

TÜNEL KAZILARINDA MALİYET OPTİMİZASYONU İÇİN ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

An Alternative Approach for Cost Optimization in Tunnel Excavation

Taner SÜMER (*)

Anahtar Sözcükler: Tünel Kazısı, Maliyet Optimizasyonu, Orta Çekme, Çevre Delikleri

ÖZET

Bu yazının amacı orta sağlam (basınç dayanımı < 80 MPa) kalker kayaç ortamlarında açılan tünellerde ayna delgi metrajın ve proje hattı dışı tazla yıkılmaları en aza indirgeyen bir maliyet optimizasyonunun özetlenmesidir. Bu uygulama 1980' lerde İsveç'te geliştirilen ve kayaç parçalanmasını sismik dalgalar ile izah eden (Grand 1980) yöntemin alternatif bir uygulamasıdır. Söz konusu optimizasyonu sağlayan uygulama 1950 yılından beri tünel patlatmalarında kullanılan yumuşak patlatma (smooth-blasting) tekniğinden daha ekonomik olup bunun yanında kazı hızının artırılmasına imkan vermesi nedeniyle tünel kazılarında ekonomik bir alternatif yaklaşım oluşturmaktadır.

Bu uygulama Bekme Barajı Enerji, Derivasyon ve sağ sahil kret enjeksiyon ve ulaşım (Sümer, Fourhaug, 1989) tünellerinde başarıyla uygulanmıştır. Yazının sonuç ve tavsiyeler bölümünde ise yazarın pratikte edindiği tecrübeler ve bu yöntemin uygulanmasında dikkate alınacak noktalar özetlenmiştir. Söz konusu uygulama Diyarbakır sulama tünellerinde (sert kalker ortamında) çok sınırlı başarıyla uygulanabilmiştir.

ABSTRACT

The aim of this paper is to summarize a cost optimization procedure through minimizing the total drill meters and the over breaks that occur in tunnel excavation in medium strong rock (uniaxial compressive strength < 80 MPa) conditions. The approach used in said cost optimization is an alternative practice of the concept of rock fragmentation through seismic waves that were originated in Sweden (Grand 1980). The proposed cost optimization practice is an alternative approach to smooth blasting technique that is employed in tunnel excavation, since this approach reduces the overbreak and speeds up the excavation.

This approach was successfully employed in derivation, energy and grouting tunnels (Sümer, Fourhau, 1989) of right abutment tunnel excavation of Bekme Dam Project. The on-site experience of the author and the point that should be taken into account in practice are given in the conclusions. The proposed practice was employed in strong rock conditions strong calcereous limestone at Diyarbakır irrigation tunnels in Türkiye with a very limited success.

* İnşaat Yük. Müh., Patlayıcı ve Sondaj Danışmanı

1. GİRİŞ

Delme patlatma yöntemi kullanılarak kaya ortamlarında açılan ve 20-75 m² ayna alanı olan, 38-45 mm delgi ve yumuşak patlatma tekniği kullanılarak kalker kayaç ortamında ülkemizde açılan 12 adet tünelin maliyet irdelemesinde kazı toplam maliyetinin % 22-26'sı desteklemeye, % 9-13' ü nakliye, % 30-34' ü patlayıcıya, % 31-33'ü de delgiye gitmektedir (Sümer, Asenjo 1992).

64-89 mm delgi çapı uygulaması yapılan açık işletmelerde delgi maliyeti 1.3-1.6 \$/m olup ve bir metre delgiden yaklaşık 6-12 m³ taş çıkarılabilirken, tünellerde bir metre delgi maliyeti 2.6 - 3.2 \$/m olup bir metre delgiden 0.6-0.9 m³/m çıkarabilmektedir.

Klasik tünel kazısında bir kaç deney atımından sonra kullanılması gereken patlayıcı miktarı belli olur. Kullanılacak personel sayısı mühendisin geçmiş tecrübesine göre bellidir. Pasa nakil mesafesi de belli olacağından nakliye maliyeti de sabit olacaktır. Bu durumda kazı maliyetine etken değişken parametrelerden en önemlisi delgi maliyeti olmaktadır. Düzenli ve doğru delgi paterni ile delinmemiş bir ayna hiç bir zaman iyi patlatılamayacağı için hem delme boyunun % 85'inden az çekilmesine neden olacak hem de proje hattı dışında fazla göçmelere sebep olacaktır. Bu boşlukların sonradan betonla doldurulması söz konusu olduğundan ek bir maliyet artışı gelecektir. Bu nedenle delginin en aza indirgenip doğru olarak yapılması önem kazanır.

