القنابل العالية الإنفجار

للمهندس بهاء الدين الحموي

يتشعب موضوع البحث في طرق الوقاية من القنابل المتفجرة إلى نواح عديدة ويتطلب ذلك دراسة جدية لمعرفة خواص المواد المستعملة والعلوم التي لها صلة وثيقة بها وتطبق النظريات العلمية على التجارب العملية. ولاشك أن كثيراً من الحكومات قامت بأبحاثها الخاصة ووصلت إلى بعض النتائج والنظريات ولكنها احتفظت بسر هذا القليل الذي وصلت إليه ولعل هذا يبين مقدار الصعوبة التي يجدها الباحث وكذلك سبب إختلاف القوانين والنظريات في البلاد المختلفة لأن أكثرها قائم على أساس البحث الفردي النظري المبني على التجارب القليلة المعروفة أو المشاهدات الواقعة.

وفيما يلي بعض البيانات التي استطعت أن أجمعها من التي ظهرت مراجع متعددة عن بعض أنواع القنابل المتفجرة وخواص المواد المتفجرة والقوانين التي يمكن الإعتماد عليها والتي يحتاج إليها المصمم لحساب مقاسات القطاعات اللازمة في إنشاء المخابئ.

جهاز الإشتعال

تعبأ القنابل العالية الإنفجار التي تستعملها الطائرات بمواد متفجرة قوية وتزود كل قنبلة بجهاز خاص للإشتعال. وهذا الجهاز عبارة عند زناد يتحرك عند إصابة القذيفة للهدف ويسبب الحركات المتتالية التي تسبب الإنفجار. ويثبت هذا الزناد إما في مؤخرة القنبلة أو مقدمتها.

وتسبب الصدمة تحرك زناد وإحتراق كبسولة على رأس جهاز الإشتعال ويعبأ هذا الجهاز عادة بمواد متفجرة سريعة الحساسية مثل الفلمانيت مركوري وقد تكون الكبسولة مفصولة عن هذا الحشو بفتيل خاص. وتنتقل حركة الإنفجار من جهاز الإشتعال إلى مادة أخرى متوسطة الحساسية والأخيرة تسبب إشتعال المواد الرئيسية في القنبلة وتكون عادة من مواد بطيئة الحساسية.

وتتوقف سرعة الإشتعال على تنوع الفتيل المستعمل والكمية المستعملة ودرجة حساسيته وسرعة إشتعاله وبذلك يمكن إحداث الإنفجار النهائي للقنبلة عند حدوث الصدمة الأولى مباشرة وتسمى القنبلة في هذه الحالة قنبلة سريعة الحساسية.

أو حدوث الإنفجار بعد فترة من الصدمة الأولى "التي تبدأ عند تحريك جهاز الإشتعال"ثم الإنفجار بعد ذلك وتسمى القنبلة في هذه الحالة قنبلة ذات مفعول متأخر Deloyed action وكلما كان الإشتعال بطيئاً كلما زادت المسافة التي تخترقها القنبلة بالطاقة الميكانيكية التي اكتسبتها بالسقوط قبل حدوث الإنفجار.

ويركب عادة جهاز الإشتعال الحساس في مقدمة القنبلة بينما يركب الجهاز المتأخر في نهايتها وبعض القنابل تزود بالجهازين معاً لإستعمال أحدهما طبقاً للهدف الذي سيهاجم.

أنواع القنابل ومقاساتها

تقسم أنواع القنابل العالية الإنفجار بالنسبة لنوع الغلاف الذي يحتوي المواد المتفجرة إلى ثلاثة أنواع. ثقيلة ، متوسطة ، وخفيفة. ويكون الغلاف في الحالة الأخيرة من الواح الصلب وفي الأخيرة من حديد ظهر أو صلب قوي. وتكون المقدمة والنهاية أسمك من الجدران.

وتنقسم القنابل ذات الغلاف الثقيلة من ثلاثة أقسام.

مسلحة خارقة Armour piercing A.P.

ومسلحة خارقة متوسطة Semi Armour piercing S.A.P.

وللأغراض العامة General purpose G.P.

وقنابل صغيرة متفتتة وتستعمل ضد الأفراد Fragmentation F.

وهناك نوع خاص يستعمل ضد الغواصات وهو ذو غلاف بسيط ويسمى Anti Submarine

وفيما يلي جدول يبين الوزن الكلي لبعض القنابل ونسبة كمية المواد المتفجرة التي بها:

نوع القنبلة	نسبة وزن المواد المتفجرة إلى الوزن الكلي	الوزن الكلي للقنبلة
ضد الأفراد	15 – 20 %	20 رطل
ذات غلاف خفيف	50 – 60 %	
ذات غلاف متوسط	25 – 40 %	50 – 400 رطل
ذات غلاف ثقيل	بسيطة	

والجدول التالي يبين مقاسات بعض القنابل ولايمكن الأخذ بها كقياس ثابت إذ أنها تتغير طبقاً للنماذج المستعملة في كل بلد

نوع القنبلة ووزنها	طولها الكلي بمافي ذلك الذيل	طول الجزء الموجود به مواد متفجرة	نسبة الوزن إلى مساحة أكبر قطاع
2000 رطل خفيفة الغلاف	14 قدم	9 أقدام	4.4رطل/بوصة مربعة
1100 رطل ثقيل الغلاف	6 أقدام	4 اقدام	9.7 رطل/بوصة مربعة
550 رطل متوسطة الغلاف	5 أقدام	4 أقدام	3.1 رطل/بوصة مربعة
220 رطل متوسطة الغلاف	4.5 قدم	2 قدم	2.8 رطل/بوصة مربعة
100 رطل متوسطة الغلاف	4 أقدام	2 قدم	1.6 رطل/بوصة مربعة
20 رطل متوسطة الغلاف	1 قدم	1 قدم	1 رطل/بوصة مربعة

