

# الاهتزازات الأرضية الناتجة عن أعمال التفجير وتأثيرها على المحيط

أ. فوزي أبو عجيبة شهران  
قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة  
جامعة المرقب

## ملخص البحث:

إن الوظيفة الأولى والأساسية لاستخدام المتفجرات في المناجم هو الحصول على التجزئة المطلوبة للصخور، ونتيجة لهذا فإن انفجار هذه الشحنات يتولد عنه اهتزازات أرضية بالإضافة إلى موجات هوائية، وهذه الاهتزازات تعتبر حالة طبيعية كرد فعل لأعمال التفجير، والاهتزازات الأرضية هي انتقال الطاقة من نقطة التفجير إلى المحيط، والطاقة المنتقلة أو المنتشرة تسمى بموجات سيزمية، وتصنف هذه الموجات إلى موجات كتلية والتي تنتقل 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، وتعتمد هذه الموجات على الظروف الجيولوجية، فعند الظروف المتجانسة والطبقات الأفقية والكتلية والخواص المتساوية في جميع الاتجاهات فإن سرعة وقوة هذه الموجات تكون متساوية في كل الاتجاهات، أما إذا كانت الظروف الجيولوجية معقدة فإنها تقلل من قوة وسرعة هذه الموجات وبمقدار ما يحدث تشوه بفعل موجات الضغط أو القص فإن الصخور تبذل مقاومة لهذه القوى، ومقاومة الصخور لموجات الضغط تسمى بمعامل الانضغاطية أو معامل الجسم ومقاومة موجات القص تسمى بمعامل القص.

وتهدف هذه الدراسة للتعريف بالتأثير السلبي على المحيط من التفجير على شكل اهتزازات أرضية وأنواعها، وكيفية حساب المسافة الآمنة من هذه الاهتزازات.

## مقدمة:

تستخدم المتفجرات في أعمال التعدين بشكل كبير، والوظيفة الأولى والأساسية لاستخدام المتفجرات في المناجم هو استخدام الطاقة العالية الناتجة من التفجير (غازات تحت ضغوط عالية تصل على عشرات الآلاف الضغوط الجوية) في تفكيك الكتلة الصخرية والخامات، هو الحصول على التجزئة المطلوبة للصخور، ونتيجة لهذا فإن انفجار هذه الشحانات ينتج عنه تأثيرات سيئة على المحيط، منها الاهتزازات الأرضية والصدمة الهوائية وما ينتج عنهما من مخاطر وتلف للمنشأة المحيطة بمنطقة التفجير، وهذه الاهتزازات تعتبر حالة طبيعية كرد فعل لأعمال التفجير، والطاقة الناتجة من التفجير على شكل غازات بضغط عالية تتحول إلى موجات زلزالية تنتقل عبر الصخور المحيطة بنقطة التفجير تنتقل عبر الأرضية على شكل

موجات زلزالية، وشدة الحركة الزلزالية تعتمد على كمية المتفجرات التي تنفجر في نفس اللحظة، وعلى بعد هذه النقطة على نقطة الانفجار، وهذه الطاقة الناتجة تستخدم لتغلب على قوة تماسك الصخور والخامات، وبها يحدث فعل التكسير للصخور والخامات بفعل إجهادات الشد، وتسمى هذه الطاقة بالطاقة المرنة، وهي طاقة تعطي ما يسمى بالاهتزازات الأرضية أو اهتزازات التفجير [1].

عند تفجير شحنة المتفجرات، تتولد موجة هوائية عنيفة تصاحبها ضجيج قوي وهذا ما يسمى بالصدمة الهوائية، ينتج عن التفجير قوتان ضارتان وهي الاهتزازات الأرضية والصدمة الهوائية، وكل واحدة منها لها جهد لتحدث تلفاً وخسائر في المنشأة الموجودة في المنطقة المجاورة لمنطقة التفجير، لذلك يجب أن تحسب المسافة الآمنة بأن لاتقع المنشآت أو المباني داخل منطقة الخطر (منطقة الحركة الزلزالية).

