب- العينات السائلة :

عند وجود عينات سائلة في مسرح حادث الحريق، ترفع العينات باستخدام أنابيب ماصة pipette، أو بعض الأدوات ذات القدرة على الامتصاص. ويفضل أخذ كمية قليلة تتراوح ما بين ٢-٢٠ ملليتر من المادة السائلة، ووضعها في هذه الأنابيب. كما يفضل أن يكون غطاء هذه المادة مصنوعاً من التيفلون teflon حتى لا تتفاعل مع المواد السائلة المرفوعة، ويتم تقدير هذه المواد مباشرة في أجهزة التحليل الكروماتوجرافي.

ج- العينات الغازية

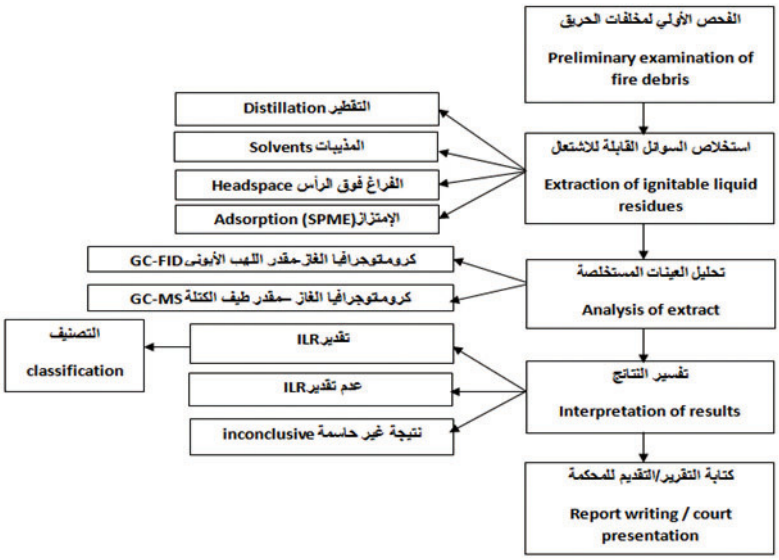
في الوقت الحاضر يمكن استخدام نوعاً من الكلاب البوليسية المدربة، والتي يكون لديها القدرة على كشف رائحة المواد البترولية في مسرح الحادث. كما يمكن الكشف عنها باستخدام المقدر الهيدروكربوني المتنقل في مسرح الحادث، وذلك لمعرفة ما إذا كانت هذه المادة الغازية من المواد المسرعة للاشتعال أم لا.

٢-٧-٢ تجهيز وتحضير العينة للتحليل Preparation of Sample

يقصد بتجهيز وتحضير العينة «استخلاص واستعادة المواد المسرعة للاشتعال القابلة للتطاير من عينات بقايا الحريق تمهيداً لحقنها في جهاز التحليل». حيث يوجد العديد من الطرق التحليلية لهذه العينات، من أهمها: الطرق الكروماتوجرافية، والطرق الطيفية، كما يمكن استخدام العديد من طرق الاستخلاص التقليدية والحديثة مثل: الاستخلاص بالتقطير، والاستخلاص بالمذيبات، والتي بدأ استخدامها منذ مطلع القرن الماضي

وتطورت إلى أن وصلت إلى طرق حديثة تعتمد على استخلاص مكونات العينة الغازية بالفراغ فوق السطح، وكذلك الامتزاز[١].

إن عملية فحص وتحليل مخلفات الحرائق خصوصا بقايا المواد المسرعة للاشتعال القابلة للتطاير Ignitable Liquid Residues (ILR) يتم- في الغالب- في خمس خطوات موضحة باختصار في الشكل التوضيحي التالي (٢-٥)، والذي يحتوي على أهم خطوات تحليل عينات الحرائق بواسطة السوائل القابلة للاشتعال.



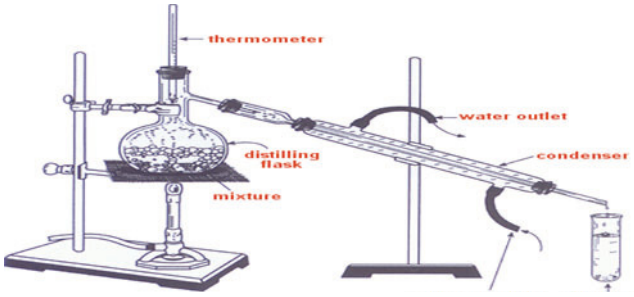
شكل (٢-٥) خطوات فحص وتحليل عينات مخلفات الحرائق الناتجة من السوائل القابلة للاشتعال.

(١) Stauffer. E ,Dolan.J, Nweman.R, « Fire Debris Analysis «, Academic Press, California ,USA ,(2008) .

٢-٨ أهم الطرق المستخدمة في تجهيز العينات:

١) التقطير Distillation[١]

وهي طريقة مستخدمة على نطاق واسع لفصل المخاليط (فصلاً فيزيائياً) على أساس الاختلاف في تبخر مكونات الخليط السائل، ويمكن تسخين السائل الذي يحتوي على العديد من المركبات التي تختلف في نقطة الغليان ليتحول إلى غاز، ثم يتكثف مرة أخرى ويعود إلى الشكل السائل . بعد ذلك، تجمع كل عينة على حده. ويمكن تكرار هذه العملية على جميع مكونات عينة السائل لتحسين نقاء المنتج، ويسمى التقطير المزدوج، وينقسم إلى نوعين هما: التقطير البخاري، والتقطير تحت الضغط. حيث يستخدم الماء في التقطير البخاري كمحلول ناقل، ويستخدم لاستخلاص المواد القابلة للتطاير إذا كانت كمية العينة متوفرة بشكل كاف. ويمكن أن يستخدم الإيثلين جلايكول كبديل للماء، كمحلول ناقل في المركبات ذات درجة الغليان المرتفعة مثل الديزل، وكذلك يمكن استخدام خليط من الماء والإيثانول في التقطير البخاري، لكن وجد إن نتائجه غير دقيقة مع مسرعات الاشتعال السائلة. وتعتبر تقنية التقطير من أول التقنيات المستخدمة في استخلاص مخلفات الحرائق، كما في الشكل (٢-٦).



شكل (٢-٦): جهاز التقطير[٢]

(١) Bertsch ,W. Sample Preparation for the Chemical Analysis of Debris in Suspect Arson Cases .(2001) .

(٢) http://camillaschemistryadventure.blogspot.co.uk

٢) **الاستخلاص بالمذيب** Solvent Extraction[١]

تتضمن طريقة الاستخلاص بالمذيبات إضافة كمية من المذيب، وغمر العينة بالكامل بهذا المذيب. ومن ثم شطفه وترشيحه للحصول على المادة المراد استخلاصها مُركزة في جزء من المذيب، أو تكثيفه باستخدام نظام السوكسيليت (soxhlet system). لكن هذه الطريقة مستهلكة للوقت، ويمكن أن تتسبب في فقد جزء من العينة أثناء خطوات تركيزها.

٣) **الفراغ المباشر أعلى السطح** Headspace

تعتمد هذه الفكرة على تبخر جزء من العينة المرفوعة من مسرح الحادث بعد وضعها في حيز مغلق للحفاظ عليها من الانتشار، بحيث يتم سحب جزء منها باستخدام إبرة وحقنها مباشرة في جهاز الكروماتوجرافيا الغازي، وتكون النتائج أفضل كلما زاد الوزن الجزيئي لمكونات العينة المستخلصة بهذه الطريقة، وهي من طرق الاستخلاص المفضلة للعينات ذات الطبيعة الطيارة.

٤) **الامتزاز (الامصاص)** Adsorption

تعتمد هذه الطريقة على تطاير المواد من العينة المرفوعة من مسرح الحادث وترسبها على سطح مهيأ لامتزاز العينات العضوية الطيارة- سيتم شرحها- حيث توضع العينة بعد ورودها من مسرح الحادث في عبوة بلاستيكية مقواه، أو أكياس من النايلون، ثم تسخن لنحو ٤٠^{0}م، ثم يعّرض سطح الإبرة- الذي يحتوي على ألياف لها القدرة على الامتزاز- للعينة، وتترك لمدة عشرين دقيقة تقريباً، بعد ذلك تغلق الإبرة، ويغلق كيس العينة وتحقن مباشرة في جهاز الكروماتوجرافيا الغازي.

---

(١) Bertsch ,W .» Sample Preparation for the Chemical Analysis of Debris in Suspect Arson Cases «.(2001) .

٤-١ الاستخلاص الدقيق على الطور الصلب (SPME) Solid Phase Micro-Extraction

شكل (٢-٧) SPME.

اكتشفت هذه الطريقة على يد باولسين J.Pawlisyn عام ١٩٨٩م، وهي إحدى الطرق المستخدمة لاستخلاص وامتزاز العينات على الطور الصلب، حيث يتم تسخين العينة المراد استخلاصها والتي تحتوي- في الغالب- على مركبات متطايرة Vol-atile، فتتطاير المكونات أثناء التسخين . ونظراً لأن هذا الجهاز مزود بإبرة بها قطعة من ألياف، كما في شكل (٢-٧)، يتم امتزاز المواد المتطايرة على سطحها Adsorption فتترسب المكونات المتطايرة على سطح الليف، وبذلك يتم تجميع وتركيز العينة مع استبعاد شوائب المواد الثقيلة والمعدنية في العينة التي لا تتطاير أثناء التسخين، ولا تترسب (تمتز) على سطح الليف، ثمّ تحقن يدوياً في جهاز الفصل الكروماتوجرافي[١]،[٢].

٤-١-أ فوائد الـ SPME:

إن إحدى الفوائد الرئيسة لـ SPME هو بساطتها في الاستخلاص، بعكس استخلاص العينات بالطرق التقليدية الذي يحتاج إلى إجراء العديد من الخطوات المستهلكة للوقت، كما إنها- أي الطرق التقليدية - قد تؤثر على العينة ومكوناتها، ويمكن بسببها أن يفقد جزء مهم من مكونات العينة محل الدراسة،

(١) Arthur , C , L .» Analytical Chemistry « , (1990).

(٢) Solid phase microextraction troubleshooting guide. Bulletin 928. Supelco, Bellefonte, Pa Supelco , (2001).

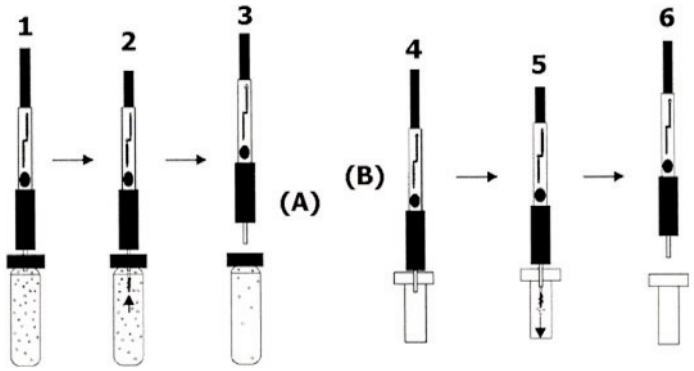
بالإضافة إلى إمكانية تلوث contamination العينة. من جهة أخرى يقل حد الكشف Detection Limit في هذه التقنية مقارنة بالطرق الأخرى بقيم كبيرة، وهذا يعطيها ميزة عالية عن غيرها من الطرق.

٤-١-ب طريقة أخذ العينة

يتكون ليف fiber الـ SPME من السيليكا، ويبلغ طوله ١سم ويكسو رأسه بوليمر Polymer محمي بداخل إبرة مجوفة، وهو مرتبط بمكبس من الحديد المقاوم للصدأ، وعند ضغط المكبس العلوي يخرج الليف وينكشف الرأس المكسو بالبوليمر، ثم تتجمع العينة عليه بالادمصاص أو الامتزاز اعتماداً على نوع الغطاء coating لمدة معينة من الزمن (ثواني، دقائق، ساعات) حسب نوع العينة ونوع التطبيق المطلوب. ثم يعاد الليف إلى الداخل مرة أخرى، بعد ذلك يتم نقل الإبرة للجهاز ليتم حقنها فيه، ويتم ضغط المكبس لإخراج الليف المحتوي على العينة الممتزة والمطلوب دراستها . وعند حقن العينة، فإن حرارة الحاقن في الجهاز تقوم بتبخير المحتويات الممتزة على سطح ليف البوليمر، فتنتقل من منفذ الحاقن إلى عمود الفصل، بعد ذلك يجرى لها في الجهاز تحليل كيفي (نوعي) qualitative، وتحليل كمي quantitative.

ويوضح الشكل (٢-٨) طريقة جمع العينة وتجهيزها للحقن في جهاز التحليل. جدير بالذكر إنه يتم تنظيف ليف الـ SPME من الشوائب عن طريق التسخين، وبذلك يعد جاهزاً للعمل على استخلاص وحقن عينة أخرى.

نلاحظ في الجزء A للشكل (٢-٨) طريقة تجميع العينة باستخدام ليف SPME، أما الجزء B من نفس الشكل فيوضح خطوات إدخال العينة إلى الجهاز الكروماتوجرافي.



شكل (٢-٨) طريقة الاستخلاص باستخدام SPME [١]

٤-١-ج خواص الليف المستخدم في SPME:

إن كمية العينات التي تتجمع على ليف SPME تعتمد على عدد من العوامل كما هو الحال مع أعمدة الفصل في جهاز الكروماتوجرافيا الغازي GC-MS ومنها:

١. يتم استخدام غطاء بوليمر قطبي ذي حساسية للمركبات القطبية المراد تحليلها، بينما لتحليل المواد غير القطبية فيستخدم غطاء من البوليمر غير قطبي.
٢. يفضل استخدام غطاء بوليمر ذي سمك عالٍ لجميع المركبات المتطايرة.
٣. تعتبر درجة الحرارة من العوامل المهمة أثناء جمع العينة سواء من حيث الزيادة أو النقصان، حيث إن لها تأثيراً كبيراً على النتائج.
٤. تتأثر العينات السائلة بكلٍ من: الحمضية pH، والأملاح، ومعدل سريان الهواء. ولهذه العوامل أثرٌ واضح على طريقة الاستخلاص.

من المهم جداً معرفة أن امتزاز المكونات على الليف في هذه الطريقة يعتمد على درجة حرارة الحاقن في جهاز GC-MS، وعلى معدل السريان، وعمق الليف المدخل إلى منفذ العينات port.

(1) F. Augusto , A. Luiz Pires Valente «Applications of solid-phase microextraction to chemical analysis of live biological samples «,(2002).

٢-٩ تقنيات تحليل بقايا الحريق Fire Debris Analysis Techniques

بعد تجهيز واستخلاص العينات تأتي مرحلة اختيار أفضل طريقة آلية لتحليل بقايا مخلفات الحرائق لأجل أن يتم التعرف على المكونات الموجودة في مسرح الحادث وما إذا كانت من البنزين (الجازولين)، أو الديزل، أو الكيروسين، أو من مركبات هيدروكربونية أخرى ثقيلةً كانت أو متطايرةً. وتحديداً مدى ارتباط ذلك مع نتائج التحقيق الفني في مسرح الحادث.

ويمكن إجراء الكشف الآلي للعينات باستخدام عدد من الأجهزة التحليلية نوجزها فيما يلي:

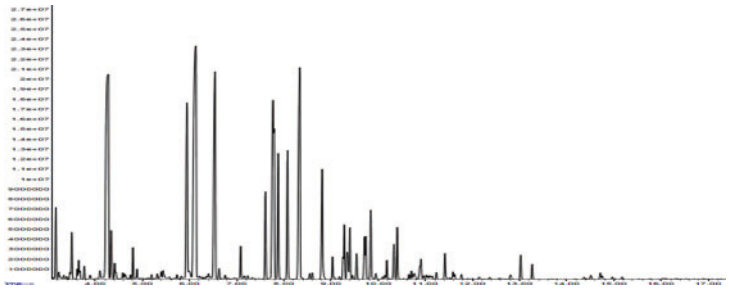
١. أجهزة الفصل الكيميائي التي تقوم بفصل مكونات العينة عن بعضها بعضاً، فصلاً فيزيائياً بناءً على زمن مكوث كل مكون من مكونات العينة في عمود الفصل في الجهاز، ومنها:

- الكروماتوجرافيا الغازية Gas Chromatography (GC)
- الكروماتوجرافيا الغازية-المرتبطة بمطياف الكتلة Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS).
- الكروماتوجرافيا الغازية-المرتبطة بمقدر التأين اللهبي Gas Chromatography Flame Ionization Detector (GC-FID).
- كروماتوجرافيا السائل ذو الأداء العالي High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

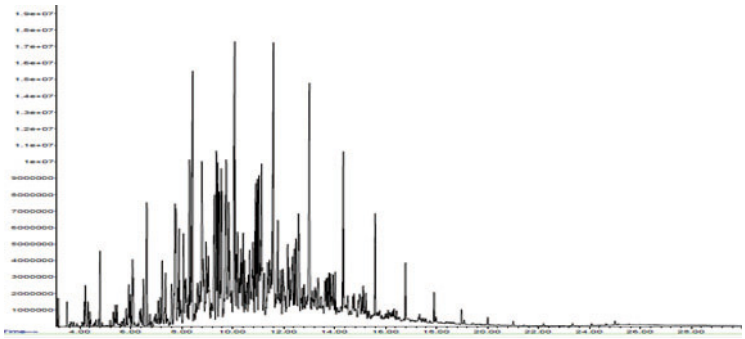
وتعد هذه الأنواع من أفضل التقنيات المستخدمة في تحليل مخلفات حرائق المواد البترولية، وتظهر نتائج التحليل باستخدام تقنيات الكروماتوجرافيا على هيئة قمم Peaks تسمى بالكروماتوجرامات Chromatograms كما هو موضح

في شكل (٢-٩) و (٢-١٠).

١. مطياف الامتصاص الذري (AA)Atomic absorption spectrometry
٢. مطياف الأشعة تحت الحمراء(IR) Infrared Spectrophotometer
٣. مطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية UV-Visible Spectrophotometer
٤. جهاز الوميض Device Flash Point



شكل(٢-٩) القمم الكروماتوجرافية للجازولين (وقود البنزين)



شكل(٢-١٠) القمم الكروماتوجرافية للكيروسين

الفصل الثالث

كيمياء المتفجرات

Chemistry of Explosives

تمهيد

تم اكتشاف البارود gunpowder والبارود الأسود black powder من قبل الصينيين في عام ٨٥٠ قبل الميلاد، وكانا هما المتفجرين الوحيدين المستخدمين حتى القرن التاسع عشر الميلادي؛ حيث ظهر ما يعرف بمتفجر النيتروجلسرين Nitroglycerin ويرمز له بـ NG، ويعد تكوين هذا المتفجر هو أول ظهور للمتفجرات القوية حيث استخدم في عمليات التنقيب وحفر المناجم . ولكن بعد إجراء عدة تجارب له اكتشف أنه غير مستقر وأن التعامل معه محفوف بالمخاطر، فقام العالم السويدي ألفريد نوبل Alfred Nobel في عام ١٨٦٧م- الذي أنشأ جائزة نوبل للسلام- بالربط بين المواد الزيتية والنيتروجلسرين؛ وأدى ذلك إلى الحصول على منتج جديد أكثر أماناً من النيتروجلسرين يعرف بالديناميت.

ومما يشار إليه أن للمتفجرات استخدامات مهمة في الجانب السلمي بالإضافة للجانب العسكري، فيمكن استخدامها والاستفادة منها في شق الأنفاق، وحفر الآبار في المناطق الجبلية، وفي المناجم، وفي صنع الألعاب النارية، إضافةً إلى هدم المباني في المدن لإعادة بنائها، أو تعبيد طرق بدلاً منها.

٣-١ تعريف المتفجرات

تعرف المتفجرات بأنها «مواد كيميائية أو خلائط فيزيائية لديها القدرة على التحول السريع واللحظي من الحالة التي عليها إلى غازات ساخنة منتجةً ضغطاً وحرارة بعد تعرضها لمحرض خارجي (ضغط- طرق- حرارة-تيار كهربائي- احتكاك-صدمة)» . تقوم ميكانيكية الانفجار على أساس تحول الطاقة الكامنة للمواد المتفجرة والمحجوزة في حيز مغلق إلى طاقة حركية وحرارية عالية بعد تعرضها لعامل خارجي، حيث تنطلق هذه المواد وتتمدد بشكل مفاجئ وسريع لتؤثر على المنطقة المحيطة بها[1].

(1) Jehudo.Y, Shmuel.Z ,Modern Methods and Applications in Analysis of Explosive , 1st Ed , Wiley , England , (1996)

٣-٢ تصنيف المتفجرات Classification of Explosives

٣-٢-١ من حيث طريقة الانفجار[١]

يوجد ثلاثة أنواع رئيسة من الانفجارات هي: الانفجارات الكيميائية Chemical Explosions، والانفجارات الميكانيكية Mechanical Explosions، والانفجارات النووية Explosions Nuclear.

١. **الانفجارات الكيميائية:** تتميز بحدوث تحول وتمدد للمواد المكونة لها بشكل سريع ومفاجئ إلى غازات ساخنة كما يتضاعف حجمها إلى عدة آلاف حجم المادة الأساسية، وذلك في زمن قصير جداً لا يتجاوز أجزاء من الثانية، مثل متفجر TNT، ومتفجر NG.

٢. **الانفجارات الميكانيكية:** تحدث نتيجة ازدياد الضغط في حيز مغلق مما يحول الطاقة الكامنة للجزيئات الموجودة فيه إلى طاقة حركية فتعمل على زيادة التصادمات بين هذه الجزيئات، مما يؤدي إلى انفجارها، ومثال على ذلك قدور الضغط المستخدمة في الأكل وسخانات المياه وانفجار إطارات السيارات.

٣. **الانفجارات النووية:** تحدث نتيجة لتفاعل نووي مستمر وبسرعة ثابتة فيتحرر في أثنائه قدر هائل من الطاقة كما هو موضح في شكل (٣-١).

شكل (٣-١) عملية انفجار نووي[٢]

تجرى في الوقت الحاضر تجارب لاستخدام هذا النوع من الانفجارات في المجال السلمي بغرض استخراج النفط.

(1) http://www.arab-ency.com.

(2) http://fallout.wikia.com/wiki/File:Nuclear_explosion.jpg

٣-٢-٢ من حيث القوة[١]،[٢]

معظم المتفجرات عبارة عن خليط من الوقود Fuel، والمؤكسدات Oxida-tive متحدة مع بعضها بعضا، ومضافاً إليها ما يعرف بالبادئات أو المحسسات Sensitizers ، والتي تتميز بأنها ذات حساسية عالية وقوة تفجير منخفضة، ويمكن تصنيف المتفجرات من حيث القوة إلى نوعين رئيسين :

أولاً . المتفجرات المنخفضة Low Explosive

يتميز هذا النوع بأنه يحترق أكثر من أن ينفجر، والأضرار الناتجة عن هذا النوع تكوّن حرارة ولهب أكثر من أن تكوّن موجة انفجارية. ويعد كلاً من البارود، والبارود عديم الدخان من أكثر المتفجرات شهرةً في هذا الصنف، حيث تتراوح سرعة انفجارها في مدى ٤٠٠م/ث. ويغلب استخدامها كدافع propellant للطلقات، كما تستخدم في الألعاب النارية، ولتفجير الصخور، بالإضافة إلى استخدامها كبادئات لتفجير المتفجرات العالية High Ex-plosive، لذا يطلق عليها بالمتفجرات البادئة Initiation Explosive، حيث تستطيع البدء بعملية التفجير عن طريق إحدى العمليات التالية:

١. توليد الحرارة .
٢. إكمال دائرة كهربائية.
٣. إحداث صدمة أو صعقة shock ناقلة للمتفجر .

---

(1) Newton , D. «The New Chemistry – Forensic Chemistry», Facts On File Inc,New York ,USA , (2007).

(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

إضافةً إلى ذلك، يتميز هذا النوع من المتفجرات بأنه محصور دائما في حيز مغلقConfined؛ لذا فعند احتجازه يكّون غازات ذات حرارة وضغط عاليين، مما ينتج عن ذلك حدوث عملية الانفجار. ويكمن السبب في حصرها في حيز مغلق، لأنه عند تعرضها للهواء الجوي فإنها تحترق بدلا من أن تنفجر، لأن الضغط لا يكون عالي.

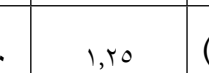
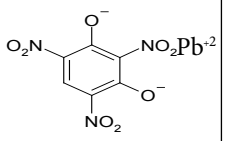
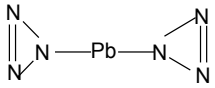
ثانياً: المتفجرات العالية High Explosive

يتميز هذا النوع من المتفجرات بسرعة انفجاره ككتلة واحدة، حيث يكتمل التفاعل والانفجار في أجزاء من الثانية بعد إشعاله. ويتميز بأنه ينتج موجات اصطدامية ذات ضغط عالٍ، مما يكوّن قوة تحطيم يمكنها أن تزيح الأجسام المختلفة إلى مسافات بعيدة. وتنقسم المتفجرات العالية إلى قسمين رئيسين هما: المتفجرات الأولية Primary explosive، والمتفجرات الثانوية Secondary explosive .

