تأثير خصائص الصخور والمتفجرات على آلية التفجير في الأعمال الإنشائية

فوزي أبوعجيلة شهران
جامعة المرقب، كلية الهندسة

محمد رمضان الموسي
جامعة الزيتونة، كلية الهندسة

عبدالنادر خليل الدبار
جامعة الزيتونة، كلية الهندسة

الملخص:

إن الوظيفة الأولى والأساسية لاستخدام المتفجرات في المشاريع الإنشائية هو الحصول على التجزئة المطلوبة للصخور، حتى يسهل نقلها لتمهيد الموقع للبدء في عملية تنفيذ المنشأ. وكأول خطوة في تجهيز موقع المنشأ فإن هذا البحث يوضح المفاهيم الأساسية في تصميم دورة التفجير، هذه المفاهيم مفيدة في تقديرات التصميم للمتفجرات، وليتم التفجير بالشكل المطلوب يلزم دراسة عملية التفجير من جانبين مهمين هما: الأول الصخور وخواصها بالإضافة إلى الدراسات الحقلية للصخور، والثاني هو المتفجرات وخواصها. ويهتم العامل الأول في الخصائص الجيولوجية والتركيبات الصخرية ضمن منطقة التفجير مما تحتوي على فجوات أو تطبق في الصخور والتشققات وتأثير كل منها في كفاءة التفجير وكيفية معالجة المشاكل الجيولوجية. أما العامل الثاني فهو الذي يتعلق بالمتفجرات، فهو يدرس كيفية توزيع المتفجرات في الصخور اعتماداً على شكل توزيع الآبار في الصخور بالمسافات الكافية حتى يحدث التكسير للصخور بالشكل المطلوب وتجنب الكميات الزائدة من المتفجرات التي يمكن أن ينتج عنها تأثير سيء على المحيط على شكل موجات صدمة هوائية واهتزازات أرضية.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الجيولوجية، المتجفرات، دورة التفجير، الآبار، الاهتزازات الأرضية، الصدمات الهوائية، المنشآت المحيطة.

المقدمة:

إن علم تصميم الانفجارات ليس بالعلم الدقيق، وذلك راجع للتنوع الواسع للصخور، "البنية وكذلك المتفجرات" حيث إنه لا يمكن الجزم بوضع مجموعة معادلات تمكن من التصميم الأمثل

لطريقة التفجير دون إجراء مجموعة اختبارات. كذلك فإن التفاعلات التي قد تنجز لا بد أن تدخل في طريقة التصميم لوضع تصميم التفجير الأمثل لمتطلبات الوضع. توجد مفاهيم أساسية لتصميم الانفجار ،وهذه المفاهيم جد مستعملة كمقدمة نحو تصميم الانفجار ،وكذلك على العوائق المؤدية على سوء التفجير كما أن الاختبارات جد ضرورية لمعرفة أبعاد الانفجار (Kennedy, 1990).

على العموم عند تصميم الانفجار لا بد من وضع شيئين مهمين بالذهن، المتفجرات تعمل بطريقة أحسن إذا كانت هناك مساحة كافية تقريباً موازية لعمود طاقة التفجير عند الانفجار، ولا بد من وجود فضاء كافي حتى يتمكن الصخر المحطم من التحرك فيه. إن الإفراط في تخزين المتفجرات يؤدي إلى نتائج تفجير متدنية مثل: الارتداد، الاهتزازات الأرضية، الانفجارات الهوائية، الشظايا غير المحطمة، الصخور المتطايرة، التجزئة الضعيفة (Gregory, 1979).

أهمية الدراسة:

إن خواص الكتل الصخرية، هي المؤشر الحرج المؤثر في تصميم التفجير، وطبيعة الصخور تجعلنا نصفها بنوعية وليس بكمية، وخواص الصخور في أحوال كثيرة تكون ذات تغير كبير من جزء إلى آخر، والقرار في اختيار المتفجرات وتصميم التفجير وأسلوب التأخير المتبع في التفجير يعتمد على ظروف الكتلة الصخرية. ولهذا السبب يجب أن تكون هناك معلومات كافية لمهندسي المشروع وخبير التفجير لتتم عملية التفجير على أكمل وجه دون حدوث أضرار إنشائية للمنشآت المجاورة وتقليل التأثير السلبي على المحيط والبيئة (Kennedy, 1990).

أهداف الدراسة:

تهدف هذه دراسة للتعرف على العلاقة بين الخصائص الطبيعية والميكانيكية للصخور ومدى تأثيرها على التفجير في الصخور وفي تصميم دورة التفجير، إن معرفتنا للظروف الطبيعية للصخور تعطينا التصميم الصحيح لدورة التفجير، وبالتالي تقلص كمية المتفجرات المطلوبة للتفجير للحد الأدنى والوصول للنقطة المثالية من كمية المتفجرات المطلوبة للتفجير وأفضل نواتج تكسير للصخور ،وبذلك تفادي المشاكل التي يمكن أن تحصل من بعض هذه الخصائص ،والتي ينتج عنها رفع التكلفة للمشروع وزيادة المخاطر في التفجير على المنشآت القريبة والأضرار التي قد تلحق بالبيئة.

خواص وجيولوجية الكتلة الصخرية:

إن خصائص الصخور من بين النقاط الحساسة والفاعلة في تصميم طريقة التفجير. كما أن

الطبيعة الصخرية متنوعة وليست بالضرورة دقيقة في كل مرة، كما أنها تتنوع بشكل كبير بين كونها في الموقع مباشرة (المنجم) أو عبارة عن بقايا منشأة ،واختيار نوع المتفجرات وطريقة التصميم والتفنن فيها تحتاج لدراية كافية بطبيعة الصخور؛ ولهذا لا بد أن يكون واضع التصميم ملماً بهذا الموضوع كما أن تعداد التنوع في الصخور يعتبر لا منتهياً ولهذا فإن الاستشارات في هذا الموضوع تكون مفيدة .