القنابل ذات الغلافات الثقيلة:

تصمم مثل هذه القنابل لتتحمل قوة الصدمة ولتخترق الهدف المصاب قبل الانفجار وللوصول إلى هذه الغاية تزود بجهاز اشتعال بطئ الحساسية لإيجاد فترة من الزمن بين وقت حدوث الصدمة والإشتعال. (شكل 1)

وتظهر قيمة هذه القنابل المصفحة في مهاجمة الأهداف المحصنة ذات الحوائط والأسقف الفولاذية أو الخرسانية، ولكنها تتساوى مع غيرها من الأنواع إذا أصابت هدفاً ذا خاصية مرنة، كأرض رخوة أو طينية أو رملية لأنها تخترق فيها مسافات بعيدة على السواء بعكس مالو كان هذا الهدف من مادة خرسانية أو فولاذية فإن القنابل ذات الغلافات الخفيفة لا يمكن أن تخترق إلا مسافات محدودة أقل بكثير من النهاية العظمى لقوة الإحتراق الناتجة من طاقة السقوط وذلك لحدوث الإنفجار قبل الوصول إلى حالة السكون ولهذا يقصر استعمال القنابل ذات الغلافات الثقيلة لأغراض وأهداف خاصة.

والقوة الفعالة في هذه القنابل هي كما يفهم مما سبق قوتان ، قوة الصدمة والإختراق وقوة الضغط الناتج من الإنفجار ولكلا القوتين تأثير هائل هدام.

ويكون فعل هذه القنابل إذا سقطت على الأرض كفعل المواد المتفجرة في المناجم حيث يتولد موجات ضغط تتوزع من مركز الشحنة في جميع الإتجاهات. وإذا لم يصل الإخراق إلى مسافات كبيرة فإن الفوهة التي تحدث من الإنفجار تكون سطحية. والضغط الناتج من انفجار هذه القنابل وكذلك الشطايا يكون أضعف منها لو قورنت بقنبلة ذات غلاف متوسط وبها نفس كمية الشحنة ويختلف وزن هذا النوع من القنابل بين 100 كيلو، 1000 كيلو أما نسبة المواد المتفجرة بها فصغيرة.

القنابل ذات الأغلفة المتوسطة

تتراوح نسبة المواد المتفجرة من هذا النوع من القنابل بين 25، 40 % وهي نسبياً أكثر من النسبة الموجودة في القنابل ذات الغلاف الثقيل ونظراً لخفة الغلاف فإنه لا يتحمل قوة الصدمة و كذلك لا يساعد على قوة الإختراق في المواد الصلبة إلى مسافات كبيرة.

وقد تزيد بجهاز اشتعال سريع يحدث الإنفجار بمجر حصول الصدمة ويكون الغرض الأساسي في هذه الحالة هو تدمير الأجزاء السطحية أو التي تعلو الهدف أو سطح الأرض واما أن تزود بجهاز اشتعال أقل سرعة من الأول يحدث تأخيراً في الانفجار الفترة من الثانية حتى تخترق القنبلة دوراً أو اثنين من المبنى ثم تنفجر ويخترق هذا النوع من القنابل عدة أسقف من الخرسانة المسلحة قبل الإنفجار.

ويتراوح وزن هذه القنابل بين 50 ، 1000 رطل وتصمم لتحدث ضغطاً هائلاً وشظايا كثيرة ويمكن إيجاد قنابل من هذا النوع اثقل من ذلك في الوزن ولكنها غير مستعملة نسبياً لأسباب أهمها أن القنابل التي وزنها يتراوح بين 110 و 660 رطلاً تكفي لجميع الأغراض في حالة الهجوم على المباني المدنية.

القنابل ذات الغلافات البسيطة

تحتوي هذه القنابل على ما يوازي 50 إلى 60 % من وزنها الكلي مواد متفجرة وتستعمل حينما يراد إيجاد ضغطاً كبيراً. وجدران هذه القنابل خفيفة بقدر المستطاع وتستعمل عادة في الهجوم إذا كان حدوث الإنفجار هو العامل المهم كالغارة على مجموعة مباني مكونة من دور واحد أو عدة مباني خشبية الخ... ولهذا فانها تزود عادة بجهاز اشتعال حساس الا إذا استعملت للهجوم على اهداف تحت الماء فتزود بجهاز بطئ.

القنابل التي تستعمل ضد أفراد

ويبلغ وزنها حوالي 30 رطلاً ونسبة كمية المواد المتفجرة تتراوح بين 15 و 20 % ومصممة لاستعمالها بكثرة حيث تتفتت إلى عدد كبير من الشظايا وتهاجم بها الجماهير في الهواء.

وسنقصر البحث فيما يلي على خواص المواد المتفجرة التي لها الأثر الفعال في الهدم والتخريب مباشرة أو بالتأثير.

المواد المتفجرة

المواد المتفجرة هي المواد التي إذا رفعت درجة حرارتها أو أشعلت "أو باستعمال طرق أخرى" تتحول من حالة الصلابة أو السيولة إلى غازات ويحدث هذا التحول في فترة متناهية الصغر، كما يصحب هذا التفاعل الكمياوي حرارة شديدة تساعد على سرعة تمدد الغازات وزيادة حجمها وتبعاً لذلك حدوث ضغط قوي على كل ما حولها.

ويطلق على هذا التحول الكيماوي لفظ الانفجار.
والمواد المتفجرة إما أن تكون مركبة من عدة مواد مخلوطة خلطاً

ميكانيكياً ولا يحدث بينها التفاعل الكيماوي أو التخلل والانفجار الا تحت مؤثرات خاصة وإما أن تكون مستحضرات ومركبات كيماوية.