١-المتفجرات الأولية Primary explosive

تتسم بأنها مركبات غير ثابتة unstable وذات حساسية عالية يمكن أن تنفجر بسهولة عند تعرضها لصدمة أو حرارة أو شرارة، وتتراوح سرعة انفجارها بين ١٠٠٠-٥٥٠٠م/ث، ومن الأمثلة عليها: فلمنات الزئبق، وأزيد الرصاص، وستفينات الرصاص، كما في جدول (٣-١)[1]

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

المتفجر Explosivee	التركيب الكيميائي Chemical structure	الكثافة (جم/سم^3) Density (g/ (cm^3)	سرعة الانفجار Speed	مؤشر القوة Power Index
فلمنات الزئبق Mercury fulminate		١,٢٥	٢٣٠٠	١٤
ستفينات الرصاص Lead styphnate		٣,٠٧	٣٩٢٥	١٤
أزيد الرصاص Lead azide		٢,٨	٤٥٠٠	١٣

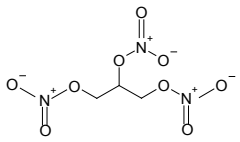
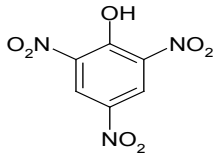
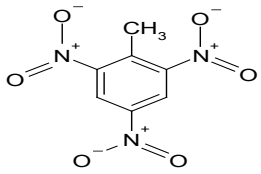
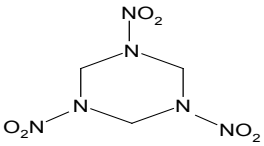
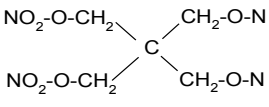
جدول (٣-١) خصائص عدد من المتفجرات الأولية

٢- المتفجرات الثانوية Secondary explosive

يتصف هذا النوع من المتفجرات بالثبات Stable مقارنةً بالنوع السابق كما أنه أقل حساسيةً من المتفجرات الأولية ويحتاج- في الغالب- إلى مفجر أولي كبادئ لتفجيره. ومن الأمثلة على هذا النوع: متفجر RDX حيث تصل سرعة انفجاره إلى ٨٤٤٠ م/ث، كذلك متفجر النيتروجلسيرين التي تصل سرعة انفجاره إلى٧٧٥٠م/ث، ويوضح الجدول (٣-٢) [١] بعض خواص المتفجرات الثانوية .

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006.

جدول (٣-٢)خصائص عدد من المتفجرات الثانوية

المتفجر Explosive	التركيب الكيميائي Chemical structure	الكثافة (جم/سم٣) (Density (g/cm3	سرعة الانفجار Speed	مؤشر القوة Power Index
نيترو جلسرين Nitroglycerin $C_3H_5N_3O_9$		١,٦٠	٧٧٥٠	١٧١
حمض البيكريك Picric acid		١,٦٠	٧٩٠٠	١٠٠
TNT ٢,٤,٦-ثلاثي نيترو تولوين 2،4،6-Trinitrotolunene $C_7H_5N_3O_6$		١,٥٥	٦٨٥٠	٣٣١,٢
RDX هكسوجين: ثلاثي الميثلين الحلقي – ثلاثي نيترامين HexogenCyclotrimethylene-trinitramine $C_3H_6N_6O_6$		١,٧٠	٨٤٤٠	٤٥٧
PETN بنتا ايراثيرايتول – رباعي النيتريت Pentaerythitol-tetranitate		١,٦٠	٧٩٢٠	٤٥٢

٣-٢-٣ من حيث الحساسية[١]

عند مقارنة درجة الحساسية بين المتفجرات الأولية والثانوية نجد ما يلي:

١. أن المتفجرات الثانوية أقل حساسية للاحتكاك friction بنسبة تتراوح ما بين ١٠-١٠٠مره مقارنة بالمتفجرات الأولية.

٢. أن المتفجرات الثانوية أقل حساسية للاصطدام impact بـــ١٠ مرات من المتفجرات الأولية .

أيضاً لبدء عملية التفجير لابد من إضافة مواد وأدوات لكل من المتفجرات الأولية والثانوية مثل الأسلاك والصواعق وبعض الأنظمة الأخرى، وذلك لكي تسبب موجة صاعقة اصطدامية قادرة على تفجير المتفجر.

٣-٣ تأثيرات الانفجارات:

١- النسف والتدمير:

يترافق هذا الأثر مع أي انفجار، وذلك نتيجةً لعملية تمدد الغازات بسرعةٍ كبيرةٍ جداً، وفي زمنٍ قصير يعادل أجزاء من الثانية، فينتج ضغوط هائلة بسببٍ تراكم الغازات وتتكون موجة انفجارية تعمل على تدمير أي شي يقع في طريقها.

٢- الضغط:

نظراً لتحول الطاقة الكامنة للمواد المتفجرة إلى طاقة حركية وفي أجزاء قليلة جداً من الثانية، فإنه ينتج عن تلك العملية كميةً كبيرةً جداً من الغازات، ويتضاعف حجمها إلى آلاف المرات وتصل سرعتها إلى ١٠٠٠٠كم/ث تقريباً، مما ينتج ضغطاً ضخماً جداً يعمل على تحطيم وتدمير أي شيء يقع أمامه من أجسام ومواد.

---

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

وبشكل عام يكون للضغط الناشئ من الانفجار طورين رئيسين هما :

- الطور الإيجابي Positive Phase

هذا الطور هو الذي ينتج عنه معظم التدمير وهو عبارة عن: موجة تتكون بشكل كروي فتضغط الجو المحيط بها وتفرغه من الهواء، وتنتشر بشكل سريع فتدمر الأجسام التي تقع في مجالها .

- الطور السلبي Negative Phase

هو أقل تدميراً من الطور الإيجابي، ويتكون بعد انتهائه كردة فعل له، حيث يعود الهواء ويملأ الفراغ الذي خلّفه الطور الإيجابي السابق.

٣-١الحرارة:

وجد أن المواد بطيئة الانفجار تستغرق وقتاً أطول في عملية الاحتراق، وتنتج كمية حرارة أعلى مقارنة بالمواد سريعة الانفجار التي تستغرق وقتاً أقل وتمد بحرارة أقل، ونتيجة لكمية الحرارة الناتجة تتسبب المواد بطيئة الانفجار في إحراق مساحة أكبر من المواد سريعة الانفجار.

٣-٤ ميكانيكية الانفجار[١]

تحدث الانفجارات عندما تكون سرعة الاحتراق للمواد المتفجرة أسرع من سرعة الصوت؛ لذا فإن عملية الانفجار هي عملية احتراق ولكن بسرعة أعلى من سرعة الصوت. تتكون المتفجرات- في الغالب- من الكربون C، والأكسجين O_2 والهيدروجين H_2 ،والنتروجين N_2، ونواتج هذه العملية- في الغالب- هي ثاني أكسيد الكربون CO_2 والماء H_2O ، مع بعض المواد المتطايرة الأخرى مثل غاز النيتروجين N_2.

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

ومع أن التركيب النموذجي للوقود هو الكربون والهيدروجين، فإن وقود المتفجرات يتميز باحتوائه على الأكسجين. وتختلف وفرة الأكسجين من متفجر لآخر فمثلا يحتوي متفجر NGعلى نسبة كافية من الأكسجين، بينما يحتوي متفجر TNT على الأكسجين، لكن بنسبة منخفضة.

من جانب آخر فإن بعض المركبات قد لا تحتوي على أكسجين، ومع ذلك تكون قوتها التفجيرية عالية مثل أزيد الرصاص المصنف كمتفجر أولي. ولتعويض نقص الأكسجين في بعض المتفجرات يستعان بمصادر مؤكسدة خارجية تخلط مع المتفجر، مثل الكلورات ClO_3^- والبيركلورات ClO_4^- ، وذلك لتعمل على زيادة القوة الانفجارية لها. وجدير بالذكر إن سرعة التفجير تتراوح في المدى بين ١٥٠٠-٩٠٠٠ متر/ثانية مع العلم أن هذه السرعة تعتمد على الضغط ودرجة الحرارة حيث تؤثر درجة الحرارة في كثافة المتفجر وسرعة انفجاره حسب العلاقة التالية:

$$V= (331.4+ 0.6T)\ ms^{-1}$$

حيث إن :

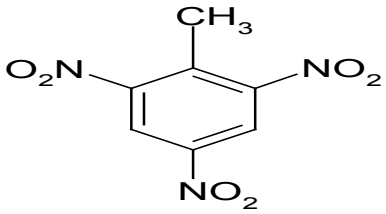
V : هي سرعة الصوت

T : درجة الحرارة بالمئوي مْ

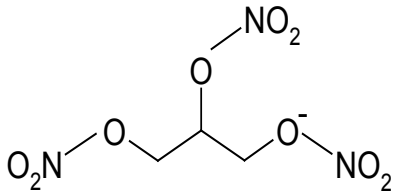
وعند ٢٥مْ فإن سرعة الصوت هي ٣٤٧م/ث. ونتيجة لذلك فإنه أثناء عملية التفجير تتكاثر الموجة الانفجارية بسبب خليط التفاعل، بحيث تصبح كثافة مواد الموجة الانفجارية أكثر من كثافة الهواء، أي إنه كلما زادت كثافة الموجة الناتجة فإن سرعة الانفجار ستزداد، وبالتالي ستزداد قوة انتشار الموجات الانفجارية. ويجب ملاحظة أن السرعة الانفجارية لا تعتمد على نسبة الأكسجين الموجود في المتفجر فقط - مع أن هذا العامل له دور مهم في ذلك- فبعض المتفجرات تكون غنية بالأكسجين ومع ذلك بطيئة في الانفجار.

بينما متفجرات أخرى تتصف بأنها فقيرة بالأكسجين مثل مركبات النيترو العطرية (TNT، RDX)، ومع ذلك فإنها تتميز بسرعات عالية في الانفجار أي إن السرعة الانفجارية للمتفجرات تعتمد على كل من: التركيب الكيمائي للمتفجر، وعلى وضع الأكسجين في المركب. من جانب آخر توجد أنواع من المتفجرات لا تحتوي على الأكسجين مثل الازيدات (-N=N-)، ومع ذلك تتميز بالقوة والسرعة العالية بسبب تفاعلات الأكسدة والاختزال بين الذرات الموجودة في المركب- أي ذرات تتأكسد وتفقد إلكترونات، وذرات أخرى تختزل وتكتسب هذه الإلكترونات- وينتج عن هذه العملية تفاعلات كيميائية طاردة للحرارة ذات سرعة انفجار عالية.

من المفاهيم الهامة في علم المتفجرات مفهوم ميزان الأكسجين oxygen balanceحيث يستفاد من هذا الميزان في معرفة ما إذا كان المتفجر يحتاج إلى إضافة أكسجين أم أنه مكتف بذاته، كذلك معرفة فيما إذا كان مصدر الأكسجين كيميائي أم لا، ومن الأمثلة على ذلك متفجري TNT و NG:



متفجر ثلاثي نيترو تولوين TNT



متفجر النيتروجلسيرينNG

أولاً) النيتروجلسرين NG وصيغته الجزيئية هي $C_3H_5N_3O_9$ نجد أن:

$$C_3H_5N_3O_9 \longrightarrow 3CO_2+5/2H_2O+3/2N_2$$

9 Oxygen $\longrightarrow$ 6+2.5=8.5

$$C_3H_5N_3O_9 \longrightarrow 3CO_2+5/2H_2O+3/2N_2+1/2O_2$$

في هذا المثال نجد أن ميزان الأكسجين إيجابي، حيث تبقى أكسجين حر من ضمن النواتج، وذلك لأن ما تم استهلاكه في التفاعل أقل مما تم البدء به، حيث تم بدء التفاعل بتسع ذرات من الأكسجين كما هو واضح في المعادلة الكيميائية السابقة، وبعد حدوث التفاعل، تبقى من ضمن النواتج أكسجين حر لم يستهلك.

ثانياً) ثلاثي نترات التولوين TNT **وصيغته الجزيئية هي** $C_7H_5N_3O_6$ **نجد أن:**

$$C_7H_5N_3O_6 \longrightarrow 7CO_2 + 5/2H_2O + 3/2N_2$$

6 Oxygen ⟶ 14+2.5=16.5

$$C_7H_5N_3O_6 \longrightarrow 7CO_2 + 5/2H_2O + 3/2N_2 - 10.5\ O_2$$

يلاحظ هنا أن ميزان الأكسجين سلبي حيث لم يتبقَ أكسجين حر من ضمن النواتج، وذلك لأن كمية الأكسجين التي بدأ بها التفاعل قليلة، ويحتاج التفاعل إلى كمية إضافية من الأكسجين لإتمام التفاعل.

في المثالين السابقين وجد أن ميزان الأكسجين في NG يعطي قيمة إيجابية، وهذا يعني إنه عند انفجار المادة وتحولها إلى نواتج غازية، فإن جزء من المتفجر يقوم بتوفير كمية من الأكسجين من المتفجر نفسه، وهذا بدوره يساعد على زيادة الانفجار واستمرار الحريق، أما في حاله TNT فوجد أن ميزان الأكسجين لديه سلبي، وهذا يعني إنه يحتاج أكسجين من الهواء الجوي، أو مصدر كيميائي للأكسجين للقيام بعملية الانفجار.

و يمكن حساب النسبة المئوية لموازنة الأكسجين من العلاقة التالية:

$$\text{ميزان الاكسجين } \%100 = \frac{(\text{الوزن الجزيئي} \times \text{فرق عدد المولات بين النواتج والمتفاعلات})}{\text{الوزن الجزيئي للمركب كامل}}$$

ومثال على ذلك نحسب ميزان الأكسجين لـ TNT

$$\frac{(10.5 \times 16)}{227} = X\,100 \text{ -}74\%$$

كما يلاحظ فإن ميزان الاكسجين سلبي، وهذا يجعل النظام ضعيفاً، وبالتالي يحتاج لمقدار إضافي من الأكسجين من مصدر خارجي، ويوضح الجدول (٣-٣) مجموعة لأهم المتفجرات وميزان الأكسجين لها.

جدول (٣-٣) يوضح لمجموعة من أهم المتفجرات وميزان الأكسجين لها.

المتفجر	ميزان الأكسجين٪
نترات الامونيوم	٢٠+
نيتروجلسرين (NG)	٤+
حمض البكريكPicric acid	٤٥-
(TNT)	٧٤-

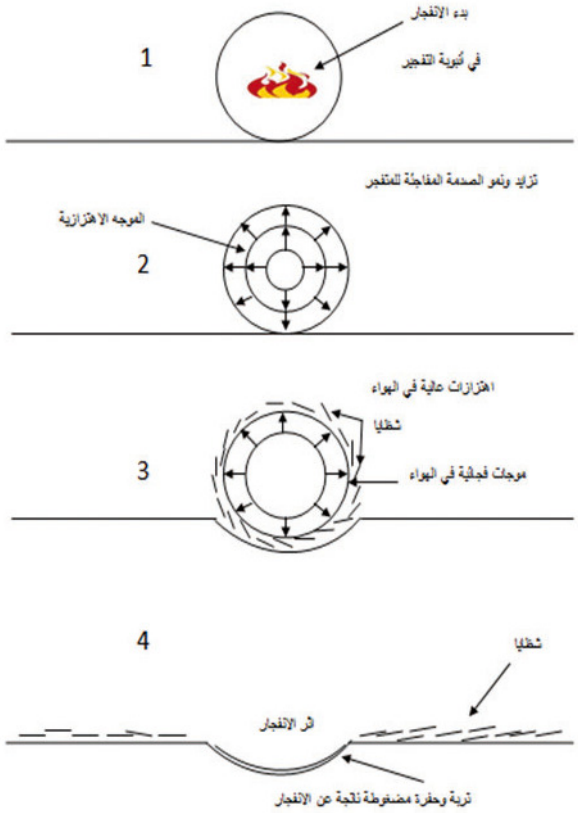
٣-٥ قياس قوة الانفجار[١]:

إن التدمير المرتبط بالمتفجرات يعتمد على الضغط والسرعة التي تتحرك بها موجة الانفجارblast wave، فالمتفجرات الثانوية لديها قوة اهتزاز عالية-shat tering power مقارنةً بالمتفجرات الأولية، حيث إن المتفجرات الأولية تنتج ما يعرف بالقوة الدافعةpush power . فلو أخذنا مثلا قنبلة على شكل أنبوب تحتوي على مواد متفجرة محجوزة بداخلها، وكانت هذه المواد من المتفجرات الأولية فسينتج عنها شظايا قليلةfragments ، وموجة انفجار ضعيفة تنقل الأشياء المجاورة لها لأماكن قريبه فقط. وفي المقابل إذا احتوت الأنبوبة على

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

مواد من المتفجرات الثانوية، فإنها سوف تنفجر منتجة شظايا حادة sharp shrapnel، وموجة انفجارية قوية، وتعتمد قوة اهتزاز القنبلة على الضغط الناتج من الموجة المفاجئة الناتجة عن الانفجار، والتي ينتج منها موجة اهتزازية من الحرارة والغازات المنضغطة الناتجة عن الاحتراق.

ويوضح الشكل (٣-٢) التأثيرات المختلفة الناتجة من الموجة المفاجئة التي تهز الموقع المحيط بالمتفجر، وتنطلق منه الشظايا بعيدا عن موقع التفجير، كما تقوم الغازات الحارة المتمددة في أحداث فتحة في الأرض .



شكل(٣-٢) رسم تخيلي لمراحل الانفجار والتأثيرات الناتجة عنه

إن قوة التفجير للقنابل تعتمد في الأساس على كلٍ من: الحرارة الناتجة Q، وحجم الغازات V المتكونة من انفجار المتفجر.

ويمكن مقارنة متفجر بآخر اعتماداً على معامل القوة Power Index ويرمز له بالرمز (PI)، والعلاقة التالية توضح ذلك:

$$PI = \frac{QV\ explosive}{QV\ picric\ acid} \times 100$$

حيث إن Q كمية الحرارة، و V حجم الغازات الناتجة، وقد تم اختيار متفجر حمض البيكريك picric acid كمقياس لمعامل قوة المتفجرات، وذلك لجعل الحسابات أكثر سهولة، كما في المعادلة السابقة حيث إن قيمة معامل القوة لديه = ١٠٠ .

وتم إجراء الحسابات لمعامل القوة للمتفجرات PI على افتراض أن وزن المادة المدروسة هو ١ جم، وبالمجمل يمكن الحصول على كمية الحرارة Q، وحجم الغازات الناتجة باستخدام المعادلات التالية:

$$Q = m\ X\ Cv X\ T\Delta$$

حيث إن $T\Delta$: الفرق في درجة الحرارة

Cv : الحرارة النوعية specific heat

m : الكتلة mass

ويمكن الحصول على الفارق في درجة الحرارة من العلاقة التالية :

$$\Delta T = \frac{Q}{m \times Cv} = T_f - T_i$$

ونظراً لافتراض أن الكتلة هي ١ جم؛ فإنه يمكن الحصول على درجة الحرارة النهائية بالعلاقة التالية:

$$\Delta T = \frac{Q}{Cv} + T_i$$

كما يمكن الحصول على كمية الحرارة بمعرفة كل من الكتلة m ، والحرارة النوعية Cv عن طريق الاستفادة من المعادلات السابقة.

٣-٦ جمع عينات مخلفات الانفجارات:

يعد مسرح حادث الانفجار من أعقد وأخطر أنواع مسارح الحوادث نظراً لاحتمالية وجود مواد متفجرة لم تنفجر بعد، والتي قد تعرض خبير رفع الآثار إلى الخطر، لذا يجب توخي الحذر والحيطة عند رفع العينات في هذا النوع من المسارح. إن الهدف الرئيس من رفع عينات بقايا المتفجرات هو التعرف على المكونات الأساسية المستخدمة في تكوينها.

أهم الآثار المطلوب رفعها من مسرح حادث التفجير :

- العينات الصلبة ذات القدرة على امتزاز أو امتصاص نواتج التفجير مثل السجاد والأوراق والقطن والمنسوجات وغيرها .
- بقايا المواد التي لم تنفجر من موقع التفجير .
- الحاويات والسيارات المستخدمة في التفجير لاحتمال وجود بقايا لمواد متفجرة فيها .
- تربة من المواقع القريبة من مواقع التفجير لاحتمال وجود بقايا لبعض مكونات المواد المتفجرة مختلطة معها.
- لا يفضل رفع المواد الصلبة غير القابلة للامتصاص كالبلاستيك، والزجاج، والمواد الإسمنتية.

بعد تحديد العينات المطلوب رفعها يتم تحريز كل عينة على حده في أكياس بلاستيكية خاصة، وتوضع في علب معدنية منفصلة، وذلك لتلافي التلوث بين العينات. كما تحفظ هذه العينات في جو معتدل أو بارد نسبياً.[١]

---

(١) West Virginia State Police ,(8th Addition) , Laboratory Filed Manual.

٣-٧ التحليل المعملي للمتفجرات[١]،[٢]:

من المعروف أن بقايا المواد المتفجرة تحتوي على بعض الأنيونات والكتيونات مثل: النترات، والفوسفات، و الصوديوم، والكربوهيدرات التي يمكن استخدامها كمواد مؤكسدة ؛ لذا يهدف الكشف عن هذه المواد إلى معرفة ما إذا كانت هذه المواد موجودة عند المستوى الطبيعي لها أم لا، حيث إن وجود مثل هذه المواد فوق المستوى الطبيعي في بعض الأماكن قد يثير الاشتباه والشك؛ لذا فبعد جمع العينات المشتبه باحتوائها على مواد متفجرة من مسرح الحادث تبدأ المرحلة الثانية المتعلقة بتحليلها وكشف مكوناتها الرئيسة والطرق المستخدمة لتحضيرها.

طرق تحليل المتفجرات

تنقسم طرق تحليل المتفجرات إلى طريقتين:

٣-٧-١ طرق فحص المتفجرات في المواقع والأماكن الحساسة:

يعد جهاز مطياف الانتقال الأيوني-Ion Mobility Spectrome (IMS) try من أكثر الأجهزة استخداماً في فحص الأماكن والمواقع الحساسة، حيث يستخدم في المطارات لفحص الأجهزة المختلفة مثل أجهزة الكمبيوتر المحمول، والأحذية، وغيرها كما هو موضح في شكل (٣-٣).

شكل(٣-٣) يوضح جهاز الماسح الأيوني

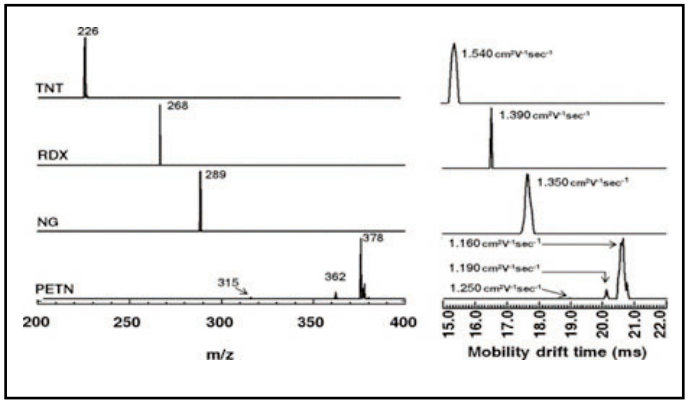
(١) Newton , D. «The New Chemistry – Forensic Chemistry», Facts On File Inc,New York ,USA , (2007).

(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

حيث تؤخذ مسحة من العينة المرغوب فحصها وتمرر على مطياف الجهاز السابق المزود بحساس للتعرف والكشف عن المتفجرات، فعند سماع صوت إنذار، فإنه يدل على الاشتباه بوجود مادة متفجرة، والعكس صحيح. لهذا فإنه عند ظهور هذا الصوت يجب إرسال العينة للكشف في معمل التحليل الجنائي. من جهة أخرى يمكن ربط هذا الجهاز في المعمل بجهاز كروماتوجرافيا الغاز، وذلك ليتم فحص مكونات العينة المحللة بدقة. ويعمل هذا الجهاز عن طريق فصل الأيونات الجزيئية بحسب نسبة الكتلة إلى الشحنة، كما إن الجهاز يستطيع الكشف عن الأيونات الموجبة والسالبة، مع العلم أن أغلب المتفجرات تحتوي على أيونات سالبة (أنيونات) كالنترات NO_3^- والنيتريت NO_2^- والكلوريد. يتم في هذا الجهاز استخدام كلوريد المثيلين كعامل منشط، حيث يعمل كمصدر مثبط Doping للأيونات الداخلة إلى الجهاز، وهذا يعمل على زيادة نسبة الانتقائية، ويقلل من نسبة التداخل بين الأيونات.

