

**PLASTİK SULU SIKILAMA KARTUŞLARININ (PSSK) PATLATMA  
VERİMİ VE PARÇA BOYUT DAĞILIMINA ETKİSİ****An Investigation Into the Effect of Plastic Water Stemming Cartridges (PWSC) on Blasting  
Efficiency and Blasted-Fragmentation Distribution**Ali A. ÖZÖZEN<sup>(\*)</sup>  
Bahtiyar ÜNVER<sup>(\*)</sup>**Anahtar Sözcükler** : Galeri Patlatması, Sıkılama, Plastik Sulu Sıkılama Kartuşu,  
Parça Boyut Dağılımı Analizi.**ÖZET**

Yeraltı patlatma işlemlerinde kullanılan plastik sulu sıkılama kartuşlarının (PSSK) ocak atmosferine, patlatma performans ve ekonomisine olan etkilerinin belirlenmesi için kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, sıkılamanın ve sıkılama yöntemlerinin parça-boyut dağılımı ve dolayısıyla patlatma performansı üzerindeki etkisinden bahsedilmektedir. Bu amaçla, karşılaştırmalı olarak farklı sıkılama uygulamalarında, ateşleme sonrası alınan pasa yığını görüntüleri üzerinde sayısallaştırma işlemleri ile parça-boyut analizleri yürütülmüştür. Özellikle de PSSK ve kil sıkılması kullanımında patlatma performansı ve parça-boyut dağılımına olan etkilerinin karşılaştırmalı olarak sunulması hedeflenmiştir.

PSSK ile sıkılamanın; işçi sağlığı ve ocak atmosferine olan olumlu etkilerinin yanısıra parça boyut dağılımına olan etkileri, patlatma performansı ve patlatma verimi açısından da olumlu sonuçlar vermiştir.

**ABSTRACT**

A comprehensive research program has been carried out to determine the effect of plastic water stemming cartridges (PWSC), used for underground blasting operations, on mine environment and worker's health, blasting performance and economy. This paper presents the effect of stemming and different stemming types on the particle size distribution of blasted rock, hence the performance of blasting. For this purpose, the images of the blasted rock were digitized and particle size distribution analyses were carried out on a comparative basis. Especially, it is aimed to present the relationship between particle size distribution in case of using clay and PWSC comparatively.

In addition to positive effects of the use of PWSC in terms of workers health, dust and gas concentrations, it is found to increase also efficiency and performance of blasting operations.

<sup>(\*)</sup> Araş.Görv., H.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, 06532, Beytepe - Ankara

<sup>(\*\*)</sup> Doç.Dr., H.Ü. Müh.Fak. Maden Müh. Bölümü, 06532, Beytepe - Ankara

## 1. GİRİŞ

Etkin bir patlatma ile hem patlatma veriminde, hem de yükleme ve nakliye gibi diğer madencilik işlemlerinde daha faydalı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca, patlatmanın çevreye olan olumsuz etkileri de en düşük değerlere çekilebilecektir. Etkin bir patlatma işleminde gözönüne alınması gereken parametrelerden birisi de sıkılamadır.

Kaya veya cevherin parçalanması, üretim ve kazı işlemlerinde hayati aşamalardan birisidir. Hangi kazı yöntemi uygulanırsa uygulansın, ekipman seçiminde ve performans analizinde parça-boyut dağılımı her zaman kritik bir faktördür. Bu çalışmada, sıkılamanın ve sıkılama yöntemlerinin parça-boyut dağılımı ve dolayısıyla patlatma performansı üzerindeki etkileri sayısallaştırılan görüntüler ve Görüntü İşleme Teknikleri ile yürütülmüştür.

## 2. PATLAYICILARLA KAYAÇ PARÇALANMASI VE GAZ BASINCININ PARÇALANMA ÜZERİNE ETKİSİ

Patlatma tekniği açısından, patlayıcı maddenin, sadece amaçlanan kütleyle etki etmesi ve enerjisini en yüksek oranda kayaca aktarması istenir. Enerjinin yüksek oranlarda kayaca aktarılamadığı durumlarda kayaç yapısı patlatmayla örselenmekte; parçalanmanın olmamasına rağmen mevcut çatlaklar genişleyerek daha da aktif duruma gelmektedir. Sonuçta bu tür ortamlarda hem bir sonraki patlatma serisi için delik delinmesi sırasında sorunlarla karşılaşmakta, hem de çok çatlaklı yapı içerisinde patlatma anında gaz kaçakları olmakta ve şok dalgası yayılımının bozulmasıyla sonraki atımların verimi düşmektedir.

Patlatma sonucu kayaç kırılmasının mekanizması üzerinde öncelikle şok dalgasının mı, yoksa gaz basıncının mı etkili olduğu konusunda bir fikir birliğine varılamamış, ancak uzun yıllar süren araştırmalar sonunda her iki etkinin de kırılma üzerinde ortak çalıştıkları ispatlanmıştır. Buna göre öncelikle şok dalgaları çatlakları başlatmakta, daha sonra da gaz basıncı bu çatlakları gözle görülebilir bir mesafeye taşımaktadır (Kutter ve Fairhurst, 1971; Winzer ve Ritter, 1980). Dolayısıyla düşük sismik geçirgenliğe sahip kayaçlarda yapılan patlatmalarda gaz basıncı oldukça önemli olmaktadır. Özellikle şok dalgalarının kayaç içerisinde oluşturmuş oldukları çatlakların içerisine girerek kayacın parçalanmasını sağlayan gaz basıncının, delik içerisinde etkin bir şekilde muhafaza edilmesi de ancak iyi ve doğru seçilmiş bir sıkılama ile mümkün olmaktadır (Worsey ve Nixon, 1988).