2. OPTİMİZASYON ÖN ÇALIŞMALARI

Söz konusu delgi optimizasyonu önce enjeksiyon tünellerinde 23 ayna patlatmasında denenmiş ve her atımdan sonra sonuçlar değerlendirilip delgi pa-

terni yenilenmiş ve en uygun patern bulunduğundan sonra 2. yaklaşım ve enerji tünellerinde başarıyla kullanılmıştır.

23 ayna atımından ilk 6'sı başarısızlıkla, takip eden 10 ayna kısmi başarıyla ve son 7 ayna tam başarıyla patlatılabilmektedir. Bu alternatif yaklaşımın geliştirilebilmesi için 650 saatlik insan gücü, 320 saat ekipman kullanılmıştır.

3. ALTERNATİF DELGİ YÖNTEMİ

Tünel kazılarında delgi metrajı optimizasyonu açık işletmelerde olduğu gibi delgi çapının artırılmasıyla mümkündür. Birinci olarak 38-45 mm kullanılan delgi çapları 52-64 mm ve hatta 76 mm gibi görece olarak daha büyük çaplara çıkarılmıştır. Yapılan ilk deneylerde yalnızca delik çapının büyütülmesinin delik metrajını azalttığı halde aşırı göçmelere sebep olduğu görülmüştür. Bunu önlemek için patlatılması planlanan kaya hacminin çevresine 50-70 cm aralıklarla tünel eksenine paralel delikler delinmiş ve patlama hızları 4259 m/sn olan özel çevre hattı patlayıcılarıyla 0.2-0.35 kg/m' lik yükleme yoğunluklarıyla patlatılarak kaya hacmi ana kayaçtan çevresi çatlatılıp ayrıldıktan sonra, artık bağımsız bir kütle olan proje kazı hattı içindeki kaya ortamı 52-64 mm delik çaplarıyla küçük çaplara kıyasla % 22-25 daha az delgi metrajıyla delinip patlatılmıştır. Sonuçta her bir deliğe daha fazla patlayıcı yüklenebildiğinden, patlayıcıdan % 10 ve fazla göçmelerden % 75'e varan ekonomi sağlanmıştır.

Optimizasyonun ikinci adımı olarak tünel sürülmesi sırasında kullanılan klasik orta çekme detayı (Şekil 1) değiştirilmiştir. Klasik orta çekmede 16 adet 43 mm delik ve 1-2 adet 102 mm çaplı boş delik yerine, 7-10 adet 43 mm' lik delik delinmiş ve bunlara çevre patlayıcıları yüklenerek P5 (bir metresinde 5 gr patlayıcı olan) patlarlı fitil ile düşey

doğrultuda üç sıra olarak birbirlerine bağlanıp patlatılmışlardır (Şekil 2). Böylece bir saat on dakikaya varan klasik orta göbek delgisi yerine 25 dakika delgi yapılmış ve yalnız bu delgi kaleminden % 66'ya varan tasarruf sağlanmıştır.

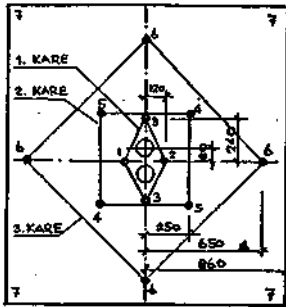
Optimizasyonun üçüncü adımı olarak delgi boyları artırılmıştır. Klasik uygulamada bir delgi borusu (3.2 metre) olan delgi boyu kayaç ortamının sertliğiyle orantılı olarak 5 metreye varan değişken boylarda delinmiştir. Böylece her atımdan sonra çekme boyları 4.6 • metreye kadar uzatılmıştır. Bu uygulama ile aynı tünel boyu için patlatılacak ayna sayısında %40'a varan tasarruf sağlanmış ve günde üç atıma çıkılabilmiştir.

Bu üç uygulamanın beraber yapılmasıyla:

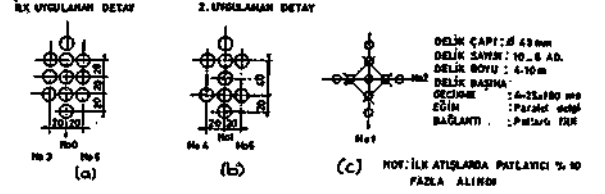
1) Proje hattı dışındaki kayacın örselenmesi %70 oranında azalmış ve buna bağlı olarak destek ve kaya saplaması maliyetinde %35'e varan ekonomi, püştürtme betonda ise %50'ye varan ekonomi sağlanmıştır.