عند إدخال العينة في الجهاز السابق يحدث لها تأين بسيط عن طريق التفاعل مع جسيمات بيتا β المنبعثة من مصدر النيكلNi^{63} ، فتكّون الجزيئات في الجو المحيط معقدات من الأيونات والجزيئات، وفي حالة الأيونات السالبة مثل أيونات الأكسجين $O_2^-(H_2O)n$ حيث n هي عدد جزئيات الماء المرافقة والتي تعتمد على الرطوبة وعوامل أخرى، وهذه الأيونات تعود إلى المواد المتفاعلة لأنها في العادة موجودة في الجو المحيط، ويمكن بالتالي لهذه الأيونات الارتباط والتفاعل مع أيونات أو جزيئات العينة المدخلة إلى الجهاز والتي في الغالب تكون أيونات سالبة (أنيونات) كما ذكر سابقاً، مثل النترات، والنتريت، والكلوريد، وغيرها، فمثلاً عند تواجد متفجر TNT فقد يكون المركب الناتج هو $C_5H_7(NO_2)_3Cl^-$ أو $(TNT)Cl^-$ فعند دخول الأيون إلى الجهاز يتم الفصل بين الأيونات على حسب زمن المكوث، بعد ذلك تنتقل إلى المقدر، و يتم الكشف عنها. ويتميز المقدر بأنه مهيأ للكشف عن الأيونات السالبة كما نشاهد في

الشكل (٣-٤) الذي يظهر الأطياف الناتجة لعدد من المتفجرات.



شكل (٣-٤) الطيف الأيوني لعدد من المتفجرات[1]

ويلاحظ ازدياد الاهتمام بتطوير أجهزة الكشف عن المتفجرات في المواقع الحساسة والبحث عن الأجهزة التي تتميز بالحساسية العالية، كما تّم الاستعانة أيضاً بكلاب بوليسية مدربه قادرة على شم المتفجرات والكشف عنها.

٣-٧-٢ طرق فحص المتفجرات في المعمل:

إلى وقت قريب اعتمد تحليل المتفجرات على طرق التحليل التقليدية مثل: الاختبارات اللونية، والتحليل بواسطة كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة (الفصل اللونيTLC)، بالإضافة إلى المجهر الضوئي، وذلك قبل اكتشاف الأجهزة الحديثة مثل طرق الفصل الكروماتوجرافي الغازي GC، وكروماتوجرافيا السائل ذي الكفاءة العالية HPLC، وجهاز الماسح الأيوني Ion Scan . كما تم استخدام المجهر الضوئي المستقطب للكشف عن المتفجرات بناءً على تركيبها البلوري، وتمت الاستفادة من جهاز المجهر الإلكتروني الماسح SEM لتحليل بقايا

(1) http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039914013000192

العناصر الكيميائية المتواجدة ضمن بقايا المواد المتفجرة.[1]

ويمكن إجراء الكشف والتحليل الأولي لعينات المواد المتفجرة بواسطة الاختبارات اللونية كما يلي:

يوجد عدد من الاختبارات اللونية لتحليل عينات المواد المتفجرة سواءً كانت عضوية أو غير عضوية، حيث يستخدم عدد من الكواشف التي تعطي ألواناً مميزة لكل مادة من المواد المتفجرة كما هو موضح في الجدول (٣-٤)، ومن أهم هذه الكواشف:

١-**كاشف جريس**Griess Reagent

ويتكون من جزئين: جريس١ Griess(1) وجريس٢ Griess(2) ويحضر هذا الكاشف بالطريقة التالية:

أ-جريس١:

يذاب١جم من حمض السلفونيليك Sulfanilic acid في ١٠٠ مل من حمض الخلAcetic Acid ذي النسبة ٣٠٪.

ب-جريس٢:

يذاب ٠,٥ جرام من N-(1-napthyl) ethylene di amine في ١٠٠ مل من الكحول الميثيلي.

يستخدم هذا الكاشف بإضافة كميتين متساويتين من جريس١ وجريس ٢ إلى المادة المطلوب الكشف عنها. ولتسريع التفاعل يضاف مسحوق الخارصين كمحفز ومسرع للتفاعل.

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK. .(2006).

٢ -**كاشف ثنائي فينيل الأمين** Diphenylamine Reagent

يحضر هذا الكاشف بإذابة ١ جم منه في ١٠٠ مل من حمض الكبريتيك المركز.

٣- **محلول هيدروكسيد البوتاسيوم** KOH

يحضر هذا الكاشف بإذابة ١٠ جم من المادة الصلبة في ١٠٠ مل من الكحول الأيثيلي.

٤-**كاشف نسلر** Nessler Reagent

ويحضر بإذابة ٥٠ جراماً من يوديد البوتاسيوم KI في ٥٠ ملل من الماء المقطر، ثم يضاف إليه تدريجياً محلولٌ مشبع من كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$ (٦ جرام في ١٠٠ ملل ماء مقطر) حتى يظهر راسب ثابت من يوديد المغنيسيوم MgI_2، بعد ذلك يضاف ٣٠٠ ملل من محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيزه العياري يساوي ٦، ثم يضاف ماء مقطر حتى يصبح الحجم الكلي ٥٠٠ ملل.

يوضح الجدول التالي نتائج الاختبارات اللونية لبعض المتفجرات الشائعة باستخدام الكواشف الثلاثة الأولى:

جدول (٣-٤) نتائج الاختبارات اللونية لبعض المتفجرات.

المادة	اختبار جريس	اختبار ثنائي فينيل الأمين	هيدروكسيدالبوتاسيوم الكحولي
الكلورات	بدون	أزرق	بدون
النتريت	وردي إلى أحمر	أزرق	بدون
النيتروسليلوز	وردي	أزرق غامق	بدون
النيترو جلسرين	وردي إلى أحمر	أزرق	بدون
PETN	وردي إلى أحمر	أزرق	بدون
RDX	وردي إلى أحمر	أزرق	بدون
TNT	بدون	بدون	أحمر
التترايل Tetryl	وردي إلى أحمر	أزرق	أحمر دموي

اختبار محلول نسلر للكشف عن أيون الأمونيوم NH_4^+

خطوات العمل :

١. توضع كمية قليلة من العينة المدروسة في خزفية أو أنبوبة اختبار.

٢. يضاف إلى العينة قطرات من كاشف نسلر .

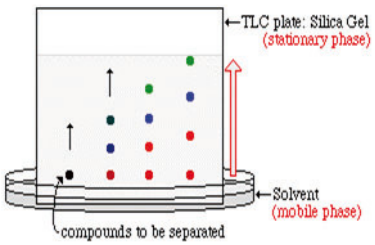
٣. عند ظهور لون أحمر ترابي، فإنه دلالة على وجود أيون الأمونيوم في العينة.

٣- ٨ تقنيات الفصل الكروماتوجرافي:

تعد تقنية الفصل الكروماتوجرافي من أهم التقنيات المستخدمة للكشف عن المتفجرات وتحليلها، ويوجد عدة أنواع من هذه التقنية تعتمد طريقة الفصل فيها على أساس الاختلاف بين طوري الفصل المتحرك والثابت:

١. كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة TLC

وهي عبارة عن طريقة أولية للفصل اللوني بين المواد الكيميائية المختلفة بناءً على معدل السريان وزمن المكوث لكل مادة، ويستخدم فيها طورين: أحداهما ثابت ويحتوي على مادة جل السيليكا مثبتة على لوح زجاجي، وطور متحرك مغمور في مذيب عضوي مناسب للفصل .



شكل (٣-٥) التحليل بطريقة كروماتوجرافيا الطبقة الرقيقة[١]

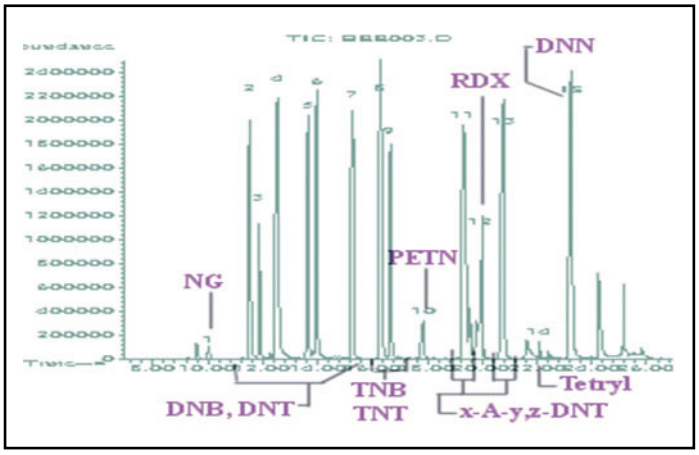
٢. كروماتوجرافيا الغاز GC المرتبط بعدد من المقدرات.

وهي تقنية للفصل الآلي بين المواد المختلفة عن طريق استخدام طور متحرك غازي، وطور ثابت على هيئة أنابيب فصل ذات قطر وأطوال متفاوتة لمواد مختلفة القطبية يتم استخدامها اعتماداً على طبيعة العينات المدروسة.

(١) http://www.aquaculture.ugent.be/Education/coursematerial/ ATA/analysis/lip_extr.htm

شكل (٣-٦) جهاز كروماتوجرافيا الغاز مطياف الكتلة GC-MS

ويوضح الشكل (٣-٧) القمم الكروماتوجرافية لعدد من المتفجرات العضوية التي تم فصلها باستخدام الكروماتوجرافيا الغازية.



شكل (٣-٧) شكل كروماتوجرافي لعدد من المتفجرات[1]

(1) http://pegasus.cc.ucf.edu

٣-كروماتوجرافيا السائل ذو الأداء العالي HPLC

تعد كروماتوجرافيا الغاز GC من أفضل طرق الفصل وأسهلها ، إلا أن بعض المتفجرات لا يمكن فصلها بهذه الطريقة وبالتالي لا يمكن التعرف على العينات المجهولة فيها، لذا يلجأ الخبراء في العادة إلى استخدام تقنيات أخرى للفصل والكشف عن هذه المواد مثل: كروماتوجرافيا السائل ذي الأداء العالي (HPLC High Performance Liquid Chromatography) ، وهي تقنية تعتمد على استخدام محاليل سائلة كطور متحرك (مذيبات)، وأعمدة فصل كطور ثابت مختلفة الأطوال والقطر والقطبية.

شكل (٣-٨) جهاز كروماتوجرافيا السائل ذو الأداء العالي HPLC.

ويمكن تجهيز العينات المختلفة لتحليلها بالطرق الكروماتوجرافية بنفس الطرق التي ذكرت سابقاً في ٢-٨ من هذا الكتاب.

وكما سبق ذكره آنفاً، فإن تقنية كروماتوجرافيا الغاز تعد واحدة من أفضل التقنيات المستخدمة لتحليل المتفجرات، ويستخدم مع هذه التقنية عدد من

المقدرات التي تتميز بالانتقائية والحساسية لكلٍّ من مجاميع النترات، والنتريت، كمقدر محلل الطاقة الحرارية Thermal Energy Analyzer (TEAs)، وأيضا مقدر التأين اللهبي(Flame Ionization Detector (FID الذي يستخدم للتأكد، ولمعرفة المكونات الجزيئية للمتفجرات. بالإضافة إلى مقدر مطياف الكتلةMass Spectrometry Detector (MSD)، كما يمكن استخدام تقنية كروماتوجرافيا السائل ذي الأداء العالي في تحليل عينات المتفجرات عن طريق استخدام مقدرين رئيسين هما: مقدر الأشعة فوق البنفسجية UV، ومقدر الضوء المرئيvisible والتي يمكنها الكشف عن عينات المتفجرات في المجال المرئي وفوق البنفسجي .

كما يمكن الاستفادة من تقنية الكروماتوجرافيا الأيونية-Ion Chroma tography (IC) في تحليل عينات المتفجرات، وذلك لقدرتها في الكشف على كل من الأيونات التالية:

النترات NO_3^-، والنيتريت NO_2، والأمونيوم NH_4^+، والسولفنك SO_3H، وأحادي ميثيل الأمين N^+CH_3 ، وفوق الكلورات ClO_4^- ، والبوتاسيوم K^+ ، والكلورين Cl^-.

إلا أن هذه التقنية قليلة الانتشار في المعامل والمختبرات الجنائية في الوقت الحالي، حيث حلت طرق الانتقال الكهربي الشعيري محلها للكشف عن الأيونات في بقايا المتفجرات، والتي تتميز بأنها لا تحتاج إلى أجهزة معقدة عند الكشف عن المتفجرات.

الفصل الرابع

مخلفات الإطلاق الناري

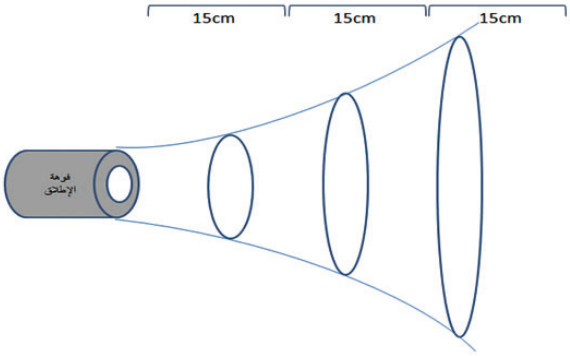
Gun Shot Residue

٤-١ مقدمة

ينتج عن إطلاق النار من أي سلاح ناري وخروج المقذوف باتجاه الهدف عدد من المواد الكيميائية المختلفة وهي إما بقايا لمواد عضوية، أو بقايا لعناصر كيميائية، بالإضافة إلى غازات ساخنة ناتجة من هذا الإطلاق. وأثبتت الدراسات أن مخلفات الإطلاق الناري تنطلق من فوهة السلاح الناري لمسافة محددة فقط، تقدر هذه المسافة بنحو نصف متر، حيث يمكن وجود بقايا للمخلفات على جسم الهدف إذا كانت المسافة بينهما في هذا المدى، كما أثبتت الدراسات أنه بعد ٤٥ سم لا يمكن ملاحظة أي بقايا لهذه المخلفات على الهدف بشرط مراعاة الظروف والمتغيرات الأخرى في البيئة المحيطة بعملية الإطلاق مثل نوع السلاح، نوع الطلقة، وحالة الجو[١].

شكل (٤-١) المقذوف الناري وبقايا مخلفات الإطلاق الناري[٢]

ويوضح الشكل التالي كيفية خروج الطلقة ومخلفاتها، والتي تكون في شكل مخروطي من فوهة السلاح، وطريقة انتشارها حسب تركيبها ووزنها.



شكل (٤-٢) انتشار بقايا الإطلاق الناري على شكل مخروطي

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

(2) http://daily-survival.blogspot.co.uk/2009/05/basic-firearms-part-2-ammunition.htm

كما يمكن معرفة ما إذا كانت عملية الإطلاق قريبة جداً من الهدف أو ملاصقة له وذلك عن طريق ملاحظة التصاق بعض هذه المخلفات على الهدف، أو وجود آثار احتراق على جسم الهدف كما في الشكل (٤-٣).

شكل (٤-٣) آثار مخلفات إطلاق ناري على جسم (إطلاق قريب)[١]

٤-٢ مكونات الطلقة النارية[٢]،[٣]:

تتكون الطلقة النارية من ثلاثة أقسام هي:

١- المادة البادئة primer

٢- القاذفات (المواد الدافعة) propellants

٣ - المقذوف bullet

وفيما يلي شرح لهذه المكونات:

أولاً) المادة البادئةprimer

و تتكون من عدة مكونات، حسب التالي:

أ - **المؤكسد**: هو مادة تحتوي على الأكسجين ضمن مكوناتها، ويقوم دوره على إمداد التفاعل بالأكسجين اللازم للاحتراق، وذلك لعدم توفر أكسجين الهواء الجوي داخل الطلقة، لذا يقوم المؤكسد بدور أكسجين الهواء ويعوضه، ومن أكثر المؤكسدات المستخدمة في الطلقات النارية هو مركب هيبوكلوريت الباريوم $BaClO_3$.

(1) http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science /fsc /april /research (2004)

(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006)

(٣) فارس . غبور ، «كشف بقايا إطلاق الأعيرة النارية» ، جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، (2009) .

ب -المشعل: هذا الجزء هو المسؤول عن إطلاق شرارة الاحتراق الأولية، وذلك عند طرق إبرة الإطلاق، فعند طرقها تحتك بسطح الكبسولة المكونة من هذه المادة، والتي تتميز بالحساسية العالية للاحتكاك مثل كبريتيد الإنتيمون $SbSO_4$ ، فتنطلق شرارة الاحتراق.

ج - الوقود: دور هذا المكون هو الاحتراق داخل حيز المادة البادئة منتجاً طاقة منشطة Ea وغازات حارة قابلة للتمدد بسرعة عالية، فتقوم بتوصيل الحرارة والإشعال إلى المادة الدافعة propellant ، والتي تتكون- في الغالب- من البارود، ونترات السليولوز؛ فينتج من المواد الدافعة غازات حارة تؤدي إلى احتراقها، ونتيجة للحرارة والضغط العاليين تتمدد الغازات حسب القانون العام للغازات:

$$PV = nRT$$

حيث إن :

P : الضغط الجوي، V : حجم الغازات، n : عدد المولات، R : ثابت الغازات، T : درجة الحرارة.

مما يجعله يقوم بدفع المقذوف bullet إلى الأمام بسرعة عالية حسب قانون الطاقة الحركية التالي:

$$KE = 1/2\ mV^2$$

حيث إن :

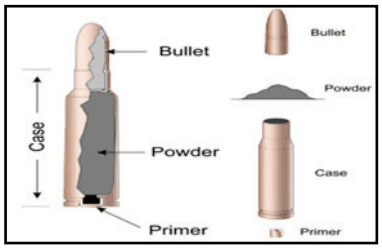
KE : الطاقة الحركية m : الكتلة V: سرعة الغاز

وقد استخدم في الطلقات القديمة مركبات كوقود للاحتراق مثل: فلمنات الزئبق $(C{\equiv}NO)_2Hg$ ، وكلورات البوتاسيوم $KClO_3$ ، ولكنها استبدلت في الطلقات الحديثة بمركبات ذات حساسية للطرق مثل: أزيد الرصاص $(Pb(N_3)_2)$،

وستفينات الرصاص($C_6H_3N_3O_8Pb$)[1]. ويعود السبب في استبدال مركبات الزنبق(Hg) بمركبات الرصاص إلى إمكانية حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بين كل من الزئبق والنحاس المستخدم كظرف projectile يحوي مكونات الطلقة، مما يؤدي إلى تكوين مركبات ثانوية غير مرغوبة من أكاسيد الزئبق النحاسية والتي تؤدي إلى فساد الطلقة وعدم قدرتها على الانطلاق من فوهة سبطانة السلاح.

ثانياً) القاذفات (المواد الدافعة)Propellant [2]،[3]

المواد القاذفة هي مواد كيميائية غير متفجرة لكنها قابلة للاشتعال عند مدها بأي شكل من أشكال الطاقة الحرارية: كالطرق، أو الصعق، والتي تأتيها من المادة البادئة، وينتج عن احتراق المادة القاذفة غازات ساخنة قابلة للتمدد بسرعة عالية في حيز الطلقة المغلق، مما ينتج عن ذلك ارتفاع في الضغط الداخلي للطلقة مقارنة بالضغط الخارجي والذي يعمل على دفع المقذوف bullet إلى خارج فوهة السلاح بسرعة عالية أعلى من سرعة الصوت ومصاحباً له صوت قوي ومدوي، ويبين شكل (٤-٤). تصور للمقذوف الناري وبقايا مخلفات الإطلاق الناري.



شكل (٤-٤) المقذوف الناري وبقايا مخلفات الإطلاق الناري[4]

(1) L Gunaratnam, K , Himberg» The Identification of Gunshot Residue Particles from Lead- Free Sintox Ammunition»,(1994)

(٢) فارس . غبور ، «كشف بقايا إطلاق الأعيرة النارية» ، جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، (٢٠٠٩) .

(3) Stauffer.E , Dolan.J , Nweman .R ,» Fire Debris Analysis «, Academic Press, California,USA ,(2008) .

(4) http://daily-survival.blogspot.co.uk/05/basic-firearms-part-2-ammunition.htm (2009)

وتتميز الطلقة النارية بأنها محدده الاتجاه لأن تصميم المسدس والسلاح الناري يعتمد على تركيز وتوجيه السلاح بحيث تتمدد الغازات فيه باتجاه واحد، وهذا يعمل على نقل معظم الطاقة الحركية للمقذوف الواحد في اتجاه واحد، على النقيض من ذلك في أنابيب التفجير المفرغة، فإنه يحدث لها جميع الظروف السابقة ولكن نظراً لعدم وجود منفذ محدد الاتجاه كما هو موجود في المقذوف الناري؛ فإن الغازات تبحث عن أضعف نقطة للنفاذ، لذا تنفجر الأنبوبة و تطلق قطع متناثرة في جميع الاتجاهات.

ثالثاً) المقذوف Bullet

عبارة عن قطعة معدنية أسطوانية الشكل، تصنع- في العادة- من النحاس، أو النيكل. وللمقذوف أحجام، وأنواع مختلفة تعتمد على نوع السلاح الذي تنطلق منه، وقطر فوهته. بعد أن يضرب الزناد طرف المظروف السفلي تشتعل المادة القاذفة، وينطلق المقذوف من الظرف المعدني- الذي يحوي جميع أجزاء الطلقة- ويندفع نحو الهدف المراد إصابته.

تركيب المادة القاذفة:

يعتبر السليولوز cellules ($C_6H_{10}O_6$) المصدر الأساس للبارود، والذي يستخدم كمادة قاذفة في الطلقات النارية، وهي تستخرج من لحاء الأشجار وألياف بعض النباتات.

ينقسم البارود إلى نوعين رئيسين هما:

١. البارود عديم الدخان آحادي القاعدية:

يتكون هذا النوع عند معاملة السليولوز النقي $C_6H_{10}O_6$ بواسطة حمض النيتريك HNO_3 في وجود حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، وتعرف هذه العملية بعملية النيترة Nitration ، حيث يتم إدخال النيتريت NO_2 إلى داخل جزئ السليولوز، ويتكون ما يعرف بالنيتروسليولوز$(C_6H_8(NO_2)_2O_5)$ الذي يستخدم كمادة قاذفة في طلقات الأسلحة الصغيرة .

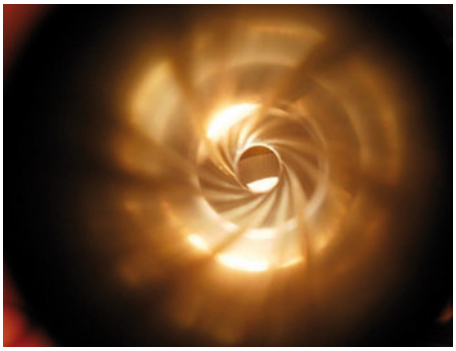
٢. البارود عديم الدخان ثنائي القاعدية:

يتكون هذا النوع من البارود عند خلط النيتروسليولوز أو ما يعرف بالبارود عديم الدخان أحاديي القاعدية مع النيتروجلسرين. كما يمكن استخدام مادة ثنائي فينيل أمين Diphenyl ammine كمادة مثبتة لتثبيت التركيب الكيميائي الفعال للمادة القاذفة وللمحافظة على عدم تغير تركيبها مع مرور الزمن. كما تضاف مواد ملينة مثل ثنائي بيوتيل فثالات-Di bu tyl phthalate ، وذلك لجعل المادة أكثر ليونة لتسهيل تشكيلها أثناء عملية التصنيع، ولزيادة قوة الاشتعال، وتوليد الغازات الدافعة تستخدم مادة مؤكسدة مثل مادة نترات البوتاسيوم KNO_3.

ونظراً لأنه كلما زادت مساحة سطح التلامس بين المواد المتفاعلة تزداد سرعة التفاعل؛ لذا يتم تعبئة وتشكيل المواد القاذفة في الطلقة للأسلحة الصغيرة على هيئة شرائح مربعة الشكل أو كرات أسطوانية مثقبة، وفي بعض الطلقات الحديثة تعبأ على شكل أقراص مستديرة الشكل دقيقة التكوين.

٤-٣ ميكانيكية خروج المقذوف من سبطانة السلاح وتكوّن الغازات الدافعة[١]:

يعتمد المقذوف في الطلقات النارية على المادة القاذفة بشكل رئيس، حيث تحترق المادة القاذفة عند ضرب إبرة الإطلاق الناري للمادة البادئة، فيتكون ضغط عالٍ في حيز الطلقة المغلق، مما يؤدي إلى انطلاق المقذوف من سبطانة السلاح gun barrel . ومن المعروف إن السبطانة تتكون من جزئين مهمين هما: السدود Land ، والخدود Groove، ويصاحب هذا الانطلاق للمقذوف كمية من الغازات المحترقة والتي تكون على شكل حلقة دخانية بشكل لولبي ملتوي twist مروراً بالسدود والخدود. ودور الخدود في هذه الحالة يتمثل في: المساعدة على دفع المقذوف إلى الخارج عن طريق السماح بخروج جزء من غازات المادة القاذفة، مما يجعل المقذوف ينطلق بسرعة عالية. كما أن الخدود تعمل على حدوث الانفجار نتيجة لضغط الغازات المحصورة في غرفة الإطلاق.