### قوة المتفجرات:

لإعطاء فكرة عن قوة المتفجرات دعنا نقارنها بطاقة من مصدر حراري ينتج 550 MW من الطاقة وهذه الطاقة تعادل 130900 kcal/s، (حيث 1kw يحرق طاقة 0.238 kcal/sec) بينما الطاقة التي ينتجها 1 كجم من الجيلاتين تساوي 1200 kcal/kg (من شحنة بطول 1م في البئر) وبسرعة تفجير 4000 م/ث فإن هذا المتفجر ينتج طاقة تساوي  $(1200 \text{ kcal} / 1 \text{ m}) \times (4000 \text{ m/sec})$

فإن والقوة التي ينتجها 1 كجم من الجيلاتين تعادل 37 مرة من القوة التي ينتجها المصدر الحراري. وعامل الزمن هو الذي يميز عملية الانفجار، فإذا لم يتم الانفجار بسرعة فإنه يتحول إلى احتراق وليس انفجاراً، والغازات الناتجة عن الانفجار يكون لها أحجام تعادل عشرات الآلاف المرات من حجم المتفجرات [2].

## الاهتزازات الأرضية والانذافات الهوائية:

تتمثل التأثيرات الجانبية للتفجير في احتمال إلحاق الضرر على البشر والمباني السكنية والصناعية والعمومية المجاورة لموقع حدوثها، وتتضمن هذه المشاكل الاهتزازات الأرضية والارتجاجات الهوائية، وعادة ما يوصف الاهتزاز الأرضي ذو الطاقة الزلزالية على أنه إزاحة متغيرة في الزمن أو سرعة أو تسارع جسيم معين في الأرض [3]، ولتشخيص الحركة، يتطلب الأمر ثلاث مكونات مترامنة متعامدة فيما بينها، وتكون إحدى هذه الحركات أفقية في حين تكون الحركتان الأخريان عموديتين (نصف قطرية ومستعرضة) ، ويمثل كل خط كيفية اهتزاز الأرض في ذلك المكون، وتكون الخطوط الراسمة للحركة على علاقة تكامل وتفاضل على النحو التالي [1].

$$V = \frac{d}{dt} D = \int A \cdot dt \quad (1)$$

$$A = \frac{d}{dt} V = \frac{d^2}{dt^2} D \quad (2)$$

حيث :

A : على التوالي الإزاحة (م)

V : السرعة (م/ث)

D : التسارع (م/ث<sup>2</sup>)

وعندما يمكن مشاهدة الاهتزاز بموجة جيبية أي حركة توافقية بسيطة، تصبح المعادلة

كتالي:

$$D = D_0 \sin (2\pi f t) \quad (3)$$

$$V = D_0 (2 \pi f) \cos (2\pi f t) = V_0 \cos (2\pi f t) \quad (4)$$

$$A = - D_0 (2\pi f)^2 \sin (2\pi f t) = -A_0 \sin (2\pi f t) \quad (5)$$

حيث :

$f$  : التردد (هيرتز).

$t$  : الزمن (ث).

$A_0$  ،  $V_0$  ،  $D_0$  تمثل ثوابت.

وتتوافق قيم الذرة مع الزمن الذي تساوي فيه الدوال المثلثية الوحدة وتصبح العلاقات ما

بين قيم الذرة تلك على النحو التالي:

$$D_0 = \frac{V_0}{2\pi f} = \frac{A_0}{(2\pi f)^2} \quad (6)$$

$$V_0 = 2\pi f D_0 = \frac{A_0}{2\pi f} \quad (7)$$

$$A_0 = (2\pi f)^2 D_0 = 2\pi f V_0 \quad (8)$$

كما يمكن تقريب الترددات المركبة بواسطة حركة توافقية بسيطة حيث تصبح عمليات

التكامل والتفاضل بالحاسب الآلي ضرورية للتحويل.