Gaz basıncı açısından patlayıcılar genelde sodyum ve amonyum nitrat bileşiminden oluşan geniş hacimli gazlar oluşturacak şekilde formüle edilmektedirler. Ateşlemelerin hemen sonrasında çatlakların içerisine hücum ederek basınç yaratan gaz ürünleri, bir kama görevi ile çatlakların açılmasına ve ilerlemesine katkıda bulunur. Sonuçta yüzeye ulaşan çatlaklar, içindeki gaz basıncının büyük bir hızla boşalmasına, yırtılma, olayının yardımı ile de kayaç yapılarının parçalanmasına neden olmaktadır.

Bazı araştırmacılarca bu basınçlar delik basınçları olarak tanımlanmaktadır ve bunlar radyal kırıklara ulaşmada oldukça iyi performans göstermektedir (Siskind ve Fumanti,1974). Yine bazı araştırmacılarca gaz basınçlarının kay açta sadece bir öteleme hareketi sağladığı iddia edilmektedir. Gaz basıncıyla oluşan yükselmeler ise daha önce gerilme dalgalarıyla oluşturulan iç yüzeylerin ve ara yüzeylerin açılmasını sağlayarak pasa

yığımda bir yer değiştirmeye sebep olmaktadır (Langefors ve Kihlstrom, 1978). Yüksek hızda çekilen patlatma fotoğrafları bir basamaktan yükselen ve kayaca doğru gaz ilerlemesi olan bir atımda ek olarak kayaç ufalanmasının yeraldığını göstermiştir (Winzer ve Ritter, 1980).

### 3. SIKILAMANIN PATLATMA İŞLEMİNDEKİ ÖNEMİ

Patlatmaya etki eden parametreler arasında bu makalede konu edilen sıkılama ve sıkılama malzemeleri, özellikle patlatmanın ateşleme sonrası toz ve gaz gibi zararlı çevresel etkilerinin yamsıra patlatma performansı, patlatma verimi ve parça-boyut dağılımı açısından önem taşımaktadır.

Patlatma performansı üzerinde sıkılamanın etkisi ve önemini tespit etmek amacıyla günümüze kadar bazı saha ve model çalışmaları yapılmıştır. Araştırma çalışmalarında konuya atım sonucu oluşan pasa ve parçalanma özellikleri, çatlak yapıları, oluşan dalga karakteristikleri, tanecik hızları, sıkılama çıkma hızı ve delik içi basıncı gibi açılardan yaklaşılarak sıkılamanın diğer patlatma parametreleri ile nasıl bir etkileşim içerisinde olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Yine deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda sıkılamanın boyu ve sıkılama malzemesi, sıkılamanın patlatmadaki performansını tayin eden en önemli parametreler olmuş ve bir çok yerüstü patlatmalarında bu parametrelerin denenip modellendiği atımlar yapılmıştır (Daily ve Fourney, 1975; Schmitt ve Dick, 1985; Cowan vd., 1987; Kopp, 1987; Fourney vd., 1988; Konya, 1990).

Patlatma deliği içerisindeki patlayıcıya bir kapak ve tıkaç görevi yapan sıkılama malzemesinin varlığı ile patlayıcının ateşleme

anma kadar ve ateşleme anında mümkün olduğunca muhafaza edilmesi sağlanarak patlatma düzeninden en yüksek düzeyde verim alınabilir. Sıkılamanın etkin bir şekilde yapılmadığı atımlar sonucunda ise; yüksek oranlarda solunabilir toz konsantrasyonları, zararlı patlatma gazları oluşumu, yetersiz patlatma performansı, ateşlenmemiş patlayıcı kartuşların delikten çıkması ve buna bağlı olarak delik ağzı çevresindeki şok dalgasının yoğunluğunun azalması gibi olumsuz durumlarla karşılaşılacaktır (Özözen vd., 1996).

### 4. SIKILAMA MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Bir patlatma deliğine doldurulan sıkılama malzemesi öncelikle patlayıcı ve atmosfer arasında iyi bir hava geçirmezliği sağlamalıdır. Hava geçirmezliği ile oluşturulan böyle bir tıkama etkisinin oluşması için de sıkılama malzemesi tamamen delik kesitini dolduracak şekilde deliğe yerleştirilmelidir ve üzerine gelen yerinden çıkarma kuvvetine karşı koyabilmelidir. Böyle bir geçirimsiz ortam ve hava kapanı kayacın son yenilmesine kadar sürmelidir (Mather, 1960).

Bir sıkılama malzemesinin sahip olması gerekli olan özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Sıkılama malzemesi yükleme açısından kolay ve emniyetli olmalı, kolaylıkla sıkıştırılabilmeli, deliğin her kesitini doldurmalı ve herhangi bir hata durumunda kolaylıkla geri çıkarılabilmelidir,
- Sıkılama maddesinin içinde insan sağlığı için son derece zararlı olan silisyum %1'den fazla olmamalı ve silisik asit bulunmamalıdır,
- Patlayıcı üzerinde olumsuz bir etki yaratmamalı, yerleştirilirken ateşleme

kablolara zarar vermemeli ve patlayıcı ateşlenirken kıvılcım oluşumuna neden olmamalıdır (Landwehr, 1960).

