

Karadeniz Sahil Yolu Projesi Kapsamında Trabzon'da İşletilen Taş Ocaklarında Yapılan Patlatmaların Çevresel Açından İncelenmesi

Environmental Investigation of Blastings Taken Place at Quarries Worked for Karadeniz Coastal Highway in Trabzon

Recep KAYA¹, Dr. Ayhan KESİMAL², Erol YILMAZ², Bayram ERÇIKDI²

¹ Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, K.T.U

² Maden Mühendisliği Bölümü, K.T.U

ÖZET: Karadeniz sahilinde inşa edilen Karadeniz Sahil Yolu yaklaşık 815 km uzunluğundadır. Proje kapsamında bölgede 200 civarında taş ocağı işletilmektedir. Bunların yaklaşık elli tanesi Trabzon civarında yer almaktadır. Bölgedeki taş ocakları genel olarak arazi yapısı ve ekonomik nedenlerden dolayı yerleşim, orman ve zirai alanların yakınında bulunmaktadır, işletilen taş ocaklarının tamamında galeri patlatma yöntemi kullanılmaktadır. Galeri patlatma yöntemi ile üretim yapılırken kullanılan patlayıcı madde miktarları, üretimin verimli olabilmesi için 3 ila 12 ton seviyelerinde olmaktadır. Bu boyuttaki patlayıcının bir kerede ateşlenmesi, birçok çevresel soruna yol açmaktadır. Taş ocaklarından kaynaklanan bu olumsuz etkileri bertaraf edebilmek için düşey deliklerin ve kademelerin kullanıldığı "kontrollü patlatma" ve çevresel kaygılarla geliştirilen diğer patlayıcı madde kullanılmayan üretim yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada taş ocaklarında kullanılan galeri patlatması yönteminin hangi çevresel problemlere neden olduğu, çevreye verdiği hasarların boyutu ve çevreye daha az rahatsızlık verecek alternatif üretim yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Titreşim, Taş Ocağı, Galeri Patlatması, Cardox Tüp Sistem

ABSTRACT: Black Sea Coastal Highway has 815 km total length with four lanes. There are more than 200 quarries in Eastern Black Sea Region. About fifty of these quarries are placed in Trabzon. Quarries in Eastern Black Sea Region generally close to urban, agricultural and forest areas because of economical and topographical concerns. Coyote blasting is being used as excavation method in all quarries in the region. For effective excavation, sometimes weight of explosive used in one shot is up to between 3-12 tonnes. This is causing many harmful environmental effects. Therefore, it is mainly aimed at discussing the quarry production method employed and monitoring a series of blast events to assess the damage potential of each blast, and persuading quarry owners to use "cautious blasting system with a number of benches" and decreasing the amount of explosive per delay and investigating of non-explosive applications for excavation to reduce the environmental effects of the quarries under running undesirable conditions.

Keywords: Ground Vibration, Quarry, Coyote Blasting, Cardox Tube System

I. GİRİŞ

Trabzon'da bulunan yaklaşık 50 adet taş ocağı 200.000 nr'si orman alanı olmak üzere toplam 2.500.000 m² alanda faaliyetini sürdürmektedir. Bu taş ocaklarının hemen hemen tamamında eski bir üretim yöntemi olan "galeri patlatması üretim yöntemi" kullanılmaktadır. Bölgenin topografik yapısı ve yerleşimi dikkate alındığında, galeri patlatması üretim yönteminin kullanılması birçok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir.

Trabzon'da topografya, hemen sahilden başlayarak birkaç metrede yüzlerce metre yüksekliğe kadar çıkabilmektedir[1]. Ayrıca şehir merkezinden güney ve doğu-batı istikametinde gidildikçe orta sınıf yapılar aralarında birkaç yüz metre mesafe olacak şekilde adeta araziye yayılmış bulunmaktadır. Bu yerleşmeden dolayı işletilen taş ocakları şehir merkezine ne kadar uzakta olursa olsun yine de bazı yapılara yakın olabilmektedir. Yine taş ocakları, orman ve tarım (özellikle fındık) arazilerine de yakın olmaktadır[2].

Taş ocaklarında kazı için kullanılan patlayıcı madde miktarı ocak aynasının büyüklüğü ve günlük kapasiteyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bahsedilen coğrafyada bir de galeri yönteminin kullanılıyor olması atım başına 4 ila 12 ton patlayıcının (genellikle ANFO) kullanılması demektir. Çünkü, teknik açıdan 70 m'ye yakın ayna yüksekliği, 100 m'ye kadar ayna genişliği ve galeri ana hattının 30 - 40 m olduğu bir patlatma düzeninde, verimli bir üretim için yüksek miktarda patlayıcıya gereksinim duyulmaktadır.

