

## BASAMAK PATLATMASI SONUCU OLUŞAN YIĞIN BOYUT DAĞILIMININ AMPİRİK MODELLER İLE TAHMİNİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Estimation of Bench Blasting-Induced Bulk Size Distribution by Empirical Models and Its Comparison with Image Analysis Methods

Doğan Karakuş (\*)  
Gürcan Konak (\*\*)  
Ahmet Hakan Onur (\*\*\*)

### ÖZET

Açık maden işletmelerinde basamaklar şeklinde üretim emniyetli ve ekonomik bir yöntem olarak başarı ile uygulanmaktadır. Basamaklı yapıların oluşturulmasında ve üretimin gerçekleştirilmesinde kaçınılmaz olarak delme-patlatma operasyonları yapılmaktadır. Kaya kütlelerinden cevher zenginleştirme öncesi ince boyutlu malzeme üretimine kadar boyut küçültme göz önüne alındığında basamak patlatmaları boyut küçültmenin ilk aşaması olarak diğer işlemlerin verimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle basamak patlatmalarında boyut dağılımının denetlenebilmesi ardışık işlemlerin verimliliği açısından önemlidir. Basamak patlatmalarından boyut dağılımının belirlenmesi hem kontrol edilen değişkenler (patlatma tasarım parametreleri) hem de kontrol edilemeyen değişkenler (kaya kütleleri özellikleri) fazlalığı nedeniyle oldukça güçtür. Yığın boyut dağılımının belirlenmesi için önerilen modellerden Kuz-Ram ve KCO modeli bu makalede tartışılmıştır. Ayrıca boyut dağılımının belirlenmesi için kullanılan görüntü işleme programlarından olan Split Desktop programı ile WipFrag programı kullanılarak boyut dağılımı belirlenmiş, boyut dağılım tahmin modelleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Basamak Patlatması, Boyut Dağılımı, Kuz-Ram, KCO Model, Görüntü Analizi

### ABSTRACT

Production in the shape of benches in open pit mines have long been applied successfully as a safe and economical method. Drilling and blasting operations are carried out in order to form bench structures and to achieve production. When comminution process starting from the rock mass and going on until the acquirement of fine-grained material prior to mineral processing is taken into consideration, bench blasts directly influence the efficiency of other operations as the initial phase of comminution. For this reason, the detectability of size distribution in bench blasts are crucial from the aspect of consecutive operations. The determination of size distribution in bench blasts is rather difficult due to the abundance of both the controllable variables (blast design parameters) and uncontrollable variables (rock mass properties). Among the proposed models for the determination of heap size distribution, Kuz-Ram and KCO models have been discussed in this paper. Besides, Split Desktop program, one of the image processing programs, and also WipFrag program have been employed for the determination of size distribution and a comparison has been made between estimation models of size distribution.

**Keywords:** Bench Blasting, Fragmentation, Kuz-Ram, KCO Model, Image Analysis

---

(\*) Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü 35160 Buca/İZMİR, dogan.karakus@deu.edu.tr  
(\*\*) Doç. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü 35160 Buca/İZMİR  
(\*\*\*) Prof. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü 35160 Buca/İZMİR

## 1. GİRİŞ

18. yüzyılda Alfred Nobel tarafından keşfedildiğinden beri patlayıcılar kayaç kazısında hala en ekonomik ve etkili yöntem olarak açık ocak madenciliğinde kullanılmaktadır. Keşfinden günümüze patlayıcı maddeler teknolojisi de sürekli gelişmiş ve sayısız araştırmalar yapılmıştır. Bu süreçte araştırmacıların yoğunlaştığı konulardan birisi de patlatma veriminin değerlendirilmesinde bir ölçüt olan patlatma sonrası oluşan yığının boyut dağılımının belirlenmesidir. Yığın boyut dağılımı kendi başına patlatma verimi ile ilgili sayısal bilgiler içerebildiği gibi patlatma sonrası operasyonların verimliliği açısından da önemini korumaktadır.

İyi tasarlanmış bir patlatma ile üniform dağılmış, yükleyicilerle verimli bir şekilde yüklenebilen, kabarma faktörünün düşük, azami hacimli bir şekilde nakliye araçlarının nakledebildiği ve kırıcının uygun değer şartlarda kırma sağlayabildiği malzeme elde etmek mümkündür. İdeal şartlarda, süreksizliklerin olmadığı, kayaç özelliklerinin aynı olduğu bir kaya ortamında oluşturulan delik geometrisi ve kullanılan patlayıcı miktarı ile oluşabilecek boyut dağılımı çok az bir hata ile modellenilebilir. Ancak basamak patlatmalarında kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen (kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri, şevin süreksizlik özellikleri vb.) bir çok değişken olması nedeniyle görgül yaklaşımların dışında boyut dağılımının tahmin edilebildiği gerçekçi bir model geliştirilememiştir. Geliştirilen görgül yaklaşımlarda ise basamak patlatmalarının ana değişkenleri (özgül şarj, dilim kalınlığı, basamak geometrisi, kaya kütlesi özellikleri vb.) ile ortalama boyut arasındaki ilişki çıkış noktasını oluşturmuştur.

Gerçekçi parça boyut dağılımının belirlenmesi ancak tüm yığının elek analizine tabi tutulması ile mümkün olabilir. Üretim ölçeğinde bir patlatma yığınının bu şekilde elek analizine tabi tutulması pratikte uygulanması zor bir yöntemdir. Bu nedenle yığının boyut dağılımının belirlenmesinde görgül yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar yığının bir bölümünün veya tamamının dağılımının belirlenmesi için farklı metotlar ile tanımlanması esasına dayanır. Bu yöntemlerin başında subjektif bir değerlendirme olan görsel-gözlensel yöntem gelmektedir. Uzman kişilerce yapılan bu yöntemde, herhangi bir sayısal veri üretilmemekte, patlatma verimi sözel olarak

derecelendirilmektedir. Bir başka yöntem ise yükleyici makinelerin yükleyemediği büyüklükteki patarların sayılarak büyüklüklerinin ölçülmesi yöntemidir. Patlatma verimi açısından bir yaklaşım verebilen patar atımları patlayıcı tüketimleri, uygulamada boyut dağılımının belirlenmesinde karşılanan güçlükler nedeniyle üretilen dolaylı çözüm yöntemlerinden birisidir. Aynı yaklaşımla yükleyici makinelerin yükleme performansı veya primer kırıcıların kırma performansı da patlatma veriminin belirlenmesinde kullanılan dolaylı metotlardandır.

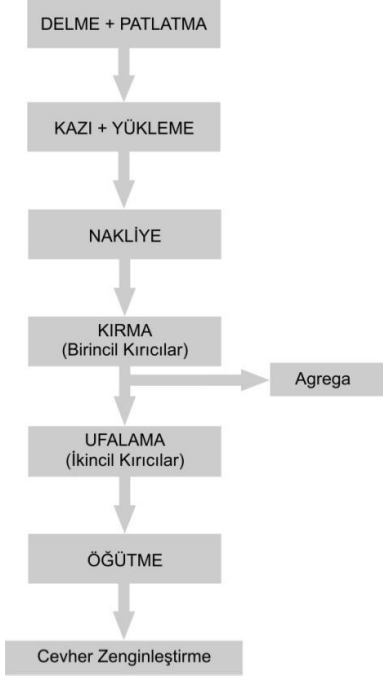
Konuyla ilgili bütün yığının elek analizi yapılması haricinde, gerçeğe en yakın veriler, kabul edilebilir hata payı sınırları içinde, görüntü işleme metotları ile elde edilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çeşitli aşamalardan geçen bu yöntemin ilk uygulamalarında analog görüntüler üzerinde kareyaj metodu ile tanelerin elle sayılması ile yapılmıştır. Sonraları görüntü alma teknolojisinin gelişmesine paralel olarak görüntülerin analiz edilmesi ve sayısal verilerin değerlendirilmesi için yazılımlar geliştirilmiş, önceleri yarı otomatik yapılan bu işlemler günümüzde literatürde kabul görmüş bir işlem haline gelmiş ticari yazılımlar geliştirilerek uygulayıcıların hizmetine sunulmuştur.