2) Proje hattı dışı yıkımlara doludurulacak betonda ise %81'e varan ekonomi sağlanmıştır.

3) Delgiden ve destekleme işleminden kazanılan süreden faydalanılarak vardiyeler arası iş sarkmaları önlenmiştir.



Şekil 1. Klasik orta çekme detayı



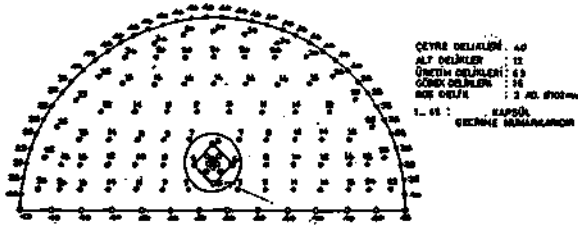
Şekil 2. Uygulanan orta göbek detayları

4. KAYAÇ PARÇALANMA SİSTEMATIĞİ

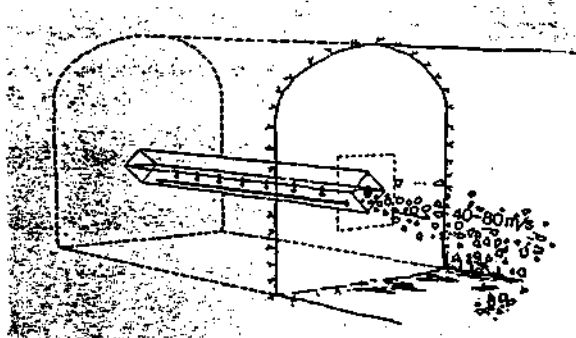
1980' lerde İsveç'te geliştirilen ve parçalanmayı, patlamadan dolayı kayaç içinde oluşan gerilme dağılımları ile açıklayan kurama göre patlayıcının ateşlenmesiyle delik içinde oluşan ani gaz basıncı ve şok darbesi kayaçta basınç dalgaları oluşturur (N.Nobel 1990). Üç boyutta delik çevresinden uzaklaşan bu basınç dalgaları ortam özelliklerine göre kayaç sismik hızıyla çevre ortamına yayılırlar (Grand 1980). Delme patlatma yöntemiyle kazı yapılan kayaçların basınç dayanımları 100 MPa' dan büyük olduğu için bu basınç dalgaları kayaç ortamında bir parçalanmaya yol açmazlar. Söz konusu basınç dalgalarının bir kısmı yansıyarak ve zaman içinde sönümlenerek ana kayaç ortamında yok olurken, bir kısmı süresizliklere rastlarlar. Basınç dalgaları bu tür boşluklarda ilerleyemeyecekleri için tünel aynasında veya orta çekmede açılan boş deliklerin oluşturduğu süresizlik düzlemlerinden çekme dalgaları olarak yansıyacaklardır. Kayaçların çekme dayanımları basınç dayanımlarının 1/10-1/12'si (Arioğlu, Tokgöz 1993) civarında olduğundan ve çekme dalgalarının oluşturdukları çekme gerilmeleri kayaç çekme dayanımlarının çok üzerinde olduğundan kayaç bu noktalardan çatlamaya başlar. Bu parçalanma hareketi delik dibine doğru çekme dalgalarıyla birlikte yayılır (Abdullah 1993).

5.1. KLASİK YÖNTEM

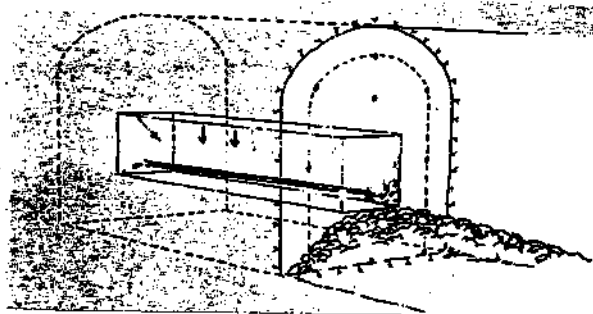
Klasik delme patlatmada oluşacak basınç dalgalarının çekme dalgalarına dönüştürülmesi için tünel aynasından 102 mm çaplı bir veya iki boş delik delinerek süreksizlik ortamı yaratılır. Böylelikle parçalanma ve savrulma yönlendirilmiş olur (Şekil 3).