درس باركلي طريقة لتوقع الاهتزازات التفجيرية حيث قام بتصميم نموذج بالحاسب

الآلي لمحاكاة التواريخ الزمنية للاهتزازات الانفجارية، ويقوم هذا النموذج على تراكب الحركات

الأرضية الناتجة عن الشحنات الفردية التي تشكل تفجيراً، وقد راعى في نمودجه خصائص

حركة الأرض الناتجة عن تفجير شحنة بسيطة متضمنة شكل الموجة ومحتوى التردد والتوهين

والتشتت، كما راعى فيه أيضاً هندسة التفجير المتغيرة والشحنات السطحية وأوقات التأخير

العشوائي، وقد تمت مقارنة المحكاة النمودجية باهتزازات فعلية في منجمين للفحم على نحو

إيجابي.

وقد درس راندل قوى تأثير دقة التأخير على شكل الموجة وذهب إلى أن مقدار عدم دقة التوقيت الذي قد يكون موجودا دون تغيير عام في الاهتزازات يتوقف على الخصائص المحددة للموقع، وفي الحالة التي تعرض لها في دراسته، لم تحدث تغيرات معتبرة في سعة وتردد الاهتزاز إلى غاية تجاوز أخطاء التأخير 5 مللي ثانية [4].

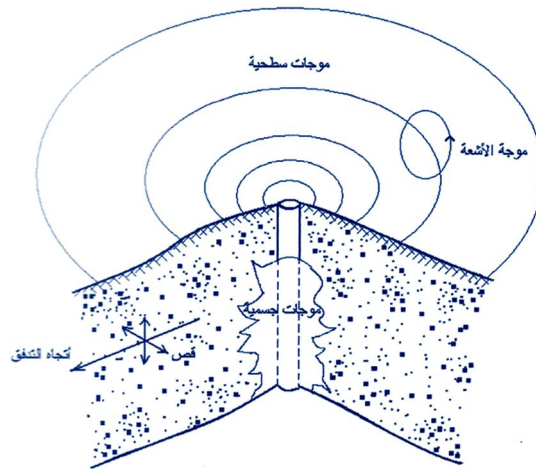
أما أديكاري وسينغ، فقد اتخذوا سرعة جسيم القصى كمقياس لشدة الاهتزازات الأرضية لتقييم ودراسة ضرره المحتمل على الإنسان والبيئة، وقد درسوا تأثير خواص الصخر على الاهتزاز مستحث التفجير واكتشفا بأن العلاقة ما بين ثوابت الموقع لمعادلة الانتشار وبين خواص الصخر من قبيل مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد تكون فقيرة، كما اكتشفا وجود علاقة مباشرة بين سرعة جسيم القصى ومقاومتي الانضغاط والشد.

واعتبراً سرعة جسيم القصى أحسن واصف للحد من احتمالات التلف التي قد تلحق بالهياكل، وقد وجد من خلال تحليل بيانات الاهتزاز التي تجاوز عددها الـ 900,000 أن أكثر وصف عملي يتمثل في المكون العمودي لسرعة جسيم الذروة [4].

كرونويلج بدوره قام بدراسة إجراءات تحليل الزمن والتردد لبيانات الحالة العبارة لتخفيض التلف المحتمل الذي قد يلحق بالهياكل وتخفيض إزعاج العامة وتحسين سلامة وإنتاجية عمليات التعدين، أما تشانغ، فقد اكتشف أنه في حالة القيام بعملية النسف بالمتفجرات بالقرب من الطرق العامة وهياكل الطرق العامة، يكون التحليل الطيفي طريقة مفيدة في تحديد الضرر الهيكلي، كما وجد أن جسور الطرق العامة تتأثر على نحو أكبر بالموجات الجسمية المستحثة التفجير التي تمتلك تردداً أكبر من الموجات السطحية، ووجد سيسكايند أنه عند مسافات بعيدة تتجاوز 4 ميل من التفجير لا يبدو لاختلافات تصميم التفجير أي تأثير معتبر على ترددات مرحلة سرعة جسيم القصى [5].