#### 4.1. Sıkılama Malzemesi Olarak PSSK'nın Kullanımı

Şekil 1'de görüldüğü gibi plastik sulu sıkılama kartuşlarında kullanılan su aşağıda belirtilen özelliklerinden dolayı oldukça iyi bir sıkılama malzemesidir ;

- Su sıkıştırılmaz bir malzemedir ve dolayısıyla patlatmayla oluşan basınç su tarafından her yönde eşit olarak dağıtılacaktır.
- Statik su hızlı bir şekilde hareket ettirilemez ve patlayıcının infilakıyla suyun üzerine hızlı ve ani bir etki yapıldığında (impact loading) delikten çıkma, fırlama ihtimali oldukça zayıf olmaktadır (Wood, 1962).



Şekil 1. Sulu sıkılama kartuş resimleri (Landwehr, 1964; Wild, 1984).

#### 5. SIKILAMA İLE PATLATMA SONUCU ELDE EDİLEN PARÇA BOYUTU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Sıkılamanın, farklı sıkılama malzemelerinin ve özellikle de PSSK'larının parça-boyut dağılımı ve dolayısıyla patlatma performansı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışma, Kilimli Müessesesi'nde ince taneli, az tabakalı kumtaşı, yer yer şistli kumtaşı ve sert kumtaşından oluşan masif yapı içerisinde açılan ulaşım yollarındaki patlatmalar

üzerinde yürütülmüştür. Deneylede, jeolojik birimlerin sonuçlar üzerindeki etkisini en aza indirmek için çatlak ve kırık düzlemlerinin en az olduğu, homojen yapıdaki galeriler seçilmiştir. Çalışma bölgesi olarak -460 kotunda B10 kesitli -460 /51506 güney ve -460/42510 kuzey lağımları, -540 kotunda ise B14 kesitli -540/42510 doğu-batı lağımları seçilmiş olup bu galerilerde yer yer kömür damarları da kesilmiştir.

Patlatma sonucu elde edilen parça boyutunun dağılımı doğrudan elek analiziyle veya sayısal olarak tayin edilebilmektedir. Elek analizinin hem fiziksel olarak zor, hem de masraflı bir yöntem olmasından dolayı, günümüzde güvenilir sonuçlar veren sayısal parça boyutu dağılımı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin farklı uygulamaları ve özellikleri literatürde ayrıntılı olarak verilmiştir (Dick vd, 1973; Aswegen ve Cunningham, 1986; Stagg ve Rholl, 1987; Hunter vd., 1990; Kawamoto vd,1990; Ouchterlony vd, 1990; Ji ve Sanford, 1993; Bozdağ, 1996).

#### 5.1. Kullanılan Patlayıcı Maddeler

Sayısallaştırma ve fotoğraf analizleri için jeolojik birimin daha homojen olduğu -460 kotundan alınan pasa fotoğrafları incelemeye tabi tutulmuştur. -460 kotundaki galerilerde 25x200 mm'lik grizutin lokumları ile ateşlemeler yapılmıştır. GOM IIA-1 tipi patlayıcıların kullanıldığı -540 kotundaki patlatmalarda ise ortam formasyonunun daha değişken ve zayıf olmasından dolayı buradan alınan görüntüler değerlendirme dışı tutulmuştur. Patlayıcı madde miktarı olarak ise B-10 kesitli galerilerde grizutin dinamit lokumlarından delik başına, delik boyuna göre 3-4 adet dinamit lokumu kullanılmıştır. Dinamitler delik içerisine yerleştirilmeden önce delik dibine yastık çamuru ile sıkılama yapılmıştır (Özözen, 1996).

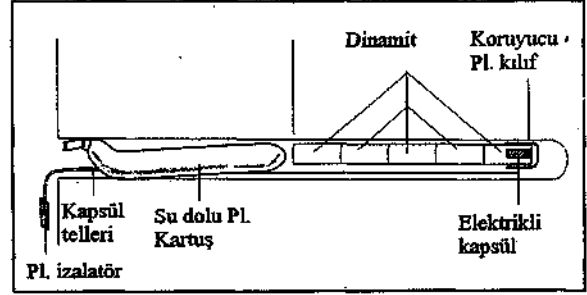
## 5.2. Ateşlemelerde Kullanılan Sıkılama Malzemeleri ve Özellikleri

### 5.2.1. Çamur Sıkılması

Çamur sıkılmaları her atım evresi öncesinde bir işçi tarafından el'e yoğrularak hazırlanmaktadır. Bir miktar suyla nemlendirilerek macun formuna getirilen çamur, elle yoğrularak delik çapma uygun çapta ve ortalama 12 cm uzunluğunda olmak üzere atımdan önce hazırlanmaktadır. Delik başına kullanılan çamur sıkılaması ise delik boyuna göre 3-4 adet arasında değişmektedir. Çamur sıkılamasının hazırlanması için patlatma ekibinden en az bir işçi bu iş için ayrılmaktadır.

### 5.2.2. Plastik Sulu Sıkılama Kartuşları (PSSK)

Plastik sulu sıkılama kartuş malzemeleri alev geciktirici ve anti-statik özelliğe sahiptir. Özellikle grizulu ortamlarda yapılan patlatmalarda kullanılan malzemelerin elektrostatik karakteristikleri güvenlik açısından son derece önemli olmaktadır. 32 mm'lik patlatma deliklerinde 26x400 mm ebatlarında ve 300 cm<sup>3</sup> hacminde bir ucu eğri tipte plastik sulu sıkılama kartuşları kullanılmıştır. Kartuşlar, delik dışında, çalışma alanında su ile doldurulduktan sonra şarjın arkasından deliğe yerleştirilerek sıkılama yapılmaktadır. Kartuşlar su ile doldurulduktan sonra, ağızlarının tıkanması ise tırnaklı tapalarla kolayca yapılabilir. Doldurulduktan sonra, her deliğe bir adet kartuş, sivri ucu dinamit lokumunun üzerine gelecek şekilde deliğe itilip sıkılır ve Şekil 2'deki gibi delikler ateşlenmeye hazır hale getirilir.