شكل (٤-٥) انطلاق المقذوف من سبطانة السلاح ويظهر كل من السدود والخدود[٢]

والمواد القاذفة – كما ذكر سابقا- مواد غير متفجرة، وإنما مواد تشتعل وتنتج غازات ساخنة بكميات كبيرة قابلة للتمدد، مما يسبب ارتفاع الضغط في الحيز المغلق للطلقة، والذي يؤدي إلى خروج المقذوف بسرعة عالية مرافقاً له صوت قوٍ ومدوٍ ناتج عن فرق الضغط بين الضغط الداخلي للطلقة والضغط الخارجي الطبيعي. كما تحتوي هذه الغازات المحترقة على خليط من حبيبات

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006)

(٢) http://www.museevirtuel-virtualmuseum.ca

البــارود غير المحترقــة (بقايا جزيئات النيتروسليولوز) ودخــان أسود ناشئ عن احتراق المواد العضوية في السليولوز (الكربون والهيدروجين). كما يمكن أن يكون من نواتج هــذا الدخان بعض الفلزات المعدنيــة كالرصاص، والإنتيمــوني، والباريــوم، والنحاس، والتيتانيــوم، وغــير ذلك من المكونات التي يمكن أن تضــاف إلى الكبسولــة، ويوضح شكل (٤-٦) طريقة خروج المقذوف الناري من فوهة الإطلاق.

شكل(٤-٦) طريقة خروج المقذوف الناري من فوهة الإطلاق[1]

ويمكن تلخيص ميكانيكية العملية السابقة بأنه: عند ضرب إبرة الإطلاق الناري تنتج طاقة كيميائية ينتج عنها حرارة، وطاقة ميكانيكية، مما يؤدي إلى إنتاج طاقة حركية، ويمكن توضيحها بالمعادلات التالية:

$$ME \longrightarrow CE \longrightarrow ME+(heat) \longrightarrow KE$$

حيث إن : ME : الطاقة الميكانيكية، CE : الطاقة الكيميائية، KE : الطاقة الحركية.

(1) http://basracrimelab.com/Chemistry.php

٤-٤ حساب طاقة وسرعة المقذوف والغازات المنطلقة[١]

إن الطاقة الكيميائيةQ المنطلقة من المادة القاذفة Propellantتنتقل إلى المقذوف Bullet لإمداده بالطاقة الحركية التي تمكنه من الانطلاق إلى الهدف، ولفهم كيفية حساب الطاقة الكيميائية المنطلقة من المادة القاذفة تستخدم المعادلة التالية:

$$Qmp = \frac{1}{2}\, mb\, V^2$$

حيث إن:

Q : الطاقة الكيميائية وهي الحرارة المتكونة لكل جرام من المادة القاذفة.

mp : كتلة جرام واحد من المادة القاذفة.

mb : كتلة المقذوف.

V : سرعة المقذوف.

وبإعادة ترتيب هذه المعادلة يمكن تحديد السرعة الناشئة للمقذوف عند مغادرته لفوهة السلاح الناري بالمعادلة التالية:

$$V = \sqrt{\frac{2\, mp\, Q}{mb}}$$

كما يمكن إضافة عامل ذي قيمة ثابتة ومعروفة وهو (μ) للحصول على قيم دقيقة:

$$V = \sqrt{\frac{2\, mp\, Q\, \mu}{mb}}$$

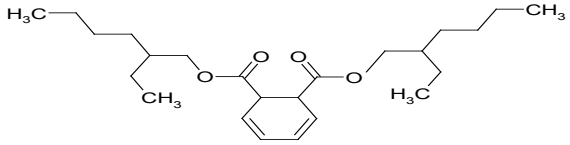
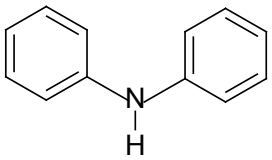
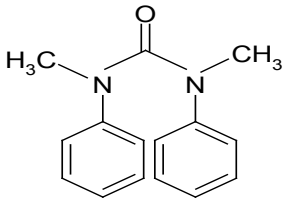
---

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006)

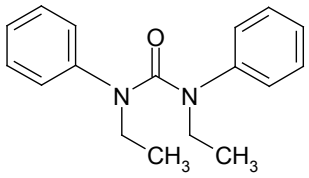
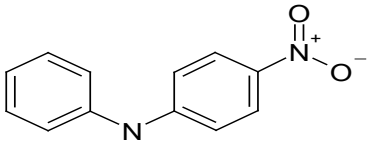
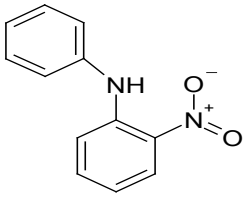
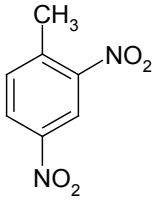
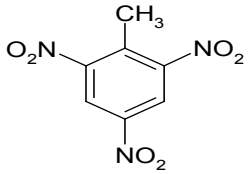
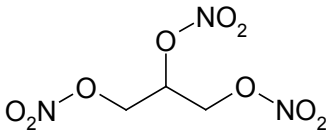
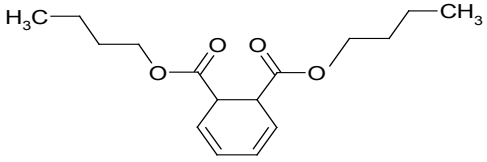
٤-٥ التحليل العضوي لمخلفات الإطلاق الناري

يمكن الكشف عن بعض المركبات العضوية الموجودة في مكونات الطلقة، والتي تستخدم في العادة ضمن مكونات البادئ، أو كمثبت، أو كمعيق لحدوث انفجار في الكبسولة عن طريق تحليلها بجهاز كروماتوجرافيا الغاز المرتبط بمطياف الكتلة. وبمقارنة هذه المواد مع المكونات غير العضوية، فإنها تصنف بأنها أقل ثباتاً من المركبات العضوية في بقايا مخلفات الإطلاق الناري، كما يمكن الكشف عنها فقط خلال الساعات الأولى من عملية الإطلاق، ويضم الجدول التالي قائمة بأهم المكونات العضوية لمخلفات الإطلاق الناري و وظيفتها.

جدول (٤-١) أهم المكونات العضوية لمخلفات الإطلاق الناري و وظائفها[١]

المكون	الوظيفة	التركيب الكيميائي
ثنائي أوكتيل الفثالات	ملدنات	
ثنائي فينيل أمين	مثبتات	
سنترااليت الميثيل	مثبتات	

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006) .

سنترااليت الإيثيل	مثبتات	
نيترو ٤- ثنائي فينيل أمين	التفاعل من خلال ناتج المثبت	
نيترو-٢- ثنائي فينيل أمين	التفاعل من خلال ناتج المثبت	
ثنائي نيترو تولوين	وقود دفعي	
ثلاثي نيترو تولوين	وقود دفعي	
نيترو جليسرين	وقود دفعي	
ثنائي بيوتيل الفثالات	ملدنات	

٤-٦ التحليل اللوني لمخلفات الإطلاق الناري[١]،[٢]:

يمكن الاستفادة من تواجد بعض الأنيونات مثل: النترات (Ni-trate) NO_3^-، والنيتريت(Nitrite) NO_2^- كتحليل أولي، أو اختبار مبدئي لمخلفات الإطلاق الناري، حيث توجد النترات ضمن مؤكسدات الوقود، وكذلك في المواد القاذفة. كما يمكن أن توجد في مساحيق التجميل، وأسمدة التربة، وعدد من المنتجات الزراعية الأخرى؛ لذا عند الكشف عنها يجب توخي الدقة في تحديد مصدرها، في حين أن النيتريت NO_2^- أقل انتشارا في البيئة وأكثر تأكيداً على أن المصدر من مخلفات الإطلاق الناري.

ونتيجةً لتوافر مثل هذه المواد في أغلب الطلقات النارية، فيمكن الاستفادة من إجراء بعض الاختبارات الكيميائية بواسطة عدد من الكواشف الكيميائية، والتي تساعد المحلل في الكشف عن النترات، وبالتالي مخلفات الإطلاق الناري.

الاختبارات الشائعة للكشف عن النترات المتوقع أنها ناتجة من مخلفات الإطلاق الناري:

١. **اختبار البارافين** Paraffin test

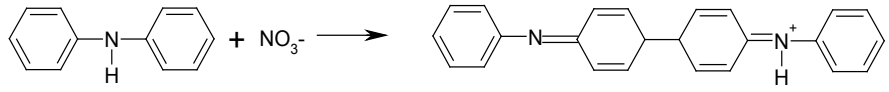
ويسمي أيضاً باختبار النترات على الجلد dermal nitrate test، ويتكون من: تفاعل ثنائي فينيل أمين Diphenyl amine مع النترات. يقوم هذا الاختبار على أساس غمس يد المشتبه به في شمع ساخن وتركه؛ ليجمع الآثار الموجودة على يد المشتبه به. بعد ذلك يؤخذ الشمع ويعالج بمادة ثنائي فنيل أمين لاكتشاف عينات النترات المترسبة، إلا إنه تم منع استخدام هذا الاختبار بسبب الحصول على نتائج إيجابية عالية بشكل غير منطقي، حيث أوضحت الدراسات أن النترات قد ينتج من مصادر أخرى طبيعية وصناعية كالأسمدة، ومساحيق التجميل، وغيرها- كما ذكر آنفاً- لذا لا يمكن أن يعتمد على نتيجة هذا الاختبار.

(1) Newton , D. «The New Chemistry – Forensic Chemistry», Facts On File Inc,New York ,USA , (2007).

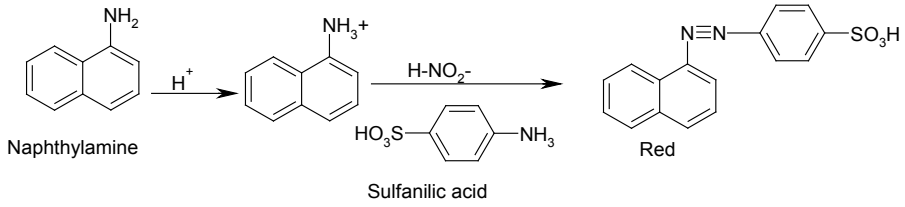
(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

وتتم تفاعلات اختبار البارافين للتعرف على أيون النترات حسب المعادلات التالية:

يتفاعل ثنائي الفينيل أمين مع النترات لإنتاج مركب ذي لون أزرق:

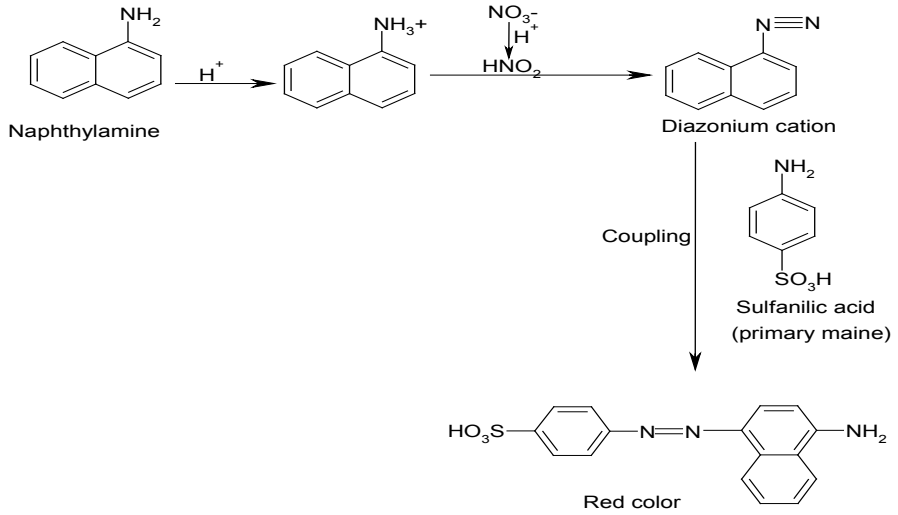


كما يتفاعل أيون النترات مع النفثيل أمين منتجاً مركباً ذا لون أحمر:



٢-اختبار وولكر walker test

يستخدم هذا الاختبار في تقدير المسافات بين فوهة السلاح الناري، و جسم الهدف حيث، يستخدم ورق فوتوغرافي متشبع بالنفثيل أمين مع حمض السلفونيليك، حسب معادلات التفاعل التالية:



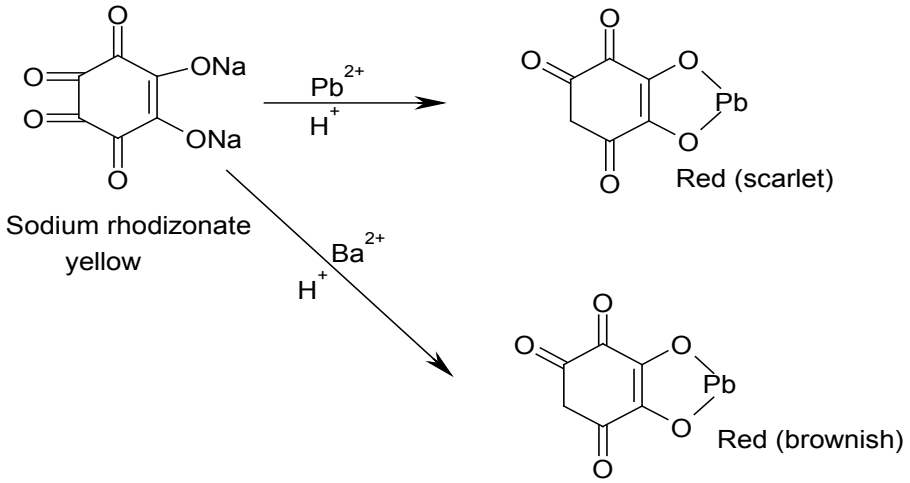
حيث توضع العينة المدروسة مثل الملابس على الورقة المشبعة بالمواد السابقة ذكرها، ثم تضغط باستخدام مكوى لضغط الورق على العينة، فإذا ظهر لون أحمر، فإنه دلالة على وجود نترات مترسبة.

٣-اختبار جريس Greiss test

يتكون من مركب سلوفين أميد ونفثيل أمين في وسط حمضي Sulfa-nilamide and naphthylamin in acidic solution كما يمكن أن يوجد كلٌ من الكادميوم Cd، أو الزنكZn في هذا الكاشف. ودور كاشف جريس في هذا الاختبار هو اختزال النترات NO_3^- إلى النيتريت NO_2^-، بعد ذلك يتفاعل النيتريت مع الكواشف ليكون صبغة مميزة للآزو -N=N- .

٤-اختبار (الرديوزينات) أردزيونات الصوديوم Sodium rhodizonate test

يمكن الكشف عن وجود كل من الرصاص Pb ، والباريوم Ba الناتج من مخلفات الإطلاق الناري كما يلي:



وفي الوقت الحاضر قلت أهمية هذا الاختبار بسبب المسائل المتعلقة بسمية الرصاص.

٤-٧ طرق التحليل الآلي لمخلفات الإطلاق الناري المعدنية

مع تطور التقنيات الحديثة لتحليل العينات المختلفة في المجال الكيميائي ظهرت أجهزة وطرق حديثة لتحليل مخلفات الإطلاق الناري، وفيما يلي قائمة بأهم التقنيات المستخدمة في هذا المجال[١]،[٢]:

١. جهاز الامتصاص الذري Atomic Absorption سواءً باللهب أو بفرن الجرافيت،حيث كانت تجمع بقايا مخلفات الإطلاق الناري بواسطة مسحات swabs مرطبة بحمض النيتريك المخفف بنسبة ١-٥٪، ثم تحلل هذه المخلفات باستخدام جهاز الامتصاص الذري- سيتم شرحه لاحقاً- والذي يتم فيه الكشف عن العناصر الكيميائية المطلوبة.

٢. بعد ذلك ظهرت تقنية أقل استخداماً، هي تقنية التحليل النيتروني المنشط (NAA) Neutron Activation Analysis ثم ظهرت تقنية النزع الفولتاميتري المصعديAnodic Stripping Voltammetry.

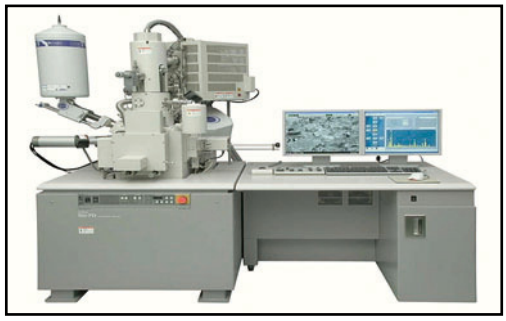
٣. تلا ذلك ظهور تقنية التوهج الضوئي Photo luminescence ، بعد ذلك تم ربط جهاز الحث البلازمي ICP بكل من جهاز الانبعاث الذري (AES)، ومطياف الكتلة MS ،ولكنها لم تستخدم بكثرة في تحليل مخلفات الإطلاق الناري.

٤. في الوقت الحاضر تستخدم تقنية ذات كفاءة ودقة عالية للكشف عن جميع العناصر الموجودة في مخلفات الإطلاق الناري وهي تقنية المجهر الإلكتروني الماسح (SED) Scanning Electron Microscopy، كما هو موضح في شكل (٤-٧).

(1) Newton , D. «The New Chemistry – Forensic Chemistry», Facts On File Inc,New York ,USA , (2007).

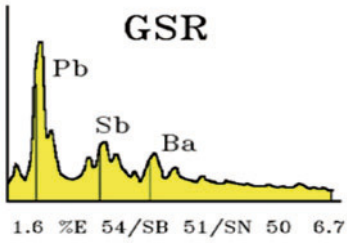
(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

يتميز جهاز المجهر الإلكتروني الماسح SEM-EDX بقدرته الفائقة على إظهار صور إلكترونية غاية في الدقة، حيث إنه يستخدم حزم من الإلكترونات المندفعة والتي تعطي قوة تكبير عالية تصل في المجهر الإلكتروني الماسح SEMإلى ٣٠٠ ألف ضعف للصورة الحقيقية بينما، تصل في المجهر الإلكتروني النفاذ TEM إلى نحو مليون ضعف للصورة الحقيقية، ويوضح شكل (٤-٨) طيف إلكتروني لجزء من بقايا معادن الإطلاق الناري.



شكل (٤-٧) يوضح لمجهر الإلكتروني الماسح

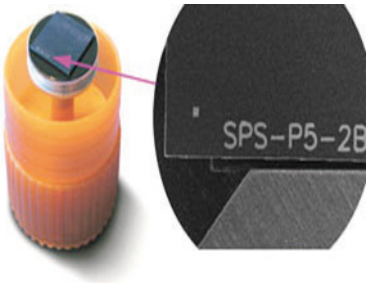
يستفاد من المجهر الإلكتروني الماسح في الكشف عن العناصر المعدنية في بقايا مخلفات الإطلاق الناري، حيث تكون نتائجه ذات دقة عالية جداً، والمقدر المستخدم في هذا الجهاز من نوع EDX، وهو مقدر طاقة الأشعة السينية المشتتة، ويتميز باحتوائه على بصمة لكل عنصر في الجدول الدوري، حيث إنه يحتوي على قيم ثابتة من طاقات الانتقالات المدارية K،L،M الأولية أو الثانوية. ويعيب هذا الجهاز تكلفته العالية مقارنة بالأجهزة السابقة، ومع ذلك فهو يصنف ضمن أفضل الأجهزة المستخدمة لفحص مخلفات الإطلاق الناري، حيث يعطي وصفاً كاملاً وشاملاً للعناصر المدروسة وأماكن وجودها.



شكل (٤-٨) طيف الكتروني لجزء من بقايا معادن الإطلاق الناري[1]

(1) http://jim-norris.com/Gunshot%20Residue.html

الجدير بالذكر أن الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM) American Society for Testing and Materials اعتمدت معياراً محدداً لإجراء الكشف على فحص مخلفات الإطلاق الناري GSR تشتمل على خطوات محددة وضرورية[1]. ويمكن جمع وتحريز العينات في هذا النوع من الأجهزة عن طريق استخدام شريط، أو لواصق محددة يطلق عليها حلقات الكربون اللاصقة الموضحة في شكل (٤-٩).



شكل (٤-٩) حلقة الكربون اللاصقة المستخدمة للكشف عن مخلفات الإطلاق الناري[2]

٤-٨ التحليل الجنائي لبقايا مخلفات الإطلاق[3]، [4]

إن المركبات المستخدمة لتكوين الطلقة النارية تحتوي على عناصر معدنية لها أهمية بالغة في مجال التحليل الجنائي، ومن أهم العناصر التي يتم الكشف عنها في هذا النوع هي الرصاص Pb، والإنتيمون Sb، والباريوم Ba، حيث تبقى هذه العناصر على طبيعتها بعد الإطلاق. فعند انفجار البادئ تنطلق معه الغازات الساخنة بسبب الحرارة والضغط العاليين؛ وينتج عن ذلك تبخر هذه العناصر، بعد ذلك تبدأ هذه الغازات الساخنة بالتكثف بعد انخفاض درجة الحرارة، ويتراوح حجم هذه العناصر من ١٠-١٠٠ ميكروميتر، معظمها وليس كلها تكون كروية الشكل، كما تتميز هذه العناصر بأنها تتجمع فيما بينها لتكوين جزئيات أكبر، حيث تظهر متكتلة، وغير منتظمة مثل تجمع جزئيات المحاليل الغروية.

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006)

(2) http://www.tedpella.com/calibrat_html/gunshot.htm

(٣) الضباح. عبدالرحمن، آل جابر. سلطان، « دراسة العوامل المؤثرة على بقاء مخلفات الإطلاق الناري على الأيدي والأوجه» ، كلية الملك فهد الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ،(2013).

(4) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

يعد ظهور كل من الرصاص، و الأنتمون، والباريوم من الخصائص المميزة عند الكشف عن مخلفات الإطلاق الناري GSR، على الرغم مع إمكانية ظهور عناصر أخرى، ولكنها لا تعد مميزة، وذلك لاحتمال ظهورها في البيئة بشكل كبير مثل الكالسيوم Ca، والكبريت S، والسيليكون Si. ونظراً لمطالبات بعض المهتمين بالبيئة بعدم التعامل مع الرصاص لسميته، وأثاره الضارة عليها، استخدمت مركبات أخري في تكوين المادة البادئة، وهذا سبّب صعوبة عند الكشف عن مخلفات الإطلاق؛ لأن عنصر الرصاص من العناصر الرئيسة المحددة في هذا النوع من الكشف.

لحل هذه المشكلة، تم الاستعانة ببدائل أخرى من العناصر الكيميائية كي تحل محل عنصر الرصاص في الوقود، فاستخدمت مركبات الزنك، ومركبات الزئبق مثل: فلمنات الزئبق كبدائل لمركب ستيفينات الرصاص، لكن للأسف عند تطبيق ذلك عملياً، ظهر أن هناك مركبات الزئبق أقل فعالية من مركبات الرصاص بسبب حدوث تفاعلات جانبية لمركبات الزئبق من خلال عمليتي الأكسدة والاختزال من جهة، ومركبات النحاس من جهةٍ أخرى، أضف إلى ذلك صعوبة الكشف عنها عند تحليلها بسبب سرعة تطايرها مع الحرارة العالية نظراً لطبيعة الزئبق السائلة.

كما يوجد بدائل أخرى للمؤكسدات، فقد يحل ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 بديلاً عن هيبوكلورات الباريوم $BaClO_3$، لذا يمكن أن يكون من ضمن نواتج التحليل عنصر التيتانيوم Ti.

يظهر- في الغالب- عند تحليل مخلفات الإطلاق الناري عناصر لكل من: الرصاص، والباريوم، والأنتمون Pb،Ba،Sb، كما يمكن أن يظهر في عينات أُخرى عناصر مثل: Zn،Ti،St ، وذلك حسب تكوين المادة البادئة في الطلقة النارية، والتي تختلف من طلقة إلى أخرى، ومن سلاح إلى آخر، ويوضح الجدول (٤-٢)

بعض الخواص العامة لكل من الباريوم، الأنتمون، والرصاص:

جدول (٤-٢) يوضح بعض خصائص عناصر الإطلاق الناري.

العنصر	الكتلة(جرام/مول)	درجة الانصهار(مئوية)
الرصاص Pb	٢٠٧,٢	٣٢٨ درجة مئوية
الإنتيموني Sb	١٢١,٧٥	٦٣١درجة مئوية
الباريوم Ba	١٣٧,٣٤	٧٢٧ درجة مئوية

إجمالاً عند إجراء التحليل الخاص بالكشف عن مخلفات الإطلاق الناري بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح توجد ثلاثة احتمالات هي:

١. عندما يظهر في الطيف الإلكتروني المدروس ثلاثة عناصر مثل Ba و Pb و Sb، أو Znو StوTi مع بعضها بعضا، وكان عددها ثلاث وحدات فأكثر؛ فإن هذا دلالة قطعية على إن هذه العينة مصدرها إطلاق ناري، ويعتد بهذه النتيجة قانونياً، ويطلق عليها في جهاز التحليل بالنتيجة الفريدة، أو المميزة Unique .

٢. عند ظهور عنصرين فقط من عناصر مخلفات الإطلاق الناري في الطيف الإلكتروني المدروس مجتمعة مع بعضها البعض مثل Sbو Sb، Baو Pb، Ba وPb فإن هذا يشير إلى احتمالية أن هذه العناصر ناتجة من عملية إطلاق ناري، ويطلق عليها في جهاز التحليل بالنتيجة الدالة Indicative.