Bu makalede basamak patlatması boyut dağılımı önemi ve tahmini modelleri tartışılarak görüntü analizi yöntemiyle karşılaştırılması değerlendirilmiştir.

## 2. BASAMAK PATLATMASI SONUCU OLUŞAN BOYUT DAĞILIMININ ÖNEMİ

Günümüz açık maden işletmelerinde basamaklar şeklinde üretim ekonomikliğini ve verimliliğini tartışmasız korumaktadır. Küçük, orta ve büyük ölçekli açık maden işletmelerinde basamak duraylılığı ve planlanan şev açılarının korunması, iyi planlanmış delme-patlatma ile sağlanmaktadır. Bunun yanında metal ve agrega madenciliği gibi kaya kütlesinden kazılan cevherin doğrudan kullanılmadığı, devam eden boyut küçültme işlemlerine tabi tutulduğu durumlarda boyut küçültmenin ilk aşaması olan delme-patlatma, devam eden işlemlerin verimliliğini etkilemektedir. Şekil 1'de açık maden işletmesi cevher zenginleştirme öncesi akım şeması verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi patlatma sonrası devam eden işlemlerin

tamamında kayacın fiziksel boyutu, maliyetler ve verimlilik açısından önemlidir. Örneğin kazı ve yükleme makinelerinin kepçe dolun faktörü, nakliye araçlarının taşıma kapasitelerinde etkili olan kabarma faktörü, kırma, ufalama ve öğütme işlemlerinde ise enerji sarfiyatları doğrudan kayacın boyutu ile ilgilidir.

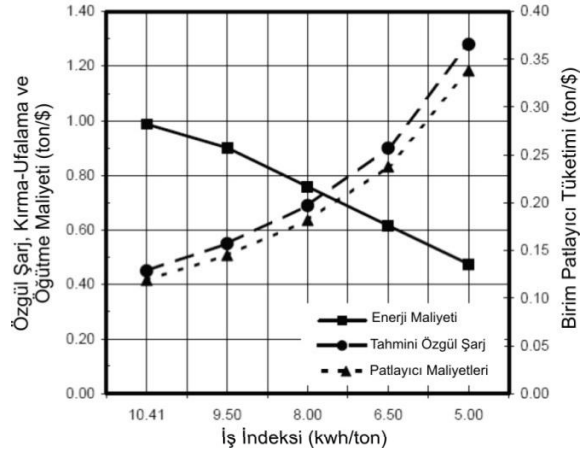


Şekil 1. Açık maden işletmesi operasyon akım şeması

Delme-patlatma işlemleri sonucu oluşan boyut dağılımının etkisinin araştırılması ile ilgili yapılan öncü çalışmalar delme-patlatma maliyetlerinin belirlenmesine ve boyut dağılımının kazı+yükleme, nakliye işlemlerinin verimliliği üzerinedir. Mackenzie's (1967) yaptığı çalışmada delme-patlatma maliyetlerin boyut dağılımının derecesine bağlı olarak ton başına sabit kaldığı veya arttığı sonucuna ulaşmıştır. Currie (1973)'e göre verimlilik ve enerji sarfiyatı optimizasyonunda malzeme boyutunun birincil kırıcıların boyutlandırılmasında belirleyici olması gerekmektedir. Currie (1973) birincil kırıcılar için besleme mali maksimum boyutun 1520 mm olarak öngörmüştür. Tunstall ve Bearman (1997) boyut dağılımının kırma-ufalama operasyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve besleme mali maksimum boyutun birincil çeneli kırıcı giriş açıklığının %75-80'i, darbeli kırıcılar için giriş açıklığının %80'i olması gerektiğini önermişlerdir. Nielsen ve Kristiansen (1996), boyut dağılımının kırma-ufalama üzerine etkisinin bir çok saha

patlatmaları ve laboratuvar ölçekli patlatmaları inceleyerek araştırmışlardır. Çalışmalarında boyut dağılımının kırma-ufalama ve öğütme üzerinde önemli etkisi olduğunu saptamışlardır. Nielsen (1999) dört farklı kayaç tipinin laboratuvar boyutunda patlatma testlerine tabi tutmuş ve bilyalı değirmen öğütme verimini araştırmıştır. Özgül şarj miktarını artırarak yaptığı bu testlerde patlatma sırasında özellikle mineral tane sınırları boyunca olduğu öngörülen mikro çatlakların öğütülebilirlik ile doğrudan ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur (Muhammad, 2009).

Workman ve Eloranta (2003) boyut dağılımının kırma-ufalama ve öğütme verimine etkisini enerji tüketimleri açısından incelemişlerdir. Madencilik operasyonlarının büyük miktarlarda enerji tüketimine neden olduğunu belirtmişler, Bond İş İndeksi, patlatma maliyeti ve enerji maliyeti arasında Şekil 2'de verilen ilişkiyi ortaya koymuşlardır.



Şekil 2. Özgül şarj ve enerji maliyetleri ilişkisi (Workman ve Eloranta, 2003)

Workman ve Eloranta (2003) yaptıkları çalışmada, patlatma sonucu oluşan ortalama boyut dağılımını 40 cm'den 30 cm' düşürecek şekilde özgül şarj miktarını 0.33 kg/ton'dan 0.45 kg/ton'a arttırdıkları durumda toplam maliyetlerinin (patlatma, kırma-ufalama ve öğütme) ton başına 0.39 \$ (ABD) azalacağını hesaplamışlardır.

### 3. BOYUT DAĞILIMININ TAHMİNİ

Boyut dağılımının tahmini için en popüler model Cunningham'ın (1983,1987) geliştirdiği Kuz-Ram modelidir. Kuz-Ram modeli, Kuznetsov (1973) tarafından ortalama boyut ( $x_{50}$ )

tahmini için önerilen ampirik eşitlik ile Rosin ve Rammler (1933) tarafından önerilen boyut dağılım fonksiyonunun Cunnigham'ın (1983) birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Sonrasında boyut dağılımının tahmini ile ilgili yapılan çalışmalarda ya Kuz-Ram modelinin yetersiz olduğu öne sürülerek alternatif model geliştirilmeye çalışılmış yada bu modelin yetersizliğini giderecek yeni katsayılar geliştirilmiştir. Bu anlamda Kuz-Ram modeli basamak patlatmaları sonucu oluşan yığın boyut dağılımının tahmin edilebilirliğinin mümkün olabileceğinin veya olamayacağını tartışıldığı çıkış noktası olmuştur. Bir taraftan patlatmalarda kontrol edilemeyen kaya kütlesi özellikleri nedeniyle boyut dağılımının herhangi bir şekilde kestirmenin mümkün olmayacağını ve yaptıkları patlatmalar sonucu oluşan boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modelinden çok farklı olduğunu öne süren araştırmalar rapor edilirken diğer taraftan boyut dağılımının tahmini için en az hata ile genel bir yaklaşımın olması gerektiğini savunan ve yaptıkları çalışmalar ile bunu doğrulamaya çalışan araştırmalar yapılmıştır.

### 3.1. Kuz-Ram Tahmin Modeli

Kuznetsov (1973) birim hacim başına patlayıcı miktarı (özgül şarj) ile ortalama boyut arasında kaya kütlesinin de bir fonksiyonu olarak bağıntı 1'de verilen formülü önermiştir.

$$X_{50} = A \left( \frac{V_o}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{1/6} \quad (1)$$

Burada  $X_{50}$  ortalama boyut (cm), A kaya faktörü,  $V_o$  delik başına patlatılacak hacim (dilim kalınlığı x delikler arası mesafe x basamak yüksekliği,  $m^3$ ),  $Q_e$  delik başına kullanılan nitrogliserin esaslı patlayıcı (kg). Bağıntı 1'de verilen ortalama boyut dağılımı nitrogliserin esaslı detonasyon hızı fazla patlayıcı maddeler için önerilmiştir. Bu patlatıcıların gücü yaygın olarak kullanılan Anfoya oranla fazladır. Bu nedenle bağıntı 1'in Anfo kullanıldığı duruma göre düzeltme katsayısı bağıntı 2'deki gibi verilmiştir. Anfo kullanıldığı durumda  $S_{Anfo} = 100$  olarak alınır. (Kuznetsov, 1973)

$$X_{50} = A \left( \frac{V_o}{Q_e} \right)^{0.8} Q_e^{1/6} \left( \frac{S_{Anfo}}{115} \right)^{19/30} \quad (2)$$