Şekil 2. PSSK'nın patlatma deliğine yerleştirilmesi.

## 6. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ VE PRENSİPLERİ

Parça-boyut dağılımını değerlendiren yöntemler, test edilen malzeme ile ölçüm düzeneği arasındaki temasın varlığına bağlı olarak, doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak ikiye ayrılır. Doğrudan yöntemlerin tek yolu parçaların elek analizidir. Dolaylı yöntemler ise, malzeme üzerinde doğrudan hiçbir işlem yapmadan uygulanır.

Dolaylı yöntemlerden en yaygın kullanıma sahip olan Sayısal Yöntemler ise üç kaynaktan bilgi alırlar. Bunlar, fotoğraf, VCR bandı ve video kamera sinyalidir. Sayısal yöntemlerin ortak özelliği, parça-boyut dağılımına ulaşmak için parçaların kenar konturlarını çıkarmalarıdır. Hunter vd., (1990) ve Kemeny vd., (1993), sayısal yöntemlerini, parça boyut dağılımı belirleme teknikleri ile birlikte derlemiştir. Bu yöntemler fotoğraf sayısallaştırması ve görüntü işleme teknikleridir. Fotoğraf Sayısallaştırma Yöntemi; hızlı ve basit olması, doğru ve ayrıntılı kayıt alınarak her zaman inceleme olanağı vermesi, üretim işlemlerinde rutin kullanım için uygun olması ve ekipman açısından düşük maliyetli ve basit olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Görüntü (imaj). İşleme Teknikleri ise analog sinyallerin sayısal şekle dönüştürülmesi

esasına dayanır. Görüntü İşleme Teknikleri 1-D, 2-D, 3-D (boyutlu) olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilir. En yaygın kullanılanı ise 2-D yöntemidir. Çünkü pratik, ucuz ve kolaylıkla uygulanabilen bir işlemdir. Bu yöntemde alman görüntüler sayısallaştırıldıktan sonra her bir parçacığı belirlemek gerekir. Alan, kord boyu (cord length), çevre, eşdeğer çap, elips, en büyük ve en küçük boyutlar gibi kaya parçacığı parametrelerinin hesap edilmesi görgül veya stereolojik tekniklerinin kullanılmasıyla yapılır ve sonuçta elde edilen veriler 3-D parça boyutu tespitinde kullanılır.

Bu çalışmada sıklımanın parça-boyut dağılımı ve dolayısıyla patlatma performansı üzerindeki etkileri, sayısallaştırılan görüntüler üzerinde yürütülmüştür.

### 6.1. İki Boyutlu (2-D) Bilginin Üç Boyutlu (3-D) Dağılıma Çevrilmesi

Kapsamlı bir parça-boyut dağılımı bilgisine ulaşabilmek için iki boyutlu (2-D) ölçümlerin üç boyutlu (3-D) \* bilgiye aktarımı temel amaçtır. 2-D görüntüden alınan örnek alanı veya tane boylarından, parça-boyut dağılımını tahmin edebilmek için stereolojik, görgül veya morfolojik tabana dayanan yöntemler uygulanır (Nie ve Rustan, 1987; Serra, 1992). Bu çalışmada Kemeny vd.'nin, (1993) görgül yaklaşımı "kullanılarak patlatma sonrası parça boyut dağılımının analizi yapılmıştır. Bu yaklaşımda Kemeny vd. (1993), her bir parçacığı en iyi temsil eden elips parametrelerini bularak boyut dağılımının tahminine çalışmışlardır. Bu amaçla, boyut dağılımı tayinini içeren bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmaya göre elek açıklığı ise şöyle açıklanmaktadır:

$$d = 0,45 * \text{büyük eksen} + 0,73 * \text{küçük eksen} \dots\dots\dots(1)$$

Toplam boyut dağılımı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır,

<sup>N</sup>

Burada,

- Vi: Toplam boyut dağılımı
- N: Toplam parça sayısı
- K:, Toplam boyut kategorisi sayısı
- Vj: Her bir parçanın, i, hacmi, (Vj alan\*[0,45\*büyük eksen+ 0,73\*küçük eksen]).
- Pjj: Bir parçanın, i, boyut kategorisine, j, dahil olma olasılığı

Elek açıklıkları tahmin edildikten soma tanelerin hacim hesapları için üç yaklaşım kullanılmıştır. Bunlar ;

$$\text{hacim} = \text{alan} * (\text{Eb} + \text{Ek}) / 2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{hacim} = \text{alan} * (0,45 * \text{Eb} + 0,73 * \text{Ek}) \dots\dots(4)$$

$$\text{hacim} = \text{alan} * (0,04 \text{Ek} + 0,240 * \text{Eb}) \dots (5)$$

Eb : Büyük Eksen  
Ek : Küçük Eksen

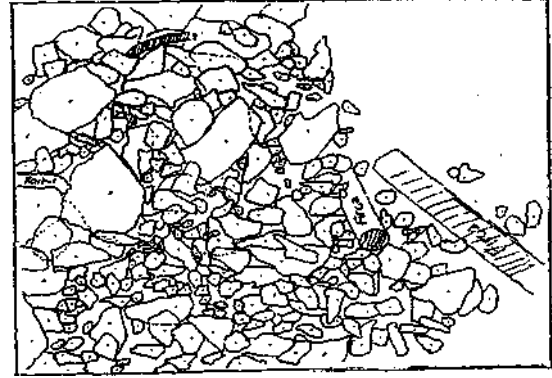
Yukarıdaki (3) ve (4) nolu eşitlikler Kemeny'e (1993) ve (5) nolu eşitlik ise Bozdağ'a (1996) ait görgül alan hesabı yaklaşımlarıdır.