٣. عند ظهور عنصر واحد فقط من العناصر الكيميائية مثل Cu، أو Fe، أو Pb، أو غيرها من العناصر في الطيف الإلكتروني، فيمكن أن يكون ذلك ناتج من البيئة ويطلق على هذه النتيجة في جهاز التحليل بالنتيجة البيئية Environmental ، ولا يعتد بهذا النوع من النتائج قانونياً، أي لا يتوقع أنها ناتجة من مخلفات الإطلاق الناري.

٤-٩ طرق رفع مخلفات الإطلاق الناري[١]،[٢]

يتم رفع مخلفات الإطلاق الناري من الأشخاص المشتبه بهم بواسطة أدوات خاصة مصممة لهذا الغرض، حيث تنتشر مخلفات الإطلاق- في معظم الأحيان- على أيدي، وملابس، ووجه من قام باستخدام السلاح الناري أثناء الإطلاق، كما يمكن وجود هذه البقايا في بعض المواقع المحيطة بمنطقة الإطلاق، فيمكن ترسبها على الأدوات والأشياء القريبة من منطقة الإطلاق كالفرش، والكراسي، وكذلك في السيارات أثناء الإطلاق في عمليات الاقتحام، والاختطاف المصاحب له إطلاق ناري.

توجد طريقتان لجمع بقايا مخلفات الإطلاق الناري حسب التالي:

١-استخدام أعواد قطنية مع حمض النيتريك المخفف ٥٪

تستخدم هذه الطريقة لرفع بقايا مخلفات الإطلاق الناري من يد ووجه الشخص المتهم، أوالأثاث القريب من موقع الإطلاق، وتتكون أدوات الرفع من خمس عبوات منفصلة بحيث تحتوي كل واحدة منها على عودين قطنيين، ويتم الرفع بعناية ودقة حيث يغمس العود القطني بعد فحصه والتأكد من عدم تلوثه في حمض النيتريك المخفف٥٪، ثم يمرر على موقع الرفع كما يلي:

- ظاهر اليد اليمنى.
- باطن اليد اليمنى.
- ظاهر اليد اليسرى.
- باطن اليد اليسرى.
- عينة قياسية من الحمض فقط Control .

---

(1) West Virginia State Police ,(8th Addition) , Laboratory Filed Manual

(٢) الضباح. عبدالرحمن، آل جابر. سلطان، « دراسة العوامل المؤثرة على بقاء مخلفات الإطلاق الناري على الأيدي والأوجه» ، كلية الملك فهد الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ،(٢٠١٣).

والعينة الأخيرة هي عينة قياسية تحتوي على حمض النيتريك فقط، ويتم فحصها مع بقية العينات لأجل التأكد من نقاوة المحلول المستخدم وعدم تلوثه، كما أنها تعد عينة مرجعية للعينات، ويوضح شكل(٤-١٠) الأدوات الشائعة لرفع بقايا الإطلاق الناري.

شكل(٤-١٠) أدوات رفع بقايا الإطلاق الناري التقليدية (قطن – حمض النيتريك)[1]

بعد ذلك يتم استخلاص هذه العينات باستخدام محلول حمض النيتريك عن طريق إدخالها في جهاز الطرد المركزي لاستخلاص العينة ،ثمّ يتم تحليلها باستخدام جهاز الامتصاص الذري شكل (٤-١١) الذي يكشف عن عناصر مخلفات الإطلاق الناري الرئيسة وهي: الباريوم، والرصاص، والإنتيمون وعدد من العناصر الأخرى التي قد تظهر في بعض أنواع الطلقات كالتيتانيوم، والزنك، والقصدير.

شكل(٤-١١) جهاز الامتصاص الذري

جدير بالذكر أن هذه الطريقة تحتاج لزمن طويل لتجهيز، وتحضير العينة، كما يحتمل فقد جزء من العينات المرفوعة. بالإضافة إلى إن عملية التحليل قد تستغرق وقتا طويلاً، ونظراً للملاحظات السابقة ولتوفر الخصائص الدقيقة والشاملة في جهاز المجهر الماسح الإلكتروني، فقد قل استخدام جهاز الامتصاص الذري في تحليل مخلفات الإطلاق الناري واستعيض عنه بجهاز المجهر الإلكتروني الماسح.

(1) https://www.lynnpeavey.com/index.ph

٢- استخدام حلقات الكربون اللاصقة:

تستخدم هذه الأدوات لرفع بقايا مخلفات الإطلاق الناري لأجل تحليلها بواسطة جهاز المجهر الإلكتروني الماسح SEM-EDX، وهي أكثر دقة وأسهل استخداماً من طريقة أعواد القطن المبللة بحمض النيتريك، كما تتميز هذه الطريقة بأنها أكثر شمولية في الكشف عن العناصر الموجودة في مخلفات الإطلاق، ذلك أن المجهر الإلكتروني يقوم بمسح العينات الموجودة في حلقة الكربون اللاصقة، ويعطي مسحاً شاملاً لكل العناصر الكيميائية الممكن توافرها على هذه الأدوات مثل: الباريوم، والرصاص، والإنتيمون، والتيتانيوم، والقصدير، والألومنيوم، والنحاس، والزنك، والفضة وغيرها من العناصر. كذلك من مميزات هذه الحلقات أنه ليس لها تاريخ صلاحية محدد على العكس من المحاليل المستخدمة في طريقة أعواد القطن، ويوضح شكل (٤-١٢) حلقات الكربون اللاصقة المستخدمة في رفع بقايا الإطلاق الناري.

ويمكن الرفع بهذه الطريقة لكلٍ من الأيدي والوجه، والهدف من الرفع من الوجه احتمالية تلاشي بقايا مخلفات الإطلاق من اليدين بسبب الحركة العادية للإنسان أو عند غسلها، كما يمكن رفع عينات من الملابس والأشياء القريبة للرجوع لها عند الحاجة، مع مراعاة عدم نزع الملابس التي يرتديها المتهم؛ لأن ذلك يعمل على فقدان بعض مخلفات الإطلاق. وفيما يلي توضيح لأهم خطوات رفع مخلفات الإطلاق الناري باستخدام حلقات الكربون اللاصقة:

- يجب غسل يدي الشخص المسؤول عن الرفع جيداً.
- يتم فتح أدوات رفع بقايا الإطلاق الناري .
- يجب لبس القفازات الموجودة بداخل صندوق الأدوات .
- يتم نزع غطاء العبوة المحتوية على حلقة الكربون، والمخصصة لظاهر اليد اليمنى، والبدء بالرفع مركزا على المنطقة الواقعة بين الإبهام

والسبابة، ومروراً بباقي ظاهر اليد.

- تكرر الخطوة رقم (٤) لباطن اليد اليمنى حيث يبدأ الرفع من المنطقة الواقعة بين أصبعي السبابة والإبهام باتجاه باطن اليد ومروراً بباقي راحة اليد.
- تكرر الخطوتين (٤) و (٥) مع اليد اليسرى.
- تغلق العبوة ويسجل نوع اليد المرفوعة واتجاه الرفع.
- ينزع غطاء العبوة المخصصة للوجه، ويتم جمع العينات من مناطق الجلد بالوجه، ثم تغلق العبوة.
- تسجل بيانات الرفع، ووقت وتاريخ الرفع، ثمّ توضع في الظرف، كما ذكر في خطوات الرفع والتحريز السابقة.

شكل (٤-١٢) حلقات الكربون اللاصق المستخدمة في رفع بقايا الإطلاق الناري[1]

(1) http://arrowhead.frida1.com/evidence-collection/gun-shot-residue-gsr-kit-sem-4-carbon-disks- envelope.html

الفصل الخامس

كيمياء الطلاء

Chemistry of Paint

٥-١ مقدمة

تعد كيمياء الطلاء من التطبيقات المهمة في الكيمياء الجنائية، حيث يمكن الاستفادة منها كأدلة وشواهد في مجالات واسعة من القضايا الجنائية كسرقات المنازل، وحوادث السيارات، والكتابة على الجدران، وما يتبع ذلك.

يمكن أن يوجد الطلاء في أماكن مختلفة مثل البنايات، والمركبات (السيارات)، والأدوات، والأثاث، وقطع الزخرفة، وبعدة ألوان، وبدرجات مختلفة، كما تختلف المواد باختلاف الطلاء المستخدم فيها، فإضافة طبقة جديدة لعينة من الطلاء يؤدي إلى إحداث تغير في خصائصها.

إن الهدف الأساس من التحليل الجنائي لعينات الطلاء هو البحث عن مدى ارتباط العينات الموجودة في مسرح الحادث مع العينات المشتبه بها أو المضبوطة، كذلك مدى الترابط بين العينات المنتقلة والموجودة على الأدوات والمواد بالأشخاص المشتبه بهم.

٥-٢ تعريف الطلاء

يعرف الطلاء بأنه «أي مادة تستخدم لتغليف الأسطح coating لأجل الزخرفةdecoration ، أو الحماية Protective ، أو كليهما» ويستفاد من كيمياء الطلاء جنائياً في مجالات عدة مثل: حوادث السير، وجرائم السطو، والاحتيال، والتزوير، وغيرها من الجرائم كالقتل، والإرهاب. وعن طريق دراسة خواص طبقات الطلاء، وطرق انتقالها إلى المواد والأدوات المختلفة؛ يمكن الكشف عن غموض القضايا وإظهار الحقيقة[1].

(1) Jamieson . A , Moenssens ,A .et al. Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science», Wiley ,UK, (2009).

٥-٣ مكونات الطلاء[١]:

١-**الصبغات** Dyes **والمخضبات** Pigments :

الطلاء عبارة عن صبغات ملونة Dyesقابلة للذوبان في المحلول مباشرة، أو مخضبات Pigments تكون على هيئة حبيبات عالقة في محلول الطلاء.

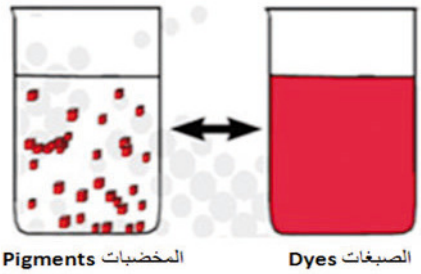
ويمكن التفريق بين الصبغات والمخضبات بما يلي:

أ-**المصدر**: تتكون الصبغات في العادة من مركبات عضوية، في حين تتكون المخضبات من معادن، أو مركبات غير عضوية تحتوي على عناصر انتقالية.

ب-**قابليتها للذوبان**: تذوب الأصباغ في أغلب المذيبات سواء عضوية ،أو غير عضوية، في حين أن المخضبات تكون جزئياتها ذات طبيعة غروية،لذلك فهي لا تذوب في المحاليل الموجودة فيها، بل تكون معلقة.

ج-**الحجم**: تتميز الصبغات بأنها صغيرة الحجم، بينما المخضبات تتميز بكبر حجمها. وأقرب تشبيه أو مقارنة بين الصبغات والمخضبات هو مقارنة كرة رأس القلم بكرة القدم.

يمكن أن يوجد كلا النوعين في محلول واحد مثل الأحبار حيث إن كل نوع يذوب حسب طريقته، كما هو موضح في الشكل (٥-١)



شكل (٥-١)طريقة ذوبان الصبغات والمخضبات في المحاليل[٢]

(1) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

(2) http://www.dispersions-pigments.basf.com

٢-المواد المذيبة (المذيبات) Solvents

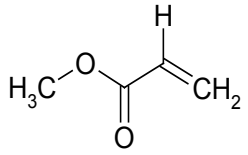
هو عبارة عن الجزء الذي يتطاير من الطلاء volatile portion، ويتلاشى من العينة حتى تجف بشكل كامل، ويوجد عدة أنواع من المذيبات التي تستخدم لتجفيف طبقة الدهان على الأسطح حتى تتبخر مثل، التولوين، والأسيتون، والتنر.

٣-المواد الرابطة أو المثبتة and Binders Resin

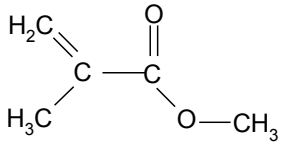
هي عبارة عن سوائل تحتوي على جميع مكونات الطلاء، وهي مسؤولة عن تحديد نوع الطلاء ماإذا كان مائياً ،أو زيتياً، أو سليلوزياً، أو كحولياً. كما تقوم هذه المواد بتثبيت الصبغات أو المخضبات وغيرها من المواد الموجودة فيها، ودور المواد المثبتة: إعطاء الطلاء عدد من الخواص مثل: خاصية الالتصاق adhesive ، والاستمراريةdurability ، واللدانة أو المرونةflexibility ، بالإضافة إلى القدرة على المقاومة الكيميائية.

ومن الأمثلة على المواد الرابطة مايلي :

١ – **إكريلات الميثيل** methyl acrylate



٢ – **ميثاكريلات الميثيل** methyl methacrylate



تقوم المواد الرابطة بتثبيت الطلاء بالاشتراك مع المذيبات بواسطة الطرق التالية:

أ– **البلمرة** Polymerization : تتبلمر الراتنجات نتيجة التسخين أو عن طريق المواد الحفازة.

ب – **الأكسدة**Oxidation : يتم ذلك عن طريق التفاعل بين الروابط الثنائية للكربون C=C مع الأكسجين، حيث يقوم الأكسجين بتكوين البوليمر الرابط.

ج – **تبخير المذيب**:Solvent vibration يؤدي تبخير المذيب إلى ارتباط الجزيئات فيما بينها.

د – **التخثر أو التجمد** Coagulation: تتجمد جزيئات المحاليل المفككة في بناء شبكي و يعد راتينج الأكايد Alkyd من أكثر المواد المستخدمة في هذا النوع من الربط، ومصطلح Alkyd ناتج من دمج كلمتي الكحول Alcohol والحمض Acid.

٤ – **المضافات** Additives

هي عبارة عن مواد يتم إضافتها إلى الطلاء لإكسابه عدد من الخصائص والمزايا مثل:

- مقاومة تأثير الماء والحرارة .
- اللمعان .
- المرونة أو الصلابة .
- سرعة التجفيف .
- تثبيت الدهان على الأسطح .

- مقاومة الصدأ .
- مقاومة بعض أنواع البكتيريا والفطريات.

ويعتمد إضافة أي نوع من هذه المواد على الغرض الأساس للطلاء المستخدم ما إذا كان لطلاء السيارات، أم المنازل، أم الإكسسوارات، وغيرها.

ومن العيوب الرئيسة عند إجراء عملية الطلاء للعينات في المواقع سابقة الذكر، ظهور ما يعرف بفقاعات الرغوات حيث تعمل على تشويه السطح، وللقضاء على هذه العملية تستخدم مواد مضادة للرغوة، والتي تتصف بأنها ذات درجة التصاق عالية ، كما إنها تكون مضادة للجراثيم، والتعفن، والفطريات، أو التغير في اللون.

٥-٤ أنواع الطلاء وتطبيقاته[١]،[٢]:

يمكن طلاء الأسطح بطريقتين:

١. **الطرق اليدوية** Manual: وذلك باستخدام الفرشاة brushing ، أو البكرات roller.
٢. **الطرق الآلية** Automated: مثل طريقة الغمس dipping roller ،أو الرش spray للبودرة، وذلك لتغطية الأسطح بالطلاءpowder coat .

يتميز النوع الأول بكثرة استخدامه لطلاء البنايات والمنازل، ومن أهم الملاحظات عليه وجود اختلاف، وتفاوت في كثافة Thickness الطبقات المطلية، وتجانسهاHomogeneity ؛ لذا يفضل لهذا النوع من الطلاء في الجانب الجنائي أخذ عينات من مواقع مختلفة، وذلك لإمكانية اختلاف المكونات، والسماكة

(1) Jamieson . A , Moenssens ,A .et al. Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science», Wiley ,UK, (2009).

(2) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

من مكان لآخر، في الجانب الآخر يتميز النوع الثاني بكثرة استخدامه في طلاء المركبات والأثاث، وفيما يلي إيجاز لأهم استخدامات الطلاء:

١-**طلاء المركبات** Automotive paint

يتميز طلاء السيارات بتكوين طبقات بتسلسل معين من حيث (ألوانها، وعددها، وسماكتها)، ويتم تحديدها من قبل الشركة المصنعة للمركبة، ويوجد عدة خطوات لابد من اتباعها عند طلاء أسطح هياكل السيارات بأكثر من طبقة من طبقات الطلاء، هي:

- إعادة معالجة المعدن: وذلك بإزالة الشحم منه ثم كسوته وطلائه بطبقة فوسفاتية.
- تغليفه بطريقة الغمس الكهربائي: وهي طريقة تستخدم لتغطية هيكل السيارة بالطبقة الأولي من الطلاء.
- إضافة الحشوات (الملدنات): وهي مادة توضع من أجل تحسين خواص الطبقة الأولى من الطلاء وتثبيتها.
- الطبقة النهائية المغلفة: وهي الطبقة التي تضاف في الشكل النهائي إلى السيارة، و تتميز هذه الطبقة بنعومتها، ولمعانها، ومقاومتها للرطوبة وأشعة الشمس والصدأ.

ويمكن الاستفادة من اللون والسمك وعدد الطبقات للمركبات في الكشف عن غموض بعض القضايا الجنائية كما سنرى لاحقا.

٢ – **طلاء المنازل** Household Paint

يتم تغليف أسطح وجدران المنازل بأنواع محددة من الطلاء ذات مواصفات خاصة، وبطرق مختلفة عن الطرق المستخدمة في طلاء السيارات، حيث يتكون طلاء المنازل من طبقة واحدة فقط-عدا الطلاء المزخرف- فإنه يتكون من عدة طبقات، كذلك يعطي طلاء المنازل أدلة إثباتيه أقوى من طلاء السيارات، وذلك

لإمكانية إجراء مقارنة له بشكل أسهل، نظراً لوجود أنواع كثيرة من الطلاء المنزلي التي يمكن الكشف عنها، وتحديدها بسهولة، ففي جرائم السطو التي تحدث في المنازل، أو البنايات، تنتقل آثار الطلاء إلى الأدوات المستخدمة لفتح الأبواب بالقوة، حيث يمكن انتقال عينات الطلاء من الأداة المستخدمة في عملية السطو على الأبواب، أو النوافذ، أو الجدران، والعكس صحيح.

٣ – الكتابة على الجدران Graffiti

تعد هذه الظاهر حديثة في مجال تحليل الطلاء حيث بدأت بفعل مجموعات عنصرية بهدف الإيذاء أو التخريب، ونظراً لما تستهلكه من تكاليف في إعادة تحسين ومعالجة ما تم إفساده بهذه الطريقة، فإنه يتم تتبع الجناة والمشتبه بهم، وذلك بأخذ عينات من ملابسهم ومقتنياتهم التي قد تحتوي على بعض الآثار المتبقية من الطلاء المستخدم في الرش على هذه الجدران، كما يمكن أخذ عينات من نفس الطلاء المستخدم– في حال أنه لم يجف بعد– وتحليله للكشف عن الجناة.

٥-٥ طرق رفع وتحريز عينات الطلاء[١]،[٢]

نستطيع الاستفادة من آثار الطلاء في المجال الجنائي في كشف غموض القضايا المختلفة بوسائل عدة، فيمكن رفع عينات الطلاء من مسارح الحوادث المرورية وخصوصاً في حالات الهروب، كما يمكن رفعها في عمليات السطو والاقتحام، وغيرها من القضايا الجنائية.

وعند رفع العينة من مسرح الحادث يجب مراعاة العوامل التالية:

- الظروف الحيوية المحيطة.
- مدى اختلاط آثار الطلاء بآثار أخرى.
- مكان وجودها هل هو على جسم آخر أم على الأرض مباشرة.

(1) West Virginia State Police ,(8th Addition) , « Laboratory Filed Manual « .

(2) Forensic Science Service ، FSS - UK ، Trainees Manual، London.UK , (2007) .

ومما يميز عينات الطلاء: الاحتمالية الكبيرة لانتقال هذه الآثار من موقع لآخر بوسائل مختلفة مثل الاصطدام، أو الاحتكاك، أو غيرها؛ لذا يجب الحذر عند رفعها وإجراء المقارنة بينها وبين العينات القياسية، وبالتالي تحديد الأصل المشترك بين العينات المدروسة.

٥-٥-١ طرق رفع عينات الطلاء[١]

تعتمد طريقة رفع عينات الطلاء على طبيعة مسرح الحادث، وهناك طريقتان رئيستان لعملية الرفع:

١-الرفع على هيئة مسحات:

وذلك باستخدام قطن مبلل بالأسيتون. وفي هذه الطريقة يتم رفع مسحات الطلاء من مسارح الحوادث لأجل مقارنتها مع العينات القياسية، حيث يتم غمس القطن بالأسيتون، ثم يتم مسحه على عينات الطلاء المنتقلة على الأجسام الأخرى، ويراعى أن يتم المسح برفق وذلك لكي لا يتم أخذ جزء من طلاء الجسم الأصلي، بل يجب رفع الطلاء المنتقل عليه فقط تجنباً للاختلاط وحدوث تلوث عند التحليل.

٢- الرفع على هيئة قشور:

تعد هذه الطريقة أفضل من طريقة الرفع على هيئة مسحات نظراً لسهولة المقارنة وقلة حدوث التلوث بين العينات المختلفة، وتتم هذه الطريقة باستخدام مشرط حاد لكشط عينات الطلاء من المواقع، والأدوات المشتبه بها في حال ضبطها مثل: السيارات، أو أدوات السطو المختلفة، وغيرها، سواء كانت قشوراً من العينة المجهولة ملتصقة على الجسم الأصلي، أو قشوراً للجسم الأصلي بذاته.

ويتطلب من الخبير الجنائي في مسرح الحادث المحتوي على عينات من

(١) Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).

الطلاء أن يقوم بالمعاينة الدقيقة للآثار، وذلك لكي يحدد الأثر المطلوب رفعه.

وبشكل عام يمكن تصنيف عينات الطلاء المرفوعة إلى ما يلي:

- **العينات القياسية:** وهي التي ترفع من مسرح الحادث مثل حوادث السيارات، أو عمليات السطو، وذلك لأجل استخدامها كدليل إثبات أو نفي مع العينات المجهولة .
- **العينات المجهولة:** وهي التي ترفع من المواقع والأماكن المتوقع أنها ذات علاقة بالعينة القياسية .
- **العينات المختلطة أو المنتقلة:** والتي يمكن جمعها في حوادث التصادم، والدهس، والهروب، فمثلاً عند دهس شخص يسير في الشارع بواسطة سيارة وهروبها، فإنه يحتمل انتقال عينات من طلاء السيارات الهاربة إلى ملابس المجني عليه، وفي هذه الحالة يمكن أخذ عينات للسيارة المشتبه بها كعينات متنقلة.

٥-٥-٢ جمع العينات بناءً على نوع الأثر وطبيعته (١) ،(٢):

سيتم في الخطوات التالية توضيح كيفية جمع عينات الطلاء حسب طبيعة وظروف مسرح الحادث:

١. العينات القابلة للنقل:

تكون عينات هذا النوع على هيئة قشور، أو بقع على الأجسام، أو الملابس، في هذه الحالة يجب القيام بالخطوات التالية:

- يتم جمع هذه العينات بملقط خاص، أو ترفع بقطعة من الورق، ثم

(1) West Virginia State Police ,(8th Addition) , «Laboratory Filed Manual» .

(2) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual, London.UK , (2007) .

تطوى هذه الورقة، وتحرز بشريط لاصق.

- توضع كل عينة في كيس ورقي منفصل، مع الحرص عند جمع هذه العينات على حمايتها من التدمير أو التحطيم .
- يسجل على كل ورقة المعلومات الأولية مع ذكر مصادر العينة ومكان رفعها.
- يتم رفع عينات قياسية للمقارنة.

٢. العينات غير القابلة للنقل:

مثل الأجسام الكبيرة كالسيارات، أو جدران المنازل، أو الأبواب الخشبية. في هذه الحالة يجب القيام بالخطوات التالية:

- يتم كشط أجزاء محددة من الموقع المراد الكشف عنه بأداة حادة مثل: المشرط، وذلك لرفع العينة بالكامل. كما يجب تنظيف أداة الرفع بعد كل عملية كشط حتى لا تتلوث العينات.
- توضع هذه العينات في ورق ثم تطوى للمحافظة عليها من الفقد، ثم تحرز بشريط لاصق.
- تسجل المعلومات الأساسية للعينات المرفوعة مثل الموقع، والتاريخ، ونوع ومصدر رفع العينات المرفوعة ما إذا كان سيارةً أم باباً أم شيئاً آخر.
- يجب الانتباه إلى عدم وضع عينات الطلاء في القطن لصعوبة إظهارها منه، كما يجب عدم السماح لعينات الطلاء بالتلامس مع الشريط اللاصق حتى لا يحدث تلوث.
- يفضل وضع جميع العينات المرفوعة في منتصف المظروف وعدم وضعها بشكل مبعثر.
- ترفع العينات القياسية للمقارنة.