Basamak patlatmasında kullanılan önemli parametrelerden birisi birim hacim başına kullanılan patlayıcı miktarı olarak tarif edilen özgül şarj ( $q$ ,  $kg/m^3$ ) miktarıdır. Özgül şarj miktarı bağıntı 3'de verilmiştir.

$$\frac{1}{q} = \frac{V_o}{Q_e} \quad (3)$$

Bu durumda amaçlanan ortalama boyut dağılımı belirlendiğinde gerekli özgül şarj miktarı bağıntı 2 ile bağıntı 3 kullanılarak bağıntı 4'de verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$q = \left[ \frac{A}{X_{50}} Q_e^{1/6} \left( \frac{115}{S_{Anfo}} \right)^{19/30} \right]^{1.25} \quad (kg/m^3) \quad (4)$$

Kullanılan patlayıcı miktarı ve özgül şarj miktarı boyut dağılımının tahmini için verilen eşitliklerde büyüklük olarak kullanılabilirken kaya kütlesinin etkisi bir faktör olarak 7 ile 13 arasında önerilmiştir. Kaya faktörünün de kaya kütlesinin karakteristik özelliklerini yansıtamadığı eksikliği Cunnigham'ın (1983) tarafından giderilmeye çalışılmıştır. Kaya kütlesi patlatılabilirliği ile ilgili Lilly (1986) tarafından önerilen kaya kütlesi patlatma indeksi, ortalama boyut tahmini eşitliğinde kullanılan kaya faktörünün belirlenmesinde baz alınmıştır. Buna göre kaya faktörünün hesaplanmasında kullanılan formül bağıntı 5'de kullanılan değişkenler Çizelge 1'de verilmiştir.

$$A = 0.06(RMD + RDI + HF) \quad (5)$$

Uygulamada özellikle kaya kütle sayısının (RMD) tespit edilmesindeki güçlüklerden dolayı A değeri orta sert kaya kütleleri için 7, sert çok fisürlü kaya kütleleri için 10, sert az fisürlü kaya kütleleri için 13 olarak pratikleştirilmiştir.

Rosin ve Rammler (1933) boyut dağılımı fonksiyonunu bağıntı 6'daki gibi tanımlamışlardır.

$$R_m = 1 - e^{-\left( \frac{X}{X_c} \right)^n} \quad (6)$$

Çizelge 1. Kaya Faktörü (A) Belirlenmesinde Kullanılan Değişkenlerin Tanımı ve Hesaplanması (Cunningham,1983)

RMD Kaya kütle sayısı	
Eğer kaya kütlesi kırılğan gevrek yapıdaysa	RMD = 10
Eğer düşey yönde süreksizlikler varsa	RMD = JF
Eğer masif yapıdaysa	RMD = 50
JF Kaya Kütlesi Süreksizlik Katsayısı	
JF = JPS+JA	
JPS Düşey Süreksizlik aralığı	
Eğer ortalama süreksizlik aralığı < 0.1m	JPS = 10
Eğer ortalama süreksizlik aralığı 0.1m < X < İri Blok boyutlu (~ 0.5m)	JPS = 20
Eğer ortalama süreksizlik aralığı iri blok < X < Dilim Kalınlığı (m)	JPS = 50
JPA Süreksizlik düzlemi açısı	
Eğer düzlem açısı yüzeyin dışına doğru ise	JPA = 20
Eğer düzlem açısı yüzeye dik ise	JPA = 30
Eğer düzlem açısı yüzeyin içinde kalıyorsa	JPA = 40
RDI Kayaç yoğunluğu Faktörü	
Kayaç Yoğunluğu RD (t/m <sup>3</sup> )	RDI = 25 RD-50
HF Sertlik faktörü	
Eğer Young Modülü Y<50	HF = Y/3
Eğer Young Modülü Y>50	HF = $\sigma_b/5$

Burada  $R_m$  belirlenen boyutta geçen malzeme oranı (%), X belirlenen boyut (elek açıklığı, mm), n üniformluk indeksi,  $X_c$  karakteristik boyut (mm) olarak tarif edilen ölçek faktördür. Bu eşitliğe göre bir dağılım eğrisinin çizilebilmesi için üniformluk indeksi (n) ve karakteristik boyut ( $X_c$ ) bilinmesi yeterli olacaktır. Karakteristik boyutun ( $X_c$ ) belirlenmesi için bağıntı 6 tekrar düzenlendiğinde bağıntı 7'deki gibi ifade edilebilir.

$$X_c = \frac{X}{\sqrt[n]{-\ln(1-R_m)}} \quad (7)$$

Cunningham (1983)  $X_{50}$  değeri Kuznetsov tarafından önerilen ortalama boyut değeri ( $X=X_{50}$ )

ve  $R_m=0.5$  (%50) kabul ederek dağılımı belirlemiştir. Buna göre bağıntı 7 karakteristlik boyut formülü bağıntı 8'deki gibi yazılabilir.

$$X_c = \frac{X}{\sqrt[0.693]{n}} \quad (8)$$

bağıntı 6'da verilen Rosin ve Rammler dağılım fonksiyonunun belirlenmesi için üniformluk indeksinin bilinmesi gerekmektedir. Cunningham (1983,1987) boyut dağılımının tahmininde patlayıcı ve kaya kütlesi ile ilgili faktörleri Kuznetsov eşitliği ile sağlamış, delik paterni ve patlatma geometrisi ile ilgili değişkenlerin belirlenmesi için de üniformluk indeksini (n) bağıntı 9'da verildiği şekilde önermiştir.

$$n = (2.2 - 14 \frac{B}{D}) \left[ \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right]^{-0.5} \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left[ \frac{BCL - CCL}{L} + 0.1 \right]^{0.1} \frac{L}{H} \quad (9)$$

Burda B dilim kalınlığı (m), S delikler arası mesafe (m), D delik çapı (mm), W delme doğruluğundaki standart sapma (m)  $W=0.1+(0.03*H)$ , H basamak yüksekliği (m), BCL taban şarj boyu (m), CCL=kolon şarj boyu (m) dir. Üniformluk indeksi (n) Rosin ve Rammler dağılım eğrisinin eğimini belirleyen ana katsayıdır. Üniformluk değerinin yüksek olması boyut dağılımının dik ve üniform dağılımı belirlerken düşük üniformluk katsayısı yığının boyut dağılımının üniform olmadığını göstergesidir. Bağıntı 9'da görüldüğü gibi dilim kalınlığı/delik çapı oranı üniformluk katsayısını azaltır, delikler arası mesafe/dilim kalınlığı üniformluk katsayısını artırır. Normalde n değeri 0.75 ile 1.5 arasında değişir.

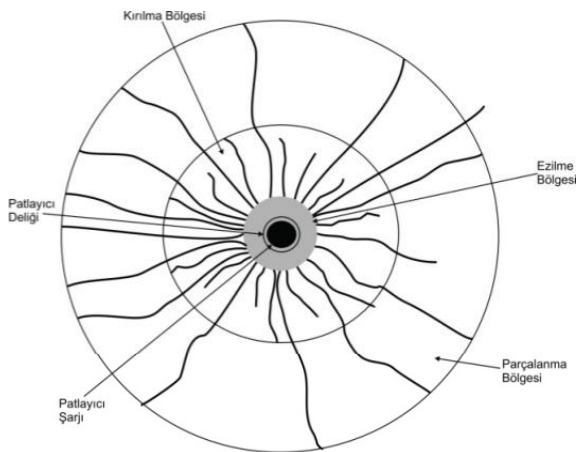
Cunningham (1983, 1987), Kuz-Ram boyut dağılım tahmin modeli uygulamasında bazı ihmal edilen parametrelerin olduğunu belirtmiştir. Bunlardan birincisi ateşleme sırası ve gecikme aralığının modelde değerlendirilmemesi ikincisi ise patlayıcı enerjisinin göreceli olarak modelde yer almasıdır. Ayrıca parçalanma boyut dağılımını etkileyen ana değişkenin özellikle çok süreksizlikli yapılarda kaya kütlesi özellikleri olduğunun üzerinde durmuştur (Hustrulid,1999).