### 7. YERİNDE UYGULAMALARDA PATLATMA SONRASI ALINAN PASA FOTOĞRAFLARI VE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ

Parça boyut analizi için, hem kil sıklıma hem

de sulu sıkılama kartuşları ile yapılan atımlardan hemen sonra pasa yığınının farklı açılardan fotoğrafları çekilmiştir. İdealde bu fotoğrafların resmi alınacak bölgeye dik olarak alınması gerekmektedir. Bu amaçla galeri ortamındaki hacmin sınırlı olmasından dolayı pasa yığına yaklaşık dik olabilecek her açıdan resimlerin alınmasına özen gösterilmiştir. Resimler için yeraltındaki ışıklandırma, kontrast, vs. gibi fotoğraf teknikleri göz önüne alınarak 400 ASA lık siyah-beyaz ve renkli fotoğraf filmleri kullanılmıştır.

Patlatma sonrası pasa yığınlarını gösteren bir dizi fotoğraf içinden, atım şartları da göz önüne alınarak, kil sıkılmalı ve sulu sıkılmalı olmak üzere 3'er adet, toplam 6 adet atım sonrası pasa resmi değerlendirmeye alınmıştır. Analiz için resimlerin doğrudan görüntü algılayıcı (scanner) kullanılarak bilgisayara aktarılması yapılmıştır. Ancak fotoğraflardan yeterli kalitede görüntü çözünürlüğü (resolution) elde edilememiştir. Bu nedenle, resimler büyütülerek analize hazırlanmıştır. Resimler büyütüldükten sonra önce resim üzerinde el ile Şekil 3'de görüldüğü gibi tane kenarları konturlaması yapılmıştır. Konturlama için ayrıca stereografik görüntülerden de yararlanılmıştır. Dolayısıyla tane tanımlamada ve kenar çizmedeki hatalar en aza indirilmiştir. Manuel olarak tane tanımlaması ve kenar konturları çizilen fotoğraflar daha sonra tekrar büyütülerek sayısallaştırma tablasında (digitizing table) tekrar çizilmiş ve tane görüntüleri bilgisayar ortamına alınmıştır. Bu aşamadan sonra ise her tanenin en büyük ve en küçük eksenleri fotoğraf ortamına çekim anında yerleştirilmiş olan bir ölçek baz alınarak tek tek hesaplanmıştır.



Şekil 3. Fotoğraf üzerinde tane kenarları konturlaması yapılmış örnek.

Yukarıda sıralanan tüm ölçüm ve hesaplamalardan sonra tane kenarları ve boyutları oluşturulan resimlerin AC ADR/12 yazılım programıyla ve bir çizici tabla (digitizer) vasıtasıyla alan ve istatistiksel hesapları yapılmıştır. Çizelge 1'de sulu sıkılama ve Çizelge 2'de ise çamurlu sıkılama ile elde edilen istatistiksel sonuçlar özetlenmiştir. Yazılım programıyla her resimdeki her tanenin ölçek, alan, en büyük ve en küçük eksenleri tespit edildikten sonra tanelerin geçebileceği elek açıklığı ve hacim hesaplarına geçilmiştir. Yukarıda sıralanan üç hacim hesabı yaklaşımıyla her resimdeki tanelerin ayrı ayrı hacimleri hesaplanmıştır.

### 7.1. Görüntü İşleme Tekniği ile Parça-Boyut Dağılımı Üzerinde Çamurlu ve Sulu Sıkılama ile Elde Edilen Sonuçlar

Her resim için alan ve hacim hesaplarından sonra elde edilen veriler belirli bir elek açıklığına göre sınıflandırılmış ve (%) kümülatif elek altı dağılımına karşı elek açıklıkları hem sulu sıkılama hem de çamurlu sıkılama sonuçları için örnek olarak Şekil 4'de çizilmiştir (Özözen, 1996). Şekillerdeki her grafik üç farklı hacim ve alan hesabı yaklaşımına göre çizilmiş ve üç yaklaşımda da hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra sulu ve çamurlu sıkılamaadaki verilerin ağırlıklı ortalamaları

Çizelge 1, Kenar Çizimi ve Alan Hesabı Yapılan Sulu Sıkılama ile Elde Edilen Pasa Resimlerinde Tane Boyu Dağılımının İstatistiksel Dökümü.

	(1) Sulu Sıkılama 1			(2) Sulu Sıkılama 2			(3) Sulu Sıkılama 3			(4) Genel Ortalama (S1+S2+S3)		
	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)
<b>En Yüksek Değer</b>	1418,4	78	24	755	51,1	29,7	1099	34,1	30	1418,4	78	30
<b>En Düşük Değer</b>	10,42	5	3	3,2	2,8	1,8	3,6	2,5	1,6	3,24	2,5	1,6
<b>Ortalama</b>	125,8	15,8	7,7	100,1	12,6	7,2	75,2	10,7	5,8	101,9	13,2	7
<b>Standart Sapma</b>	155,1	8,7	3,7	127,7	7,8	4,4	135,1	6,6	4,0	140,2	8,1	4,1
<b>Varyans</b>	24061	76,9	13,8	16325	61,1	19,4	18261	4,3	16,2	19673	65,5	17,2
<b>Varyasyon Katsayısı</b>	123,2	55,4	47,9	127,6	21,1	60,8	179,6	61,8	69,5	137,6	61,4	59,2
<b>Tane Sayısı</b>	159	159	159	197	197	197	130	130	130	486	486	486

Çizelge 2, Kenar Çizimi ve Alan Hesabı Yapılan Çamurlu Sıkılama ile Elde Edilen Pasa Resimlerinde Tane Boyu Dağılımının İstatistiksel Dökümü.