٣. **العينات الرطبة والموجودة على الملابس، أو الخشب، أو المعادن، أو الزجاج:**

- يجب ترك عينات الطلاء تجف تماماً قبل رفعها .
- تحرز العينات بعد تجفيفها في وعاء محكم الإغلاق، ومن ثمّ يسجل عليها المعلومات الأولية الخاصة بها من حيث الموقع والتاريخ .
- رفع العينات القياسية للمقارنة.

٤. **العينات السائلة :**

- تحرز العينات السائلة في حاويات معدنية محكمة الإغلاق .
- إذا كانت العينة السائلة ستقارن بعينة جافة فيتم تجفيفها أولاً، ثم يمكن إجراء المقارنة بعد ذلك.

ويمكن المقارنة بين العينات المجهولة والعينات المرفوعة من مسرح الحادث بعدة وسائل وطرق فيزيائية وكيميائية:

١-وسائل المقارنة الفيزيائية :

يُعتمد في هذه الفحوص على المقارنة الفيزيائية بعدة طرق:

- بواسطة المجهر الضوئي: ويتم ذلك بإجراء مقارنة بين ثلاثة أشياء إذا كانت العينات المفحوصة على شكل طبقات- كعينات الطلاء للسيارات أو الدراجات النارية-وهي لون الطبقات، وسمكها، وعددها.
- بإجراء مقارنة ظاهرية بين العينات المجهولة المرفوعة من مسرح الحادث عن طريق ملمسها وشكلها الظاهري.
- باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح وذلك عن طريق الكشف عن العناصر المعدنية المكونة لعينات الطلاء وسيتم توضيح ذلك بشكل تفصيلي في فصل تحليل عينات الطلاء.

٢- وسائل المقارنة الكيميائية

يتم في هذه النوع من الفحوص اختبار مدى قابلية عينات الطلاء للذوبان في المذيبات العضوية، كما يتم الكشف عن التركيب الكيميائي لعينات الطلاء، ومكوناتها العضوية وغير العضوية، وهل هي صبغات Dyes أو مخضبات Pigments.

ويستفاد من الفحوصات السابقة في إمكانية التعرف على الأصل المشترك بين العينات المجهولة والعينات القياسية، فإذا كانت الخصائص لكل منهما متشابهة، فهذا يدل على إنها نشأت من مصدر واحد تقريباً.

٥-٦ التحليل الجنائي لعينات الطلاء[١]

عند ورود العينة للمعمل الجنائي من مسرح الحادث يقوم خبير الفحص بفرزها، وتحليلها، ومقارنتها مع العينات القياسية، ويتم ذلك وفق الخطوات التالية اعتمادا على درجة تعقيد العينات:

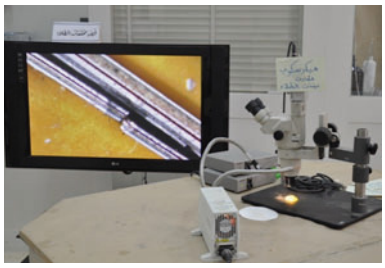
١. فحص العينات لتحديد الوسيلة المناسبة لتحليلها.
٢. فحص الخواص الفيزيائية ويقصد بذلك الفحص البصري للعينات ومدى تطابقها مع بعضها بعضا.
٣. المقارنة بواسطة المجهر الضوئي، وذلك في العينات التي تحتوي على طبقات، حيث يتم مقارنة سمك وعدد، وألوان الطبقات في هذه العينات.
٤. استخدام الأشعة تحت الحمراءFTIR ، وذلك للكشف عن مكونات الطبقات عن طريق تحليل العينات، والتعرف على المجاميع الوظيفية الفعالة لمكونات الطلاء .
٥. تحاليل إضافية أكثر دقة كما يلي:

(١) Jamieson . A . Moenssens .A .et al. Volume 3. ،Wiley Encyclopedia of Forensic Science،. Wiley .UK. (2009

- المجهر الإلكتروني الماسح SEM-EDS
- استخدام الأشعة السينية المفلورة X-ray
- التكسر الحراري مع كروماتوجرافيا الغاز المرتبط بمطياف الكتلة GC-MS .Pyrolysis

٥-٦-١ الفحص بالمجهر الضوئي Optical Microscope Examination

يمكن استخدام المجهر الضوئي كلما كانت طبقات الطلاء واضحة ومتعددة، وبالتالي تكون فرصة التمييز والتعرف على المصدر أسهل وأفضل. ومن الأمثلة على هذا النوع: تحليل طلاء السيارات التي تعرضت إلى حادث معين وتمّ إصلاحها وإعادة طلائها من جديد، كذلك المباني ذات الطلاء المعماري المزخرف، حيث يتم الكشف في هذا النوع بناءً على عدد وسمك ولون الطبقات، و في هذه الحالة ليس ضرورياً استخدام طرق أكثر تعقيداً وتقنيات أكثر تطوراً لإجراء التحليل لأنه يمكن إجراء المقارنة بشكل واضح ودقيق، لكن إذا لم تكن عينات الطلاء واضحة أو إنها تتكون من طبقة واحدة فقط، فيجب استخدام طرق أخرى أكثر دقة.



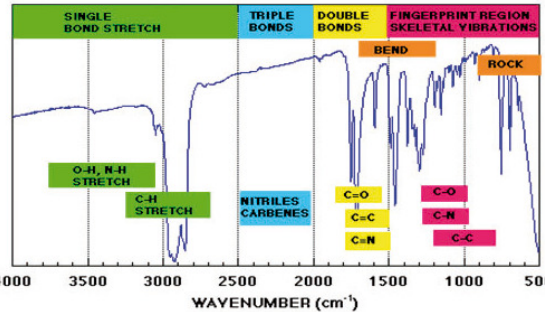
شكل (٥-٢) يوضح المجهر الضوئي.

٥-٦-٢ التحليل بالأشعة تحت الحمراء FTIR

يستفاد من هذه التقنية عندما يكون عدد طبقات الطلاء قليلة حيث تزداد صعوبة الاعتماد على التحليل بالمجهر الضوئي فقط، لذا تستخدم تقنية التحليل بالأشعة تحت الحمراءFTIR ، وهي أكثر تطوراً ودقة من المجهر الضوئي، كما يستخدم هذا الجهاز لتحليل العينات صغيرة الحجم، وتتميز عملية التحليل بالسرعة، وعدم إتلاف العينة، حيث يؤخذ جزء بسيط من العينة، ويخلط مع

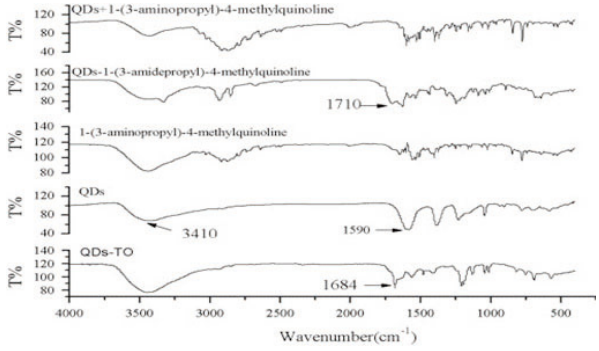
ملح مناسب مثلKCl ، ثمّ يتم تعريض العينة للأشعة تحت الحمراء في مدى بين ٦٥٠ سم$^{-١}$ – ٤٠٠٠ سم$^{-١}$، ويتم الكشف فيه عن المكونات العضوية عن طريق المجاميع الوظيفية الفعالة في عينات الطلاء.

شكل (٥-٣) يوضح مطيافية الأشعة تحت الحمراء



وفي الشكل (٥-٤) توضيح لأهم المجاميع الوظيفية الفعالة وعددها الموجي المقابل لعينات من الطلاء، والتي كشف عنها بواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء.

شكل (٥-٤) حزم امتصاص أهم المجاميع الوظيفية الفعالة للأشعة تحت الحمراء[١]



كما يظهر الشكل (٥-٥) أطياف الأشعة تحت الحمراء لعدد من الصبغات ذات المكونات العضوية والتي تستخدم في تحضير الطلاء.

شكل (٥-٥) يوضح أطياف الأشعة تحت الحمراء لعدد من الصبغات العضوية[٢]

(١) http://www.lcc.ukf.net/Chem14/IR&MassSpec.htm

(٢) http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022231310004436

٥-٦-٣ التحليل بواسطة جهاز SEM-EDS

يمكن الحصول على معلومات إضافية ودقيقة عن مكونات عينات الطلاء بواسطة تحليل العناصر، وتعتبر تقنية المجهر الإلكتروني الماسح المرتبط بمقدر الأشعة السينية المشتتةSEM-EDS أحد أفضل التقنيات التي تساعد في التعرف على العناصر الداخلة في تركيب عينات الطلاء وبدقة عالية.

٥-٦-٤ التكسر الحراري المرتبط بكروماتوجرافيا الغاز ومطيافية الكتلة PyGC-MS

إن الربط بين تقنية الفصل الكروماتوجرافي، ومطيافية الكتلة مع جهاز التكسر الحراري يساعد في الكشف عن العينات الموجودة في قشور طلاء السيارات، ومدى وجود مواد عضوية فيها.

شكل (٥-٦) يوضح جهاز التحليلPyGC-MS

٥-٧ كتابة النتائج والتقارير Results& Report

بعد إجراء الدراسات المخبرية بواسطة الطرق والتقنيات– التي تم ذكرها سابقاً – وبعد التوصل إلى نتيجة لمدى الارتباط بين العينات المدروسة مع بعضها بعضاً، لا بد من تقديم تقرير لتوضيح النتائج.

ولابد أن يتضمن هذا التقرير عدد من الأسئلة والاستفهامات عما حدث في مسرح الجريمة، وما توصلت إليه السلطة القضائية، وإذا ما تم الحصول عليه من النتائج قد ساعد في الكشف عن غموض القضية أم لا.

وبالمجمل لن تخرج نتيجة التحليل عن إما عدم تطابق العينتين، أو تطابق العينتين بشكل كلي، توافق العينتين في بعض الصفات الفيزيائية، وفي هذه النتيجة يوصى بإجراء المزيد من الفحوص أو البحث عن دلائل وقرائن أخرى.

الفصل السادس

الزجاج Glass

٦-١ مقدمة

يتميز الزجاج بأنه شفاف، وعازل جيد للحرارة والكهرباء، لذا يستخدم في تطبيقات كثيرة ومجالات عدة في الحياة مثل صناعة المصابيح، والنوافذ، والأنابيب المختلفة، والمجوهرات، والأدوات المنزلية، والأوعية، والأكواب الخاصة بالشرب، والمزهريات وغيرها. ويرجع سبب انتشار الزجاج ونجاحه في كثير من المجالات إلى عوامل منها: المتانة، والقوة، بالإضافة إلى بعض الخواص الكيميائية المهمة مثل: الخمول (عدم النشاطية)، وإمكانية استخدامه في مجال الزينة والزخرفة.

يعّرف الزجاج بأنه: «مزيج غير بلوريnon crystalline ، وغير منتظم amorphous، تتحول فيه المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة دون حدوث أي تغيير في ترتيب مواقع الذرات المكونة له».

كما يمكن أن يطلق على الزجاج مصطلح super cooled liquid أي أنه سائل يمكنه أن يبّرد إلى درجة حرارة أقل من درجة تجمده النظرية، ويبقى التركيب الداخلي له عشوائي (غير المتبلور)[١].

قبل الحديث عن الزجاج وأنواعه تجدر الإشارة إلى توضيح مفهوم مهم لطرق تشكّل المواد الصلبة، حيث يمكن تحول المادة من الطور السائل إلى الطور الصلب بطريقتين :

الطريقة الأولى: تعرف بالطور المتبلور morpheus، حيث تأخذ الجزيئات وضعاً منتظماً عند التراص، وذلك بأبعاد هندسية محددة وسطوح منتظمة ذات حواف مستقيمة مثل ملح الطعام NaCl.

الطريقة الثانية: تعرف بالطور غير المتبلورamorphous ، حيث تنتقل المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة بشكل عشوائي، ولذا يبقى التركيب الداخلي عشوائي غير منتظم مثل الزجاج.

---

(١) محمد دبس ، «الموسوعة العلمية الميسرة» أكاديميا انترناشونال ، لبنان (٢٠٠٧).

٦-٢ المواد الخام المكونة للزجاج[١]:

١-المكونات الأساسية :

والتي تستخدم لتصنيع خامات الزجاج الأساسية:

السيلكا (الرمل)	Silica	SiO_2
كربونات و أكاسيد الصوديوم	Soda	Na_2O , $NaCO_3$
أكاسيد الكالسيوم	Lime	CaO

٢- المكونات الثانوية :

والتي يتم استخدامها لإضافة بعض الخواص المميزة والمحسنات:

أكاسيد البوتاسيوم	Potash	K_2O
أكسيد الرصاص	Lead Oxide	PbO
أكسيد اليود	Bore Oxide	B_2O_3
الألومينا	Alumina	Al_2O_3
أكسيد المغنيسيوم	Magnesia	MgO

كما يمكن إضافة بعض المواد عند الرغبة في توفير خواص معينة للمواد الخام مثل: إضافة زجاج قديم Cullet، أو إضافة عناصر كيميائية، لإدخال ألوان معينة، وغيرها من الإضافات.

(١) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual.

٦-٣ أنواع الزجاج

٦-٣-١ من حيث التركيب الكيميائي

١ – زجاج السيلكا Silica glass

لإنتاج هذا النوع من الزجاج يستخدم زجاج قديم بعد تذويبه مع مسحوق السيلكا، أو الرمل، أو الكوارتز ، ثم يتم صهرهم مع بعضهم بعضا عند درجات حرارة عالية، ويستخدم هذا النوع لصنع زجاج له خواص معينة، حيث يمكن استخدامه في الأدوات الزجاجية المخبرية، كزجاج منفذ للأشعة فوق البنفسجية عند تحليل مدى النقاوة العالية للمواد المختلفة.

٢ – إضافة أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم إلى زجاج السيلكا:

إن إضافة أكسيد الصوديوم، أو الصودا Na_2O Soda، أو أكسيد البوتاسيوم K_2O potash إلى السيلكا يؤدي إلى تقليل درجة التليين للخليط. كما إن إضافة أكسيد الكالسيوم CaO lime ، أو كميات قليلة من الألومينا Al_2O_3، أو أكسيد المغنيسيوم MgO يزيد من متانة الزجاج، وهذا النوع من الزجاج هو الأكثر استخداماً لصناعة النوافذ، والحاويات، ومصابيح الإنارة، ويطلق عليه أحياناً بالزجاج التاجي أوالرفيع crown glass.

٣ – إضافة أكسيد الرصاص PbO إلى زجاج السيلكا:

يمكن أن يوجد أكسيد الرصاص Lead Oxide في الزجاج بنسبة تصل إلى ٨٠ ٪، وهذا يعمل على زيادة معامل الانكسار، وأيضاً زيادة قوة التشتت Disper-sive، ويستخدم هذا الزجاج في صناعة زجاج البصريات Optical flint glass، وفي زجاج مقاييس الحرارة وقطع الكريستال وأدوات المائدة ومصابيح النيون.

٤ – **إضافة أكسيد البوريك B_2O_3 إلى زجاج** Borosilicate glass:

إن إضافة أكسيد البوريك B_2O_3 إلى الزجاج يعمل على جعل هذا الزجاج يتحمل درجات حرارة عالية، كما يتميز بأنه ذو مقاومة عالية للحرارة المفاجئة؛ لذا يستخدم هذا النوع من الزجاج عند تصنيع الأدوات الزجاجية المعروفة باسم البايركس Pyrex، كما يمكن استخدامه في أواني الطبخ، والمصابيح المتوهجة Incandescent Lamp، ومصابيح السيارات الأمامية.

٥ – **إضافة الألومينا Al_2O_3 إلى زجاج** Alumina silicate:

عند إضافة الألومينا Al_2O_3 إلى الزجاج فإنه يعمل على زيادة المقاومة الكيميائية له، فهو مشابه لأكسيد البوريك من هذه الناحية، كما إن له نفس الاستخدامات تقريبا، ويمكن إضافة الألومينا وأكسيد البوريك معاً إلى الزجاج للحصول على خواص ذات متانة عالية.

٦ – **الزجاج الملون** Colored glass

يمكن إضافة العديد من الألوان إلى الزجاج عن طريق إضافة نسبة قليلة من الأكاسيد المعدنية وصهرها مع الزجاج مثل: أملاح الحديد Fe، أو الكوبالت Co، أو النحاس Cu، وغيرها من العناصر المعدنية.

طريقة صنع الزجاج المصقول (المعوم) Float glass

يتم تصنيع هذا النوع من الزجاج عن طريق صب الزجاج المنصهر وتعويمه على سطح أو حوض يحتوي على قصدير مصهور، ويترك حتى يبرد. يجب في هذه الحالة- التحكم في الظروف المحيطة بهذه العملية- ينتج عن هذه العملية لوح زجاجي نقي خالي من أي تشوه أو شوائب، ومن أهم استخداماته: النوافذ الحديثة والمرايا، مع ملاحظة إنه يتم مع هذه الطريقة إضافة طبقات نحاسية، وطبقات أخرى داخلية لإعطائه نوعاً من المتانة والنعومة.

٦-٣-٢ أنواع الزجاج من حيث الاستخدام:

تعتبر عملية تعويم وصقل الزجاج من أهم الوسائل الأولية لتصنيع الزجاج، بعد ذلك يمكن استخدام طرق معينة لإنتاج أنواع محدده من الزجاج ذات مواصفات خاصة مثل:

١ – **الزجاج الآمن** Safety glass

يمكن إنتاج هذا النوع من الزجاج عن طريق إعادة تسخينه وتبريده بسرعة، وهذا يعمل على تقوية الزجاج وزيادة متانته. كما يتميز بأنه في حال تكسره يتشكل إلى مكعبات بدلا من تكسره إلى شظايا Shards حادة. ويستخدم هذا النوع من الزجاج في تصنيع النوافذ الجانبية للمركبات، والأبواب الزجاجية الخاصة بالمحلات التجارية.

٢ – **الزجاج المصفح والمقوى** Toughened and Laminated glass

هو نوع من الزجاج الآمن يتكون من طبقتين أو أكثر من الزجاج المصفح بينهما طبقة رقيقة من البلاستيك. ويستخدم هذا النوع في الزجاج الأمامي للسيارات، وفي واجهات البنوك والمباني، كما يوجد نوع منه مصمم من عدة طبقات مصفحة يعمل على إيقاف نفاذ الطلقات النارية، ويستخدم في البنوك، والسيارات المصفحة، والدبابات الحربية، والطائرات. من مميزات هذا النوع إنه عند تكسره يتشظى إلى قطع صغيرة على هيئة مكعبات يمكن تمييزها بشكل سريع على إنها زجاج مقوى، مع ملاحظة شكل المقطع العرضي الذي يظهر كطبقات متراصة.

بشكلٍ عام توجد أنواع أخرى من الزجاج تستخدم في مجالات مختلفة مثل: الزجاج المستخدم في صناعة الأواني، والزجاج المسطح المستخدم في صناعة النوافذ والمرايا وبعض الأثاث، والزجاج المقاوم للحرارة، والزجاج المستخدم في المختبرات، كما يوجد نوع من الزجاج يعرف باسم الألياف الزجاجية fibers glass وهي ألياف زجاجية دقيقة جداً ومتماسكة تستخدم كثيرا في صناعة أجسام السيارات، والقوارب، وخزانات المياه، والستائر غير القابلة للاختراق.

٦-٤ خصائص الزجاج[١]،[٢]

١ – الخواص الحرارية Thermal properties

يتأثر الزجاج بالحرارة؛ فيتمدد أو يتقلص كلما تغيرت درجة الحرارة، وكما هو معروف فإن الزجاج غير موصل للحرارة، ولكن عند تعرضه إلى اختلاف مفاجئ في درجة الحرارة؛ فإنه يحدث إجهاد للذرات المكونة له، والمرتبطة فيما بينها بروابط كيميائية- نتيجة لاختلاف درجة الحرارة بين السطح الخارجي والذرات الداخلية المكونة للزجاج- لذا يضاف للزجاج مواد كالبورسليفات، والألومينا، وذلك لتقلل من التمدد الحراري عند تعرض بعض أنواع الزجاج إلى حرارة عالية وكذلك لإكسابه قوة ومتانة عالية.

٢ – الخواص الميكانيكية Mechanical properties

تتأثر شدة strength الزجاج بشكل كبير عند تعرضها إلى قوة ضغط عالية خصوصاً على أسطحها، مما يؤدي إلى حدوث شقوق وتصدعات للسطح surface crack، فعند تطبيق قوة ترتكز طاقتها على نقطة محددة من السطح، فإنه يتشكل بسبب ذلك شق سطحي لا يمكن إيقافه، حيث ينتشر بشكل سريع. وهذه من المميزات الميكانيكية الموجودة في الزجاج .

٣ – الخواص الإلكترونية Electrical properties

يتميز الزجاج بأنه ذو مقاومة عالية للكهرباء، لذلك فإن من أهم استخداماته العزل الكهربائي، مع ملاحظة إن مقاومته تقل كلما ازدادت درجة الحرارة، كما يمكن أن يصبح موصلاً إلكترونياً عند درجات الحرارة العالية.

---

(1) Jamiwson E R .et al, Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science»(2009).

(2) Forensic Science Service , FSS- UK , Trainees Manual .

٤ – الشفافية Transparency

يتميز الزجاج بأنه شفاف، ومنفذ للضوء في المجال المرئي- على الرغم من أن الضوء يتم إعاقة مساره عند انتقاله من الفراغ إلى الزجاج- كذلك عند انتقال الضوء بين الأوساط المختلفة فإن كمية من الضوء تنعكس Reflected عند الحد الفاصل بناءً على الاختلاف بين معاملات الانكسار للأوساطRefractive Index (RI).

فمثلا عند الانتقال من الهواء إلى الزجاج ينعكس ٤٪ من الشعاع الساقط، ويمكن قياس الضوء المنعكس بالمعادلة التالية :

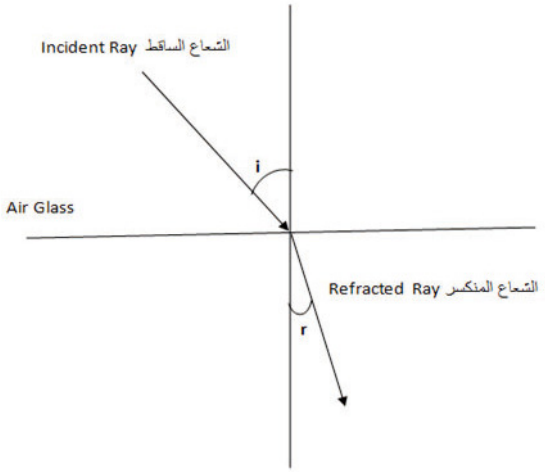
$$\frac{(\mu-1)^2}{(\mu+1)^2}$$

$$Refrective\ Index\ (\mu) = \frac{sine\ of\ angle\ of\ incidence}{sine\ of\ angle\ of\ refrection} = \frac{\sin\ i}{\sin\ r}$$

ويقصد بالرمز μ معامل الانكسار RI .

معامل الانكسار للأوساط الشفافة Refractive Index

هو نسبة معدل سرعة الضوء في الفراغ أو الهواء إلى سرعته في الوسط الآخر، فإذا كان شعاع الضوء الساقط على سطح زجاجي في زوايا غير عمودية، فإن شعاع الضوء في الزجاج سوف ينحني باتجاه الزاوية العمودية، وتتراوح نسبة معامل الانكسار للنوافذ الزجاجية المختلفة ما بين (١,٤٥-١,٥٣)، والقيمة العظمى لها تصل إلى (١,٥١٦). كما يوضح شكل (٦-١) معامل الانكسار مقدراً بزاوية السقوط والانكسار.



شكل (٦-١) معامل الانكسار مقدراً بزاوية السقوط والانكسار

٥-١التشتت Dispersion

ويقصد به مقدار تغير معامل الانكسار بالنسبة للطول الموجي، حيث يرتبط معامل الانكسار مع الطول الموجي بعلاقة عكسية، فيكون التشتت عالياً جداً في الطول الموجي القصير أكثر منه في حالة الطول الموجي الطويل.

٦-١الكثافة Density

يعبر عن كثافة المادة بنسبة الوزن لكل وحدة حجم عند درجة حرارة معينة ووحدة الكثافة هي جرام/سم^{٣}.