## أنواع الموجات الزلزالية:

تعرف الاهتزازات الأرضية بأنها انتقال الطاقة من نقطة التفجير إلى المحيط، والطاقة المنقولة أو المنتشرة تسمى بموجات سيزمية، تقسم الموجات الزلزالية (الموجات المرنة) إلى نوعين من الموجات هما: الموجات الجسمية (كتلية) كما هو مبين بالشكل (1) 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، وتعتمد 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، فإنها تقلل من قوة وسرعة هذه الموجات، وبمقدار ما يحدث تشوه بفعل موجات الضغط أو القص فإن الصخور تبدل مقاوم لهذه القوى، ومقاومة الصخور لموجات الضغط تسمى بمعامل لا انضغاط أو معامل الجسم، ومقاومة موجات القص تسمى بمعامل القص [6].



شكل (1) الأنواع الشائعة من الموجات المستحثة بالتفجير

## 1-الموجات الجسمية:

تنتقل الموجات الجسمية بداخل الكتلة الصخرية في ثلاث أبعاد، متباعدة بشكل كروي عن تشويش نقطة الاستجابة العابرة، وهناك نوعان من الموجات الجسمية وهما: الموجات الانضغاطية والموجات الطولية، وتكون إزاحات الجسميم موازية لاتجاه انتشار الموجة الانضغاطية وعمودية بالنسبة لاتجاه انتشار موجة القص، ومن خلال معادلات رياضية نستطيع حساب السرعة على النحو التالي [7]:

$$V_P = \left[ \frac{k + 4 / 3G}{\rho} \right]^{0.5} \quad (9)$$

$$V_S = \left[ \frac{G}{\rho} \right]^{0.5} \quad (10)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (11)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (12)$$

وبالتعويض في المعادلتين (9) و(10) من المعادلتين (11) و(12) نحصل على التالي:

$$V_P = \left[ \frac{E(1 - \nu)}{\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \right]^{0.5} \quad (13)$$

$$V_S = \left[ \frac{E}{2\rho(1 + \nu)} \right]^{0.5} \quad (14)$$



حيث:

$V_p$  : سرعة الموجة الانضغاطية أو الطولية في الصخر (م/ث).

$V_s$  : سرعة موجة القص في الصخر (م/ث).

$E$  : المعامل الديناميكي للمرونة (ميغاباسكال).

$G$  : معامل القص للكتلة.

$k$  : معامل الكتلة.

$\nu$  : نسبة بواسون.

$\rho$  : كثافة الصخر (جم/سم<sup>3</sup>).

وتكون سعة الموجة الجسمية بحسب التباعد الهندسي:

$$A(B) = \frac{A(B_0)}{r} \quad (15)$$

حيث:

$A(B)$  : السعة الأولية للموجة الجسمية المرنة عند نقطة البسط

$r$  : المسافة من نقطة البسط (م).

## 2-الموجات السطحية:

حينما ترتطم مقدمات الموجة الكروية للأمواج الجسمية بسطوح خالية من الشد التي تكون مكبوحة بشروط فيزيائية وهندسية من الانتقال بداخل الكتلة الصخرية، يحدث هناك تفاعل معقد تنتج عنه موجة سطحية، وتنتقل تلك الموجات فوق الكتلة السطحية وليس بداخلها ببعدين اثنين، ثم تتباعد بشكل اسطواني عن اضطرابات نقطة العبارة، ويكون العمق الذي يصل إليه تأثير الكتلة الصخرية بحركة الموجة بطول موجة واحدة تقريباً، وتعتبر الموجات السطحية

خطيرة من حيث كونها تنتج حركات أرضية وطاقة أكبر عند مسافة معينة من موقع تضرر الهياكل [5].

وهناك نوعان من الموجات السطحية هما: موجات رايلج وموجات لوف، وفي حالة موجات رايلج تكون حركة الجسم دائما على المستوى العمودي إهليجية وتراجع بالنظر إلى اتجاه الانتشار، وتلاحظ موجات لوف فقط في حالة وجود طبقة منخفضة السرعة تغطي الطبقة التحتية العالية السرعة في منطقة طبقية وتكون حركة الموجة في حالة موجات لوف أفقية ومستعرضة.