صفات الكتلة الصخرية:

لكي يتم تحديد صفات الكتلة الصخرية بصورة جيدة لا بد من وجود مهندس مدني (جيولوجي) جيد، وحفار جيد، ويعمل الجيولوجي على جمع المعلومات الجيولوجية من سطح الصخور، وتحديد التركيبة الجيولوجية في الصخور، حيث يقوم الجيولوجي بتحديد اتجاه ومسافة الحركة، ونوعية المادة المعبئة للفاصل، ومضرب وميل الفاصل يوثق من قبل الجيولوجي، ووجود الصدوع ومناطق ضعف الصخور، والمواد غير المتماسكة، كذلك يتم تحديدها من قبل الجيولوجي، والعينات الحديثة من الصخور المكسرة تأخذ لتحديد منها الصلابة، وقوة، وكثافة الصخر. أما ملاحظات الحفار فهي تعطى معلومات هامة جداً تكون غير ملحوظة على السطح، حيث يؤشر معدل الاختراق البطيء للصخور، والاهتزازات العالية، والضجيج أثناء الحفر على صلابة الصخور العالية، وصعوبة تكسيرها، والعكس بالعكس، وعند الفقد الكلى لمقاومة الحفر،

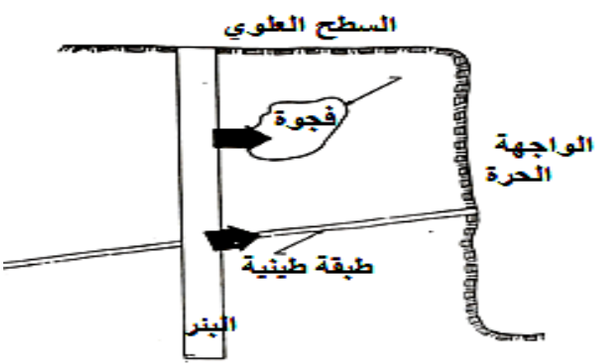
وفقدان هواء التنظيف أو ماء التبريد، فانه يدل على وجود فجوات داخل الكتلة الصخرية، وكذلك فقدان ماء التبريد يدل على وجود شقوق، والمعلومات التفصيلية لسجل الحفر تعطي مساعدة كبيرة لمصمم برنامج التفجير، وملاحظات الحفار لتغير اللون أو طبيعة الفتات الصخري الناتج من الحفر ينبه لوجود مستويات تطابق. (Langefors & Kihlstrom, 1978) .

كثافة وصلابة الصخور:

تعتبر كثافة الصخور من العوامل الأساسية في تحديد كمية المتفجرات المطلوبة لتفكيك كتلة صخرية، لأنه كلما زادت كثافة الصخر، كلما زادت صلابتها، وبالتالي يزيد من صعوبة عملية التفجير، والعلاقة بين صلابة الصخور وكمية الشحنة المطلوبة لتفكيكها علاقة طردية، والنسبة بين المسافة بين الصف الأول لآبار التفجير والواجهة الحرة، إلى قطر الثقب تتغير مع كثافة الصخور، وكذلك تحدث تغير في الشحنة النوعية، وهذه النسبة تتراوح في المتوسط ما بين 25 إلى 33 لجميع الصخور، من الصخور ذات الكثافة المنخفض إلى الصخور ذات الكثافة العالية (Gregory, 1979).

الفجوات ومناطق الضعف في الصخور:

عدم القدرة على التنبؤ بوجود الفجوات ومناطق الضعف في الصخور، مثل الصدوع وطبقات الوحل، قد تظهر مشاكل عند التفجير، حيث يؤدى ذلك إلى فقدان طاقة التفجير خلال هذه المناطق الضعيفة، وعندما تكون الكتل الصخرية مختلطة من صخور قوية وضعيفة وصخور غير متماسكة، فإن طاقة التفجير تنتقل خلال الصخور الضعيفة محدثة تجزئة سيئة، واعتماداً على اتجاه مستويات الضعف بالنسبة للواجهة الحرة، فإنها تعطي عنفاً في التفجير على هيئة موجة هوائية، وتطايراً للصخور، والمشاكل الفعلية تحدث عندما يكون بئر التفجير مخترقاً للفجوات الداخلية في الصخور. وللتغلب على هذه المشاكل، يجب إجراء تسجيل الحفر يحدد فيه عمق الفجوات، ومناطق الضعف التي تصادف الحفر، وكذلك طبقات الوحل، وعند شحن الآبار بالمتفجرات يجب تفادى شحن هذه المناطق بالمتفجرات، وذلك بوضع مادة الحشو فيها بدل من المتفجرات، وهذا قد لا يكون عملياً، حيث نحتاج إلى ردم الفجوة لكميات كبيرة من السدادة، حتى يتم حصر المتفجرات بشكل جيد، وعندما تكون ظروف البئر مشكوكاً فيها، يتم التأكد من شحنة العمود مباشرةً بنفس طريقة الشحن، فإذا انخفض مستوى الشحنة عما هو محدد له، يعنى ذلك وجود فجوة، وعندها يجب وضع حشوة قبل الاستمرار في وضع المتفجرات كما في الشكل (1). ومناطق التحول في الصخور القوية والضعيفة تحدث تجزئة سيئة للصخور، ويرفع من مقدار الشحنة النوعية، وعادةً للتغلب على هذه المشكلة، والتقليل منها، تستخدم آبار صغيرة القطر وبأبعاد صغيرة، لتحقيق الشحنة النوعية نفسها وبمسافات أقل (Langefors & Kihlstrom, 1978) .



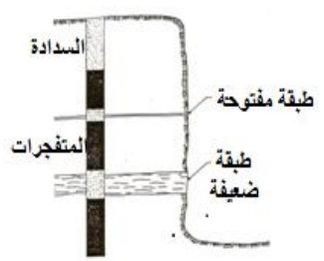
شكل (1) الفراغات ومناطق الضعف للصخور

الشقوق:

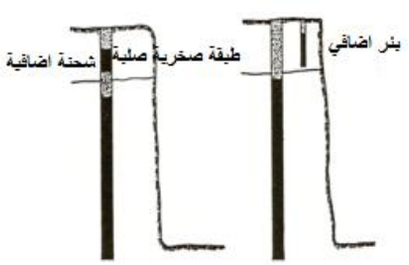
تؤثر الشقوق في كلا من التجزئة، وثباتية الواجهة بعد التفجير، لأن الشقوق الضيقة عادة تعطى تجزئة جيدة، ولكن عندما تكون الشقوق واسعة، فإنها تعطى نواتج تفجير سيئة على شكل بلوكات، اعتماداً على المسافات بين الشقوق، وعندما تكون التجزئة غير مقبولة، فإن أفضل حل هو استخدام آبار صغيرة القطر بمسافات صغيرة، وهذا الحفر الزائد في العدد الإضافي للآبار، يحفظ عمليات التحميل، والنقل، ويخفض من تكلفة التكسير الإضافي، ويلغي التفجير الإضافي. عند تواجد الشقوق في الكتلة الصخرية، فإن التخطيط لأبعاد الآبار توزع اعتماداً على مجموعات الشقوق، وهذا يعطي أكثر ثباتية لأعمال الاستغلال، وعندما يكون صف الآبار متعامداً على مجموعة الشقوق الأفقية، يعطي أكثر تجزئة للصخور (Du Pont, 1980).