	(1) Çamurlu Sıkılama 1			(2) Çamurlu Sıkılama 2			(3) Çamurlu Sıkılama 3			(4) Genel Ortalama (Ç1+Ç2+Ç3)		
	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Uzun Eksen (cm)	Kısa Eksen (cm)
<b>En Yüksek Değer</b>	5077,7	113,5	73,5	1134,1	63,8	23	2131	96,8	35,2	5077,7	113,5	73,5
<b>En Düşük Değer</b>	7,8	4,3	2,1	4,4	2,5	1,7	6,11	4,4	2,2	4,4	2,5	1,7
<b>Ortalama</b>	245,1	20,2	10,1	88,8	13,8	6,5	145,2	15,5	8,5	148,6	16	8,1
<b>Standart Sapma</b>	615,8	20,6	10,7	138,3	9,5	4,3	269,6	11,3	6	359,2	13,7	7,7
<b>Varyans</b>	379156	424,2	114,2	19137	90,6	18,3	72703	127,3	36,1	129095	189,8	49,9
<b>Varyasyon Katsayısı</b>	251,2	101,7	105,3	155,6	69	65,5	185,6	72,6	70,7	241,7	85,93	86,4
<b>Tane Sayısı</b>	83	83	83	126	126	126	138	138	138	347	347	347

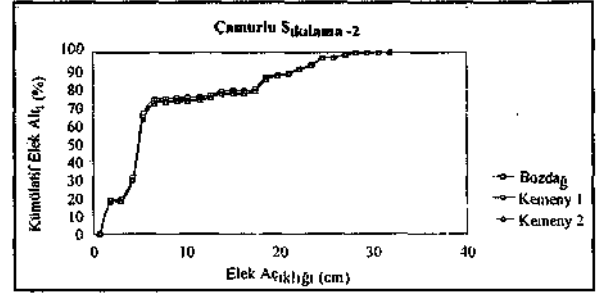


alınarak sonuçlar Şekil 5 'de görüldüğü gibi tek grafikde toplanabilmiştir. Şekil 5.a grafiğinde küçük taneleri daha iyi yorumlamak için grafik, log-log grafiği şeklinde Şekil 5.b' deki gibi tekrar çizilmiştir.

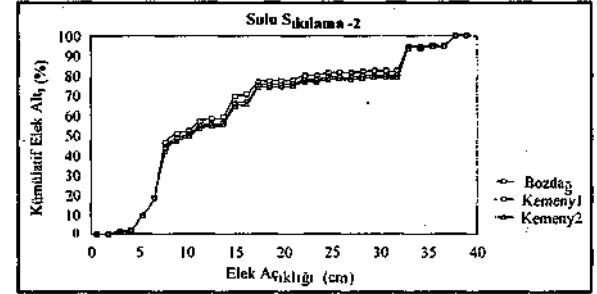
Şekil 5.b'de çamurlu ve sulu sıkılama sonuçlarında özellikle 10 cm'nin altındaki tanelerde belirgin farklılıklar olmuştur. Çamurlu sıkılamada 8-9 cm lik tanelerin elek altındaki kümülatif yüzdesi yaklaşık % 45 olurken sulu sıkılamada bu oran % 10 civarında olmuştur. E>olayısıyla çamurlu sıkılamada gereğinden fazla ufak tane elde edilmiştir. Şekil 5.a daki grafikten sulu sıkılamadaki tane boyu dağılımının çamurlu sıkılamaya göre daha homojen olduğu görülmektedir. İri tane açısından ise, özellikle 20 cm'nin üzerinde, çamurlu sıkılamada sulu sıkılamaya nazaran daha fazla yoğunlaşma olmuştur. Pasa yüklemesi açısından ortalama 15 cm çapındaki taneler baz alındığında sulu sıkılamada 15 cm lik tanelerin % 83'ü elek altında kalırken, çamurlu sıkılamada ise %72 lik bir kümülatif elek altı dağılımı elde edilmiştir.

Konuya genel olarak patlatma performansı ve pasa yüklenmesi açısından yaklaşıldığında, çok küçük parçalar,, hem yüzey alanlarının büyüklüğünü hem de işçiliği artıracaklarından istenmezler. Bunun yanında çok iri taneler de yükleme açısından istenilmeyen bir faktördür. Dolayısıyla tane boyutu dağılımının ocak şartlarına göre optimum bir aralıkta bulunması istenir. Sulu sıkılama kartuşlarıyla yapılan atımlarda nispeten çamurlu sıkılamaya göre daha optimal bir tane boyutu dağılımı elde edilmiştir.

Ayrıca TKİ Soma Eynez Yeraltı Ocağı'ndaki galerilerde, sert marn ortamında sulu sıkılama kartuşları ile yapılan patlatmalarda, çamurlu sıkılamalara göre daha iyi bir kayaç parçalanması meydana gelmiştir.