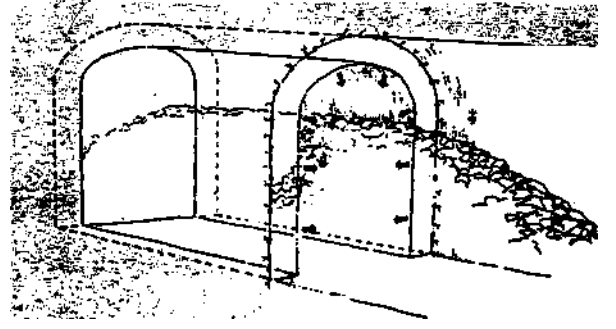
Şekil 3.a. Klasik sistemle delinmiş tünel aynası



Şekil 3.b. Orta çekmenin önce patlatılması. Oklar parçalanmış kaya hareket yönünü göstermektedir.



Şekil 3.c. Orta çekme etrafındaki deliklerin patlatılması.



Şekil 3.d. Çevre deliklerin patlatılması.

5.2. ALTERNATİF YAKLAŞIM

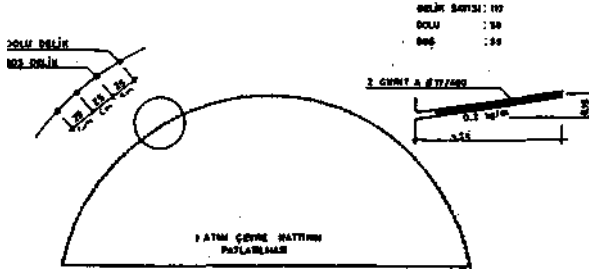
Bu yaklaşımın değişik olan yönü süreksizlik düzlemlerinin çoğaltılarak delgi metrajının minimizasyonudur. Klasik tünel patlatmalarında (Şekil 3) önce orta göbekte boş deliklerin bulunduğu orta çekme, daha sonra bu bölgenin etrafındaki delikler sırayla patlatılır. Alternatif yaklaşımda ise amaç süreksizlik düzlemini orta göbekte sınırlı bırakmayıp patlatılması planlanan kaya ortamın tüm çevresine yaymaktır. Bunun için önce tünel çevre hattı yanyana delinmiş sık deliklerin patlatılmasıyla çatlatılır, daha sonra ise iç kısım patlatılır.

6. ALTERNATİF YAKLAŞIM UYGULAMALARI

6.1. Bekme Barajı (Irak) Enerji Tüneli Giriş Ağızındaki Uygulama:

Enerji tüneli portalının istenen profile patlatılması çok dikkat gerektiren bir iştir, aksi takdirde Berke Barajı (Adana) derivasyon girişinde olduğu gibi istenmeyen sonuçlarla karşılaşılır. Tünel giriş ağzında alternatif yaklaşım uygulaması Şekil 4' de görüldüğü gibi tünel çevresi boyunca 4 m uzunlukta 43 mm çapındaki delikler 25 cm aralıklarla tünel eksenine paralel olarak açılmıştır. Bu delikler bir dolu bir boş olarak çevre hattı patlayıcılarına doldurulmuş ve P5' lik patlayıcı fitille birbirlerine bağlanıp gecikmesiz bir düzende patlatılmıştır. Böylece tünel sürülecek kaya çevre hattı boyunca çatlatılıp bir süreksizlik

düzlemi oluşturulmuştur. Orta kısmı başlangıçta 1 metre derinlikli delikler delinerek 1.25 kg/m^3 özgül patlayıcıyla 25-75 ms' lik gecikmeli kapsüller ile patlatılmıştır. Tünel ilerledikçe bu delik boyları artırılmıştır (Popouic, Fourhaug 1989).



Şekil 4. Tünel giriş ağzında alternatif yaklaşım uygulaması

6.2. Alternatif Yaklaşımın Tünel Sürülüşü Sırasında Kullanımı

Tünel çevre hattı çatlatıldıktan sonra orta bölgede her 0.9 m^2 ' ye bir 64'lük delik yetmektedir. Alternatif metot ile açılan bu göreceli olarak az sayıdaki büyük çaplı delikler nedeniyle ayna ortasında 1.5 kg/m , kenarlara doğru 1 kg/m ve açılan süreksizlik düzlemine en yakın olan kısımlarda ise 0.4 kg/m ' lik bir plastik patlayıcı kullanılması en az parçalanmayı sağlamıştır.