التطابق :

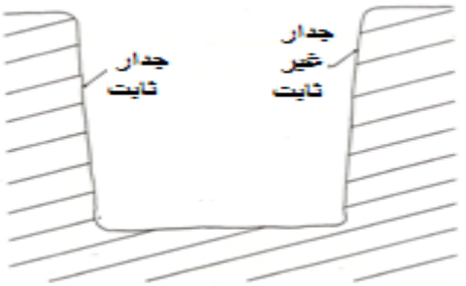
يؤثر التطابق على التجزئة و ثبات الواجهة بعد التفجير، ومستويات التطابق المفتوحة التي تعتبر مناطق ضعف، وعليه يجب حشو البئر بسدادة عند هذه المناطق كما في الشكل (2) وعند المناطق التي تكون فيها الصخور صلبة يشحن بمتفجرات ذات كثافة أعلى من المناطق الأخرى في البئر، وإذا كان الجزء العلوي من المصطبة يتكون من صخور صعبة التفجير فإنه يمكن إضافة شحنة أخرى من المتفجرات توضع في حشوة السدادة، أو يعمل ثقب آخر صغير وبعمق بسيط بين الآبار الرئيسية لتساعد على تكسير طوق الصخور الصلبة كما في الشكل (3)، وعند تواجد طبقة ضعيفة عند أرضية المصطبة فإنها تعطى تفجير أملس وتقلل من الحفر الزائد المطلوب ،وعندما يكون التطابق يميل إلى اتجاه واجهة العمل فإن ذلك يعزز من ثباتيه الواجهة، ولكن إذا كان الميل خارج اتجاه الاستغلال فإنه يزيد من خطورة ثبات الواجهة كما في الشكل (4)، وفي بعض الحالات من الإيجابيات أن يكون الاستغلال عموديا على اتجاه التطابق ويعتبر حلاً مناسباً (Gregory, 1979).



شكل (2) تأثير مستويات التطابق على ثبات الواجهة



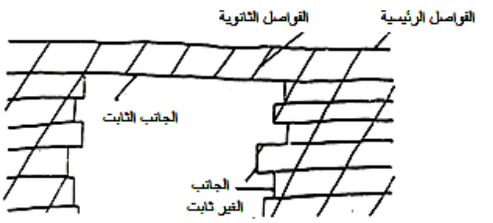
شكل (3) يوضح كيفية عمل المتفجرات في حالة طوق من الصخور الصلبة



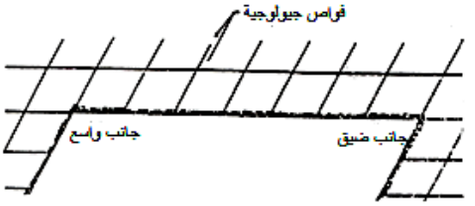
شكل (4) تأثير الميل على واجهة المصطبة

الفواصل الجيولوجية:

إن الفواصل الجيولوجية تؤثر تأثيراً واضحاً على كل من عملية التجزئة وثبات واجهة الحفر. وكلما كانت الفواصل أكثر اقتراباً كلما كانت عملية التجزئة جيدة. وكما كانت المسافة بين الفواصل الجيولوجية كبيرة كلما كان ناتج التفجير ذا أحجام كبيرة ؛لأن الكتل سوف تنفصل عند مستوى هذه الفواصل عندها يتوجب استعمال آبار صغيرة القطر وبأبعاد فيما بينها قصيرة. هذا الحفر الإضافي في الآبار يكون ضرورياً للتغلب على مشاكل عمليات تحميل والنقل والتكسير الإضافي وتوفير مواد تفجير إضافية. بقدر الإمكان فإن جوانب الحفر عند التفجير لا بد أن تكون مصفوفة جيداً مع الفواصل ، وذلك للحصول على واجهات بعد التفجير تكون أكثر ثباتاً، وعندما يكون صف الآبار عمودي على مجموعة الفواصل ينتج عنه جانب غير مستقر وخشن كما يوضح ذلك الشكل (5). كما أن الفواصل الجيولوجية تحدد شكل زاوية المتكونة بعد عملية التفجير التي سوف ترتد حتى يتسنى لنا تفادي الارتداد وكذلك تفادي عنف الانفجار، وتكون الزوايا على شكلين، الزوايا الضيقة كما في الشكل (6) على اليمين والزاوية الواسعة على يسار الشكل (6)، الظروف الجيدة تؤدي إلى نتائج جيدة إذا كان التفجير مصمماً وفق فترات تأخير بين الآبار بشكل صحيح (Holmberg, 1985).



شكل (5) يوضح شكل الواجهة بعد التفجير



شكل (6) الفواصل الجيولوجية بزاوية حادة وبزاوية مفتوحة

وفي العديد من المشاريع الإنشائية أثناء التفجير تصادفها ظروف جيولوجية لم تكن في الحسبان، والمهندس المختص بالتفجير، هو من يدرس هذه المشاكل ويضع الحلول لها للحصول على تفجير جيد، ويحاول التقليل من هذه الظروف السيئة للحفاظ على سلامة المنشآت المجاورة و البيئة.

التفجير السطحي:

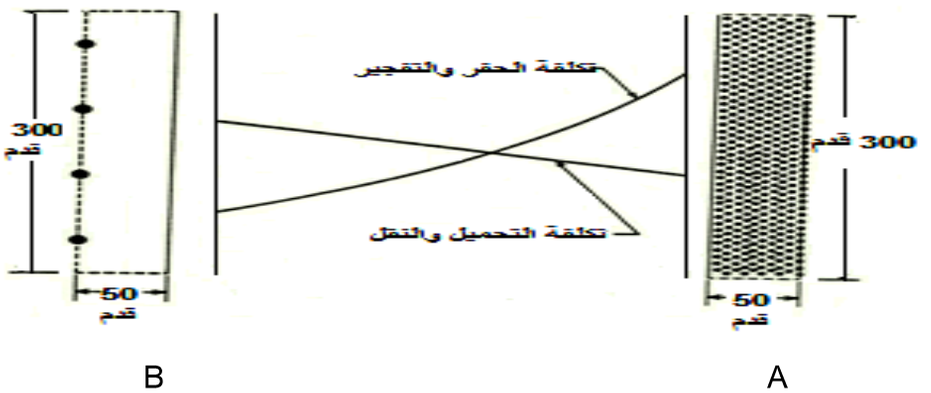
عند أعمال التفجير السطحية فانه هنالك عدة عناصر يجب أخذها بعين الاعتبار وهي ذات أهمية كبيرة للحصول على التفجير الجيد، والعناصر هي (Du Pont, 1980) :

قطر بئر التفجير:

عند تصميم أي تفجير يجب أخذ قطر البئر بعين الاعتبار حيث أنه يتغير حسب نوع مواد التفجير ،ونوع الصخر، وعمق البئر ،وهذه العوامل لها تأثير في تحديد كيفية التعامل مع الثقل (المسافة بين الصف الأول للآبار والواجهة الحرة)، ويعتمد اختيار قطر بئر التفجير على عوامل عديدة منها خواص الكتلة الصخرية المراد تفجيرها، ودرجة التجزئة المطلوبة، وارتفاع المصطبة، ودرجة الحصر للمتفجرات، وتكلفة الحفر والتفجير، والسعة الإنتاجية لمعدات شحن الآبار. وعندما يكون قطر البئر صغيراً فإن تكلفة حفر وشحن الآبار وإشعالها تكون مرتفعة، ووضع السدادة يأخذ وقت طويل وعمالة كبيرة، بينما عندما يكون القطر صغيراً جداً فإن الإيجابية الوحيدة هو الحصول على معامل نسف منخفض، وذلك إذا كان توزيع الآبار بشكل مثالي. وعندما يكون القطر كبيراً فإن ذلك يؤدي إلى أن المسافات بين الآبار تكون كبيرة ،ولكن هذا يجعل من الصعب التغلب على مشكلة الفواصل الجيولوجية إن وجدت لتباعد المسافة بين الآبار، والزيادة في قطر البئر تعطي إيجابيات عديدة منها سرعة تفجير عالية، واحتمالية استخدام الآلات في عملية شحن الآبار، وإنتاجية عالية للحفر (متر3 مفجر/متر طولي حفر).

ومع زيادة القطر فإن ذلك يؤدي إلى زيادة طول السدادة، وبالتالي احتمالية أن تتفجر صخور الطوق

على شكل كتلة كبيرة. وباقي المعايير لها علاقة مباشرة بالثقل، ونجد أن مصمم التفجير له الحرية في اختيار نوع وحجم الحفارة وفي بعض العمليات يتطلب نوع العتاد نوعاً معيناً من الحفارات، عملياً فإن قطر بئر التفجير السطحي يكون من 2 إلى 17 بوصة وكما هو متعارف عليه فإن القطر الكبير يكلف أقل خلال عملية التنقيب؛ لأن العتاد فيها تعمل على وحدة الحجم كما أنها أقل تحسساً، كما أن المتفجرات تكون قليلة التكلفة وتكون التجزئة بالنسبة للآبار الكبيرة عموماً خشنة الأجزاء، الشكل (7) يوضح التباين بين استعمال آبار بقطر20،2 بوصة فمثلاً: النمط A في الجدول (1) يوضح استخدام أبار بقطر 20 بوصة والنمط B يحتوي أبار بقطر 2 بوصة. وكل نمط يقدم نفس المساحات من الإزاحة والتفتيت لصخور بحجم 15000 قدم2 (Holmberg, 1985) .



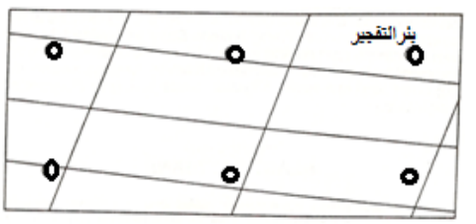
شكل (7) تأثير الثقوب الكبيرة والصغيرة على التفجير

جدول (1) مقارنة بين الثقوب الكبيرة والصغيرة في التفجير

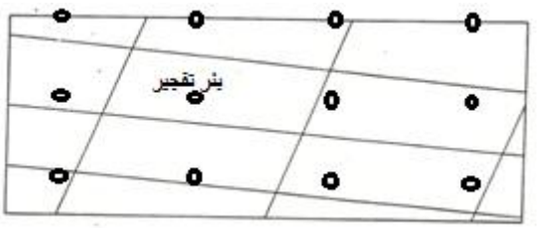
	نموذج A	نموذج B
مساحة التفجير (قدم2)	15000	15000
قطر البئر (بوصة)	20	2
عدد الآبار	4	400
مساحة المؤثرة للبئر الواحد (بوصة2)	1.256	1.256
المسافة بين الواجهة والصف الأول (قدم)	50	5
المسافة بين الآبار(قدم)	75	7.5

مما سبق نلاحظ كما في الشكل (8) فإنه في النمط العلوي لتوزيع الآبار غالبية الكتل الصخرية ليست بها آبار تفجير بينما في النمط شكل (9) غالبية الكتل الصخرية يخترقها آبار تفجير، وهو

النمط الذي يكون فيه التفجير أحسن نتيجة لكونه تتوزع فيه المتفجرات بطريقة جيدة ،وبالتالي يعطي درجة تجزئة جيدة للصخور. جميع عمليات التفجير تكون خارج النطاق العمراني نتيجة للأضرار بالمحيط بالإضافة إلى التلوث الهوائي كذلك تطاير الصخور، فكلما قل قطر بئر التفجير كان يتوجب زيادة مسافة الأمان (Langefors & Kihlstrom, 1978).



شكل (8) توزيع آبار بأقطار كبيرة



شكل (9) توزيع آبار بأقطار صغيرة

عمق البئر:

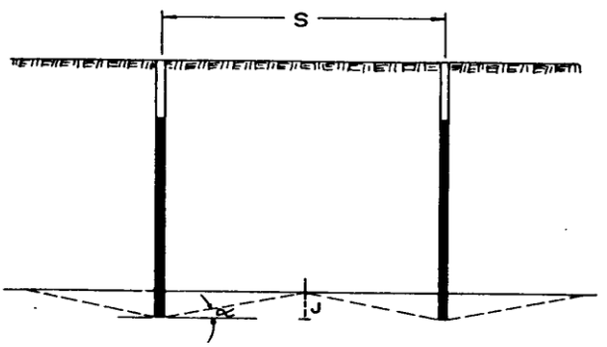
عند أي تصميم للتفجير فإنه من الضروري أخذ بعين الاعتبار العلاقة بين عمق البئر والثقل، وأن يكون متوافقاً كقاعدة أساسية للتفجير، وكقاعدة أساسية فان عمق البئر يكون من 1.5–4.0 مرات من الثقل، والآبار التي عمقها أقل من 1.5 مرة للثقل تسبب انفجارات عنيفة وتطاير للشظايا وتكون خشنة وقليلة التجزئة، عندما تكون العملية بنسبة أقل من 1.5 فإن يتوجب وضع الشحنة عند قاعدة المصطبة حتى تكون نسبة الأمان عالية، ويجب الاحتفاظ في الذهن بأن الحفر الثانوي قد يسبب كذلك اهتزازات أرضية وعند ذلك يتوجب استعمال في هذه الظروف إما حفار صغير أو رفع قاعدة المحطة (Siskind et al, 1980, P.63).