Bunun yanında tahmin modelleri homojen süreksizlik içermeyen masif kayalarda gerçeğe yakın değerler vermektedir. Kaya kütlesi

özellikleri, tahmin modellerinde katsayı olarak veya belli süreksizlik özellikleri ile ilişkilendirilen sayısal değer olarak kullanılmaktadır. Doucent (1995) kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden RMR sınıflama sitemi, Q sınıflama sitemi ve RQD kaya kalite göstergesi ile boyut dağılımı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Buna göre sınıflama sistemlerinde düşük kaya kütlesi özelliklerinin üniform olmayan boyut dağılımına neden olduğu sonucunu rapor etmiş ve boyut dağılımının tahmin modellerinde gerçekçi yaklaşımların yapılabilmesi için kaya kütle sınıflama sistemlerinin kullanılması gerektiğini önermiştir.

### 3.2. Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (JKMRC) Tahmin Modelleri

Kuz-Ram tahmin modelinin pratik uygulamalarda boyut dağılımının belirlenmesinde ince boyut dağılımlarında kabul edilebilir hata sınırlarının dışında kalması nedeniyle Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (Julius Kruttschnitt Mineral Research Center-JKMRC) araştırmacıları Kuz-Ram boyut dağılım modeli baz alınarak iki farklı boyut dağılım modeli geliştirilmiştir. JKMRC modelleri boyut dağılımını, Şekil 3'de şematik olarak gösterilen patlatma deliği etrafında oluşan patlayıcı basıncına ve gerilme dağılımına bağlı olarak oluşan bölgelerin belirlediğini öne sürmüşlerdir. Bu varsayım ile modellerini ezilme bölgesinin ince boyut dağılımını, kırılma bölgesinin de iri boyut dağılımını belirlediği ilkesine göre geliştirmişlerdir (Demenegas, 2008).



Şekil 3. Patlatma deliği ve çevresi ateşleme sonrası şematik görüntüsü (Esen vd, 2003)

### 3.2.1. Ezilme Bölgesi Modeli (CZM)

Ezilme bölgesi modeli (CZM - Crushed Zone Model) iki farklı Rosin-Rammler fonksiyonu kullanarak boyut dağılım tahmini yapar. Birinci fonksiyon ince boyut dağılım fonksiyonu, ikinci fonksiyon ise iri boyut dağılım fonksiyonudur. Buna göre iri ince sınırı baz olarak 1 mm olarak belirlenmiştir. Ezilme bölgesi boyut dağılım modelinde iri dağılım fonksiyonu Rosin-Rammer fonksiyonu dağılımın belirlenmesi için  $n$  ve  $X_c$  nin hesaplanması gerekir (Demenegas, 2008). İri boyut dağılımı aşağıda verilen bağıntı 10 ile hesaplanır.

$$R_m = 1 - e^{-\left(\ln(1-R(X_c))\left(\frac{X}{X_c}\right)^{n_{iri}}\right)} \quad (10)$$

Burada  $R_m$  belirlenen boyutta toplamalı malzeme oranı (%),  $R(X_c)$  karakteristik boyutta geçen malzeme oranı (%),  $X$  belirlenen elek açıklığı (m),  $X_c$  karakteristik boyut (m),  $n_{iri}$  iri boyut için üniformluk katsayısı

$$n_{iri} = \left(2.2 - 14\left(\frac{B}{D}\right)\right) \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right) \left(\frac{L_t}{H}\right)} \quad (11)$$

İnce boyut dağılımı ezilme bölgesinin çapının belirlenerek, delik boyu ile ezilme bölgesindeki malzeme hacminin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Patlayıcı enerjisi sıkıştırma basıncının kaya kütlesinin basınç dayanımını aştığı bölge olan ezilme bölgesi yarıçapı bağıntı 12 ile hesaplanabilir (Demenegas, 2008).

$$r_c = r \sqrt{\frac{P_d}{\sigma_c}} \quad (12)$$

Burada  $r_c$  ezilme bölgesi yarıçapı (m),  $r$  delik yarıçapı (m),  $P_d$  detonasyon basıncı (Pa),  $\sigma_c$  kayacın tek eksenli basınç dayanımıdır (Pa). Detonasyon basıncı bağıntı 13 ile hesaplanabilir.

$$P_d = \rho_c \frac{c_d^2}{4} \quad (13)$$

Burada  $P_d$  detonasyon basıncı (pa),  $C_d$  detonasyon hızı (m/sn),  $\rho_c$  patlayıcı yoğunluğudur (kg/m<sup>3</sup>). Ezilme bölgesi ince boyut dağılımı fonksiyonu bağıntı 14'de verilmiştir (Demenegas, 2008)..

$$R_m = 1 - e^{-\left( \ln(1-R(X_c)) \left( \frac{X}{X_c} \right)^{n_{ince}} \right)} \quad (14)$$

Bu dağılımın belirlenebilmesi için  $n_{ince}$  üniformluk katsayısının bilinmesi gerekir.  $n_{ince}$  üniformluk katsayısı bağıntı 15 ile hesaplanır. bağıntı 15'de  $F_c$  ezilmiş malzeme oranı toplam

$$n_{ince} = \frac{\ln\left( \frac{\ln(1-F_c)}{\ln(1-R(X_c))} \right)}{\ln\left( \frac{1}{X_c} \right)} \quad (15)$$

yığın miktarının ezilme bölgesi malzeme miktarına oranı olarak ifade edilir ve bağıntı 16 ile hesaplanır (Demenegas, 2008)..

$$F_c = \frac{V_c}{V_b} \quad (16)$$

Burada  $F_c$  ezilmiş bölge malzeme oranı,  $V_c$  ezilmiş bölge malzeme hacmi (m<sup>3</sup>),  $V_b$  toplam malzeme hacmidir(m<sup>3</sup>).

### 3.2.2. İki Elemanlı Model (TCM)

İki elemanlı model (TCM- Two Component Model), iri ve ince boyut dağılımının aynı fonksiyonda aynı üniformluk katsayısı ile belirlenir. Bu özelliği ile kritik iri-ince sınırı belirlenerek birbirinden farklı üniformluk katsayıları kullanılan ezilme bölgesi modelinden (CZM) ayrılır. İki elemanlı model boyut dağılım fonksiyonu bağıntı 17'de verilmiştir (Demenegas, 2008).

$$R_m = 100(1 - (1 - F_c))e^{-\ln 2 \left( \frac{x}{a} \right)^b} - F_c e^{-\ln 2 \left( \frac{x}{c} \right)^d} \quad (17)$$

Burada  $R_m$  belirlenen boyutta toplamalı malzeme oranı (%),  $F_c$  ezilmiş bölge malzeme oranı, (%), bağıntı 16),  $a$  ezilme bölgesi dışında kalan ortalama boyut (m),  $b$  ezilme bölgesi dışında kalan üniformluk katsayısı,  $c$  ezilme

bölgesi ortalama boyut (m),  $d$  ezilme bölgesi üniformluk katsayısıdır. Bağıntı 17 'de görüldüğü iki elemanlı dağılım fonksiyonunun esas ezilme bölgesi dışındaki dağılım fonksiyonunun ezilme bölgesi dağılım fonksiyonundan çıkarılmasıdır. Bu nedenle iki elemanlı dağılım modelinde a ve b katsayıları Kuz-Ram dağılım modelindeki  $X_{50}$  ile n üniformluk katsayısı ile aynıdır. Ancak ezilme bölgesi ortalama boyut dağılımı ve üniformluk katsayısının ( $c$  ve  $d$ ) kayacın laboratuvar ortamında teste tabi tutularak ezilme bölgesi malzemesinin elek analizi değerlerinden belirlenmesi önerilmiştir. İki elemanlı modelde ezilme bölgesi malzeme hacminin belirlenmesi için gerekli yarıçap ezilme bölgesi modeli (CZM)'den farklı olarak önerilmiştir. Buna göre iki elemanlı model (TCM) ezilme bölgesi yarıçapı  $r_c$  bağıntı 18 ile hesaplanabilir .

$$r_c = \left( \frac{r}{\sqrt{\frac{24TS_{yerinde}}{P_b}}} \right) \quad (18)$$

Burada  $r_c$  ezilme bölgesi yarıçapı(m),  $r$  delik yarıçapı (m),  $P_d$  detonasyon basıncı (Pa),  $TS_{yerinde}$  kaya kütlesi yerinde çekme dayanımıdır(Pa) ve bağıntı 19 ile hesaplanabilir.

$$TS_{yerinde} = \sigma_{dT} \left( \frac{0.05}{OBB} \right)^{0.18} \quad (19)$$

Burada  $\sigma_{dT}$  kayacın çekme dayanımı (Mpa),  $OBB$  ortalama blok boyutudur (m).