7. ALTERNATİF YÖNTEMDE MALİYET İRDELEMESİ

Ayna alanı 40 m^2 , çevresi 25 m olan ve her atımda 2.6 m çekme yapılan bir tünelde klasik sistem kullanıldığında aynada 71 adet üretim deliği gerekmektedir. Delgi maliyeti. $71 \text{ adet} \times 3.2 \text{ m} \times 3 \text{ } \$/\text{m} = \$ 681.6$ 'dır. Alternatif yaklaşımda ise, ilk başarılı atımda 45 delik yeterli gelmiştir. Yeni delgi maliyeti $45 \text{ adet} \times 3.2 \text{ m} \times 3 \text{ } \$/\text{m} = 432 \text{ } \$/\text{ayna}$ demektir. Buna ek olarak klasik sistem ortalama 12 cm fazla yıkılmaya sebep olmaktadır. Bu durum da, her 1 m ilerleme

için $0.12 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ (çevre) = $3 \text{ m}^3/\text{m}$ ilave beton demektir. Tünelde demirsiz beton $65 \text{ } \$/\text{m}^3$ olduğundan $65 \text{ } \$/\text{m}^3 \times 3 \text{ m}^3/\text{m} = 195 \text{ } \$/\text{m}$ kayıp demektir. Alternatif sistemde en az % 70 daha az yıkılma sağlanabildiğine göre $195 \text{ } \$/\text{m} \times 0.70 = 136.5 \text{ } \$/\text{m}$ tasarruf sağlanır. Ayrıca klasik sistemde bu tünelde 1 ton/m kontak enjeksiyonu gerektiği halde alternatif yaklaşımda bu 0.83 ton/metre'ye kadar düşmüştür. Bu $210 \text{ } \$/\text{ton} \times 0.17 \text{ ton/m} = 35.7 \text{ } \$/\text{m}$ tasarruf demektir. Sonuç olarak alternatif sistem aynı tünelde 422.4 \$/ayna gibi bir tasarruf sağlamaktadır.

8. ALTERNATİF YAKLAŞIMDA DİKKAT EDİLECEK NOKTALAR

1) Çevre deliklerinin çapları 32 mm' den başlayarak 53 mm'ye kadar kademeli olarak artırılmalı ve delik araları 30 cm'den başlayarak 75 cm'ye kadar kademeli olarak,, kayaç sertleştikçe çoğaltılmalıdır. Orta sert kalker kayaç ortamında 17 mm'lik çevre patlayıcıları için delik araları 60 cm yi geçince problemlerin başladığı görülmüştür.

2) 49-76 mm'lik üretim delikleri ayna orta noktalarına yerleştirilmelidir. Çevre deliklerine en yakın delikler ise 38-45 mm olarak açılmalıdır.

3) Önce çevre delikleri araları sabit tutulup bu deliklere konacak patlayıcı yükleme yoğunlukları değiştirilmeli, sonra seçilen bir yükleme yoğunluğu sabit tutulup delik ara mesafeleri değiştirilerek optimum delik düzeni bulunmalıdır.

Çevre delik aralığı ve patlayıcı miktarının optimizasyonunda kullanılacak değerlendirme kriteri:

a) Çevre hattının patlatılmasından sonra delgi izleri arası yaklaşık düz ise seçilen delik ara mesafesi kullanılan patlayıcı yükleme yoğunluğu ile uyum içindedir.

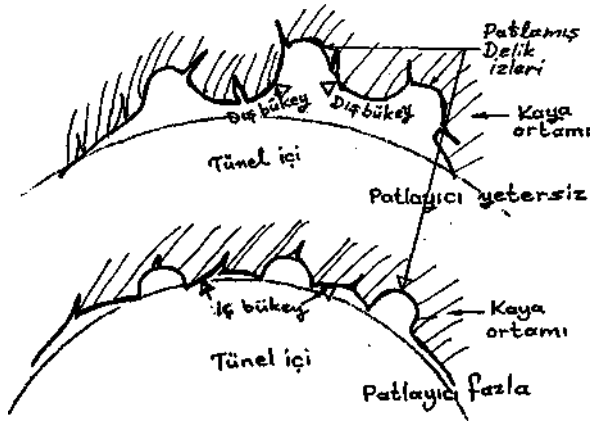
b) Delik izleri arası yaklaşık olarak iç büyük ise kullanılan patlayıcı miktarı

azaltılmalıdır.

c) Delik izleri arası dış bükey ise patlayıcı miktarı artırılmalıdır.

d) Atımdan sonra delik izleri görünmüyorsa patlayıcı yüklemeye yoğunluğu azaltılmalı ve delik arası mesafeleri açılmalıdır.