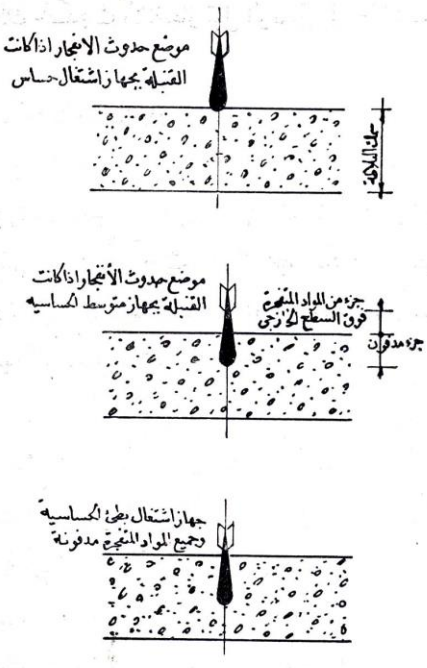
ومن النوع الأول البارود الأسود ومن الثاني مركبات النترات المتفجرة ويختلف مقدار الضغط الناتج من الانفجار باختلاف المواد وخواصها الطبيعية ويتناسب مقدار هذا الضغط مع العوامل التالية تناسباً طردياً مع الزيادة والنقص.

(1) سرعة الاشتعال – أي الوقت اللازم لاحتراق كمية معينة من المادة وتحولها إلى غازات.

(2) كمية الغاز الذي تتحول إليه الكمية المعينة من المادة.

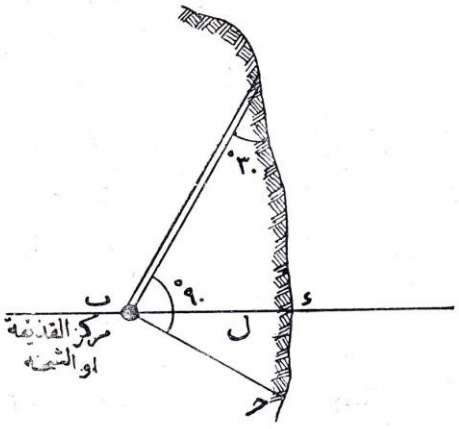
(3) درجة الحرارة التي تصحب الانفجار.

وسرعة الاشتعال في بعض المواد المتفجرة بطيئة وفي غيرها تبلغ حد من السرعة يصعب معها قياسه على وجه التدقيق.



(شكل ١)

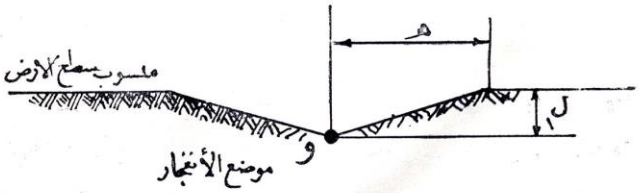
فمثلاً إذا وضعنا كمية من البارود قطرها حوالي بوصة وطولها حوالي 61متراً فوق الأرض واشعل أحد أطرافها فالوقت الذي يستغرقه وصول اللهب حتى نهاية الطرف الآخر هو 18ثانية تقريباً وبذلك تكون سرعة الاشتعال لهذه المادة هي 3.4 متراً في الثانية.



(شكل ٢)

وتتراوح هذه السرعة في المواد المستعملة في القنابل العالية الانفجار بين 5000 و 8300 متراً في الثانية والزمن اللازم لاحتراق كمية المواد المتفجرة في قنبلة وزنها 200 كليو جرام لا يزيد عن بضعة أجزاء من عشرة آلاف في الثانية.

ويتوقف على سرعة الاشتعال سرعة تولد الغازات وقوة الصدمة التي تحدث التلف والتدمير فمثلاً إذا وضعت كمية معينة من مادة الترنيتروتلين المستعملة في تعبئة القنابل العالية الانفجار على قضيب من الحديد، أو الصلب وأشعلت بتيار كهربائي، فان القوة الناتجة من الانفجار تقطع القضيب وتقذف بأجزائه. ولكن إذا استبدلت مادة الترنيتروتلين بالبارود بكمية مماثلة لها أو أكبر منها فإنه لا يمكن قطع هذا القضيب بهذه الطريقة مهما كانت كمية البارود المستعملة. وذلك لأن سرعة اشتعال البارود الاسود وتحوله إلى غازات بطيئة ولا ينتج قوة الصدمة الكافية لقطع القضيب.



(شكل ٣)

فاشتعال مادة البارود الأسود يكون باحتراقها تدريجياً حيث تتجمع الغازات في كل الفراغات الموجودة ويتوزع ضغطها بانتظام تقريباً حتى يزيد عن قوة مقاومة ما حولها من المواد فتدفع ما يعترضها ولكن اشتعال مادة الترنيتروتلين لا يكون بالاحتراق ولا بالتدريج بل يحدث فجأة ةتتحلل جميع أجزاء المادة على السواء ويحدث الضغط دفعة واحدة ويحدث الصدمة القوية التي تسبب التمزيق Shattering وبذلك تنقسم المواد المتفجرة من هذه الوجهة إلى قسمين:

(1) مواد متفجرة ممزقة

(2) مواد متفجرة ضعيفة وتستخدم للقذف في المدافع والبنادق

أما كمية الغاز الناتجة من الاحتراق فتختلف أيضاً باختلاف المادة وتحدد لكل مادة على حدة بمقدار ما ينتجه الجرام الواحد من كل مادة من الغازات في درجة حرارة ثابتة الزمن المعروف أن حجم الغاز يتغير طبقاً لمقدار الضغط الواقع عليه ودرجة حرارته ويتبع في ذلك قانون خاص "قانون بويل":

ح X ض = حَ X ضَ = ع

وفي هذا القانون ح = تساوي حجم كيمة الغاز الناتجة من احتراق جرام واحد بعد تبريدها لحرارة الجو.