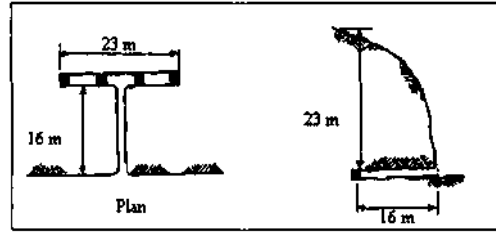
Patlatma işinin optimizasyonu için;

- 1 / Çevresel olumsuzluğa neden olmayacak titreşim seviyelerinin belirlenmesi,
- 2 izin verilen maksimum titreşim seviyelerinde kullanılacak patlayıcı miktarının belirlenmesi,
- 3 Patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerden etkilenebilecek yapıların varlığının saptanması.

4. Alternatif üretim yöntemlerinin uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmektedir

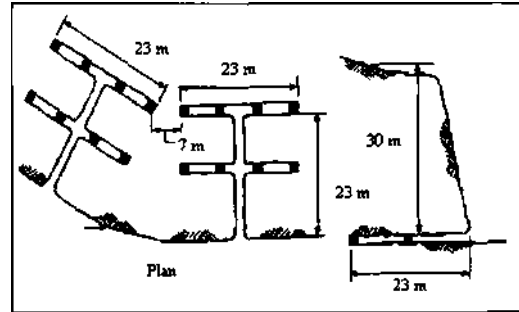
2. GALERİ ÜRETİM YÖNTEMİ

"Galeri Patlatması Üretim Yöntemi"nde genelde ocak aynasına dik ve tabandan oluşturulan ana galeri sürülür (Şekil 1). Bu ana hat sonunda "T" şekli oluşturacak biçimde kanatlar sürülür. Şekil 1'de koyu renk ile gösterilen yerlere patlayıcı (genellikle ANFO) şarjı yapılmaktadır.



Şekil 1. Galerî Patlatmasında Plan ve Kesit Görünümü

Yük miktarına bağlı olarak kanat sayısı karşılıklı artırılabilir gibi, yükün daha fazla olduğu tarafta patlayıcının şarj edileceği ekstra kanatlar oluşturulabilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çift Kanatlı Galerî Düzeni

Şekilde de görüldüğü gibi üretimin optimum olabilmesi için sürülen ana galerinin boyu ocak aynasının yüksekliğinin 0,6-0,75 katı olmalıdır. Ocak aynasının boyunun 30 m'den yüksek

olduğu durumlarda verimli bir üretim için kanat başlamak üzere genellikle hiçbir hesaplama dayandırmayan ve ocaklarda ateşçi denilen çalışanların tecrübelerine göre yapılan patlayıcı (ANFO) şarjından sonra sıkılama yapılarak ateşleme gerçekleştirilmektedir.

Açılan kanatların uç noktalarından başlamak üzere genellikle hiçbir hesaplama dayandırmayan ve ocaklarda ateşçi denilen çalışanların tecrübelerine göre yapılan patlayıcı (ANFO) şarjından sonra sıkılama yapılarak ateşleme gerçekleştirilmektedir.

Uygulamada, teknik gereksinimler ve bölgenin topografyası göz önüne alındığında, yapılan üretimin verimli olabilmesi için; ocak aynasının 70 m (Şekil 3) ve ana galerinin 30 m olduğu bir durumda yaklaşık 7 - 8 ton patlayıcı kullanılmaktadır. Bu miktarda patlayıcının bir kerede ateşlenmesi sonucu başta yer titreşimi olmak üzere yüksek boyutlarda gürültü, taş fırlaması ve toz oluşumu meydana gelmektedir.

3. YER TİTREŞİMİ

Patlatma kullanılan üretim yöntemlerinde, çevresel açıdan en önemli etki "yer titreşimi" olmaktadır. Üretim yapılan saha, yerleşim veya



Şekil 3. Ayna Yüksekliği Yaklaşık 70 m Olan Bir Taş Ocağı

nitelikli orman-tarım alanlarına yakınsa, yer titreşiminin hasara neden olmayacak güvenli sınırlar içerisinde tutulması hayati önem taşımaktadır.