وقد ذهب فوربيف في سنة 1973م إلى أنه في حالة وجود مسافة أكبر من 457 م عن موقع التفجير تحمل موجات رايلج باعتبارها موجات سطحية إلى غاية 80% من طاقة الاهتزازات المرنة التي تقاس عند نقاط من سطح الأرض، وتكون سرعة الموجة السطحية (موجة رايلج) كالتالي:

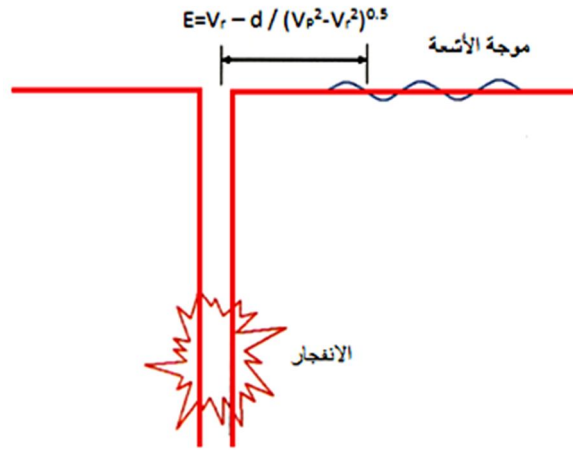
$$V_r = 0.954 \times V_s \quad (16)$$

(لقيمة بواسون = 0.25) .

$$V_r = 0.915 \times V_s \quad (17)$$

(لقيمة بواسون = 0.5) .

ومثل مانكو سنة 1925م نقطة بسط موجة رايلج على السطح كما في الشكل الآتي:



المسافة المركزية (E) من الشحنة إلى نقطة بسط موجة رايليغ

$$E = \frac{V_r \times d}{(V_p^2 - V_r^2)^{0.5}} \quad (18)$$

حيث :

$V_r$  : سرعة موجة رايليغ (م/ث).

$V_p$  : سرعة الموجة الانضغاطية (م/ث).

$d$  : عمق الاضطراب (م).

وتكون سعة موجة رايليغ على النحو التالي:

$$A(R) = \frac{A(R_0)}{r^{0.5}} \quad (19)$$

وقد مثل كل من فوروبيف في سنة 1973م وجايجير وكوك في سنة 1977م التوهين الناتج عن الاحتكاك الداخلي للصخر كانهلال أسي مرتبط بمسافة البعد عن نقطة تشكل موجة

رايليج، وتفسيرا للتباعد الهندسي، يكون التوهين الناتج عن الاحتكاك الداخلي للصخر وشكل الموجة وسعة موجة رايليج كدالة لمسافة البعد عن نقطة بسط موجة رايليج على النحو الآتي:

$$A(R) = \frac{A(R_0)}{r^{0.5} [e^{-\alpha r} \sin( wt )]} \quad (20)$$

حيث :

$\alpha$  : معامل التوهين (م<sup>-1</sup>) والذي يعتمد على التردد.

W : التردد الزاوي لنبض موجة رايليج.

t : الزمن (ث).

تتوهن الموجات السطحية التي تبتعد وفقا ل :  $\frac{1}{r^{0.5}}$  بسرعة أقل من الموجات الجسمية

التي تتباعد وفقا ل :  $\frac{1}{r}$ ، وقوانين التباعد هذه تؤكد الملاحظات التي تذهب إلى أن تزايد مسافة البعد عن التفجير، وقسم السعة العالي من الاهتزاز المقيس عبارة عن حركة جسيم الموجة السطحية [1].

وقد أعلن مونكني أن التوهين الهندسي والتبديدي للموجات الزلزالية المنتشرة من نقطة

المنشأ يمكن تحديده من العلاقة الآتية:

$$A = \frac{A_0}{r \times e^{-\alpha(r-1)}} \quad (21)$$

$$\alpha = \frac{\pi f}{Q C} \quad (22)$$

حيث :

A : السعة عند المسافة (r) عن المنشأ.

r : المسافة عن المنشأ (م).

$A_0$  : السعة عند مسافة الوحدة عن المنشأ.

$f$  : تردد الموجة (هرتز).

$C$  : سرعة الانتشار (م/ث).

$Q$  : القيمة المحددة للصخر  $Q = \frac{2\pi w}{\Delta w}$  ، عندما  $\frac{w}{\Delta w}$  هي فقدان الطاقة النوعية.