ض = الضغط الجوي عند عمل التجربة

حَ ، ضَ = حجم الغاز بعد تغيير الضغط وتبريد الغاز إلى درجة الحرارة الأولى

ع = عدد ثابت دائماً يختلف باختلاف درجة الحرارة ومنها $\frac{\text{ح X ض}}{\text{ع}} = \frac{\text{ح X ض}}{\text{ع}}$

<u>الطاقة الكامنة في المواد المتفجرة</u>

بينا أن قوة الضغط الناتج من الانفجار يتوقف على العوامل الثلاثة الاولية وهي سرعة الاشتعال وكمية الغاز ودرجة الحرارة ومن الصعب تحديد الطاقة الكامنة فب المواد المتفجرة على وجه دقيق للصعوبات التي تعترض عمل التجارب لما يصحب الانفجار من حدوث ظواهر أخرى طبيعية يضيع معها جزء من الطاقة لا يكن قياسه كالطاقة الضوئية والطاقة الضوئية كما ان القيمة العملية لنتائج هذه التجارب تكاد تكون غير مجدية للاختلاف الظاهر لكل حالة من الحالات التي يحدث منها الانفجار وصعوبة تطبيقها بالنسبة للظروف المحلية لكل حالة. ولكن تستخدم الظواهر الثلاثة الأولية للمقارنة بين الطاقة الكامنة في المواد المتفجرة المختلفة. فإذا فرضنا أن السرعة التي تنتشر بها الغازات عند حدوث الانفجار تساوي أو تناسب مع سرعة الاشتعال فأنه يمكن التغيير عن الطاقة الميكانيكية التي تحدث من الانفجار بقانون نيوتن التالي:

ق = ك X س

حيث ق = القوة التي تحدث من الانفجار

ك = كتلة الجسم = الحجم X الكثافة

س = مقدار تغير السرعة

وبذلك تكون ق = ح X ث X س

حيث ح = حجم كمية الغاز الناتجة من جرام واحد تحت ضغط جو عادي ودرجة حرارة صغيرة

ث = كثافة الغاز

س = سرعة الاشتعال

وتتناسب الطاقة الكامنة في المواد المتفجرة مع حاصل ضرب الطاقة الميكانيكية X الطاقة الحرارية وبذلك تكون

ض = ح X ث X س X هـ

حيث ض = عدد ثابت يختلف باختلاف المادة وتتناسب مع القوى الفعالة التي تحدث التمزق

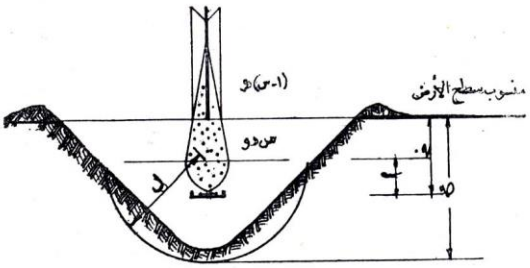
هـ = كمية الحرارة الناتجة من احتراق جرام واحد من المادة بالسعر ويطلق على المعامل ح X هـ معامل جهد الطاقة ويتخذ في بعض الاحيان قياساً للمقارنة بين قوى المواد المتفجرة مع فرض أن الحرارة النوعية للغازات الناتجة من المواد المتفجرة واحدة أما حجم الغاز (ح) الناتج من الانفجار فقد يصل إلى ألف مرة حجم المادة قبل الانفجار وهذا بعد برودته أما في اللحظة التي يحدث فيها الانفجار فإن حجمة قد يصل إلى اثنى عشر ألف مرة كما يقدر الضغط النادر على جدران القنبلة عند حدوث الانفجار بما بين 18 ، 100 طن على السنتيمتر المربع.

والجدول التالي يبين نسبة قوة التمزيق "ض" لبعض المواد المتفجرة وقد اتخذ البارود الاسود كما يستعمل في المناجم قياسا للمقارنة (أي ض = قوة التمزيق للبارود الاسود المستعمل في المناجم)

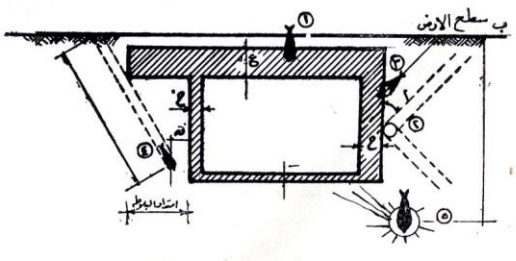
نوع المواد المتفجرة المستعملة	سرعة الاشتعال	(المعامل $\frac{\text{ض}}{\text{ض}}$)
قطن للبارود الجاف	7300متراً في الثانية	2.8
تربنتروتلين	6750 – 6483متراً في الثانية	3.7
ديناميت	6800	2.8
أماتولي	5080	2.4

القوانين التي تستعمل في حساب مقاومة تأثير الانفجار

ليس من السهل الوصول إلى تجارب عملية صحيحة يمكن الوثوق منها والعتماد عليها وتطبيق تأثيرها على الحالات التي تستعمل فيها المواد المتفجرة إلا في المناجم والمحاجر حيث تستعمل هذه المواد لعمل فوهات المناجم أو لفتح الانفاق والاقبية أو لهدم جبال الصخور إذ تستخدم القوى الهائلة التي تصحب الانفجار لهذه الاغراض فعند حدوث التفاعل الكيماوي تتمدد الغازات وتظهر النتيجة المباشرة لذبك في المادة التي وضعت بها المواد المتفجرة حيث تتكون كرة جوفاء مركزها مركز المواد المتفجرة ويتفرع من هذا المركز عدة شقوق ظاهرة في جميع الاتجاهات. فإذا كانت



(ش ٤)



(ش ٥)

المـــواد المســـتعملة بطيئـــة الإشـــتعال فـــإن كميـــة الغـــاز الأولـــى التـــي تتولـــد مـــن احتـــراق المادة المتفجرة تكبر الفراغ الموضوعة به المواد نفسها وتشق الصخر والشقوق التي تظهر لأول وهلة وتزيد في العرض والطول مع زيادة كمية الغاز المتولدة من الاحتراق. وتظهر النتائج التالية في الكرة التي تتعرض لتأثير المواد المتفجرة.