Titreşim seviyesinin belirlenmesinde genelde "mm/sn" cinsinden değerlendirilen

"maksimum parçacık hızı" tanımı kullanılmaktadır. Bazen de "mm" cinsinden yer değiştirme miktarı dikkate alınarak, patlatmanın boyutu hakkında değerlendirme yapılmaktadır. Ancak yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimin yapılar üzerindeki etkisi birçok etkene bağlıdır. Bunlardan en önemlileri patlatma sonucu oluşan titreşimin dalga boyu, frekansı ve genliğinin yanı sıra ocak çevresindeki kaya yapısının durumu (masif, çatlaklı, kayaç cinsi vb.), yapıların doğal salınım frekansı ve bölgenin topografyasıdır (patlatma yapılan saha ile yapılar arasında vadi ve dağların varlığı gibi).

Patlatma sonucu açığa çıkan titreşim dalgaları mesafeye bağlı olarak sönümlenmektedir. Bu yüzden yapılar üzerindeki etkiler açısından mesafe en önemli bileşendir. Ayrıca yerleşim yerleri ile ocak arasında topografyadan kaynaklanan herhangi bir vadi ya da dağ gibi bir oluşumun varlığı titreşim dalgalarının sönümlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Titreşim seviyesinin belirlenmesinde "ölçekli mesafe" tanımı sıkça kullanılmaktadır. Ölçekli mesafe;

$$\text{ÖM} = \frac{R}{\sqrt{W}}$$

olarak ifade edilmektedir.

ÖM: Ölçekli mesafe,

R : Ocak ile değerlendirme yapılan yer arasındaki uzaklık (m),

W : Gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı (galeri patlatmasında toplam patlayıcı miktarı) (kg).

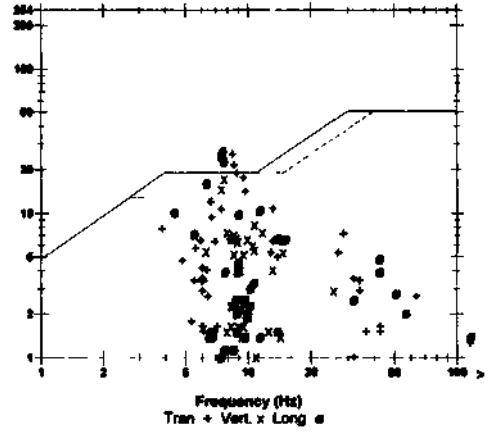
Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Dairesi (USBM), titreşim seviyesinin belirlenmesinde ölçekli mesafeye bağlı olarak maksimum parçacık hızının belirlenmesinde aşağıdaki formülü kullanmaktadır:

$$V = k (\text{ÖM})^B$$

V : Maksimum parçacık hızı (mm/sn),
 k : Arazi iletim katsayısı,
 β : Spesifik jeolojik sabit,
 ÖM: Ölçekli mesafedir.

Bu değerlendirmeye bağlı olarak, USBM [3] tarafından, oluşan titreşimin frekansının da değerlendirmeye katıldığı hasar kriteri belirlenmiştir. Şekil 4'te gösterilen bu değerlendirmeye göre düşey eksenler (düşey eksen maksimum parçacık hızını göstermektedir) arasında yer alan çizgi hasar sınırını ifade etmektedir. Çizginin üst tarafında kalan değerler hasara sebep olabileceği gibi, çizginin altında yer alan değerler hasar oluşumu açısından güvenli sayılmaktadır. Verilen grafik dikkatle incelendiğinde görülmektedir ki; patlatma sonucu oluşan titreşimin frekansı 25 - 100 Hz arasında iken 50 mm/sn'lik bir parçacık hızında hasar oluşumu söz konusu değilken, frekansın 25Hz'den küçük olduğu durumlarda parçacık hızının 50 mm/sn olması oldukça büyük yıkımlara sebep olabilmektedir. Bu yüzden yapılan patlatmaların, özellikle çevredeki binalar üzerindeki etkileri değerlendirilirken parçacık hızının tek başına kriter sayılması yanlıştır. Bu yüzden diğer bazı hasar kriterleri (Alman DİN, İsveç Standartları vb.); maksimum yer değiştirme, ivme ve düşey titreşim hızının boyutunu etken kabul edip değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Bütün bu kriterler göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmış ve bir sismograf (Blastmate -Minimate Plus) kullanılarak arazi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak arazi sabitleri belirlenmiş ve yapılan patlatmaların çevresel açıdan güvenli sınırlar içerisinde tutulabilmesi için kullanılacak yöntemler değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Yapılan Patlatmalar Sırasında Kaydedilen Bir Atımın USBM Tarafından Önerilen Hasar Kriterine İşlenmiş Hali