(a)



b)

b)

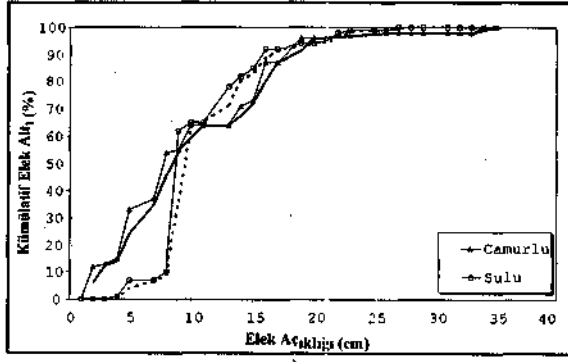
Şekil 4. Çamurlu ve sulu sıkılamalar sonucu her 3 yaklaşıma göre değerlendirilen örnek (%) kümülatif elek altı grafikleri,

a) çamurlu sıkılama b) sulu sıkılama

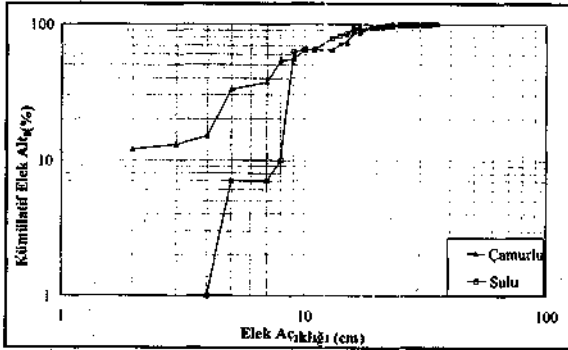
Bu gözlemlerde PSSK kullanılması ile yapılan patlatmalarda patlatma performansının hissedilir ölçüde arttığı ve kayaç parçalanmalarının yükleme açısından daha optimal bir boyut dağılımına sahip olduğu kanısına varılmıştır. Üretim sırasında kömür içerisinde yapılan patlatmalarda ise, parça boyut dağılımı açısından sulu ve çamurlu sıkılama arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir.

## 8. SONUÇ

Yapılan ayrıntılı araştırma sonuçlarına göre patlatma performansı açısından sıkılama kartuşlarının daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ateşleme sonrası pasa yığınları incelendiğinde; çamurlu sıkılamada tane boyu dağılımı daha geniş bir elek aralığında heterojen dağılım gösterirken, sulu sıkılama ile oluşan paşalarda parça boyut dağılımının



a)



b)

Şekil 5. Sulu ve çamurlu sıkılama ile elde edilen tane boyu dağılımlarının karşılaştırılması. a) Kümülatif dağılım b) Log-log kümülatif dağılımı.

daha homojen ve düzenli olduğu görülmüştür. Ayrıca çamurlu sıkılamada özellikle 10 cm nin altındaki tane boyutu dağılımı sulu sıkılamaya göre % 35 daha fazla olmuştur. Dolayısıyla pasa yüklenmesi ve işçilik açısından sulu sıkılama ile daha kolay taşınabilir karakteristikte malzeme boyutu elde edilmiştir.

Bu makalede sulu ve çamurlu sıkılama kullanımı sadece patlatma performansı ve kayaç parçalanması üzerindeki etkileri açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmanın diğer aşamalarında sulu ve çamurlu sıkılama karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Ünver ve Özözen, 1998).

Ateşlemelerden sonraki toz konsantrasyonlarında sulu sıkılama ile çamurlu sıkılamaya göre % 39,9 ile % 45,5 arasında değişen azalmalar, sağlanmıştır.

- Zararlı gaz derişimlerinde, özellikle de CO gazı derişimlerinde, sulu sıkılama ile çamurlu sıkılamaya nazaran % 8,95 ile % 12,3 arasında değişen azalmalar elde edilmiştir.

- İyi bir sulu sıkılama uygulaması ile ateşlemelerden sonra ortama girme süresi büyük oranda kısalmaktadır. Genel olarak atımdan sonra ortama girme süresi 30-35 dakikadan 20 dakikaya düşmektedir.

- Sıkılamanın hazırlanması açısından her iki sistem arasında çok büyük zaman farklılığı vardır. Çamurlu sıkılama için harcanan işçilik daha fazladır. Sulu sıkılama için ise sıkılama işleminin tümü 10-15 dakikayı geçmemektedir.

- Kilimli İşletmesi'nde çamur sıkılaması yerine plastik sulu sıkılama kartuşu kullanımı ile patlatma sonrasında ocak atmosferindeki zehirli gaz ve toz oranlarının azaltılmasının yanısıra, plastik sulu sıkılama kartuşlarının kullanıldığı her galeride sadece işçilikten dolayı yılda yaklaşık 4000 \$ lık tasarruf gerçekleştirilmiştir (Özözen, 1996).

- PSSK'nın taşınıp stoklanması ve nakliyesi oldukça pratik olmaktadır. Sıkılama çamuru ise nakliye, yakıt, zaman ve işçilik kaybına yola açmaktadır.

- Sulu sıkılama kartuşları herhangi bir hata durumunda daha emniyetli ve daha kısa sürede delikten çıkarılabilmektedir.

## KAYNAKLAR

Aswegen, H.V. ve Cunningham, C.V.B., 1986; The Estimation of Fragmentation in Blast Muckpiles by Means of Standard Photographs, Journal of South African

Institute of Mining and Metallurgy, Vol: 86, No.12, s. 469-474.

Bozdağ, T., 1996; Development of a Particle Size Distribution Analysis System by Digital Image Processing. Doktora Tezi , ODTÜ, Ankara.

Cowan, W., Francis, O. ve Ligon J.B., 1987; Analysis of Stress Waves Induced from Single Hole Stemmed Blasts, Mining Science & Tech., Vol: 5 s. 83-88.