(1) الكرة الأولى وهي القريبة من مركز الانفجار وتسمى Pulverigation Sphexe فانها تتفتت إلى أجزاء صغيرة

(2) والكرة الثانية الواقعة تحت تأثير ضغط أقل من الضغط على الكرة الاولى تسمى The sphexe of pushing asunder تكون عرضة للتفتت Rupture والتفكك من بعضها

(3) الكرة اخيرة Sphere of Separation حيث تظهر فيها الشقوق Fractures ويكون قطر الدائرتين الاولى والثانية أكبر إذا كانت المواد المتفجرة المستعملة أسرع اشتعالاً أو أكثر حساسية ويكون قطر الدائرة الثالثة أكبر إذا استعملت مواد بطيئة الاشتعال وهذا بفرض استعمال كميتين متساويتين في كل الحالتين وفي ظروف متماثلة. وقد وجد بالتجربة أن تأثير الانفجار يكون اكثر ظهورا وأكبر مفعولاً في الاتجاه الذي يبذل أقل مقاومة. فعند تقطيع الاحجار من جبل صخري تتبع الطريقة الآتية:-

(1) يعمل ثقب في الوجه الظاهر من الحجر بزاوية تتراوح بين 30 ، 40 بطول معين.

(2) توضع المواد المتفجرة داخل الثقب وتسد فوهة الثقب سداً جيداً

(3) تشعل المواد المتفجرة بتيار كهربائي.

فعندما تتكون الغازات وتضغط في جميع الاتجاهات تنفصل قطعة من الصخر على هئية مخروط رأسه مركز المواد المتفجرة كلما كانت حوائطه منتظمة.

ومن الواضح أنه لا يمكن أن تكفي أية كمية من المواد المتفجرة من أي نوع لقطع أو تفتيت الصخر وكذلك لابد من تحديد البعد أ ب أو طول الثقب لأنه إذا وضعت كمية بسيطة من المواد المتفجرة على عمق داخل الصخر فإن الغازات تقذف بسدادة الثقب دون أن تؤثر في الصخر. ولكن عند استعمال مادة معينة في تقطيع احجار من منجم متجانس المادة تجري عدة تجارب أولية بسيطة لتحديد كمية المادة المتفجرة الواجب وضعها على بعد ما يساوي أ ب بحيث تكفي لأحداث التشقق في المحيط الخارجي للمخروط وانفصاله دون قذفه.

ومن هذا نرى أن العوامل التي يتوقف عليها تحديد كمية المواد المتفجرة هي:-

(1) نوع مادة الصخر

(2) نوع المادة المتفجرة المستعملة

(3) طول الثقب الذي يجب عمله

وقد وجد بالتجربة أن أكبر مخروط يمكن فصله هو الذي تكون زاوية الرأس فيه قائمة وحجم هذا المخروط $= \frac{3ل^{3}}{3}$

ويتناسب حجم هذا المخروط تناسباً طردياً مع كمية المواد المتفجرة المستعملة فكلما زادت الكمية زاد الحجم وبذلك:

$ح_1 : ح_2 = ل_1^3 : ل_2^3 = و_1 : و_2$

حيث $ح_1 : ح_2$ تمثل حجم المخروط في الحالات المختلفة

$ل_1$ ، $ل_2$ تمثل الراسم أو أقصر ضلع للمقاومة

$و_1$ ، $و_2$ وزن المتفجرة في الحلات المختلفة

فإذا كانت $و_1$ وحدة الوزن فإنه يمكن تحديد قيمة $ل_1$ تبعاً لها

$و_1 و_1 = ل_1^3$ وبذلك تكون $و_2 = \frac{ك^3_1}{ل^3_1}$

وبذلك تكون $و_2 = \frac{1}{ل^3_1}$ $ل^3_1$

فإذا فرض أن $\frac{1}{ل^3_1} = 1$ ك = معامل يتوقف على نوع المادة المتفجرة ومادة الصخر

أصبحت المعادلة $و_2$ -- ك $ل^3_1$

والصيغة العامة هي و – ك $ل^3$

ومن الواضح أنه كلما صغرت قيمة ك في المعادلة السابقة كلما زادت قيمة ل وهو أصغر ضلع للمقاومة أو بعبارة أخرى السمك اللازم للوقاية.