كذلك عمق البئر الذي تزيد نسبة العمق للثقل بأربع مرات هي كذلك غير مرغوب فيها، البئر العميق والذي يتطلب قطراً كبيراً ينتج عنه مشاكل كبيرة في جعل البئر في المكان المطلوب، ويزيد من تعرضها للنتوءات وتقلل من نتائج التفجير. المقاعد ذات الكتل القصيرة تكون خطرة، وذلك عند وضع الحفارة في خط مواجه للأسطر للجرافات التي تعمل على حفر وإزاحة النتوءات. ولهذا يجب استعمال قاعدة ذات وزن ثقيل وطويلة. المقاعد المنخفضة تعطي نتائج جيدة للتفجير. والمثاقيب المنخفضة تكلف أغلى من العالية، وإن أمكننا التقليل من وزن المقاعد والمثاقيب العريضة ومعالجات

الصخور المستعملة فإنه يمكننا التقليل من نسبة العمق. أغلب المشاكل مع الشحنات الشعيرية هو ناتج عن وجود نتوءات كامنة غير عمود في عمود التفجير، ومنه يتوجب الزيادة في عرض الحفر (Gregory, 1979) .

الحفر الإضافي:

هو الحفر الزائد عن مستوى أرضية المصطبة الشكل (10) والذي مطلوب للحصول على تفكيك جيد لصخور القاعدة، وبالتالي الحصول على صخور مفككة بارتفاع كامل للمصطبة، والتقليل من تكاليف تحميل صخور القاعدة لتفكيكها بالكامل (Kennedy, 1990).



شكل (10) الحفر الإضافي

وعندما يكون الحفر الزائد صغيرا فإن ذلك يجعل عدم تفكيك الصخور بوجه كامل عند قاعدة المصطبة، وعندما يكون الحفر الزائد مفرطاً فإنه يؤدي إلى التالي:

زيادة تكلفة الحفر والتفجير.

رفع مستوى الاهتزازات.

تجزئة مفرطة للصخور عند القاعدة مما يؤثر على ثباتية المصطبة اللاحقة.

زيادة خطورة عدم اشتعال الآبار اللاحقة.

وتفكك الصخور عند قاعدة البئر يكون على شكل مخروط مقلوب والذي تعتمد فيه زواياه على تركيبة الصخور والإجهادات المتبقية وتتراوح هذه الزاوية ما بين $10° - 30°$.

ولغرض تقليل الحفر الزائد يستخدم متفجرات القاعد من نوع ذات طاقة عالية لوحدة الطول.

التباعد بين الصف الأول والواجهة:

هو خط أصغر مقاومة أو(الثقل)، وهو أصغر مسافة من محور الآبار للصف الأول والواجهة الحرة،

وهذا المؤشر يعتمد على التالي:

قطر البئر.

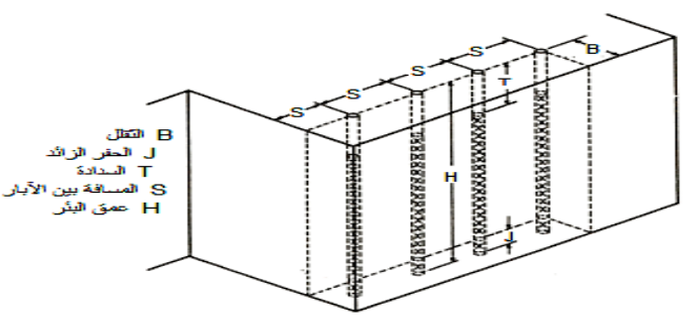
خواص الصخور.

المتفجرات.

ارتفاع المصطبة.

درجة التجزئة المطلوبة.

ولكن يجب الأخذ بالاعتبار ذلك في ما يخص نوع التفجير بشكل معين كما هو في الشكل (11). حيث يجب أن يتم إدخال ذلك في الحسبان خصوصاً في المراحل المتأخرة في عمليات التفجير؛ لأن عملية التفجير في الشكل المعين تتم صف بصف وقد يؤثر ذلك سلباً على اتجاه سطح التفجير وكغيره (S) حيث إنه يتوجب أن تكون زاوية التفجير بين اتجاه السطح (S) وبئر التفجير "الأكثر شيوعاً هي (45°).



شكل (11) عملية التفجير طبقا (S)

ولا بد أن تناسب المتفجرات مع ثقل الصخر لتفادي تطاير الشظايا، الارتدادات، النتوءات حتى لا يؤثر سلباً في عملية التفجير التالية. وقطر شحنة المتفجرات لا بد أن يناسب قطر بئر التفجير عند استعمال عامل التفجير المثالية ذات الكثافة 2.7 جم/ سم^3 فإن الثقل يلزم مثالياً 25 شحنة (Kennedy, 1990).

عند استعمال مواد متفجر كثيفة كالديناميت بكثافة 1.2 جم/ سم^3 فإنه يتوجب على الأقل استعمال شحنة بـ 30 مرة. إن ثقل الحمولة القطرية تكون من نسبة 20 إلى 40 كأكثر احتمال

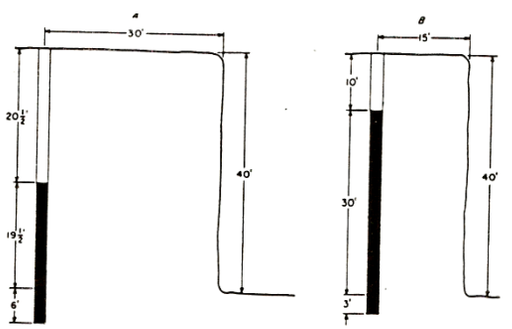
وخصوصاً عند استعمال الديناميت. كما هو موضح في الجدول (2) (Atlas powder company, 1987) .

جدول (2) الفرق بين أنواع المتفجرات

عند استخدام متفجرة AN–FO (0.85 جم/ سم^3 كثافة)	
نوع الصخر	نسبة تباعد الصف الأول/قطر البئر
صخور خفيفة (2.2 جم/ سم^3 كثافة)	28
صخور متعادلة (2.7 جم/ سم^3 كثافة)	25
صخور كثيفة (3.2 جم/ سم^3 كثافة)	23
عند استخدام متفجرة الديناميت	
صخور خفيفة (2.2 جم/ سم^3 كثافة)	33
صخور متعادلة (2.7 جم/ سم^3 كثافة)	30
صخور كثيفة (3.2 جم/ سم^3 كثافة)	27

عند التصوير السريع للانفجارات أوضحت الصور أن للثقل دوراً مهماً في تفتت الصخر، فكلما زاد الطول سهلت عملية التفتت والعكس صحيح (Carlos &Emilio, 1995) .