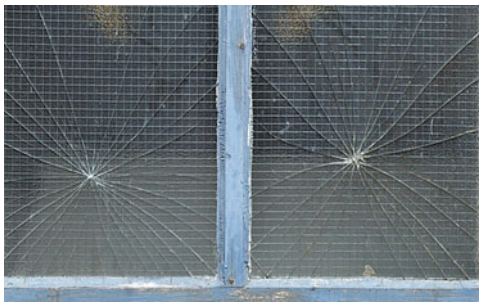
٦-٥ أنواع تكسر الزجاج وطريقة تحديد اتجاه الكسر[١]:

يتعرض لوح الزجاج للكسر عند تعرضه لضغط مع اتجاه القوة المؤثرة، وينتج في هذه الحالة وضعان هما:

قوة شد tension forces وقوة انضغاط ccompression forces ، وبناءً على هاتين القوتين توجد حالتين لتكسر الزجاج هما: التكسر الشعاعي، والتكسر المحوري:

أولاً) التكسر الشعاعي Radial fractures

ويسمى هذا النوع بالتكسر الأولي ويحدث عند تعرض اللوح الزجاجي إلى قوة ضغط تعمل على ثني الزجاج باتجاه القوة المؤثرة، وقوة شد في الاتجاه المقابل، وينشأ عن هذه العملية تصدع للزجاج من نقطة الاصطدام وتمتد مسببه صدوع طولية، وتصدعات شعاعيه، ويكون شكل الزجاج الناتج عن هذا النوع عبارة عن قطع صغيرة جدا تسقط في الجهة المقابلة لقوة الضغط لمؤثرة على لوح الزجاج ، ويوضح شكل (٦-٢) التكسر الشعاعي.



شكل (٦-٢) يوضح التكسر الشعاعي[٢]

ثانياً) التكسر المحوري (الدائري) Concentric fractures

يسمى هذا النوع بالتكسر الثانوي ويحدث بعد التكسر الأولي (الشعاعي)، ويحدث عند تعرض اللوح الزجاجي إلى قوة ضغط تعمل على ثنية في اتجاه القوة

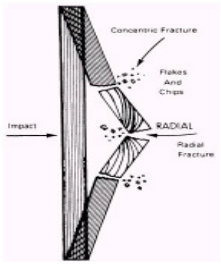
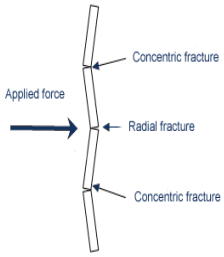
(1) Anthony J. et al, (2008)Forensic Science Fundamentals & Investigations.

(2) http://www.sciencephoto.com/media/411923/view

المؤثرة، بينما في الجانب المقابل للوح يحدث قوة شد كما في الحالة السابقة. يظهر في هذا النوع قوة شد إضافية في الجهة المتعرضة للقوة المؤثرة تكون مقاومة لقوة الضغط السابقة، وينتج عند ذلك تصدع واحد أو أكثر بشكل دائري حول التصدعات الشعاعية تشبه الشكل المتكون عند رمي الحجر في الماء الراكد، وبالمجمل يكون التصدع الدائري بشكل عمودي على التصدعات الشعاعية- كما في الشكل التالي- ويكون شكل الزجاج المتكسر من هذا النوع عبارة عن قطع صغيرة جدا تسقط في نفس اتجاه عملية الضغط، ويوضح شكل (٦-٣) التكسر المحوري.

شكل (٦-٣) يوضح التكسر المحوري[١]

ويوضح الجدول (٦-١) مقارنة بين نوعي التكسر الشعاعي والمحوري:

نوع المقارنة	التكسر الشعاعي	التكسر المحوري
بداية التشكل	أولى primary ويبدأ من نقطة الأصل بعد الضرب مباشرة.	ثانوي secondary ويتكون بعد التكسر الشعاعي.
اتجاه الكسر	في الجهة المقابلة للقوة المؤثرة	في نفس اتجاه القوة المؤثرة
الوصف	خطوط أساسية ممتدة من نقطة الضرب إلى الحواف	دوائر محددة واحدة بداخل الأخرى مشتركة في نفس المركز .
الشكل		

جدول (٦-١) الفرق بين التكسر الشعاعي والمحوري[٢]

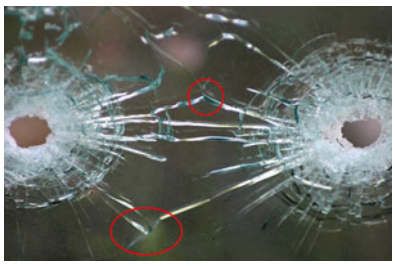
(1) http://cc307-jacktheripper.wikispaces.com/Analyzing _Glass

(2) http://www.madsci.org/posts/archives/2005

ثالثاً) طريقة تحديد اتجاه الكسر:

لتحديد اتجاه الكسر من المهم تجميع قطع الزجاج وإعادة بناء اللوح الزجاجي قدر الإمكان، كما يجب التمييز بين السطح الخارجي والسطح الداخلي للزجاج، ومما يساعد في عملية التمييز بين الأسطح هو إن الأسطح الخارجية تكون متسخة بعكس الأسطح التي تسقط في الاتجاه الآخر، فإنها لا تكون متسخة بسبب عدم تعرضها لأي مؤثرات، كما إن قطع الزجاج التي مازالت عالقة في لوح الزجاج الأساس تساعد في ترتيب القطع المبعثرة، جدير بالذكر أنه يمكن الاستفادة من قطع الزجاج التي يتم جمعها والتقاطها من مسافات قريبة، أما القطع التي يعثر عليها من مسافات بعيدة فهي غير مفيدة لاحتمال تعرضها لمؤثرات خارجية تجعل تحليلها أكثر تعقيداً.

يمكن أيضا التعرف على نوع التصدعات ما إذا كانت حديثةً أم قديمة، عند وجود أكثر من كسر شعاعي، أو محوري في اللوح الزجاجي الواحد، حيث يتوقف التصدع الحديث- سواء كان شعاعياً أو محورياً- بنهاية حدود التصدع الشعاعي أو المحوري القديم، كما في الشكل التالي.



شكل(٦-٤) مقارنة التصدع الحديث والقديم[١]

كما يمكن الاستفادة من تحليل الزجاج في معرفة المسافات التقريبية التي تمّ منها إطلاق الأعيرة النارية على ألواح الزجاج، فإذا كان الإطلاق قريباً، فإن ثقب فتحة الدخول في لوح الزجاج أصغر من فتحة خروج المقذوف، بينما إذا كانت مسافة الإطلاق، بعيدة فإن ثقب فتحة الدخول يكون أكبر من ثقب فتحة خروج المقذوف.

(١) http://www.crimemuseum.org/library/forensics/glassanalysis.html

٦-٦ جمع عينات الزجاج من مسرح الحادث[١]،[٢]

أظهرت بعض الدراسات المهتمة بشظايا الزجاج المكسور أنه يمكن لمواد زجاجية أخرى كالأواني، وزجاج السيارات، والعدسات، والأبواب، والمناور أن تتكسر في موقع الجريمة، ونتيجة لذلك؛ يمكن أن ينتقل أجزاء منها على المشتبه به، وبالتالي يمكن أخذها كعينات قياسية. يتم جمع عينات الزجاج بطريقتين:

١. **للقطع الكبيرة:** يتم جمع العينات باستخدام الملقط.
٢. **للقطع الصغيرة غير المرئية:** يتم هزها لتسقط من الأجسامن والمواد المحتمل وجودها فيها مثل: الملابس، أو الأحذية، وغيرها على قطعة من الورق المقوى ذات لون غامق كالبني، أو الكحلي، ثم تجمع في وعاء خاص، وتتم دراستها تحت المجهر لتحديد نوع القطع، وعددها، ثم يتم تسجيل البيانات.

تعد عينات الزجاج من الآثار المهمة والمفيدة عند جمع الأدلة المادية من مسرح الحادث، والتي يتم تجاهلها في الكثير من الأحيان، فقد يلتصق الزجاج بالملابس، أو الأجسام الأخرى القابلة للنقل، ويبقى لفترات طويلة من الزمن دون أن يحدث له تغيير، كما يتميز باحتمالية وجود أدلة مادية أخرى معه كالبصمات، أو الشعر، أو الدم، أو الدهان، والتي تمكّن وتساعد على إظهار نتائج قد تفيد في الكشف عن غموض القضايا، من جهة أخرى يجب على خبير رفع الآثار في مسرح الحادث أن يقوم بتصوير الحالة الأولية لمسرح الحادث قبل عملية الرفع.

خطوات جمع عينات الزجاج حسب طبيعتها ونوعها ومكان رفعها:

١-العينات المعروفة Known samples

يتم رفع هذه العينات بالخطوات التالية:

- توضع عينات الزجاج في أكياس غير قابلة للتمزق.

---

(١) Jamiwson E R .et al Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science»,(2009).

(٢) West Virginia State Police ,(8th Addition), Laboratory Filed Manual

- يتم جمع عينات الزجاج المتكسر من المناطق المتضررة، سواء من الداخل أو من الخارج.
- تجمع كل عينة وتحرّز في علبة خاصة مع تسجيل معلومات الموقع والمصدر على العينة.

٢- **العينات المجهولة (موضع الفحص)** Questioned samples

ترفع العينات المجهولة بالخطوات التالية :

- يتم جمع عينات الزجاج من ملابس، وأحذية المجني عليه، والمشتبه به، وتوضع كل قطعة في كيس ورقي منفصل.
- في العمليات التي يتم فيها اقتحام، وينتج عنها كسر للزجاج، و هروب المشتبه به، يتم رفع عينات الزجاج من المواقع التي من المحتمل أن يكون المشتبه به قد داس عليها، لتكون عينة قياسية.
- يتم رفع أحذية الأشخاص المشتبه بهم، وذلك لفحص الزجاج المكسور العالق بها.
- يجب إزالة أي شظايا زجاجية كبيرة واضحة من الملابس وتحريزها في أكياس ورقية، مع تسجيل بياناتها ومكان رفعها على الحرز.
- عند وجود زجاج عالق في أجزاء من جسم المشتبه به، أو المجني عليه، يطلب من الأطباء رفع وتحريز عينات الزجاج من موقع الإصابات ورفعها .
- في هذا النوع من الفحوص يفضل العمل بأعلى درجات الدقة حتى لا تتلوث العينات المرفوعة، وتزول الآثار المطلوب الكشف عنها، وحتى لا تختلط عينات الزجاج وتظهر نتائج غير صحيحة، وكذلك للمحافظة على الآثار الأخرى كالبصمات وبقع الدم من التلوث والتلف.

٦-٧ طرق انتقال الزجاج[١]،[٢]

تقل كمية الزجاج المرتد بشكل كبير جداً كلما بعدت المسافة عن السطح المكسور، كما إن معدل كمية الزجاج المنتقل يقل كلما كانت أبعاد الشظايا أقل من ١ مم، لذا فإن معظم شظايا الزجاج التي تستقر على الملابس تكون أبعادها أقل من ١مم مع ملاحظة إن عدداً صغيراً جداً من الشظايا التي تسقط على الملابس تبقى عالقة بها، ويجب ملاحظة إن بقاء عينات الزجاج يعتمد على نوع الملابس، فإذا كانت جلدية، فإنه يصعب العثور على بقايا زجاجية، أما إذا كانت من الصوف، أو القطن، أو المنسوجات، فإن احتمال العثور على بقايا زجاجية يكون كبيراً، ويمكن وجود هذه البقايا في جيوب الملابس، وثنايا الخياطة كما إن أقصى مسافة يمكن فيها الحصول على مخلفات الزجاج للوح زجاجي مكسور هي ٣-٤ متر، مع ملاحظة إنه كلما كان حجم لوح الزجاج صغيراً كانت مسافة ارتداد الشظايا أقصر. وينتقل الزجاج بطريقتين:

١. **الانتقال المباشر** Direct Transferee

يمكن لشظايا الزجاج أن تنتقل مباشرة إلى ملابس المشتبه به في عدة حالات فمثلاً عندما يتحرك المشتبه به، أو يمشي فوق الزجاج المكسور؛ فإن هذا الاتصال يؤدي إلى تمزق جزء من القماش بسبب الزجاج، أو انتقال جزء من الزجاج إلى القماش، والعكس صحيح، ومن العوامل المؤثرة على انتقال المواد ما يلي :

---

(١) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual .

(٢) Jamiwson E R .et alVolume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science», (2009).

- طبيعة المادة .
- مدة الاتصال .
- الضغط الحاصل من عملية الاتصال .
- نوع النسيج المصنوع منه القماش .
- المسافة بين المادتين المتصلتين .

٢. **انتقال الزجاج بالقوة والضغط** Embedded glasses

عندما يركل شخص لوحاً زجاجياً بقدمه يمكن لبعض الشظايا الصغيرة جداً أن ترسخ وتثبت على الحذاء، كما يمكن أن ينتج عن ذلك بعض الجروح و الخدوش، ويستفاد من ذلك جنائيا عند تحليل هذه الأحذية، أو الكشف على هذه الجروح والخدوش.

أيضاً عند استخدام أداة مثل العتلة crowbar (قطعة من الحديد) في عمليات السطو لكسر ألواح الزجاج، فيمكن انتقال بعض الشظايا الصغيرة، أو بعض الفتات على شكل مسحوق على سطح العتلة، وبالتالي يمكن الاستفادة من هذا كدليل جنائي .

٣. **الانتقال الثانوي للزجاج** Secondary transferee

يمكن انتقال قطع الزجاج من شخص إلى آخر مثل انتقالها من المشتبه به إلى مشتبه به آخر معه في مسرح الحادث، أو انتقالها إلى مسؤول عن مسرح الحادث بناءً على مبدأ «لوكارد» في انتقال المواد أثناء التلامس.

٦-٨ التحليل الجنائي لعينات الزجاج[١] ،[٢] :

يحدث في أغلب الجرائم كسر للزجاج، مهما كان نوع الجريمة، كجرائم السطو، والسرقات، وحوادث المداهمة، والهروب في السيارات، والمركبات، وقد أثبتت دراسات، قامت بها إدارة علوم الأدلة الجنائية البريطانية Forensic Science Service (FSS) ، إن نسبة الوقت المبذول في عملية فحص الزجاج عند دراسة وفحص العينات الجنائية بشكل عام تصل إلى ١٠٪ من الوقت الكلي للفحص وإنه يتم التوصل في ٦٠٪ من القضايا المدروسة إلى أدلة إيجابية، وإن ٤٠٪ من هذه القضايا تعطي أدلة قوية ومجدية.

يعد الزجاج من الدلائل المفيدة جداً في عملية الدراسة والتحري عن الجرائم المختلفة، لأنها تساعد على تتبع آثار الجريمة حيث إن الزجاج مادة قوية، ولكن عند تعرضها إلى قوة ضغط عالية من الممكن انكسار الزجاج أو تحطمه بالكامل، وينشأ بسبب ذلك مئات بل آلاف الشظايا والقطع المتفتتة، وبالتالي ينتقل بعضها إلى الملابس، والأحذية، أو شعر الشخص الذي قام بالكسر، أو أي شخص قريب من مكان حدوث الكسر، وهذا هو الجانب المهم لخبراء التحليل .

في أواخر عام ١٩٦٠ درس العالمان «Nelson» و«Revell» الانتشار الارتدادي، والمقصود به مدى رجوع شظايا الزجاج المتفتتة على الشخص الذي قام بالكسر، وقد وجدا إن عدداً كبيراً من الشظايا المتفتتة تندفع في الجهة المقابلة لمن قام بالكسر، كما وجدا إن عدداً كبيراً من الشظايا Fragment تتبعثر راجعة باتجاه مصدر القوة، ووجدا أيضاً إن أقصى مسافة يمكن الحصول فيها على بقايا للزجاج بين الشخص الذي قام بالكسر والزجاج، لا تزيد عن ثلاثة أمتار، كما إنه يمكن انتقال الزجاج بالتلامس المباشر مثل: التسلق، أو المشي فوق

(1) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual .

(2) Jamiwson E R .et al, Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science»,(2009).

الزجاج المكسور. جدير بالذكر إن مدة بقاء الزجاج على الشعر و الملابس ليست طويلة، ولذلك فإنه من المهم أن يتم الرفع من المتهم بأسرع وقت ممكن.

ويوجد عدة عوامل تؤثر على معدل بقاء الزجاج على شعر وملابس المشتبه به مثل:

- نوع النسيج المصنوعة منه الملابس .
- حركة الشخص وفعاليته.
- الفترة الزمنية بين رفع العينات وتاريخ حدوث الجريمة.

من جهة أخرى قد تبقى بعض شظايا الزجاج في بعض الجيوب وثنيات الملابس وداخل الأحذية لفترة طويلة من الزمن.

٦-٨-١ التعامل مع عينات الزجاج في المعمل الجنائي[١]:

بعد ورود عينات الزجاج لمعمل التحليل الجنائي فإن من المهم الحرص على عدم تلوث contamination هذه العينات واختلاطها مع عينات أخرى، ولأجل ذلك لابد من إتباع الخطوات التالية :

- التأكد من مكونات الحرز، وما يحتويه من عينات قياسية وعينات مجهولة.
- الحرص على بقاء عينة الزجاج القياسية بعيدة عن عينات الزجاج الأخرى.
- التأكد من نظافة موقع العمل من حيث الأجهزة والأيدي، والحرص على عدم اختلاط المواد المفحوصة.
- تغيير المعطف عند فحص كل قضية تلافيا لعدم تداخل العينات المدروسة وانتقالها.

(١) West Virginia State Police ,(8th Addition), Laboratory Filed Manual

- نفض الأحراز من الأكياس وعلب التحريز قبل فتحها، وذلك لكي تتجمع عينات الزجاج في نقطة واحدة.
- عند ورود عينات لأكثر من مشتبه به في قضية واحدة، يجب التعامل مع كل عينة بشكل منفصل واستخدام أدوات مختلفة حتى لا يظهر تداخل وأخطاء في النتائج.

٦-٨-٢ تحضير الشظايا للتحليل:

بعد جمع العينات وورودها إلى المعمل يتم تجهيز جميع الظروف المناسبة لأجل تحليلها ودراستها، كما يجب ملاحظة إنه عند إزالة هذه الشظايا من مسرح الحادث فيحتمل أن تكون ملوثة بمواد قد تعطي نتائج سلبية في التحليل، لذلك لابد من تنظيف عينات الزجاج المراد فحصها بواسطة المجاهر الضوئية بإحدى هاتين المادتين الأسيتون، أو الإيثانول .

٦-٨-٣ المقارنة والتحليل[١]،[٢]:

تتم المقارنة بين شظايا الزجاج المحرزة من ملابس المشتبه به، أو حذائه، أو شعره مع شظايا من عينات الزجاج القياسية التي جمعت من مسرح الحادث بعدة طرق، سنذكر هنا أهم طريقتين:

١-المقارنة بواسطة معامل الانكسار للزجاج Refractive Index

يعد معامل الانكسار RI من أكثر الوسائل المستخدمة في تحليل ومقارنة عينات الزجاج وأكثرها دقة نتيجة لما يظهر من دقة للخواص الفيزيائية للزجاج.

ويعرف بأنه: «مقياس لمدى انكسار الضوء عند انتقاله من الهواء إلى وسط

(1) Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual .

(2) Jamiwson E R .et alVolume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science»,(2009).

آخر أو عند انتقاله بين وسطين مختلفتين».

حيث إن سرعة انتقاله من وسط إلى آخر تختلف باختلاف الوسطين وبالتالي يحدث انكسار في زاوية الشعاع الساقط، ويتراوح معامل الانكسار للزجاج في المدى بين ١,٥٣-١,٤٥، ويوجد أنواع أخرى من الزجاج لها معامل انكسار مختلف عن المدى المذكور.

وتقوم آلية قياس معامل الانكسار على أساس استخدام مادة معروف معامل الانكسار لها، واعتبارها كعينة قياسية، ومقارنة المواد الأخرى بالنسبة لها، ويستخدم- في الغالب- زيت السليكون كعينة مرجعية لمقارنة معامل الانكسار لعينات الزجاج المختلفة، فإذا غمست شظية الزجاج المجهولة بزيت السليكون فإنه يظهر قمة peak توضح إذا كان معامل الانكسار لهذه الشظية أقل أو أكبر من معامل الانكسار للزيت، فعندما يتساوى معامل الانكسار للشظية مع معامل الانكسار للزيت تختفي هذه القمة، وفي هذه الحالة تسمى نقطة التطابق، مع العلم أنه يمكن تغيير معامل الانكسار للوسط المدروس بتغيير درجة الحرارة، لذا يجب تثبيت درجة الحرارة عند دراسة ومقارنة العينات .

٢- جهاز جريم لتحليل عينات الزجاج GRIM Analyzer

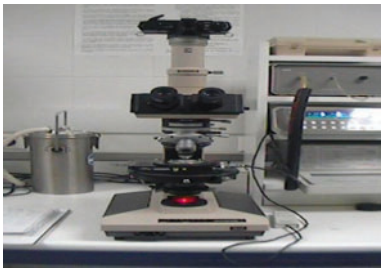
في عام ١٩٨١ قام العالمان «Fee» و«Forest» بابتكار جهاز يستطيع قياس معاملات الانكسار للمواد آليا. وسمي هذا الجهاز مقياس معامل الانكسار للزجاج Glass Refractive Index Measurement ويرمز له بالرمز GRIM وبدأ استخدام هذا الجهاز في المملكة المتحدة منذ

شكل (٦-٥) يوضح جهاز جريم GRIM

عام ١٩٨٥م بدلاً من جميع الأجهزة والوسائل التي كانت تستخدم سابقاً لما لهذا الجهاز من دقة وانتقائية عالية في التحليل، في الوقت الحالي يوجد لجهاز GRIM أكثر من إصدار مثلGRIM1 وGRIM2. ويوضح شكل (٦-٥) جهاز جريم.

طريقة تحليل العينات بواسطة جهاز :GRIM

تغمس شظية الزجاج بزيت السليكون ثم توضع على شريحة زجاجية شفافة ،وغالباً يستخدم زجاج من نوع (سليكون- جير-صودا) والمصنف بالرمز DC710، أما صنف DC550 فيستخدم لأنواع الزجاج ذات معاملات الانكسار الصغيرة مثل: زجاج البوروسيليكات، بينما صنف DC704 فيستخدم لأنواع الزجاج ذات معاملات الانكسار العالية مثل: الزجاج المكون لأدوات المائدة. بعد ذلك، توضع الشريحة على مجهر متلر الحراري Mettler hot-stage .



شكل(٦-٦) المجاهر الحرارية المرتبطة بجهاز جريم

يتغير معامل الانكسار للزجاج كلما تغير الطول الموجي للشعاع الساقط، وكلما تغيرت درجات الحرارة، مع العلم أن مقدار التغير في معامل الانكسار عند التغير في درجة الحرارة يكون قليلاً جداً، لكنه يكون مهماً جداً في حال كان الباحثون والخبراء يحتاجون لنتائج متناهية في الدقة. يستخدم الطول الموجي لعنصر الصوديوم D-589 كمقياس لفحص عينات الزجاج المختلفة للتأكد من مدى ملائمة وجاهزية الجهاز للعمل، ثمّ بعد ذلك يتم تحليل عينات الزجاج القياسية والمجهولة بشكل متزامن وإجراء عملية المقارنة والتباين، حيث يقوم جهاز GRIM بالتحكم بدرجة حرارة المجهر، ويتم اختيار المناطق التي سيتم مقارنتها، مع مراقبة التغير الناتج مع تغير درجة الحرارة، ثم يتم تسجيل معامل الانكسار للعينة المدروسة.

٣-استخدام جهاز المجهر الإلكتروني الماسح SEM-EDS

للتأكد من نتائج مقارنات العينات بواسطة جهاز GRIM ،ومدى تطابق العينة القياسية والمجهولة، يمكن التحليل بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح، وذلك للتعرف على العناصر المكونة لشظايا الزجاج بدقة عالية، مع الحفاظ على عينات الزجاج المدروسة، يتم في هذا الجهاز استخدام حزم من الإلكترونات تسلط على العينة المدروسة تنتج أشعة سينية، فيتم الكشف عن العناصر المكونة للعينة محل الدراسة مثل الصوديوم Na، المغنيسيوم Mg، الألومنيوم Al، السليكون Si، الكبريتS ، الحديدFe والتيتانيوم Ti، ولتجهيز العينة يتم أخذ قطع صغيرة من الزجاج، تثبت على سطح من الكربون الخامل، وتوضع مباشرة في غرفة التحليل، ويمكن تغطية عينة الزجاج بسطح من البلاتين ،أو الذهب لإظهار نتائج دقيقة.

٦-٩ كتابة النتائج والتقارير Results& Report

بعد إجراء الدراسات المخبرية بواسطة الطرق والتقنيات– التي تم ذكرها سابقاً– وبعد التوصل إلى نتيجة لمدى الارتباط بين العينات المدروسة مع بعضها بعضا، فإنه لا بد من تقديم تقرير لتوضيح النتائج.

ولابد أن يتضمن هذا التقرير عدداً من الأسئلة والاستفهامات عما حدث في مسرح الجريمة، وما توصلت إليه السلطة القضائية، وماإذا كان ما تم الحصول عليه من النتائج قد ساعد في الكشف عن غموض القضية أم لا.

وبالمجمل لن تخرج نتيجة التحليل عن إحدى الحالات التالية:

أولا / عدم تطابق العينتين (مختلفتين).

ثانيا / تطابق العينتين بشكل كلي.

ثالثا.العينتان متوافقتان في بعض الصفات الفيزيائية،وفي هذه النتيجة بالتحديد يفضل التوصية بإجراء المزيد من الفحوص أو البحث عن دلائل وقرائن أخرى.