والجدول التالي يبين القيم المختلفة للمعامل ك بفرض استعمال أقوى المواد المتفجرة ما عدا مادة البنتريت وبذلك تكون قيمة ل المستخرجة في هذه الحالة (on the safe side) فيها الكفاية

نوع المادة المستعملة فيها المادة المتفجرة	قيمة المعامل ك	نوع المادة المستعملة فيها المادة المتغفجرة	قيمة المعامل ك
أرض عادية	0.30	حجر طري	0.60
أرض متماسكة أو مضغوطة	0.42	مباني جديدة او صخر نصف صلب	0.80
مباني قديمة في حالة رديئة	0.46	في مباني قديمة جداً وبحالة جيدة ومونة مائية	0.88
أرض حجر وتراب مخلوطة	0.48	في صخر صلب أو خرسانة	1.05
أرض طينية سوداء	0.54	في صخر به شقوق	1.25
في مباني متوسطة المقاومة	0.59		

وكلما زادت الشقوق والمسام في الصخر ساعدت على تسرب الغاز ويمكن زيادة قيمة ك حتى تصل إلى 1.50

ويمكن استخدم هذه الظاهرة في عمل المخابئ بإيجاد فراغات تتسرب إليها الغازيات. أما في الخرسانة المسلحة فتختلف قيمة ك بإختلاف نسبة حديد التسليح والأسمنت وطريقة التنفيذ وعمر الخرسانة.

وفي الأحوال العادية تعتبر قيمة ك 1.25

أما إذا كانت المادة المستعملة هي مادة البنتريت فإنه يجب تخفيض قيمة ك إلى $\frac{2}{3}$ قيمتها إذا استعملت في مواد صلبة وإلى $\frac{3}{4}$ قيمتها إذا استعملت في مواد مونة مثل الأرض

وقيمة ك الواردة في القوانين السابقة صحيحة إذا كانت المادة المتفجرة مدفونة تماما وبالعمق اللازم بحيث يكون الضلع أب يساوي الجزر التربيعي لـ 2ل تقريباً ولاتنطبق هذه القوانين إلا على المواد التي توجد في مواضعها الطبيعية كما هي الحال في المناجم والمحاجر حيث لا تكون محملة على حوامل أو تحت أحمال استاتيكية.

أما إذا كانت المواد المتفجرة غير مدفونة تماماً والثقب غير محكم القفل فإنه يجب أن تزاد كمية المقدار المتفجر بمقدار يتفاوت بين 25، 35 % للوصول إلى نفس قيمة ل في الحالات التي تكون فيها المواد مدفونة أما إذا كانت المواد المتفجرة موضوعة على السطح الظاهر للمادة لإغنه يجب زيادة كمية المواد المتفجرة بمقدار يتراوح بين 35 إلى 45 %

والقوانين السابقة بنيت كما بينا على أساس أن زاوية رأس المخروط قائمة تقريباً أما إذا كانت المواد المتفجرة من النوع المستعمل في القنابل العالية الإنفجار أو كانت موضوعة على بعد من السطح الخارجي أقل من طول أقص ضلع المقاومة المناظر للكمية الموضوعة فإن مركز الانفجار يكون رأس المخروط الذي تكون زاويته أكبر من 90 ويكون نصف قطر دائرة التخريب في هذه الحالة أكبر من عمق المقاومة فإذا فرضنا أن نصف قطر دائرة التخريب = هـ وأن عمق الفوهة = $ل_1$ فأن القانون السابق يصبح و = ص

$ك\ ل_1^3$ حيث ص = $1 + (\frac{هـ}{ل})^3 - 0.41$ 2

ولكن نظرا لأن قيمة هـ إلى ل أكبر من واحد صحيح فان قيمة ص تكون أكبر واحد صحيح بذلك تكون قيمة $ل_1$ في المعادلة و = ص ك $ل_1^3$ أصغر من قيمة ل في المعادلة العامة لاستخراج ل3 عند تصميم المخابئ إذ لا يمكن تحديد العمق الذي يحدث عنده الانفجار واعتبار الفرق كمعامل أمن تبعا للتوقيت الزمني لجهاز الاستعمال وتختلف قيمة ك في المعادلات السابقة في اعمال الخرسانة المسلحة والمباني إذا ما كانت كتلة واحدة مرتكزة بكامل اسطحما على الارض أو إذا كانت محملة على الاطراف حيث يسهل تذبذبها ويكون لها تردد (Frequency)

وتصمم طبقا للقانون التالي أن بحر البلاطة الغير مرتكز لا يزيد عن اربعة الي خمسة امتار

ل = م $\sqrt{\ }$ و

حيث ل = سمك البلاطة اللازمة لمقاومة الانفجار بالمتر

م = المعامل

و = وزن المواد المتفجرة بالكيلو جرام

والجدول التالي يبين قيمة م في الحالات المختلفة

نوع المادة	قيمة م إذا كانت المواد المتفجرة مدفونة تماماً	قيمة م إذا كانت المواد نصف مدفونة	قيمة م إذا كانت المواد موضوعة على السطح الظاهر
مباني جديدة	1.04	0.82	0.50
خرسانة بدون تسليح	0.32	0.28	0.20
خرسانة مسلحة تسليح عادي	0.25	0.20	0.15

والجدول التالي يبين سمك المواد المختلفة اللازمة لمقاومة الإنفجار إذا كانت المواد المتفجرة مدفونة تماماً ويجب إضافة 30% إليها كمعامل أمن.

ل = م $\sqrt[3]{\text{و}}$

م = 0.25 لخرسانة مسلحة تسليح عادي

م = 1.5 للأرض تقريباً

قيمة و		قيمة ل للخرسانة		قيمة ل للأرض	
10 كيلو جرام	250 كيلو جرام	0.54	1.58	3.25 متراً	9.50 متراً
20 "	500 "	0.68	1.97	4.10 "	11.80 "
50 "	750 "	0.91	2.27	5.54 "	13.60 "
100 "	1000 "	1.16	2.50	6.96 "	15.00 "
150 "		1.34		8.00 "	

ويجب على المصمم حين وضع المقاييس النهائية اللازمة للوقاية من الإصابة المباشرة إذا استعملت مادة واحدة صلبة أو خرسانة أن تكون الحوائط أو الأسقف بالسمك اللازم حسب درجة الوقاية المطلوبة.