Söz konusu çalışma Trabzon Şehir Merkezi'nin yaklaşık 5 km güneyinde Deliklitaş mevkiinde gerçekleştirilmiştir. Taş ocaklarının bulunduğu alan tamamen bazaltlarla kaplı olup yer yer faylanmalarla kesilmiş oldukça masif yapıdadır. Deliklitaş bölgesinde işletilen taş ocakları genellikle 50 - 70 m ayna yüksekliğine sahiptirler ve Trabzon'da işletilen hemen hemen her ocakta olduğu gibi galeri patlatması üretim yöntemini kullanmaktadırlar. Ayrıca Deliklitaş çevresinde Trabzon Merkez İlçe'ye bağlı birçok köy bulunmakta ve çalıştırılan üç farklı ocak yakınlarında genellikle iki katlı evler ve birçok sanayi kuruluşu bulunmaktadır.

Belirtilen çalışma sahasında yapılan atımlara ilişkin büyüklükler Çizelge 1'de gösterilmektedir. Burada da görülmektedir ki, bir çok atımda izin verilen maksimum titreşim seviyeleri ve yer değiştirme miktarları aşılmıştır. Bu nedenlerdir ki ocak yakınında bulunan bir çok yapıda ağır sıva çatlakları ve kimilerinde de derin çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca bölgedeki sanayi kuruluşlarının da yüksek titreşimle ilgili şikayetleri artmaktadır.

Çizelge 1. Deliklitaş'ta Bulunan Taş Ocaklarında Yapılan Patlatmalara Ait Bazı Büyüklükler (ölçümler Blasmate marka, Minimate-Plus model sismografla yapılmıştır)

Atım No	Max Parçacık Hızı (mm/sn)				Max Yer Değiştirme (mm)	Frekans (Hz)	Max Ses Basıncı dB(L)	Patlayıcı Miktarı (k0)	Mesafe (m)	Ölçekli Mesafe
	Yan	Düşey	Boyu	Max						
1	18 8	12 8	132	188	0 1850	51	113 1	1470	550	14 35
2	25 4	173	26 8	26 8	0 4500	75	1126	3150	550	9 80
3	29 5	180	26 6	29 5	0 2930	14	134 0	3120	300	5 37
4	10 0	8 00	126	126	0 1490	16	134 0	3120	300	5 40
5	30 0	31 9	34 2	34 2	0 2310	32	116 1	5150	250	35
6	51 7	31 7	51 1	51 7	0 2860	51	114 8	3700	300	49
7	9 27	13 3	15 1	15 1	0 0904	47	1102	3500	300	5 1
8	84	72	102	102	0 1760	124	1132	3250	600	10 52
9	167	103	124	167	0 1945	175	1178	3500	650	10 99
10	134	11 5	12 3	134	0 1690	23	1165	3300	650	11 32

4. GURULTU

Ölçümlerin yapıldığı sahada çevresel açıdan önemli bir bileşen olan gürültü boyutları yüksek olmakla beraber çevredeki yapılar üzerinde hasara sebep olabilecek seviyeleri (Çizelge 2) pek aşmamıştır.

Çizelge 2. Gürültü Seviyesi Hasar Kriteri (USBM)

Oluşan Hasar	Gurultu Seviyesi (dB)
Eşyalarda Sarsıntı ve Ses	< 130
Hasar Sınırı	140
Bazı Pencerelelerin Kırılması	152
Bütün pencerelelerin Kırılması	172
Yapılarda Ağır Hasar	> 182

Ancak bazen patlatmalar sonucu civardaki camlar kırıldığı gibi, yüksek ses insanlar üzerinde kötü bir psikolojik etkiye sahiptir. Depremle özdeşleştirilen yer titreşimi, özellikle patlatmadan habersiz olan insanları daha da hassas hale getirmektedir.

5. TAŞ FIRLAMASI VE TOZ OLUŞUMU

Yüksek miktarlardaki patlayıcının (12 tona kadar) bir seferde patlatılması sonucu açığa çıkan reaksiyon gazları ve parçalanmadan meydana gelen aşırı toz (Şekil

S) uzun süre havada asılı kalmakta çevrede yaşayan insanların ve diğer canlıların sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır.