### 3.3. KCO Dağılım Modeli

KCO dağılım modeli Ouchterlony (2005) tarafından Kuz-Ram modelinin eksiklerinin giderilmesi için önerilmiştir. Ouchterlony, Kuz-Ram dağılım modelinin boyut dağılımının tahmininde ince ve iri boyut oranlarında hatalı olduğunu göz önünde bulundurarak Rosin -Rammer dağılım fonksiyonundan farklı bir fonksiyon önermiştir. Swebrec fonksiyonu olarak bilinen bu fonksiyon kullanılarak boyut dağılımı modelini Ouchterlony 2005 yılında yayınlamış ve KCO (Kuznetsow, Cunningham, Ouchterlony) dağılım modeli olarak adlandırmıştır. Boyut dağılım modelinde kullanılan Swebrec dağılım

fonksiyonunda 3 parametre kullanılmaktadır.  $X_{50}$  malzemenin % 50 sinin elekten geçtiği ortalama boyut,  $X_{max}$  en büyük parça boyutu ve b dağılım fonksiyonunun kıvrımlılığını belirleyen katsayı. Bu katsayı Rosin –Rammer dağılım fonksiyonuna önerilen n üniformluk katsayısına benzerdir. KCO modelinde kullanılan eşitlikler bağıntı 20 ve 21 de verilmiştir.

$$R_m = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\ln\left(\frac{X_{max}}{X}\right)}{\ln\left(\frac{X_{max}}{X_{50}}\right)} \right]^b} \quad (20)$$

$$b = \left[ 2 \ln 2 \ln\left(\frac{X_{max}}{X_{50}}\right) \right] n \quad (21)$$

Burada  $R_m$  belirlenen boyutta toplamalı malzeme oranı (%), b dağılım fonksiyonu kıvrımlık katsayısı, X belirlenen elek açıklığı (cm),  $X_{50}$  ortalama boyut (Kuz-Ram modeli ile aynı, cm), n üniformluk katsayısı (Kuz-Ram modeli ile aynı),  $X_{max}$  en büyük parça boyutudur(cm) (Ouchterlony, 2005).

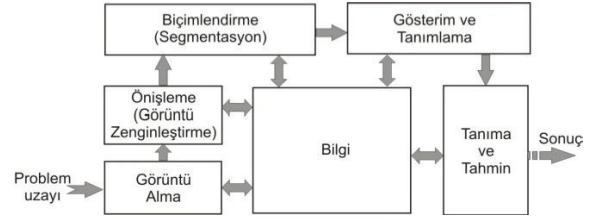
#### 4. GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMİ

Görüntü, iki boyutlu bir işaret kayıdır. Fotoğraf gibi gözle görünen bir biçimde olabileceği gibi, manyetik bantta yazılı bir kayıt, yada bilgisayar belleğinde duran sayısal değerler biçiminde olabilir. Görüntüler sürekli-ayrık, analog-sayısal veya sürekli-sayısal olabilirler. Bir görüntü üzerindeki parlaklık hem seviye olarak hem de konum olarak sürekli değişen bir değişkendir. (Karakuş, 2007). Bilgisayar belleğinde pikseller şeklinde görüntü içindeki parlaklık değerlerinin farklı cisimlerin ve nesnelerin sınırlarının belirlenmesi, görüntü işleme yöntemlerinin kullanılabilirliğini sağlamıştır. Bu anlamda özellikle tıp alanında görüntüleme cihazları ile elde edilen görüntülerin analiz edilerek veri üretilmesi öncü çalışmaları oluşturmuş sonrasında bir çok disiplinde hızlı ve kolay bir ölçüm tekniği olması nedeniyle kendine kullanım alanı bulmuştur.

Görüntü analiz metotlarının yerbilimlerinde ilk uygulamaları ise boşlukların ölçümü ve tanımlanması alanında yapılmıştır. Buna paralel

olarak kaya yüzeylerinde bulunan süreksizlikler ve tane büyüklüklerinin, renk gibi görüntünün tanımlanabilen farklı özellikleri kullanılarak analizleri yapılmıştır.

Sayısal görüntü analizi yapan bir çok ticari programlar olmakla birlikte hepsinde ortak olan analizin aşamaları genel olarak Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Görüntü işleme genel akım şeması (Gonzales ve Woods, 1993)

Sayısal resim elde edildikten sonra ön-işleme tabii tutulur. Adından da anlaşıldığı gibi ön-işleme, elde edilen sayısal resmi kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek için, bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu işlemlere örnek olarak; kontrastın ayarlanması, resimdeki gürültülerin azaltılması ve/veya yok edilmesi, resimdeki bölgelerin birbirinden ayrılması gibi işlemler verilebilir.

Bundan sonraki aşamada görüntü biçimlendirme (segmentation) basamağına geçilir. Görüntü biçimlendirme, bir görüntüdeki nesne ve artalanın veya resim içerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrıştırılması işlemidir. Biçimlendirme görüntü işlemenin en zor uygulamasıdır ve biçimlendirme tekniklerinin sonuçlarında belli bir hata oranı olabilmektedir. Görüntü biçimlendirme bir resimdeki nesnenin sınırları, şekli veya o nesnenin alanı gibi ham bilgiler üretir. Eğer objelerin şekilleriyle ilgileniliyorsa biçimlendirmeden o nesnenin kenarları, köşeleri ve sınırları hakkında bilgi vermesi beklenir. Fakat görüntü içerisindeki nesnenin yüzey kaplaması, alanı, renkleri, iskeleti gibi iç özellikleriyle ilgileniliyorsa bölgesel biçimlendirme kullanılması gerekir. Karakter veya genel olarak örnek (pattern) tanıma gibi oldukça karmaşık problemlerinin çözümü için her iki biçimlendirme metodunda bir arada kullanılması gerekebilmektedir (Karakuş, 2007).

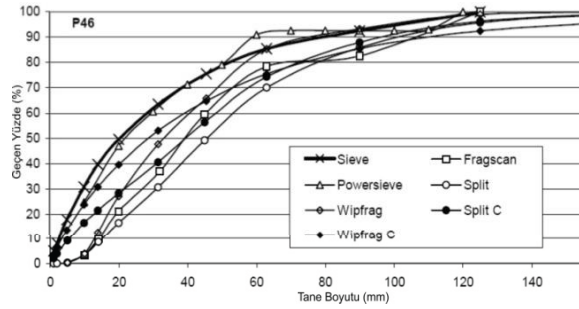


Görüntü analizi ile boyut dağılımının tespit edilmesi konusunda ilgili araştırmalar ise mikro ve makro ölçekte yapılmıştır. Tane boyut dağılımının belirlenmesi ile ilgili özellikle mikroskop görüntülerinde mineral tanelerinin dağılımı ve boşluk oranı tespiti gibi çalışmalar yapılsa da madencilik endüstrisinde patlatma veriminin değerlendirilmesinde kendine kullanım alanı bulmuştur. Patlatmalar sonucu oluşan boyut dağılımının elle ölçülmesi oldukça zor ve maliyetli bir iştir. Görüntü işleme metodları ile parça boyut dağılımının hızlı bir şekilde yapılabilmesi ve patlatma veriminin değerlendirilmesinin avantajlarını gören çeşitli gruplar ve organizasyonlar araştırmalarını ilerleterek sadece patlatmalar sonucu oluşan yığın boyut analizi yapan programlar geliştirmişlerdir. Bu programlar temel görüntü işleme ek olarak boyut dağılımı grafiğini ve sayısal verilerini üretmeye yöneliktir. Bunlardan bazıları; IPACS (Dahlheim, 1996), TUCIPS (Havermann ve Vogt, 1996), Fragscan (Schleifer ve Tessier, 1996), CIAS (Downs ve Kettunen, 1996), GoldSize (Kleine ve Cameron, 1996), WipFrag (Maerz vd, 1996), Split Desktop (Kemeny, 1994), PowerSieve (Chung ve Noy, 1996) ve Fragalyst (Raina vd, 2002) dir.