فمثلاً يحسب السمك اللازم لمقاومة الإحتراق الكلي في حالة ما إذا كانت القنبلة ذات مفعول متأخر والسمك اللازم لمقاومة الانفجار مراعيا" في ذلك إذا كانت القنبلةستكون كلها مدفونة في مادة الهدف أو أجزاء منها ظاهرة ويستحسن في مثل هذه الحالة حساب السمك اللازم لمقاومة الجزء الظاهر من المادة المتفجرة فوق الهدف والجزء المغمور كل على حدة أن يضاف إلى المجموع النهائي حوالي 30% كمعامل أمن (انظر شكلي 4،5)

الضغط الناتج من الانفجار على مسافات

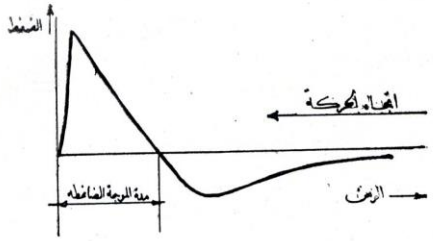
بينما فيما سبق القوانين المستعملة في المناجم لايجاد كمية المواد المتفجرة اللازمة لقطع قطعة من الحجر بطول كاف واستخدامنا هذه القوانين لايجاد السمك اللازم لمقاومة الانفجار هذا بفرض أن المادة المتفجرة مدفونة تماماً ولكننا في الواقع وضعنا مقاييس فرضية للحالات المختلفة للحالات الأخرى التي لا يكون فيه المادة المتفجرة مدفونة تماماً أو موضوعة على السطح الظاهري إذ لا توجد قوانين ثابتة أو تجارب عملية تبين مقدار وحدة الضغط الواقعة على محيط الشحنة أو على مسافات من مركز الانفجار ويقال أن هذا الضغط في المسافات القريبة من محور الانفجار والذي يحدث حين انفجار كمية من المواد المتفجرة أن الغاز الساخن المتولد يحدث ضغطاً هائلاً في الكرة المحيطة باندفاع بقوة وقد تتمدد هذه الغازات في جميع الجهات الي مسافة حوالي ثمانية أمتار إلى 15 متراً ولكن اندفاع الغازات يولد موجة ضغط فجائية قوية في الهواء المجاور يعقبها رد فعل منتظر بموجة هابطة تستغرق فترة من الزمن أطول من الوقت الذي تستغرقه الموجة الضاغطة ويتلو ذلك موجات أخرى ضعيفة ويختلف مقدار الضغط الناتج من كمية معينة تتأثر الموجة الضاغطة لحد ما بتأثير المحيط وما يحدث من انعكاسها على الأسطح المجاورة.

وقد أجريت بعض التجارب في انجلترا لقياس الضغط الناتج من تأثير الإنفجار على مسافة بعيدة من مركز الانفجار وتسجيل الخط البياني للضغط والوقت وقد اجريت التجربة على قنبلة وزنها 500 رطل وفيما يلي الخط البياني لها المعجل على بعد 50قدماً ولم تكن الأجهزة التي أعدت لتستطيع أن تسجل التغيرات السريعة على مسافات أقرب من هذا. (انظر الشكل 6، 7، 8)

ويختلف تأثير الضغط الناتج من الانفجار وكذلك الامتصاص عن تأثير الأحمال الاستاتيكية وهذا للسرعة العظيمة وقصر الفترة التي تعمل فيها قوتين في إتجاهين مختلفين.

ويتوقف مقدار مقاومة المواد والأجسام على مقدار مرونتها وطريقة تثبيت أطرافها وسرعة تذبذبها والوقت الذي تحدث فيه الذبذبة الكاملة وقد توصل بعض العلماء إلى إيجاد الأثقال الاستاتيكية المكافئة التي تكون المباني تحت تأثيرها بالفعل عند حدوث الانفجار وقد وجد أنه كلما

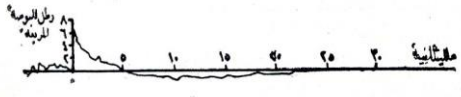
كانت الحوائط سريعة الذبذبة وكان وقت الذبذبة مساوياً أو أصغر من وقت الذبذبة الكاملة للموجة الضاغطة كانت أكثر تعرضاً للتأثير والانهيار وتحت ثقل استاتيكي مكافئ يعادل مجموع النهاية العظمى لكل من الموجة الضاغطة والهابطة "وقد وضعت جداول خاصة لايجاد الثقل الاستاتيكي المكافئ الذي يتغير بتغير سرعة الذبذبة".



(ش ٦) خط بيانى للموجات الفجائية التى تصيب الانفجار

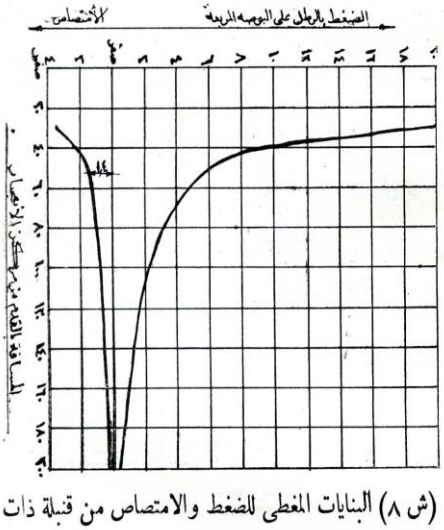
وتعليل هذا أنه نظراً لسرعة التذبذب فانه قد يحدث التوافق بين حركة اندفاع الحائط مع حركة الموجة الهابطة وحركة الارتداد نظراً لطول الوقت نسبياً الذي يكون فيها الحائط تحت تأثير الموجة الهابطة.