$W$  : الطاقة الكلية (جول).

ومن العوامل التي تؤثر على مستويات ضغط تفجير الهواء، المسافة، درجة حصر المتفجرات وإشعالها، الظروف الجوية.

هناك بعض الإرشادات للتحكم في تأثيرات تفجير الهواء خلال عمليات التفجير كما

يلي:-

- إذا كان التدرج الموجب لدرجة الحرارة موجود في طبقات الجو يجب أن يؤجل التفجير للظروف الجوية.

- إذا كان التدرج سالب لدرجة الحرارة وتزيد سرعة الرياح عن 24 كم/ساعة، تكون البؤرة صغيرة جدًا لموجات تفجير الهواء وبالتالي يمكن إنجاز التفجير.

- إذا كان التدرج سالبًا لدرجة الحرارة وسرعة الرياح تزيد عن 24 كم/ساعة.

ويجب الأخذ في الاعتبار العديد من العوامل قبل التفجير: عندما يكون اتجاه الرياح اتجاه

مناطق الإقامة يجب تجنب التفجير. وبالإمكان التفجير إذا كان التفجير صغير ولا يسبب أي

انهيار. وأيضًا بالإمكان التفجير بين موجات الرياح إذا كان تردد سرعات الرياح تزيد عن 24

كم/ساعة أقل من 2 أو 3 لكل 5 دقائق أنه [4].

ولأهمية ما سبق فإنه عند إجراء برنامج التفجير لا بد من أخذ الاحتياطات اللازمة

للتقليل من التأثير السلبي، ويتم ذلك بأخذ المسافة الآمنة من نقطة التفجير إلى أقرب نقطة حيوية

(المباني والمنشآت المدنية) ويمكن التحكم في هذه المسافة عن طريق التحكم في كمية المتفجرات التي سوف تنفجر عند نفس اللحظة، وكلما تم تجزئة الكمية كلما صغر نصف قطر دائرة الخطر.

### تقليل كمية المتفجرات:

يتم تقليل الكمية التي سوف تنفجر عند نفس اللحظة بآلية بسيطة، وهي استخدام التأخير في التفجير؛ لأنه باعتماد هذه الآلية يمكن تفجير أي كمية متفجرات بتحكم، وتعتمد هذه الآلية على الكبسولات المستخدمة في عملية التفجير، حيث تصنف الكبسولات إلى كبسولات فورية وأخرى مؤجلة، والفرق بينهما هو لحظة التفجير والذي يفرق بامللي ثانية، حيث أنه نظريا لا يوجد فرق بينهما ولكن فعلياً هذا الفرق بامللي ثانية يحدث فرق كبير في كونه يجزي قوة المتفجرات المنطلقة في المحيط على شكل دفعات، بينما عند عدم استخدام التأخير فإن ذلك يؤدي إلى انتقال الطاقة بالكامل كدفعة واحدة وهذا يزيد من التأثير السلبي على المحيط، وتستخدم التأخير في التفجير، وهناك عدة أنواع من الكبسولات ذات المبطئ، حيث تتراوح فترة الإبطاء من 25 مللي ثانية وحتى 1000 مللي ثانية، بفترة مختلفة، وهناك كبسولات يكون فيها الحد الأدنى لفترة الإبطاء 7 أو 15 مللي ثانية [2].

### المسافة الآمنة للتفجير:

المسافة الآمنة تعتبر عملية وفعالة لإيجاد تحكم في الاهتزازات الأرضية، حيث يمكن إيجاد كمية المتفجرات التي يمكن أن تستخدم بأمان (لتقليل من الأضرار)، أو المسافة الآمنة عند معرفة كمية المتفجرات ويحدد على النحو الآتي:

$$S.D = \frac{R}{\sqrt{Q_{t.s}}} \quad (23)$$

حيث:

R : المسافة الآمنة (متر).

$Q_{ts}$  : كمية المتفجرات التي تنفجر في نفس اللحظة (كجم).