Görüntü analiz yöntemiyle yığın boyut dağılımının belirlenmesi ilk kez Carlsson ve Nyberg (1983) tarafından uygulanmış ve yöntemin uygulanabilmesi için hala geçerli olan birkaç temel kural önermişlerdir. Bunlar analiz edilecek görüntüde en büyük tane boyutu ile en küçük tane boyutu arasında en fazla 20 kat fark olması gerekliliği ve en küçük tane boyutunun görüntü çözünürlüğünün en az 3 katı olması gerekliliğidir. Sonrasında yapılan araştırmalarda görüntü analiz yönteminin yığın karakteristiğinden kaynaklanan eksiklikleri vurgulanmış ve doğruluk derecesi sorgulanmıştır. Cunningham (1996) yığın görüntüsü ile nakliye kamyonu kasasından alınan yığın görüntüsü ve kırıcı öncesi nakliye bantı üzerinden alınan yığın görüntüsünü karşılaştırmış, patlatma sonucu oluşan yığın boyut dağılımı görüntü analizi hatalarının nakliye bantı üzerinde sürekli yapılan görüntü analizi yöntemiyle azaltıldığını ortaya koymuştur. Liu ve Tran (1996) üç farklı program (Fragscan, WipFrag, Split) ile yaptığı incelemede hepsinde farklı boyut dağılımları elde etmiştir. Benzer şekilde Katsabanis (1999) 0.85 -19 mm arasında laboratuvar ortamında oluşturulan suni bir yığının boyut dağılımını WipFrag ve Split Desktop programları ile belirlemiş ve bu programların en yakın

sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Karşılaştırma ile ilgili en popüler çalışma ise Latham vd, (2003)'nin yaptığı araştırmadır. Araştırmada Fragscan, PowerSieve, Split ve WipFrag programları ile farklı dağılıma sahip test yığınlarının karakteristik boyut ( $X_c$ ) ve dağılımın uniformluk katsayısını karşılaştırmışlardır (Şekil5).

Buna göre genel olarak karakteristik boyutu küçük olan görüntülerde programların başarılı, büyük olanlarda ise başarısız olduğunu PowerSieve, Split ve WipFrag programlarının uniform dağılımlarda yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını belirtmişlerdir.



Şekil 5. Örnek boyut dağılımı (Latham vd, 2003)

## 5. BOYUT DAĞILIM TAHMİN MODELLERİ VE GÖRÜNTÜ ANALİZİ KARŞILAŞTIRILMASI UYGULAMA PATLATMASI

Boyut dağılım tahmin modelleri kullanılarak elde edilen dağılım ile görüntü analizi sonucu elde edilen boyut dağılımının karşılaştırılmasında bir basamak patlatması dizaynı ile boyut tahmin modelleri yapılmış ve patlatma sonucu oluşan yığını temsil eden 4 farklı bölgeden görüntü alınarak görüntü analizi programları kullanılmış ve oluşan boyut dağılımı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Boyut dağılım tahmin modellerinden ham haliyle Kuz-Ram model ve Ouchterlony tarafından 2005 yılında Kuz-Ram modeli üç parametrelili hale getirdiği ve doğrulamasını gerçek boyutlu patlatma tahminleri ile yaptığı KCO tahmin modeli kullanılmıştır. Patlatma sonrası oluşan yığının tahmin değerlerinin kıyaslanabilmesi için literatürde benzerlerine göre üstünlükleri belirtilen Split Desktop programı ve WipFrag programı kullanılmıştır. Uygulama patlatması aktif olarak faaliyet gösteren bir kalker ocağında tek sıra olarak planlanmıştır. Patlatmanın teknik verileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Uygulama Patlatması Teknik Verileri

Delik Çapı	89.0 mm
Basamak Yüksekliği	13.0 m
Delik boyu	14.3 m
Dilim Kalınlığı	2.0 m
Delikler Arası Mesafe	2.5 m
Delik Şarjı	56.0kg
Şarj Kolonu Yüksekliği	10.0 m
Sıkılama	4.3 m
Kaya Faktörü	10

Çizelge 2'de teknik detayları verilen uygulama patlatmasının Kuz-Ram tahmin dağılımının belirlenebilmesi için ortalama tane boyutu ( $X_{50}$ ) ve üniformluk katsayısı (n) hesaplanması bağıntı 22 ve 23'de verilmiştir.

$$X_{50} = 10 \left( \frac{2.5 \times 2 \times 13}{56} \right)^{0.8} 56^{1/6} \left( \frac{100}{115} \right)^{19/30} = 24.1 \text{ cm} \quad (22)$$

$$n = \left( 2.2 - 14 \left( \frac{2}{89} \right) \right) \left( \frac{1 + \frac{2.5}{2}}{2} \right)^{-0.5} \left( 1 - \frac{0.35}{2} \right) \left( \frac{|1.3 - 10|}{10} + 0.1 \right)^{0.1} \left( \frac{10}{13} \right) = 1.27 \quad (23)$$

Bu verilere dayanarak Kuz-Ram tahmin modeli dağılım eğrisinin belirlenebilmesi için karakteristik tane boyutunun hesaplanması gerekmektedir. Buna göre karakteristik tane boyutu ( $X_c$ )

$$X_c = \frac{24.1}{1.27 \sqrt{\ln(2)}} = 32.15 \text{ cm} \quad (24)$$

olarak bulunur. Bu değerler kullanılarak belirlenen elek açıklıklarında bağıntı 6'da verilen Rosin ve Rammler dağılım fonksiyonu kullanılarak uygulama patlatmasının hesaplanan boyut dağılım değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

KCO tahmin modeli için benzer şekilde bağıntı 20'de verilen üç elemanlı Swebrec dağılım fonksiyonu değişkenlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değişkenlerden ikisi olan ortalama boyut dağılımı ( $X_{50}$ ) ve üniformluk katsayısı (n) yukarıda Kuz-Ram dağılım fonksiyonu için hesaplanan değerlerdir. Swebrec dağılım fonksiyonunun üçüncü elemanı olan kıvrımlık katsayısı ise bağıntı 21'de verilen fonksiyon yardımıyla hesaplanır. Buna göre kıvrımlık katsayısı,

$$b = \left[ 2 \ln 2 \ln \left( \frac{107.4}{24.1} \right) \right] 1.27 = 2.77 \quad (25)$$

olarak hesaplanmıştır.