أما إذا كانت الحوائط بطيئة التذبذب أي كان وقت تذبذبها أطول من وقت الموجات الضاغطة والهابطة الناتجة من الانفجار فالذي يحدث انه قبل أن تكمل حركة اندفاع الحائط تحت تأثير الضغط ويبدأ تأثير الامتصاص فيضعف من تأثير الضغط وبذلك يكون الثقل الاستاتيكي المكافئ أقل عرضة لخطر الانهياروكلما كانت الحوائط سميكة وقصيرة البحور كانت أسرع تذبذباً وقد تكون الحوائط كافية للمقاومة ولكن أطرافها غير متينة التثبيت الكافي لتحمل تأثير قوى الشد أو الضغط فتنهار بقوى الامتصاص أيضاً وتختلف سعة التذبذب في الماني من 20 ذبذبة في الثانية للقواطع النصف طوبة التي لا يزيد طول ضلعها على 3.5متراً إلى 40 ذبذبة في الثانية للحوائط التي سمكها 0.25 متراً ولا يزيد طول ضلعها عن 3 أمتار أيضاً



(ش ٧) خط بيانى يمثل الضغط الناتج من انفجار قنبلة وزنها ٥٠ رطل على بعد ٥٠ قدم وان حداثى الرأس يمثل الضغط والافق والزمن

وجميع المباني التي بالطول (البانوهوت في الخرسانة المسلحة) تقاوم اجمالا الضغط الذي تتراوح بين 0.3كج للسنتيمتر المربع إلى 0.6 كج للسنتيمتر المربع الناتج من انفجار قنبلة وزنها 200كج على بعد 15.00متراً وقد لا يزيد الضغط على المبنى بأكمله عن 0.1كج للمربع ومقدار الذبذبة عن 7 في الثانية.

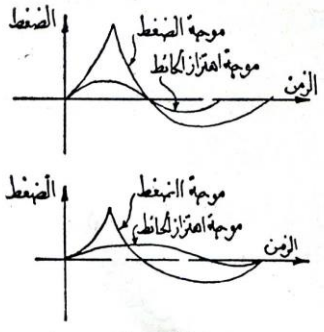


(ش ٨) البنايات المغطى للضغط والامتصاص من قنبلة ذات غلاف متوسط الوزن

والقانون السويسري يعطي النهاية لضغط الموجة ولكن لا يجب أن يغرب عن البال أن القوى الفعالة هي الثقل الاستاتيكي المكافئ الذي يزيد عن النهاية العظمى لضغط الموجة الضاغطة إذا كانت سرعة الذبذبة أسرع من ذبذبة موجة الانفجار ويقل عن هذه النهاية إذا كانت أبطأ.

والقانون هو...

$$\text{ض} = \frac{37500 \times \text{و}}{\text{نق}^2}$$



(ش ٩)

حيث ض = الضغط بالكيلو على المتر المربع

37500 = عدد ثابت

و = وزن المواد المتفجرة بالكيلو جرام

نق = بعد الحائط أو الشخص عن مركز الانفجار

فإذا فرضنا أن قنبلة وزنها 200كج بها مواد متفجرة مقدارها 80كج فإن مقدار الضغط الناتج على بعد 16متراً من هذه القنبلة هو ض= $\frac{37500 * 70}{16\ \%21}$ = 1.1 كج للسنتيمتر المربع تقريباً

والنتائج الواردة من هذا القانون قريبة من الخط البياني للتجربة العلمية ولتطبيقها عملياً يجب معرفة درجة التذبذب للأجسام المختلفة لايجاد الأثقال الستاتيكية المكافئة أكبر أو أقل من الضغط الأساسي للانفجار أو لقوة الامتصاص فاننا نرى أنه اكبر بكثير مما تتحمله كثير من الأجسام بالنسبة لاحجامها المختلفة .

ولولا السرعة الهائلة التي تحدث فيها الموجة الضاغطة والموجة الهابطة لكان أثر الإنفجار أشد هولاً وفتكاً لأنه إذا فرضنا أن الشخص العادي يتحمل ضغطاً استاتيكياً نهايته العظمى 1.00كج بالسنتيمتر المربع لكان كل شخص موجوداً في المنطقة التي يزيد فيها الضغط عن ذلك معرضاً للموت فمثلاً إذا انفجرت قنبلة بها 100كج من المواد المتفجرة فإنه يمكن إيجاد قيمة نق حينما تكون ض = 1 وذلك من القانون ض = $\frac{37500 * 10}{100^2 * نق^2}$ = 1

وتساوي 18.5متراً أي أن كل شخص موجوداً داخل محيط الدائرة التي نصف قطرها 18.5متراً معرضاً للإصابة.

فإذا كانت هذه المساحة مشغولة بالسكان أو بالجنود حتى ولو بنسة شخصاً واحداً لكل متراً مربعاً لكان عدد الاصابات نق2 = 1177 شخصاً.

ولكن لم يشاهد يوماً في ميادين القتال أنه قتل ولا عشر هذا العدد من تأثير الانفجار من قنبلة واحدة ويرجع هذا إلى حركة الارتداد السريعة التي تعقب موجة الضغط.

وتوجد بعد الفروض أن طبلة الأذن (وهي ارق موضع في جسم الانسان) تتحمل ضغطاً كالناتج من الانفجار يتراوح بين 10، 15 كج على السنتيمتر المربع.

(صعوبة اجراء تجارب بهذا الخصوص والمشاهدات الواقعية تختلف اختلافاً كلياً عن بعض حتى ليصعب اتخاذ بعضها كقياس ثابت)

أي ان الشخص العادي لا يصاب بضرر من حدوث انفجار كمية من المواد المتفجرة وزنها 1000كيلوجرام على بعد 19.40متر.

المهندس بهاء الدين الحموي