وقد حدد مقدار S.D تبعاً لشروط الأمن والسلامة بي 27 وعليه تصبح المعادلة 23

كالآتي:

$$R = 27 \sqrt{Q_{t.s}} \quad (24)$$

### الصدمة الهوائية:

من نواتج التفجير السيء على المحيط الصدمة الهوائية، التي تنتقل خلال المحيط الخارجي محدثاً خسائر وأضراراً، 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 إتجاه وسرعة الرياح وحرارة وضغط الجواء، التي لها تأثير كبير على انتشار ضغط الموجات.

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

$$R_m = K \sqrt{Q_{t.s}} \quad (25)$$

حيث K ثابت (10 - 15)

ويحدد نصف قطر تأثير موجة التفجير الهوائية على المنشأة والمباني من العلاقة الآتية:

$$R_m = 200\sqrt[3]{Q_{t,s}} \quad (26)$$

### تطاير الصخور:

حدوث فعل تطاير الصخور أثناء التفجير في المناجم يعتبر من السلبيات في التفجير، فقد يكون السبب هو البعد بين الصف الأول للآبار والواجهه غير كافٍ، أو يكون طول السدادة في البئر صغيرة، مما يحدث تطايراً 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 المنفجرة 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 الواجهه، 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 [2]:

$$X = 144 q_a - 28 \quad (27)$$

X : المسافة القصوى لتطاير الصخور (م).

q<sub>a</sub> : الشحنة النوعية محسوبة للأنفو (كجم/م<sup>3</sup>).

### الخلاصة:

باعتبار عمليات التفجير إحدى العمليات الانتاجية في صناعة التعدين، وبما أن هذه العملية أساسية ولا يمكن إجراء بديل عنها في كثير من الحالات، وأن هذه العمليات ينتج عنها مخاطر نسبية على المنشأة المدنية والمحيط والبيئة، بناء على ما تقدم يتم التوصية بما يلي:



1. الاهتمام بوضع السدادة بشكل جيد في الآبار؛ لأنها إذا لم تكن موضوعة بشكل جيد فإنها من الممكن أن تجعل البئر على شكل فوهة بركانية وهذا ما يزيد من الأضرار الناتجة عن الصدمة الهوائية (الضغط العالي الفجائي).
2. المحافظة علي الكميات الواجب تفجيرها عند نفس اللحظة بأن تكون في حدود المسموح به، (اعتمادًا على بعد المنشآت عن مركز التفجير) إذا كانت الكمية كبيرة ، فإنه يتم تقسيمها إلى كميات أصغر باستخدام التأجيل في التفجير.

### المراجع:

- 1- Sis kind, D. E., Stag, M. S., Kopp, J. W., and Dow ding, C. H., "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting", RI 8507 Bureau of Mines, Report of Investigations, 1980
- 2-Carlos, L. J. and Emilio, L. J. "Drilling and Blasting of rock" , First Edition, 1995, Netherlands
- 3-U. Langefors and B. Kihlstrom , 1973 , "The Modern Technique of Rock Blasting" , 2<sup>nd</sup> , Halsted press , A Division of John Wiley & Sones .
- 4-Atls Bolder Company, Field Technical operation, "Explosives and Rock Blasting", Atlas Powder Company, USA, 1987
- 5-Gazioglu, S. M. and Langston, R. E. " How to control Blast vibrations in an Urban Area ", Proceedings of the six conference on Explosives and Blasting Techniques, Tampa.
- 6-Vuolio, R. "Estimating Damage by Rock Vibrations " , Proceedings of the Seventeenth Conference on Explosives and Blasting Techniques, Las, Nevada, USA, February 1997.
- 7-Good man, "Introduction to Rock Mechanics", Second Edition,

- 8- Richard A. Dick, Larry R.Fletcher, and Dennis V.D' Andrea, 28.10. 1985, "Explosives and Blasting procedures Manua"l, united states department of the interior.
- 9- Nitro Nobel, 1985," Blasting Technique", Nitro Nobel AB, Gyttrop, Sweden, section 4.3.
- 10-Vuolio, R. "Estimating Damage by Rock Vibrations", Proceedings of the Seventeenth Conference on Explosives and Blasting Techniques, Las, Nevada, USA, February 3-7 1991.