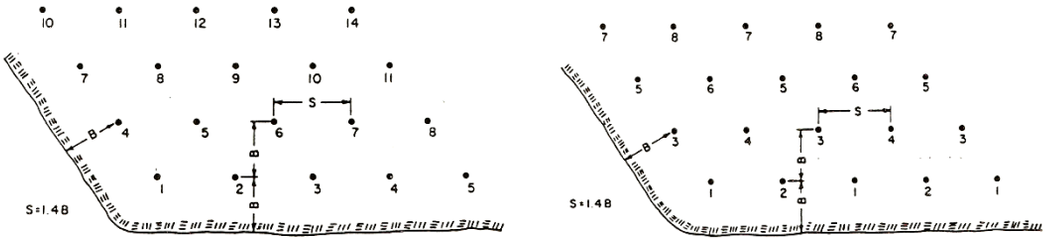
الشكل (12) يوضح الفرق بين استعمال 6 إنش كقطر بئر إلى بئر بقطر 12.25 بوصة وارتفاع المصطبة 40 قدم مع نسبة تباعد الصف الأول/قطر البئر 30.



شكل (12) القطر في أبار التفجير

المسافة بين الآبار في الصف:

تعرف بأنها المسافات بين الآبار في الصف الواحد من الآبار، وتقاس عمودياً على مسافة التباعد بين الصف الأول والواجهة، والشكل (13) يوضح المسافات بين الآبار في الصف S.



شكل (13) المسافات بين الآبار في الصف (S)

توزيع شحنات المتفجرات في الآبار:

شحنة القاعدة:

حسابات التفجير تبدأ بتميز شحنة القاعدة، وتلك الشحنة مقيدة، والتي تستدعي مواصفات معينة للشحنة، نظراً لأن مقاومة الصخور للتكسير تكون في القاعدة أعلى منها في العمود، لذلك يتطلب استخدام متفجرات أقوى من المتفجرات المستخدمة في العمود (Vuolio, 1991).

شحنة العمود:

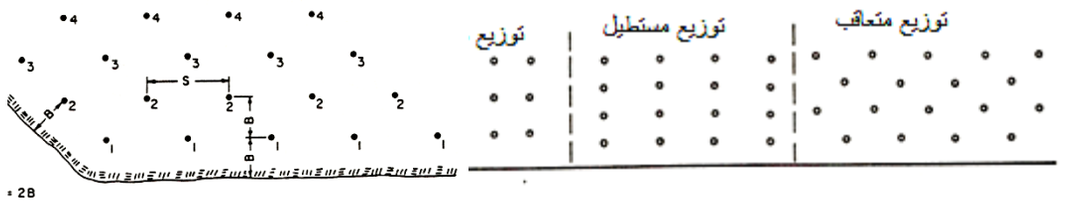
الصخور التي تقع فوق المقطع السفلي تحتاج إلى تركيز شحنة أقل من شحنة القاعدة، وهي ممكن أن تكون من نفس نوع شحنة القاعدة ولكن بتركيز أقل، ويتحقق ذلك بتقليل القطر أو تقليل الكثافة، لأن مقاومة الصخور تكون في العمود أقل من القاعدة.

السدادة:

توضع فوق شحنة العمود السدادة، وهي المادة التي يسد بها فوهة البئر، وتكون السدادة من الرمل أو الطين، للمحافظة على قوة التفجير، وذلك بالمحافظة على ضغط الغاز الناتج من التفجير داخل البئر، لأن الموجات تنتقل عبر الصخور أسرع من المواد غير المتماسكة المستخدمة في الحشو. عملية الحشو مطلوبة لفترة زمنية حتى تتمكن الموجات من الانتشار داخل الصخور وحدوث فعل التكسير، والسدادة لا تُنَفِدْ في نهاية البئر فقط، ولكن متى تطلب الحاجة لذلك، مثل وجود الشقوق في الصخور، أو الفجوات، وعند القيام بالسدادة يجب أخذ الحذر والانتباه، لأن أي فعل صدمة يتولد عنه انفجار الآبار، وعندما تكون الآبار بها ماء تستخدم صخور مكسرة، ولا يجب استخدام نواتج الحفر ؛لأنها تحتوي على الماء (Vuolio, 1991).

أنماط التفجير:

هناك عدة أشكال لتوزيع الآبار شكل (14)، تستخدم للتفجير في المناجم السطحية، منها النموذج المستطيلي أو المربع أو التوزيع المتداخل، وفي التوزيع المربع تكون المسافة بين الآبار والصفوف متساوية، أما في التوزيع المستطيلي يكون فيها المسافة بين الصفوف أقل من المسافة بين الآبار، وتكون فيها الصفوف تصطف خلف بعضها، كذلك الحال في التوزيع المربع، أما التوزيع المتداخل فتكون فيه الصفوف في تعاقب متخالف، ويكون فيها المسافة بين الصفوف والآبار متساوية، ومعظم الأحيان تكون المسافة بين الصفوف أقل من المسافة بين الآبار.



متداخل مستطيلي مربع

شكل (14) توزيع آبار التفجير

التأخير في التفجير:

يستخدم التأخير في كبسولات التفجير والذي يكون بجزء من الألف من الثانية، ويسمح للصخور المكسرة بتحرك نحو الواجهة الحرة قبل تفجير الصف الثاني، ويستخدم التأخير في التفجير السطحي، وهناك عدة أنواع من الكبسولات ذات المبطئ، حيث تتراوح فترة الإبطاء من 25 مللي ثانية وحتى 1000 مللي ثانية، بفترات مختلفة، وهناك كبسولات يكون فيها الحد الأدنى لفترة الإبطاء 7 أو 15 مللي ثانية. ويكون التأخير بالملي ثانية في توقيتات الانفجار الدائرية لثلاثة أسباب:

التمكن من الحصول على إزاحة كافية للصفوف المتعاقبة في التفجير.

التقليل من تطاير الصخور.

تحسين التفتت بين الآبار.

تقليل الاهتزازات الأرضية والصدمة الهوائية التي تنتج من التفجير.

ويتوجب في موقتات التفجير التالي:

توقيتات الانفجار لا بد أن تكون من 1 حتى 5 ملي ثانية/قدم بالنسبة للثقل.

تأخر التوقيت بين الصفوف لابد أن يكون مرتين أو ثلاث مرات في التأخير بين مواقيت الحفر في السطر الواحد.

عندما تكون شظايا الانفجار عائقاً فإنه يتوجب وضع المواقيت على الأقل 2 ملي ثانية/قدم للفراغات، وهذا لتفادي حمولة ثانية من أجل التفجير.

لتفادي الاهتزازات الأرضية لا بد من حمولتين بتوقيت أكثر من 9 ملي ثانية.

وإذا عمل بهذه النصائح فإن النتائج تكون جيدة.