Şekil 5 Taş Ocağında Patlatma Sonrası Oluşan Yoğun Toz ve Reaksiyon Gazları

Yine patlatma sırasında çok uzak mesafelere ulaşabilen, aşırı miktarda taş savrulması meydana gelmektedir (Şekil 6). Yoğun taş fırlaması, yapılar ile ormanlık arazide hasara sebep olabildiği gibi ölüm ve yaralanmalara da neden olmaktadır.



Şekil 6. Patlatma ile Oluşan Taş Savrulması

6. DİĞER ÇEVRESEL ETKİLER

Doğu Karadeniz Bölgesinde yoğun bir şekilde orman (genellikle karaçam, sarıçam ve köknar), fındıklık ve tarım arazisi bulunmaktadır. İşletilen taş ocakları çoğunlukla bu arazilerde bulunmaktadır. Taş ocağı faaliyetleri ilk olarak bu verimli arazilerin tahrip edilmesine neden olmaktadır. Taş ocaklarının faaliyeti sırasında neden olunan yüksek miktarlardaki yer titreşimi, bölgenin topografyası kıyı boyunca uzanan dağların sık sık vadilerle kesilmesi ile çok eğimli ve heyelana açık bir özellik arz ettiğinden, oldukça fazla tarım arazisinin kaybedilmesine neden olmaktadır. Yine arazide titreşimin sebep olduğu derin çatlaklar su akışını değiştirerek verimin düşmesine neden olabilmektedir.

Patlatma sırasında oluşan yoğun toz ve reaksiyon ürünü zehirli gazların çökmesi, özellikle ekili alanlarda (fındık, tütün ve çay gibi) verimi oldukça düşürmekte ve bu konuda mahkemeye intikal eden bir çok dava bulunmaktadır.

Taş ocaklarındaki patlatmalar sırasında fırlayan taşların en önemli etkilerinden biri de çevredeki ağaç ve bitkilerin tahrip edilmesidir.

7. BAZI ALTERNATİF ÜRETİM YÖNTEMLERİ

7.1. Kontrollü Basamaklı Açık Üretim Yöntemi

Görüldüğü gibi bölgede uygulanan "galeri patlatması üretim yöntemi". Doğu

Karadeniz Bölgesi gibi yerleşimin yayılmış bir şekilde, tarım ve orman arazilerinin sık olduğu bir yerde çevre üzerinde büyük boyutta zararlara sebep olabilmektedir. Bu etkilerin bertaraf edilmesi için en önemli alternatif, düşey deliklerin, gecikme elemanlarının kullanılabilirdiği ve basamaklarla ocak aynası yüksekliğinin azaltılabildiği, daha az patlayıcı kullanılarak üretim yapılabilen "kontrollü basamaklı açık üretim yöntemi"nin kullanılmasıdır. Kontrollü patlatma yöntemi iyi planlandığında her türlü eğimde, her kapasite için verimli bir şekilde kullanılabilen ve bölgenin kaya yapısına en uygun üretim yöntemidir.

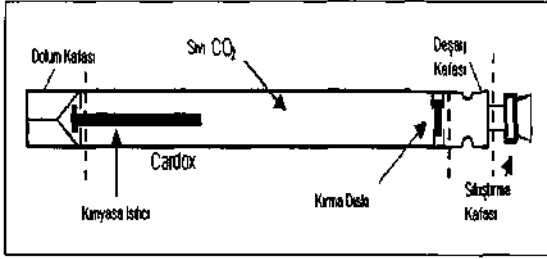
7.2. Büyük Kapasiteli Hidrolik Kırıcılarla Üretim

Diğer bir alternatif ise titreşime aşırı duyarlı yapılara yakın olan ocaklarda büyük kapasiteli hidrolik kırıcılar ve ekskavatörlerin kullanılmasıdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda [4] hemen hemen her türlü malzemede verimli bir şekilde kullanılabilen büyük kapasiteli hidrolik kırıcılar ve ekskavatörler geliştirilmiştir. Ancak bu tür makinelerle üretimin satın alma ve işletme maliyetleri yüksek olduğundan çok gerekmedikçe uygulanması zordur.

7.3. Cardox Tüp Sistemle Üretim

Türkiye'de henüz yaygın bir şekilde kullanılmamasına rağmen "Cardox tüp sistem" bölgenin duyarlılığı dikkate alındığında en uygulanabilir yöntem olarak görünmektedir.