الفصل السابع

التربة Soil

٧-١ مقدمة

تعتمد أهمية التربة، في اعتبارها دليلاً مادياً في موقع الجريمة، على أساس مقارنة التربة، أو(الطين الجاف) العالق على ملابس، أو أحذية، أو مركبة المشتبه به مع عينات من التربة الموجودة في مسرح الحادث، وهذا يؤدي إلى توقع وجود علاقة (ارتباط) بين الشخص المشتبه به وموقع الجريمة.

تجدر الإشارة إلى إن الدراسات الجنائية لا تهتم بتحليل ودراسة ما تحتويه التربة من الصخور، والمعادن الطبيعية والمواد العضوية ومخلفات الحيوانات فقط، بل تشمل أيضاً دراسة مكونات أخرى من صنع الإنسان مثل: شظايا الزجاج، والطلاء، والإسفلت، وفتات الحجارة، والطوب، والرماد. فوجود مثل هذه المواد يكسب التربة صفات تجعل من وجودها في مواقع معينة له دلالة معينة، لذلك تعد التربة دليلاً مادياً مهماً في الدراسات الجنائية.

٧-٢ تعريف التربة[1]

يمكن تعريف التربة Soil بأنها: «الطبقة السطحية المفككة من القشرة الأرضية التي تمتزج، وتختلط فيها المواد العضوية، والمعدنية، ونواتج المواد المتحللة على عمق يتراوح بين ٥٠ إلى ١٠٠ سنتيمتر».

٧-٣ ألوان التربة

تعكس الألوان الكثير من الخواص، لذا يمكن التعرف على الكثير من مواصفات وخصائص التربة اعتماداً على ألوانها، ومقاديرها من تحديد موقع اللون في الطيف المرئي للتربة، ويوضح شكل (٧-١) بعضاً من أنواع التربة.

(1) http://www.arab-ency.com. .

شكل (٧-١) أنواع مختلفة من التربة

فللتربة ألوان مختلفة منها: الأبيض، والأسود، والأحمر، والأصفر، والبني، والرمادي، ويعبر كمياً عن لون التربة بثلاث قرائن، هي:

- موقع اللون في المجال الطيفي.
- قيمة اللون والتي تشير إلى درجة تألق اللون.
- نقاء اللون chroma والذي يشير إلى صفائه.

ويستعمل لذلك جدول ألوان خاص يعرف بأطلس ماسل لألوان التربة «Munsell Soil Color Chart».

٧-٤ مصادر التربة[١]:

تصنف التربة بناءً على عدة متغيرات، فيمكن تصنيفها بناءً على العناصر المكونة لها ما إذا كانت نباتية أم حيوانية. أو تصنف نتيجة لنوع البيئة ما إذا كانت ريفية، أم مدنية، أم صناعية، وفيما يلي قائمة بتصنيفات التربة.

٧-٤-١ بناء على طبيعتها:

- التربة الطينية: وتنتشر بكثرة في المناطق الزراعية.
- التربة الرملية: وتنتشر بكثرة في المناطق الصحراوية.
- التربة الصناعية: وتنتشر بكثرة في المدن، ويمكن أن تنتج بوسائل مختلفة مثل (غبار المصانع- ورش البناء- المناجم- المخازن- الدقيق- الإسمنت) حيث تنتج مواد وعناصر كيميائية مختلفة.

(١) د. كاظم المقدادي، « الطب العدلي والتحري الجنائي» ، الأكاديمية العربية ، الدنمارك، (2008).

٧-٤-٢ بناء على مكان وجودها :

يمكن تقسيم التراب إلى الأنواع التالية:

١- تراب الطريق:

ويلاحظ في هذا النوع ارتفاع نسبة المواد المعدنية، ويمكن أن يَعلَقَ بالآخرين، وبالأجزاء السفلى من الملابس، وبالأحذية، وفي إطارات السيارات.

٢- تراب المساكن:

وهو المتخلف من السجاد، والموكيت، والفرش، والملابس الصوفية. ويعلق أحياناً بجسم الجاني، خصوصاً في جرائم العنف،كالاغتصاب، والخنق بكتم الأنفاس.

٣- التراب الصناعي:

وهو المتخلف من الصناعات المختلفة: كالدقيق، والأسمنت، والفوسفات، وغيرها.

٤-تراب المهنة:

هذا التراب متنوع بتنوع المهن، مثل: الفوسفات(بالنسبة للعاملين في مناجم الفحم)، والطباشير(بالنسبة للمعلمين)، وهذا التراب يمكن أن يوجد أيضاً في القصبات الهوائية للمتوفى، ويفيد في تحديد الوسط الذي ينتمي إليه المجني عليه، مما يسهل الكشف عن هويته.

٥- تراب الأنقاض:

يظهر في الجرائم التي يلجأ فيها الجاني إلى هدم، أو إحداث ثغرةٍ ما في بناء قائم من أجل الدخول إلى المكان لسرقته، أو لارتكاب جريمة فيه. فيتم العثور على غبار النافذة، أو تراب الطوب، أو قطع زجاج وغيرها.

٦- تراب الخزائن:

وهو التراب الذي تبطن فيه الخزائن لحمايتها من الحريق، ويتكون من خليط من المواد التالية: سلفات البوتاسيوم،سلفات الألمنيوم، نشارة خشب، ورق حراري، صودا،منغنيز، وتظهر هذه الأتربة في ملابس المجرمين المتخصصين في كسر وسرقة الخزائن.

٧-٥ الأهمية الجنائية لآثار الأتربة[1]

إن الانتشار الكبير للأتربة بأنواعها المختلفة في البيئة يكسبها أهمية بالغة بسبب احتمالية استخدامهما كأدلة مادية مفيدة في موقع الجريمة، حيث إن الاهتمام بدراسة تلك الآثار يساعد الباحث الجنائي في الكشف عما يبحث عنه، فعند الكشف عن وجود تربة في ملابس المجني عليه أو الجاني، فإن هذا يساعد على تحديد نوعية التربة، وبالتالي تسهيل مهمة كشف خيوط القضية عن طريق حصر البحث في مناطق معينة تحمل خصائص التربة المفحوصة، وهذا في النهاية يصب في مصلحة العدالة، كإثبات التهمة على الجناة، أوتبرئة الأشخاص الذين لا علاقة لهم بالقضية .

من جهة أخرى يجب على الخبير الجنائي تحريز وحفظ هذه الآثار بالطرق العلمية الصحيحة، كما يجب عليه إجراء تجارب الكشف والتحليل لها بأساليب متناهية في الدقة؛ لأن هذا يساهم في التوصل إلى أسباب منطقية تمكن الخبراء في النهاية من ربط المشتبه به مع موقع الجريمة.

تعتمد عملية التحليل الجنائي للتربة كغيرها من الأدلة المادية الأخرى على مبدأ المقارنة، حيث إن التربة التي يتم العثور عليها عالقة على الشخص المشتبه

(1) Saferstein , R . « Forensic Science- An Introduction» , Prentice Hall , USA, (2011).

به يتم جمعها بحذر شديد لمقارنتها مع عينات التربة الموجودة في مسرح الجريمة والمناطق المجاورة لها.

يمكن معرفة الكثير من الخواص الدقيقة لأنواع التربة وأماكنها المختلفة عند تجهيز عينتين من التربة ومقارنتهما من ناحيتي اللون والمكونات (التركيب البنائي)، ويجب على المحلل الكيميائي أن يأخذ في الحسبان إن لون التربة الرطبة أغمق من الجافة ، لذلك عند المقارنة لابد أن تكون جميع عينات التربة تحت ظروف مخبرية متطابقة.

والجدير بالذكر أنه تمّ اكتشاف ١١٠٠ لون مختلف للتربة، وعلى ذلك فإن مقارنة ألوان التربة تعد خطوة أولية مفيدة في عمليات المقارنة الجنائية لعينات التربة.

٧-٦ طرق رفع وتحريز عينات التربة[١]،[٢]

يمكن رفع عينات التربة حسب مكان مسرح الحادث وتكون طرق الرفع كالتالي :

- التربة المتماسكة مثل أثار التربة الطينية والمتواجدة على حذاء المشتبه به، يمكن رفعها عن طريق كحتها بواسطة مشرط، أو سكين بلاستيكية، وتجمع في أكياس ورقية نظيفة، وتسجل عليها جميع البيانات .
- الآثار الموجودة على السطوح المختلفة مثل الأرضيات والملابس يمكن رفعها بواسطة أشرطة لاصقه أو بفرشاة تنظيف الملابس على حسب طبيعة المادة المرفوعة .

---

(١) الحصيني. حسين ، الجندي. إبراهيم ،» الأدلة الجنائية 1» ،كلية الملك فهد الأمنية ، المملكة العربية السعودية ،(1426).

(2) Saferstein , R . « Forensic Science- An Introduction» , Prentice Hall , USA , (2011).

- ترفع عينات قياسية من مسرح الحادث بنفس الطريقة لإجراء المقارنة، حيث تساعد هذه المقارنة في التعرف على المكان الذي كان فيه المشتبه به.

بشكل عام يجب على المحلل الجنائي أن يأخذ في الحسبان الملاحظات التالية قبل رفعة لعينات التربة من مسرح الحادث:

- لا بد من جمع عينات التربة من عدة مواقع قريبة من مسرح الحادث أي من الموقع نفسه والأماكن القريبة منه في إطار دائرة نصف قطرها ١٠٠ متر تقريباً.
- يمكن جمع العينات من المواقع التي يذكرها المشتبه به أثناء التحقيق معه.
- يجب رفع عينات من الطبقات العلوية السطحية دون الحاجة إلى القيام بعملية حفر للطبقات العميقة، لأن الآثار المرغوب رفعها تتركز في السطح العلوي فقط.
- يتم رفع كميات قليلة من عينات التربة تعادل ملعقة طعام أو ملعقتين، لأن هذه الكمية هي التي يحتاجها المعمل الجنائي لإجراء عمليات الدراسة والمقارنة بين العينات .
- تحفظ كل عينة يتم تحريزها بوعاء خاص بها مثل القوارير البلاستيكية مع الإشارة إلى الموقع الذي أخذت منه، وتاريخ جمعها، وظروف الجمع.
- بالنسبة للعينات المأخوذة من المشتبه به، أو من حذائه، أو أي قطعة موجودة في موقع الجريمة كالسجاد، فلا بد من تحريزها بدقة عالية بواسطة أوراق خاصة عن طريق لفها ثم نقلها بحذر إلى المعمل الجنائي. والهدف من لف هذه العينات في أوراق خاصة، هو المحافظة على وضعية التراب، لأنه في حال سقوط أي كمية من عينات التربة أثناء عملية النقل، فسيضمن أنها موجودة داخل الأوراق.

٧-٧ التعامل مع عينات التربة في المعمل الجنائي

توجد عدة طرق لفحص وتحليل عينات التربة، ويمكن تقسيمها إلى طريقتين أساسيتين:

٧-٧-١ الفحوص الفيزيائية:

يوجد في الطبيعة أكثر من ٢٢٠٠ نوع من المعادن،٤٠ منها فقط واسعة الانتشار والباقي نادرة الوجود، وكما هو معروف أن التربة والصخور مكونة من مواد عضوية ومعادن.

توجد هذه المعادن على هيئة بلورات لها خواص فيزيائية مميزة مثل: اللون، والشكل الهندسي، والكثافة، ومعامل الانكسارbirefringence ،وهي مهمة جداً لتعريف التربة وتمييزها. ويوضح شكل (٧-٢) تضاريس متنوعة للأرض ومدى الاختلاف في تركيب تربتها.

شكل (٧-٢) تضاريس متنوعة للأرض ومدى الاختلاف في تركيب التربة

لذا يحتاج الخبراء الجنائيون إلى الاستعانة ببعض المتخصصين في مجال دراسة طبقات الأرض (الجيولوجيا)، لأن هؤلاء لديهم الدراية الكافية بخواص التربة، وطرق تحليل المعادن والصخور الموجودة فيها، كما أنهم يساعدون في تحديد أوجه الشبه والاختلاف بين عينات التربة المدروسة، وبالتالي تسهل من طريقة المقارنة فيما بينها، وفيما يلي قائمة بأهم الفحوصات الفيزيائية:

أ-لون التربة Soil colure

يعد من الفحوصات الأولية التي يتم إجراؤها في المختبر الجنائي، حيث يساعد على التفريق، وتوضيح العناصر المكونة للتربة، فعند تشابه عينتي تربة بالعين المجردة، فإن احتمال التشابه بين خواصها يكون كبيرا. ومع ذلك نحتاج لإجراء مزيد من الفحوص للتأكد، أما إذا اختلفت عينتا التربة من مجرد النظر بالعين المجردة فإن احتمال التشابه بين خواصها يصبح محل شك.

ب-مخبار الكثافة المتدرج[1] Density Gradient Column Technique

يتم استخدام مخبار الكثافة المتدرج للتفريق بين أنواع التربة، وهو عبارة عن أنابيب زجاجية قطرها يتراوح ما بين ٦-١٠ مم، وطولها يتراوح ما بين ٢٥ -٤٠ سم، وطريقة الفحص بها كالتالي:

- يؤخذ سائلان مختلفا الكثافة ويتم مزجهما للحصول على كثافات بنسب مختلفة، والسائلان هما:

١- سائل ثقيل مثل: رباعي بروميد إيثان ($C_2H_2Br_4$) (tetrabromoethane) كثافته =٢,٩٦ غ/مل.

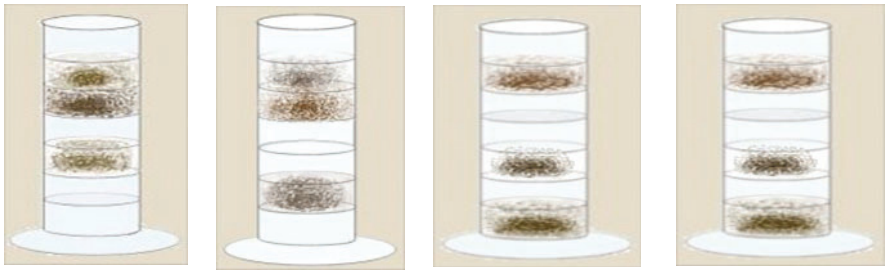
٢- سائل خفيف مثل: الإيثانول كثافته =٠,٧٨٩ غ/مل. كما في الجدول (٧-١)

جدول (٧-١) البيانات الخاصة باختبار الكثافة المدرج

رقم المحلول	$C_2H_2Br_4$	ethanol	كثافة المحلول
١	٥مل	صفر	٢,٩٦
٢	٤مل	١مل	٢,٥٣
٣	٣مل	٢مل	٢,١٠
٤	٢مل	٣مل	١,٦٦
٥	١مل	٤مل	١,٢٢
٦	صفر	٥مل	٠,٧٨٩

(1) http://www.hull.ac.uk/ Chemistry, Hull University.

- يمكن تكوين ٥ إلى ١٠ طبقات في أبسط أنواع الأنابيب من هاتين المادتين على أن تكون الطبقة الأولى من الأسفل هي الـ $C_2H_2Br_4$ (صافية نقية من أي شوائب)، والطبقة العليا هي من مادة الإيثانول الصافي (نقي من الشوائب)، ويكون هناك اختلاف في تركيز بقية الطبقات الموجودة بينهما بنسب متماثلة، ويوضح شكل (٧-٣) طريقة اختبار مخبار الكثافة المتدرج.



عينة قياسية عينة مشتبه بها١ عينة مشتبه بها٢ عينة مشتبه بها٣

شكل (٧-٣) طريقة اختبار مخبار الكثافة المتدرج

- عند إضافة جزيئات التربة إلى الأنبوب، فإنها ستتوزع في جزء من الأنبوب الذي تكون فيه الطبقات مساوية لها في الكثافة وتبقى جزيئات التربة عالقة في السائل، حينئذ يمكن ملاحظة الاختلاف في كثافة جزيئات التربة ومقارنة عينات التربة هذه مع غيرها من العينات التي يتم معالجتها بنفس الطريقة المذكورة.

٧-٧-٢ الفحوص الكيميائية:

أ-مقياس الأس الهيدروجيني PH meter

نظراً لاحتواء التربة على العديد من الأيونات، والأملاح الذائبة الطبيعية،

أو المضافة. يستطيع هذا المقياس التفريق بين أنواع مختلفة من التربة ذات الألوان المتشابهة من خلال درجة حموضتها، ويعد هذا الفحص فحصاً أولياً، ويوضح شكل (٧-٤) جهاز مقياس الأس الهيدروجيني.

شكل (٧-٤) يوضح جهاز مقياس الأس الهيدروجيني

ب-المجهر الضوئي Microscope

تكمن أهمية هذا النوع من المجاهر في تمييز مكونات التربة عن المخلفات النباتية والحيوانية وعن مخلفات المواد المصنعة.

ج-تقنية الحث البلازمي المقترنة بمطياف الكتلة MS -ICP

ويحلل هذا الجهاز العناصر والمكونات الموجودة في التربة، وتعتمد آلية عمل الجهاز على أساس إدخال العينة إلى جهاز البلازما كرذاذ aerosol ثم يتم فصل أيونات العناصر على أساس نسبة الكتلة إلى شحنتها mass-to-charge.

ومن مميزات الجهاز إمكانية الكشف عن الأيونات والمعادن الموجودة في العينة الواحدة، ما يقلل من زمن التحليل، ويتميز هذا النوع من التحليل بالدقة والحساسية العالية؛ لأنه يتخلص من كثير من التداخلات غير المرغوبة إضافة إلى أن حدود الكشف فيه منخفضة حيث يمكن تحقيق حدود كشف تصل على سبيل المثال من ١-١٠نانوجرام /لتر، كما في شكل (٧-٤).

شكل(٧-٥) جهاز الحث البلازمي المقترن بمطياف الكتلة (MS -ICP)

د-المجهر الإلكتروني الماسح SEM

ويتميز هذا الجهاز- كما شرح سابقا- بقدرته على التعرف على صفات التربة وشكلها البنائي والمعادن والصخور الموجودة ضمن مكوناتها.

٧-٨ كتابة النتائج والتقارير Results& Report

بعد إجراء الدراسات المخبرية بواسطة الطرق والتقنيات—ا لتي تم ذكرها سابقاً - وبعد التوصل إلى نتيجة لمدى الارتباط بين العينات المدروسة مع بعضها بعضا، لا بد من تقديم تقرير لتوضيح النتائج.

ولابد أن يتضمن هذا التقرير عدد من الأسئلة والاستفهامات عما حدث في مسرح الجريمة وما توصلت إليه السلطة القضائية وما إذا تم الحصول عليه من النتائج قد ساعد في الكشف عن غموض القضية أم لا.

وبالمجمل لن تخرج نتيجة التحليل عن إحدى الحالات التالية :

أولا / عدم تطابق العينتين (مختلفتين).

ثانيا / تطابق العينتين بشكل كلي.

ثالثا / العينتان متطابقان في بعض الصفات الفيزيائية، وفي هذه النتيجة بالتحديد، يفضل التوصية بإجراء المزيد من الفحوص، أو البحث عن دلائل، وقرائن أخرى.

المراجع

أولاً- المراجع العربية:

١. حسين. محمد سيد، «مكافحة حرائق المباني»، موسوعة علم الإطفاء، الكتاب الثاني، (٢٠٠٦م). الحصيني. حسين ، الجندي. إبراهيم، «الأدلة الجنائية ١»،كلية الملك فهد الأمنية الرياض ، المملكة العربية السعودية ،(١٤٢٦هـ).

٢. الضباح. عبد الرحمن، آل جابر. سلطان، «دراسة العوامل المؤثرة على بقاء مخلفات الإطلاق الناري على الأيدي والأوجه»، كلية الملك فهد الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ،(٢٠١٣م).

٣. عطيات. عبدالرحمن شعبان، «التحقيق العلمي للكشف عن مسببات الحريق العمد، المركز العربي للدراسات الأمنية، الرياض، المملكة العربية السعودية ، (١٤٠٨هـ).

٤. فارس. غبور، «كشف بقايا إطلاق الأعيرة النارية»،جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية،المملكة العربية السعودية ، (٢٠٠٩م).

٥. محمد دبس ، «الموسوعة العلمية الميسرة» أكاديميا إنترناشونال، لبنان (٢٠٠٧م).

٦. محمد. مزهر، «القيمة القانونية والفنية في إجراء الكشف والمعاينة في مسرح الجريمة»، عمان،الأردن (٢٠١٠م).

٧. المقدادي، كاظم، «الطب العدلي والتحري الجنائي»، الأكاديمية العربية، الدنمارك ،(٢٠٠٨م).

٨. هاك، ريتشارد ، آدمز، بايرا، «أساسيات مكافحة الحريق، الجمعية الدولية للتدريب على خدمات الحريق»، جامعة ولاية أوكلاهوما ، الولايات المتحدة الأمريكية ، (١٩٩٨م) .

ثانياً- المراجع الأجنبية :

1. Jamieson. A, Moenssens ,A.et al. Volume 3, «Wiley Encyclopedia of Forensic Science», Wiley ,UK, (2009).

2. Stauffer.E , Dolan.J , Nweman .R,» Fire Debris Analysis «, Academic Press, California,USA,(2008) .

3. Anthony, J. «Forensic Science Fundamentals & Investigations»,South Western, USA , (2008).

4. F. Augusto A. Luiz Pires Valente ,(2002) «Applications of solid-phase microextraction to chemical analysis of live biological samples» , TrAC Trends in Analytical Chemistry Volume 21, Issues 6–7 , 7 June, Pages 428–438 .
4. Forensic Science Service , FSS - UK , Trainees Manual, London.UK (2007) .

5. M. Smith G. E.Collins , J. Wang (2003) «Microscale solid-phase extraction system for explosives» , Journal of Chromatography ,Volume 991, Issue 2 , 4 April 2003, Pages 159–16 .
5. Newton , D. «The New Chemistry – Forensic Chemistry», Facts On File Inc,New York ,USA , (2007) .

6. Bell , Suzanne « Forensic Chemistry», Pearson Prentice Hall , UK ,(2006).
7. Solid phase microextraction application guide CD. 4th Ed. Supelco, Bellefonte, Pa Supelco, (2002).

8. Bertsch ,W. « Sample Preparation for the Chemical Analysis of Debris in Suspect Arson Cases « ,(2001).
9. Solid phase microextraction troubleshooting guide. Bulletin 928. Supelco, Bellefonte, Pa Supelco , (2001).
10. West Virginia State Police,(8th Addition), «Laboratory Filed Manual» Vorginia , USA.
11. David , R .et al « Practical Fire and Arson Investigation « 2ed Ed ,CRC Press , New Your , USA , (1997).
12. Jehudo.Y, Shmuel.Z ,»Modern Methods and Applications in Analysis of Explosive « , 1st Ed , Wiley , England , (1996).
13. Saferstein , R. « Forensic Science- An Introduction» , Prentice Hall , USA , (1981).

ثالثاً- المراجع من شبكة الانترنت :

1. http://www.arab-ency.com
2. http://www.hull.ac.uk/ Chemistry , Hull University.

رابعاً -مراجع الصور والأشكال :

1. http://www.rcmp.gc.ca.
2. http://www.vgl.ucdavis.edu .
3. http://www.spexforensics.com .
4. http://www.all-about-forensic-science.com .
5. http://www.ehow.com/info-forensic-scientist.html .
6. http://www.oxfordtimes.co.uk .
7. http: // www. benihana.com .

8. http://www.spexforensics.com .
9. http://www.cellmarkforensics.co.uk .
10. http://camillaschemistryadventure.blogspot.co.uk .
11. http://www.education.gov.bh .
12. http://ar.wikipedia.org .
13. http://fallout.wikia.com/wiki/File:Nuclear_explosion.jpg
14. http://www.sciencedirect.com/science/journal/13873806/298/1-3
15. http://pegasus.cc.ucf.edu
16. http://www.aquaculture.ugent.be/Education/coursematerial/ATA/analysis/lipextr.ht.
17. http://theideagirlsays.wordpress.com
18. /energy-wavelength-visible-light-diagram.
19. http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science/fsc/april 2004 /research.
20. http://jim-norris.com/Gunshot%20Residue.htmll
21. http://basracrimelab.com/Chemistry.php
22. http://www.tedpella.com/calibrat_html/gunshot.htmll
23. http://daily-survival.blogspot.co.uk/2009/05/basic-firearms-part-2-ammunition.html
24. https://www.lynnpeavey.com/index.php
25. http://www.museevirtuel-virtualmuseum.ca/sgc-cms/expositions-exhibitions/detective-investigator/en/zoom/rcmp14.html
26. http://arrowhead.frida1.com/evidence-collection/gun-shot-residue-gsr-kit-sem-4-carbon-disks-envelope.html

27. http://www.lcc.ukf.net/Chem14/IR&MassSpec.html
28. http://www.chem.ucalgary.ca
29. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022231310004436
30. http://www.dispersions-pigments.basf.com
31. http://www.sciencephoto.com/media/411923/view
32. http://www.madsci.org/posts/archives/2005.
33. http://cc307-jacktheripper.wikispaces.com/Analyzing
34. Glass.
35. http://www.crimemuseum.org/library/forensics/glassanalysis.html.