عند استعمالنا سطوح المفجرات فلها 100 ملي ثانية تأخير عند كل حفرة. حتى يتم تفعيل المواقيت داخل الحفر أي تتم العملية بالتجزئة مع استعمال عقد كهربائية بتأخير توقيت 75 ملي ثانية عن 100 ملي ثانية. يستحسن أثناء تصميم عدة طبقات لتفادي الهزات الأرضية. التفجير من هذا النوع يكون هادئاً لكن معقداً، ولا بد أن يكون تحت قيادة مسئول عارف ومؤهل. جميع المواقيت للمفجرات تستعمل بطريقة هرمية عموماً عن طريق حرق قطار المسحوق بتوقيتات معينة. أما عند الحواف فإنه من المستحسن تفادي الاختلاف في الترتيب، كما إن تطور التفجير ليرقى إلى الطريقة الإلكترونية متنبأ لحدوثه مستقبلاً (Vuolio, 1991).

الشحنة النوعية (معامل النسف) :

إن هذا العامل ليس بالأداة الأفضل بالنسبة لمصممي الانفجارات، لأن التصميم يرتكز بالأساس مع بقية الأبعاد الأخرى وهي أكثر أهمية، وهو يدخل فقط عندما يتعلق الأمر بوزن شحنة الانفجار ولما ازدادت صلابة الصخور ارتفعت قيمة الشحنة النوعية كما في جدول (3) وعموماً فهو يجب وفق المعادلة التالية:

$$P.F = \frac{27L(0.3405D_e)(D^2)}{B\ S\ H}$$

P.F. : الشحنة النوعية (باوند/ياردة3).

L : طول الشحنة في البئر (قدم).

De : كثافة المتفجرات (جم/سم3).

D : قطر الشحنة (بوصة).

B : المسافة بين الصف الأول والواجهة (قدم).

S : المسافة بين الصفوف (قدم).

H : ارتفاع المصطبة (قدم).

جدول (3) يبين أنواع معاملات السحق لسطح التفجير

درجة الصعوبة في كسر الصخور	الشحنة النوعية (باوند/ياردة3)
ضعيف	0.40 – 0.25
متوسط	0.75 – 0.40
عالي	1.25 – 0.75
عالي جداً	2.50 – 1.25

عندما تكون أدوات التفجير من قيمة الطن كالخامات فإن عامل المسحوق يعبر عنه كوزن للمتفجرات بوحدة الطن للصخر على الباوند (الوزن) للمتفجرات (Holmberg, 1985).

التفجير الثانوي: التفجير الأولي قد يخلف بعض الحواف في الصخور الصعبة الاستئصال، ولهذا يتم اللجوء إلى التفجير الثانوي لإزاحتها نهائياً، تستعمل لهذا الغرض تجهيزات دقيقة لكنها فعالة.

التفتيت الثانوي يتم إكماله بأربع طرق:

بواسطة عدة طلقات باتجاه الصخر حتى تتم عملية تفتيته وهذه ليست بالطريقة المثالية، لأنها قد تأخذ وقتاً طويلاً وتستعمل فقط عندما تكون الأجزاء الصخرية المتبقاة قليلة.

إدخال أداة مزدوجة في ثقب الصخرة لتفتيها (المثقاب) وتستعمل فقط بالنسبة لتفتيت جزئي للصخرة إذا كان ذلك ضرورياً، والتي تميز لهذه الطريقة كونها لا تحدث أي تشاطر للشظايا، كما يحدث في بعض الحالات من الطريقة الأولى.

تعتمد على ضياع المتفجرات في التواء داخل الصخر ويتم بعدها تفجيرها، هذه الطريقة تسمى بقبعة الطين هذه الطريقة غير جديرة كونها تعتمد على كمية قليلة في المتفجرات التي حجزتها الصخرة ، وفي نفس الوقت استعمال كبير للمتفجرات عند التفجير الأولي كما إنها خطر للغاية وتنتج منها كما ذكرنا في ما سبق: تطايرات وارتدادات.

أحسن طريقة للتفتيت الثانوي هي إحداث ثقوب من الركبة (1 – 3 بوصات) وملؤها بالمتفجرات. وعند التفجير تتجه الطاقة كلها على مركز الصخرة وتعمل على تفتيتها خصوصاً عند إحداث

تلك الثقوب في المناطق الالتواءات من الصخرة. كما أنه فقط بربع باوند على ياردة مكعبة من كمية المتفجرات الأولية يمكننا إنهاء العمل. اختيار أماكن الثقوب بدقة أكثر من دقة حجم الثقوب بحد ذاتها، والتفجير الثانوي أكثر عنفاً دوماً منها في الأولى.

أكد (Carlos &Emilio, 1995) أن لربط عملية التفجير ببعضها البعض لمجموعة من الصخور لا بد من جعل تفجير يربطهما بمفجر واحد. كما أن التفجير الكهربائي أكثر شيوعاً للاستعمال. والتفجير الثانوي فن بحد ذاته حيث إن يعامل في الحقل لا بد أن يكون متمرساً ومؤهلاً ؛لأنه أخطر من التفجير الأولي.

تأثير التفجير على المحيط:

إن الوظيفة الأولى والأساسية لاستخدام المتفجرات في المواقع الإنشائية هو الحصول على التجزئة المطلوبة للصخور، ونتيجة لهذا فإن انفجار هذه الشحنات يتولد عنها اهتزازات أرضية بالإضافة إلى موجات هوائية، وهذه الاهتزازات تعتبر حالة طبيعية كرد فعل للأعمال التفجير، والطاقة الناتجة من التفجير تنتقل عبر الأرضية على شكل موجات، وشدة حركة الأرضية تعتمد على وزن المتفجرات التي تنفجر في نفس اللحظة، وعلى بعد هذه النقطة على نقطة الانفجار، وهذه الطاقة الناتجة تستخدم لتغلب على قوة الصخور، وبها يحدث فعل التكسير للصخور بفعل إجهادات الشد، وهذه الطاقة تسمى بالطاقة المرنة ، وهي طاقة تعطي ما يسمى بالاهتزازات الأرضية أو اهتزازات التفجير (Du Pont, 1980).

عند تفجير شحنة المتفجرات تتولد موجة هوائية عنيفة تصاحبها ضجيج قوي وهذا ما يسمى بالصدمة الهوائية، هكذا ينتج عن التفجير قوتان ضارتان وهي الاهتزازات الأرضية والصدمة الهوائية، وكل واحد منها لها جهد لتحدث تلف وخسائر في المنشأة الموجودة في المنطقة المجاورة لمنطقة التفجير.