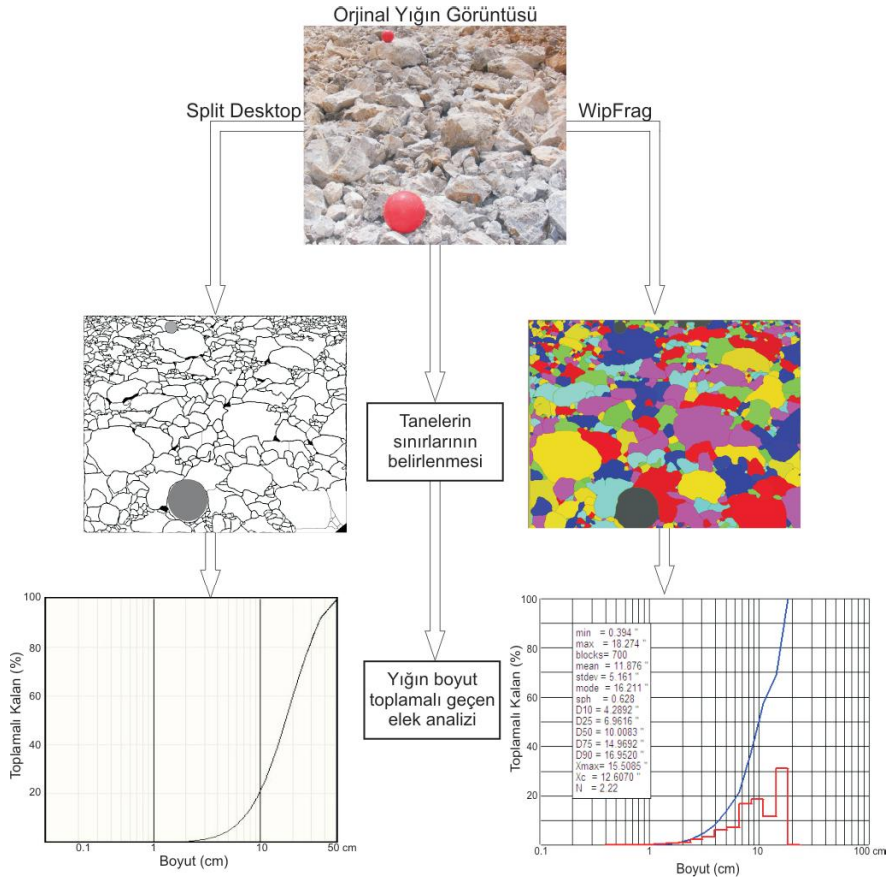
KCO dağılım tahmin modelinde kullanılan ve bağıntı 20'de verilen Swebrec fonksiyonuna göre belirlenen elek açıklıklarında hesaplanan boyut dağılım değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Uygulama patlatması sonucu oluşan yığıni karakterize eden farklı görüntülerden birisinin analiz aşamaları Şekil 6' da verilmiştir. Yığın görüntülerinde tane sınırlarının belirlenmesi yığının karakterize edilmesini doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda kullanılan iki bilgisayar programının da tane sınırlarının doğru olarak belirlenmesi işlemini büyük ölçüde kullanıcıya bıraktığı görülmektedir. Görüntünün kalitesine göre kullanıcının taneleri elle belirlemesi işlemi bazen görüntü içindeki bütün taneleri tek tek edit etmesine kadar varabileceği, bu nedenle programların görüntü zenginleştirme ve görüntü işleme fonksiyonları açısından performanslarının çok iyi olmadığı belirlenmiştir.

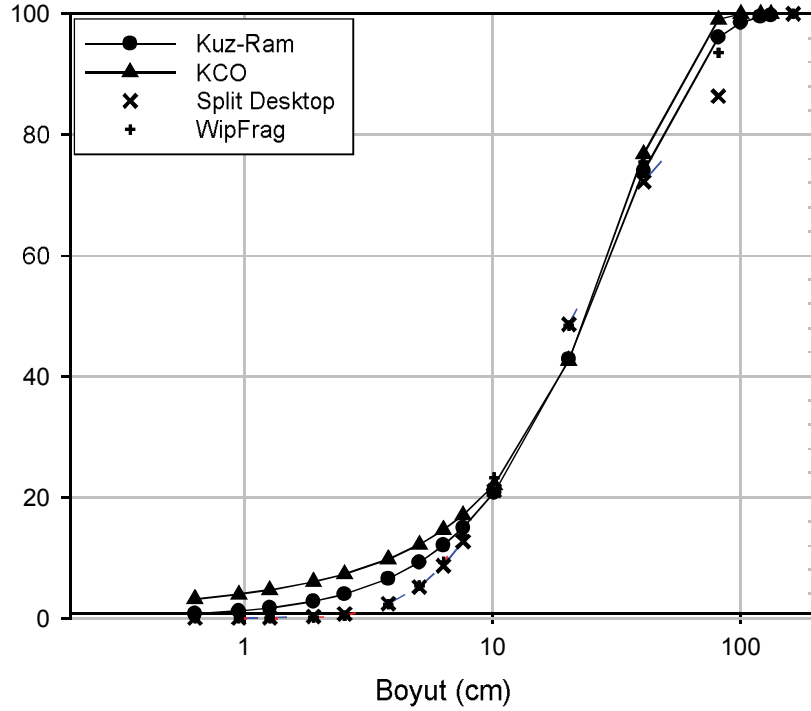
Uygulama patlatması görüntü analizlerinde kullanılan Split Desktop ve WipFrag programları metot olarak benzer şekilde çalışmaktadır. Buna göre öncelikle görüntünün programa yüklenmesi ve ön zenginleştirme aşamaları yapılmaktadır. Daha sonra görüntü üzerinde yığının eğiminin ve perspektif uzaklığının belirlenerek görüntünün ölçekli hale getirilmesi aşması vardır. Bu işlem ya kullanıcı tarafından arazi ölçümleri ile yada görüntü üzerinde referans büyüklüklerle gerçekleştirilebilir. Yığın görüntüleri eğimli ve derinlemesine olması nedeniyle bu işlem için iki adet referans büyüklük kullanılması zorunludur. Uygulama patlatması yığınının alından görüntülerde bu zorunluluk göz önünde bulundurulmuş ve aynı büyüklükte iki adet top kullanılmıştır (Şekil 6). Ölçeklendirilen görüntü içerisindeki tanelerinin sınırlarının belirlenmesi bir sonraki aşamayı oluşturur. Bu aşamada görüntü analizi teknikleri kullanılır ve her tane programların hafızasında görüntü içerisindeki konum ve büyüklüğüne göre depolanır. Bir sonraki aşamada ise programlar belirlenen boyutlarda görüntü içerisindeki tanelerin yüzdelere hesaplar ve grafik şeklinde kullanıcının bilgisine sunar. Uygulama patlatması görüntülerine yukarıdaki aşamaları içeren analizler yapılmış ve bulunan dağılım değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca belirlenen boyutlarda görüntü içindeki tanelerin dağılım tahmin modelleri ve birleştirilmiş görüntü analizlerine ait karşılaştırmalı grafik Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 3. Belirlenen Boyutlarda Tahmin Modelleri (Kuz-Ram ve KCO) ve Görüntü İşleme Programları (WipFrag ve Split Desktop) Dağılım Değerleri

Boyut (cm)	Kuz-Ram Model Toplamalı Kalan (%)	KCO Model Toplamalı Kalan (%)	WipFrag Programı Toplamalı Kalan (%)	Split Desktop Programı Toplamalı Kalan (%)
162.56	99.96	100.00	100.00	100.00
81.28	96.07	99.07	93.57	86.36
40.64	73.96	76.79	75.47	72.21
20.32	42.84	42.61	48.43	48.62
10.16	20.74	22.03	23.27	21.12
7.62	14.91	17.03	13.60	12.65
6.35	12.03	14.58	9.27	8.67
5.08	9.21	12.14	5.40	5.14
3.81	6.49	9.72	2.30	2.40
2.54	3.94	7.26	0.37	0.71
1.905	2.75	6.00	0.10	0.27
1.27	1.66	4.66	0.00	0.06
0.9525	1.15	3.94	0.00	0.02
0.635	0.69	3.16	0.00	0.00



Şekil 6. İki farklı bilgisayar programı yığın boyut analizi aşamaları



Şekil 7. Yığın boyut tahmin modelleri (Kuz-Ram ve KCO) ile boyut dağılım görüntü işleme programları (Split Desktop ve WipFrag) birleştirilmiş boyut dağılım grafiği

Şekil 7' de görüldüğü gibi ince ve iri boyutta hem kullanılan tahmin modelleri hem de uygulama patlatması yığın görüntü analizleri dağılımında farklılıklar bulunmaktadır. Buna karşılık ortalama boyut ve bu boyutun yaklaşık % 50 alt ve üst dağılım yüzdeleri hem tahmin modellerinde hem de görüntü analizleri dağılım değerleri ile birbirine çok yakındır. KCO modelinin Kuz-Ram modelinin iri ve ince boyuttaki eksikliklerini gidermek için geliştirildiği ve dağılım eğrisinin gerçek veriler ile hataları en aza indirebilmesi için kıvrımlık katsayısı eklendiği göz önüne alınırsa iri ve ince boyutta görüntü analizi programlarının yetersiz kaldığı söylenebilir. Bu belirli bir alanın görüntüsün alındığında görüntü çözünürlüğünün ince boyuttaki taneleri ayırt edememesi nedeniyle oluşan doğal sonuçtur. Ayrıca iri boyutta oluşan hatalar ise yığın eğiminden ve üçüncü boyuttan kaynaklanan hatalardır. Bu anlamda görüntü analizi kabullerinin de hataları göz önüne alındığında bir patlatma yapmadan önce önerilen dağılım modelleri ile oluşacak yığının ortalama boyutu Cunnigham'ın (1983) geliştirdiği Kuz-Ram model ile kabul edilebilir sınırlar içinde tahmin edilebilir. Ancak yığının boyut dağılımının da her ne kadar Ouchterlony (2005) tarafından geliştirilen KCO modelinin uygulamada hata oranının az olduğu rapor edilse de özellikle

kaya kütlesi süreksizlik özelliklerinin belirleyici olduğu durumlarda, en büyük tane boyutu tespiti eksikliği nedeniyle yığın boyut dağılım tahmininde, iri ve ince boyutta gerçekçi bir tahmin teorik kalmaktadır. Ayrıca incelenen modellerin iri ve ince boyuttaki eksikliklerinin giderilmesi için öngörülen JKMRC modelleri, pratikte belirlenmesi ve ölçülmesi neredeyse bütün yığının elek analizine tabi tutulması gibi uygulanması zor girdi parametreleri gerektirmesi nedeniyle burada değerlendirilmemiştir.