Dally, J. W. ve Fournery, W.L., 1975; Influence of Containment of the Bore Hole Pressures on Explosive Induced Fracture, Int.J. of Min.Sci & Geomech. Abstr., Vol: 12 s. 5-12.

Dick, R.A., Fletcher, L.R. ve D'Andrea, D.V., 1973; A Study of Fragmentation from Bench Blasting in Limestone at a Reduced Scale, USBM Report 7704, s. 1-22.

Fournery, W.L., Dick, R.D. ve Simha, K.R., 1988; Model Study of Crater Blasting, Rock Mechanics and Rock Eng. Vol: 21., s. 183 - 205.

Hunter, G.C., McDermott, C, Miles, N.J., Singh, A. ve Scoble, M.J., 1990; A Review of Image Analysis Techniques for Measuring Blast Fragmentation, Mining Science and Technology, 11, s. 19-36.

Ji, Q. ve Sanford, R.L., 1993; Autonomous Excavation of Fragmented Rock Using Machine Vision, Emerging Computer Techniques for the minerals Industry, Ed. Scheiner, B.J., Stanley, D.A. and Karr, C.L., s. 221-228.

Kawamoto, T., Kyoya, T. ve Ichikawa, Y., 1990; Evaluating Material Properties of Faulted Zones by Image Analysis and

Numerical Methods, Rock Joints, Ed. Barton and Stephansson , s. 59-66.

Kemeny, J.M., Devgan, A., Hagaman, R.M., ve Wu, X., 1993; Analysis of Rock Fragmentation Using Digital Image Processing, Journal of Geotechnical Engineering, s. 1144-1160.

Konya C.J., 1990; Surface Blast Design, Ed. J. Lapidus, Prentice-Hall, 303 s.

Kopp, J.W., 1987; Stemming Ejection and Burden Movements form Small Borehole Blasts. Bureau of Mines RI, 9080, 15 s.

Kutter, H.K. ve Fairhurst, C, 1971; On the Fracture Process in Blasting. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol:8, s. 181-202.

Landwehr M., 1960; Über die Anwendung von Wasse als Besatz und Erfahrungen in SchieB Technischer, Sicherheitlicher und Gesundheitlicher Hinsicht mit der Verwendung von Wasserbesatzpatronen bei der SchieBarbeit im Bergbau. Nobel Hefte, March,.

Landwehr M. ve Bauer H.D. 1961; Erprobung Neuartiger Bersatzmittel beim Schiessen Bergau, Nobel Hefte, 1966.

Landwehr M., 1964; Anforderungen an den Bohrlochbesatz im Hinblick auf die Staubekämpfung. Nobel Hefte, March, s. 73-96.

Mather B., 1990; Stemming, ICI Explosives Investigation Report, 15 s.

Meerbach, H., 1964; Versuche überdie Sicherheit neuer Besatzmittel. Nobel Hefte Marz 1964. s. 66-72.

Nie, S. ve Rustan, A., 1987; Techniques and Procedures in Analysing Fragmentation After Blasting by Photographie Method, s. 102-113.

Ouchterlony, F., Niklasson, B. ve Abrahamsson, S., 1990; Fragmentation Monitoring of Production Blasts at MRICA, Third International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-3, s. 283-289.

Özözen, A., 1996; Plastik Sulu Sıkılama Kartuşlarının Patlatma Verimine, Ocak Atmosferine ve Patlatma Ekonomisine Olan Etkilerinin İncelenmesi., Master Tezi. H.Ü.

Özözen, A., Ünver, B., Karaaslan, R., Mamurekli, D., 1996; Sıkılamanın Yeraltı Patlatma İşlemlerinde İş Güvenliği, İşçi Sağlığı ve Patlatma Ekonomisi Açısından İncelenmesi, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara.

Serra, J., 1992; Image Analysis ve Mathematical Morphology, Vol: 2, Academic Press, England, s. 409.

Schmitt, G. ve Dick, R.D., 1985; Use of Cortex to Measure Explosive Performance and Stem Behavior in Oil Shale Fragmentation Tests. Proc. Soc. Explosive Engineers, 11<sup>th</sup> Annual Conf. on Explosive and Blasting Techniques, San Diego, CA.

Siskind, D.E. ve Fumanti, R., 1974; Blast-produced Fractures in Lithonia Granite. Report of Investigations 7901, US Bureau of Mines, Washington, DC.

Stagg, M.S. ve Rholl, S.A., 1987; Effects of Accurate Delays on Fragmentation for Single-Row Blasting in a 6.7 m (22-Ft) Bench, Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast-2, Ed. Foumey, W.L. and Dick, R.D. s. 210-223.

Ünver, B., Özözen, A., Mamurekli, B., 1996; Patlatma Sonucu Oluşan Zararlı Gazların Tespiti, Ocak Atmosferi ve İşçi Sağlığı Üzerindeki Etkileri, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara.

Ünver B. ve Özözen A. A. ,1998; An Assessment on the Use of Plastic Water Stemming Cartridges in Underground Blasting Operations. Trans, of IMM (yayımlanacak)

Wild, W.H., 1984; Sprengtechnik In Bergbau, Tunnel und Stollenbau Sowie in Tagebau und Steinbrüchen, Band 10.

Winzer, S.R., Ritter, A.P., 1980; The Role of Stress Waves and Discontinuities in Rock Fragmentation: A Study of Fragmentation in Large Limestone Blocks, Proceedings 21<sup>st</sup> US Symposium on Rock Mechanics, Boston, MA, s. 237-242.

Wood, W.A. 1962; Water Stemming Bags for Use With Explosives. Steel and Coal, September, 21, s. 556-558.