Bu kriter Şekil 5'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5. Çere delik aralığı değerlendirme kriteri

9 DENEYİMLER VE ÖNERİLER

Tünel çevresini ana kayaç ortamından ayırmak için kullanılan özel çevre patlayıcıları 4000 \$/ton civarındadır. Bunlara alternatif olarak:

1) Az yoğunluklu ANFO kullanımı ($0.3-0.5 \text{ kg/dm}^3$) Avrupa'da oldukça yaygındır. Klasik yoğunluğu 0.85 civarında olan T.A.N. (Teknik Amonium Nitrat) pirillleri arasına strafor veya polistren gibi yoğunluğu çok düşük sentetik küresel yapılı katkı maddeleri katılarak karışım yoğunluğu azaltılır. Burada dikkat edilecek nokta T.A.N. 'ı ANFO yapmak için katılan mazotun, sentetik bazlı bu katkı

maddelerini eritmesini önlemek için kullanılan T.A.N. 'nın mazot emme kapasitesi % 8.5 gibi yüksek olmalıdır (Johanson 1990).

2) İkinci bir ekonomik yaklaşım da, tünel profil deliklerinde kayaç cinsine göre yalnızca P50-P60 veya nadiren P70' lik patlarlı fitil kullanarak çevre hattını önce çatlatmaktır. Burada dikkat edilecek nokta, bir hat P60 yerine iki hat P30 veya üç hat P20'nin aynı işi yapmadığıdır (Sümer 1989). Burada patlarlı fitil değerleri bir boyut verme açısından sunulmuştur. Gerçekte hangi yapılacak ön deney atımlarıyla belirlenecektir.

3) Unutulmamalıdır ki çevre deliklerine konan patlayıcılar delik ağzından 50-80 cm içerde son bulmalıdır. Aksi halde atımdan sonra delik ağzlarında krater hataları görülecektir.

KAYNAKLAR

- 1) C.H. Grand, C.H., "An Empirical Method of Energy Distribution in Blast Patterns", Soc. of Mining Engineers of AIME, 1980
- 2) Arioğlu, E. ve Tokgöz, N., "Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Çekme Dayanımları Arasındaki Ampirik Bağlıntılar Üzerine Bir İstatistiksel Çalışma", Geosound Yerbilimleri Çukurova Üniversitesi, Sayı 23, 1993

3) Popouic, R. and Fourhaug, M., "Project Procedure for Excavation of Energy and Diversion Tunnel Inlets", Report No: BD0028/01 LOT4A, Bekhme Barajı, 1989

4) Johanson, M., "Tunnel Basting Tech", Course in Advanced Rock Blasting Techniques, Section 4, 1990

5) Nitro Nobel Blasting Techniques, Summer Course on Blasting for Professionals, Gytrop, Sweden, 1990

6) Sümer, T., and Fourhaug, M., "Project Procedure for Control Drill Blast of Grouting Tunnels", Report no: bd0018/12-LOT 2A, Bekhme Barajı, 1989

7) Sümer, T., Asenjo, T.R., "Tünel Maliyet İrdeleme Paketi" Berke ihale Dosyası Cilt 4, 1993

8) Abdullah, T., "Kaya Patlatma Düzeni Modellemesinde Gerçekçi Bir Yaklaşım Yöntemi", Türkiye 13. Madencilik Kongresi, Sayfa 289, Ankara 1993

gagat Maden Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

bolson İnşaat Maden ve San. A.Ş.

un1therm Isı Üretim Sanayi A.Ş.

ÇOBAN YILDIZI SOKAK 7 A / 3 06680 ÇANKAYA -ANKARA
Tel : 0 (312) 426 67 50 - 428 23 22
Fax : 0 (312) 467 19 08
Telex : 46328 bngt tr

CAN ŞİRKETLER GRUBU

CAN HAFRİYAT -MÜNİP ÇÖKER

CANEL MADENCİLİK A.Ş.

CANT AŞ MADENCİLİK A.Ş.

CANNÂK TAŞIMACILIK A.Ş.

CAN PETROL A.Ş.

CANMER MERMER SAN A.Ş.

Gümüş Pala Mah. Zabit Sok. No: 1/1

34850 AVCILAR - İSTANBUL

Tel : 0 (212) 593 14 83 - 593 18 75 - 509 45 41 - 593 18 76

Fax : 0 (212) 593 21 99