الاهتزازات الأرضية:

الاهتزازات الأرضية هي انتقال الطاقة من نقطة التفجير إلى المحيط، والطاقة المنتقلة أو المنتشرة تسمى بموجات سيزمية، وتصنف هذه الموجات إلى موجات الكتلية، وتنتقل خلال الكتلة الصخرية، وموجات سطحية تنتقل على السطح، والموجات الكتلية تنقسم إلى موجات ضغط وموجات قص، وموجات القص هي التي تحدث تأثير التكسير في الصخور. تعتمد هذه الموجات على الظروف الجيولوجية، فعند الظروف المتجانسة وطبقات الأفقية والكتلية والخواص متساوية في جميع

الاتجاهات، فإن سرعة وقوة هذه الموجات تكون متساوية في كل الاتجاهات، أما إذا كانت ظروف جيولوجية معقدة فأنها تقلل من قوة وسرعة هذه الموجات، وبمقدار ما يحدث تشوه بفعل موجات الضغط أو القص فإن الصخور تبدل مقاوماً لهذه القوى، ومقاومة الصخور لموجات الضغط تسمى بمعامل الانضغاط أو معامل الجسم، ومقاومة موجات القص تسمى بمعامل القص (Langefors & Kihlstrom, 1978).

والمسافة الأمنة تعتبر عملية وفعالة لإيجاد تحكم في الاهتزازات الأرضية بحيث تتفادى أي نتائج عكسية للمنشآت المجاورة، حيث يمكن إيجاد كمية المتفجرات التي يمكن أن تستخدم بأمان (لتقليل من الأضرار)، أو المسافة الأمنة عند معرفة كمية المتفجرات ويحدد كتالي:

$$R = 27\sqrt{Q_{ts}}$$

حيث:

R : المسافة الأمنة (متر).

Qts : كمية المتفجرات التي تنفجر في نفس اللحظة (كجم).

الصدمة الهوائية:

من نواتج التفجير السيئ على المحيط الصدمة الهوائية، والتي تنتقل خلال المحيط الخارجي محدثاً خسائر وأضرار، ودرجة الصدمة الهوائية تعتمد على كمية المتفجرات التي تنفجر في نفس اللحظة، وكلما زادت صلابة الصخور قللت من قوة الصدمة الهوائية، وبالإضافة إلى الصدمة الهوائية هناك الضوضاء التي تكون على مدى من 20 إلى 20000 هيرتز، وقياس ضغط الصوت الناتج من المتفجرات يعتمد على المناخ الجوي من اتجاه وسرعة الرياح وحرارة وضغط الجو، والتي لها تأثير كبير على انتشار ضغط الموجات.

وتحدد مسافة نصف قطر تأثير موجة التفجير على الإنسان من العلاقة التالية:

$$R_m = K\sqrt{Q_{ts}}$$

حيث:

K : تابت (10- 15)

ونصف قطر تأثير موجة التفجير الهوائية على المنشأة والمباني من العلاقة التالية:

$$R_m = 200\sqrt[3]{Q_{ts}}$$

تطاير الصخور:

حدوث فعل تطاير الصخور أثناء التفجير في المناجم يعتبر من السلبيات في التفجير، فقد يكون السبب هو البعد بين الصف الأول للآبار والواجهة غير كافئ، أو يكون طول السدادة في البئر صغيرة، مما يحدث تطاير للصخور من فوهة البئر على شكل بركان، بالإضافة إلى ذلك فإن عدم استخدام التأخير في التفجير عند تفجير عدة صفوف في نفس الوقت يسبب عملية تطاير الصخور، لأن الصخور المفجرة من عدة صفوف تتحرك في نفس الوقت والصخور الناتجة من تفجير الصف الثاني وما بعده تتحرك في نفس الوقت الذي تتحرك فيه صخور الصف الأول، وهذا يجعل الصفوف المتتالية ليس لديها الفرصة لتحرك إلى الواجهة (بسبب زيادة حجم الصخور) ، ويسبب ذلك تطاير الصخور إلى الأعلى، وقد حدد مركز الأبحاث السويدية للتفجير علاقة رياضية بين الشحنة النوعية (مستخدمين الأنفو كشحنة مرجعية) والمسافة القصوى لتطاير الصخور والمعادلة هي (Langefors & Kihlstrom, 1978) :

$$X = 144\, q_a - 28$$

حيث:

X : المسافة القصوى لتطاير الصخور (م).

qa : الشحنة النوعية محسوبة للأنفو (كجم/م3)

الخلاصة

إن مراعاة التفاصيل الدقيقة من ناحية الخصائص الصخرية ومن ناحية عناصر التصميم لدورة التفجير يعطي كفاءة عالية في نتيجة التفجير، حيث يقلل من الأضرار الذي قد تحدث للعناصر الإنشائية القريبة وأيضا تسهم في خفض تكاليف التفجير المتمثلة في تقليل من عدد الآبار المطلوبة وكمية شحنة المتفجرات الكلية، كذلك تقلل من التأثيرات السيئة على المحيط والبيئة الناتجة من التفجير من تقليل الاهتزازات الأرضية والصدمات الهوائية وتطاير الصخور، أي أنه اختيار كمية المتفجرات تعتبر نقطة حرجة، فزيادتها يرفع من تكلفة المشروع الإنشائي ويزيد من الأثار السلبية

وتخفيضها يقلل من كفاءة التفجير المطلوبة المتمثلة في أحجام القطع الصخرية الناتجة من التفجير، ولهذا السبب يجب أن تكون هناك معلومات كافية لمهندسي المشروع وخبير التفجير لتتم عملية التفجير على أكمل وجه دون حدوث أضرار.

المراجع:

1- فوزي أبوعجيلة شهران، 2016، مبادي الحفر و التفجير السطحي، جامعة المرقب - الخمس ليبيا

2- فوزي أبوعجيلة شهران، 2016، المناجم السطحية، جامعة المرقب - الخمس ليبيا

3- Atlas Powder Company. (1987). Field technical operations: Explosives and Rock Blasting. Dallas, Atlas powder C.o.

4- Carlos, L. J. & Emilio, L. J. (1995). Drilling and Blasting of Rock, Geo-mining Institute of Spain: CRC Press

5- Du Pont. (1980). Blasters Handbook (16th ed), E.I. Du Pont de Nemours & Co, Deloware, U.S.A.

6- Gregory, C.E. (1979). Explosive for North American Engineers, Trans Tech Publications, Ohio , U.S.

7- Holmberg, R. (1985). Contour Blasting, Swedish detonic research foundation

8- Kennedy, B.A. (1990). Surface mining (2nd ed), Society for Mining , Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado.

9- Langefors, U & Kihlstrom, B. (1978). The Modern Technique of Rock Blasting (3rd ed.), New Jersey: John Wiley & Sons.

10- Siskind, D. E., Stag, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H. (1980). Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting, US Dept of Interior, Report of Investigations: Bureau of Mines Report N.o 8507, Twin cities, MN, [online], available from: https :// files .ceqanet .opr.ca.gov.

11- Vuolio, R. (1991). Estimating Damage by Rock Vibrations In: International Society of Explosive Engineers, Proceedings of the Seventeenth Conference on Explosives and Blasting Techniques, Las, Vol. I & II Las Vegas, NV.