Cardox tüp sistemde, çelik bir hazne (Şekil 7) içerisine yerleştirilen sıvı CO₂, kimyasal ateşleyici kullanılarak gaz haline çevrilmekte ve ilk hacminin 660 katına kadar genişleyen CO₂ büyük bir basınçla (yaklaşık 3.000 bar) 'tüp dışına çıkmakta ve aynı patlatmada olduğu gibi etrafındaki kayaları parçalamaktadır. Kullanılacakları yere göre farklı basınç gereksinimleri kırma diski değiştirilerek sağlanabilmektedir.



Şekil 7. Cardox Tüpünün Yapısı-

Cardox tüp sistemi uygulanırken, aynı basamaklı patlatma yönteminde olduğu gibi teşkil edilen basamaklarda açılan düşey delikler, Cardox tüpleriyle doldurularak ateşlenmektedir. Cardox tüp kullanılması sırasında, ANFO kullanılarak yapılan patlatmanın tüm zararlı etkileri neredeyse yok sayılabilecek kadar azaltılmaktadır. Titreşim, gürültü ve kaya fırlaması söz konusu değildir. Ayrıca, Cardox tüp sistemi iş yeri güvenliği açısından da oldukça avantajlıdır. Taşıma ve depolama konusunda hiçbir tehlike söz konusu olmadığı gibi, ateşlemeden hemen sonra ocak sahasına güvenle girilebilmektedir.

8. SONUÇ

Karadeniz Sahil Yolu Projesi Türkiye'nin en büyük sorunlarından olan trafik probleminin çözülmesi için atılmış en önemli adımlardan biridir. Yolumun tamamlanması ile yalnızca kazaların önüne geçilmekle kalınmayacak aynı zamanda ihracatın gelişmesine ve sağlanan tasarrufla milli ekonomiye çok büyük katkısı olacaktır. Ancak yürütülen birçok projede olduğu gibi bu devasa projede de planlama eksiklikleri ve düzensizlikten söz edilebilir. Yukarıda belirtilen bir çok çevresel olumsuzluğun söz konusu olduğu bölgede sayısı yüzleri aşan düzensiz ve kontrolsüz bir şekilde, iptidai bir yöntemle (galeri patlatması üretim yöntemi) üretim sürdürülmektedir.

Bu konuda yapılması gerekenler değerlendirildiğinde;

- Ocak sayısı azaltılarak; gerekli kamulaştırmaların yapılarak uygun büyüklükte güvenli bölgeler oluşturulup bu arazilerde, kontrollü düşey deliklerin ve gecikme elemanlarının kullanıldığı

basamak patlatmasının uygulandığı daha büyük ocaklar tanzim edilmelidir. Madencilik açısından, uygun bir planlama ile arazi koşulları nasıl olursa olsun basamakların kullanıldığı kademeli patlatma yöntemi uygulanabilmektedir.

- Eğer ocakların duyarlı yapılara yakın olması kaçınılmazsa, ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olmasına rağmen büyük boyutlu hidrolik kırıcılar ve ekskavatörlerin kullanılması gerekmektedir.
- Çevresel açıdan birçok olumsuzluğa sebep olan ANFO kullanımı yerine; titreşim, gürültü ve iş güvenliği açısından daha öncede bahsedildiği gibi çok avantajlı olan Cardox tüp sistemi kullanılmalıdır. Cardox tüp sistemin esnekliğinin (boy, çap ve basınç miktarı) her türlü gereksinime cevap verecek yeterlilikte olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Kesimal A., Kaya R. "A review of environmental effects produced by quarries for running Black Sea Coastal Highway Construction Project", *ISWA 2002 World Environment Congress & Exhibition*, İstanbul, July 8-12. pp. 2217-2224, 2002
- [2] Kaya R., Kesimal A., Yılmaz E., Erçikdi B., "A Review Of Environmental Effects Resulting From Quarry Blasting", *SGEM - 2003 Congress*. June 2003. Varna, Bulgaria.
- [3] Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., and Dowding C.H., "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting", *USBM, Report*, 8507. 1980.
- [4] Mattis A.R., Zaitsev G.D., "Design of Excavator of Great Unit Power for Rock Mining Without Blasting", *Journal of Mining Science*, Vol.36, Mo.6, 2000.
- [5] Başaran C., Başaran S.C. "Cardox Kırma Ünitesi ve Uygulama Sonuçları". 2 *Delme Patlatma Sempozyumu*, 233-240. 1996, ISBN 975-395-172-8
- [6] Persson P-A., Holmberg R. Lee J., "Rock Blasting and Explosive Engineering". *CRC Pres, New York, USA*, 87-140. 1994, ISBN 0-8493-8978-X