## 6. SONUÇLAR

Basamak patlatmaları sonucu oluşan yığının boyut dağılımı hem patlatmanın veriminin değerlendirilmesi hem de devam eden operasyonları doğrudan etkilemektedir. Bu anlamda patlatma yapılmadan önce tasarım parametreleri ve kaya kütle özellikleri göz önüne alınarak boyut dağılımının belirlenmesi önemini korumaktadır. Boyut tahmin modellerinden oluşturulan dağılım değerlerinin doğrulanmasının en doğru yolu bütün yığının doğrudan elek analizine tabi tutulmasıdır. Bundan başka son zamanlarda kendine uygulama alanı bulan görüntü işleme metotları ile tane boyut analizi

patlatma sonucu oluşan yığının dağılımının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada boyut dağılım tahmin modelleri ile görüntü analizi ile boyut dağılımı belirleme yapan iki program karşılaştırılmış ve sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

i) Yapılan önceki araştırmalarda Ouchterlony'nin 2005 yılında geliştirdiği KCO modeli endüstriyel uygulamalar ile doğrulanarak en doğru boyut dağılım tahmin modelidir. Bunun yanında KCO modelinde kullanılan ve modelin temelini oluşturan Kuz-Ram model özellikle ortalama boyut belirlenmesinde kullanılabilir.

ii) Basamak yığını üzerinden görüntü alınarak yapılan boyut analizinin eksikleri bulunmaktadır. Bunun en başında yığının üçüncü boyutunun dikkate alınmaması ve yığının görünen kısmında oluşan boyut dağılımının bütün yığının temsil edememesi gelmektedir. Bu eksiklik, yapılan araştırmalarda nakliye bandı üzerinde sürekli boyut analizi yapılarak veya birincil kırma beslemesi sırasında görüntü alınması yöntemiyle giderilmeye çalışılmaktadır. Görüntü işleme programlarının diğer bir eksikliği ise görüntü çözünürlüğünden kaynaklanan ince boyuttaki malzemenin boyutunun belirlenememesidir. Bu kısıtlar içinde görüntü işleme programları başarılı olarak uygulanabilir.

iii) Karşılaştırma için yapılan uygulama patlatmasına göre görüntü işleme programları ve boyut dağılım tahmin modelleri ortalama boyut ve bu boyutun yaklaşık yarısı az ve yarısı fazla boyutlarda başarılıdır. Ancak bu başarı oranı tamamen üniformluk katsayısına bağlıdır. Üniformluk katsayısının yüksek değerlerde olması basamak patlatmasında kaya kütle özelliklerinin masif ve sağlam yapıda olması durumunda gerçekleşmektedir. Basamak patlatmalarında zayıf, iri bloklu ve süreksizlik aralığının düşük olduğu durumlarda dağılım tahmin modellerinin ana değişkeni olan üniformluk katsayısı düşmekte ve tahminlerin doğruluk oranları tartışılır duruma gelmektedir.

## KAYNAKLAR

Carlsson, O. ve Nyberg L., 1983; "A Method For Estimation Of Fragment Size Distribution With Automatic Image Processing" In Proc. 1st Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting, R

Holmberg ve A. Rustan (editör), 333-345.

Chung, S. H. ve Noy, M. J., 1996; "Experience in Fragmentation Control", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 247-252.

Cunningham, C. V. B., 1983; "The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. In Proc. 1st Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting, R Holmberg ve A. Rustan (editör), 439-453.

Cunningham, C. V. B., 1996; "Lessons From The Compaphoto Technique Of Fragmentation Measurement" Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 53-57.

Cunningham, C. V. B., 1987; "Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model – four years on". Int. Proc. 2nd Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, W L Fournay & R D Dick (editör), 475-487.

Currie, J. M., 1973; "Unit Operation in Mineral Processing", Department of Chemical and Metallurgical Technology, Burnby, B.C.

Dahlhielm, S., 1996; "Industrial Applications Of Image Analysis – The IPACS System" Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 67-71.

Demenegas, V., 2008, "Fragmentation Analysis of Optimized Blasting Rounds in the Aitik Mine", Lulea University of Tehcnology, Master Thesis, 10-15.

Downs, D. C. ve Kettunen, B. E., 1996; "On-line Fragmentation Measurement Utilizing The CIAS System", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 79-82.

Doucent, C., 1995; "The Effect of Geology on Fragmentation in Small Development Headings", Master Thesis, McGill University, Montreal, 74.

Esen, S., Onederra, I. ve Bilgin, H. A., 2003; "Modelling The Size Of The Crushing Zone Around A Blasthole" Int. J. Rock Mechs. Min. Sci, 40, 485-495.

- Gonzalez, C. R. ve Woods, E. R., 1993; "Digital Image Processing", Addison -Wesley Publishing.
- Havermann, T. ve Vogt, W., 1996; "TUCIPS – A System For The Estimation Of Fragmentation After Production Blasts" Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 59-65.
- Hustrulid, W., 1999; "Blasting Principles for Open Pit Mining", A.A. Balkema, 112.
- Karakuş, D. 2007; "Görüntü Analiz Yöntemleri İle Kayaçların Yapısal Özelliklerinin Tanımlanması", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 27.
- Katsabanis, T., 1999; "Calibration of optical digital fragmentation measuring systems". In Proc ISEE 25th Ann Conf Expl & Blasting Techn., (2), 325-332.
- Kemeny, J. M., 1994; "Practical Technique For Determining The Size Distribution Of Blasted Benches, Waste Dump And Heap Leach Sites", Mining Engineering, **46 (11)**, 1281-1284.
- Kleine, T. H.ve Cameron, A. R., 1996; "Blast Fragmentation Measurement Using Goldsize", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 83-89.
- Kuznetsov, V. M. 1973; "The Mean Diameter of The Fragments Formed by Blasting Rock", Soviet Minin Science, **9(2)**, 144-148.
- Latham, J.P., Kemeny, J., Maerz, N., Noy, M., Schleifer, J., Tose, S., 2003; "A Blind Comparison Between Results Of Four Image Analysis Systems Using A Photo-Library Of Piles Of Sieved Fragments" Int J Fragmentation by Blasting, (7), 105-132.
- Lilly, P. A., 1986; "An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability", In Proc Large Open Pit Mining Conference, 89-92.
- Liu, Q. ve Tran H. 1996; "Comparing systems – Validation of Fragscan, WipFrag and Split. In Measurement of Blast Fragmentation", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 151,155.
- Mackenzie, A., 1967; "Optimum Blasting". Twenty-Eighth Annual Mining Symposium. University of Minnesota, Minneapolis, 181-188.
- Maerz, N. H., Palangio, T. C.ve Franklin, J. A., 1996; "WipFrag Image Based Granulometry System", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 91-98.
- Muhammad, A. R., 2009; "The Effect of Fragmentation Specification on Blasting Cost", Master of Science Thesis, Queen's University , 36-38.
- Nielsen, K. ve Kristiansen, J., 1996; "Blasting-Crushing-Grinding: Optimisation of an Integrated Comminution System". Rock Fragmentation by Blasting, Mohanty (editör), Balkema, -Rotterdam.
- Nielsen, K., 1999; "Mine through Mill reconciliation. Can we really make it happen". MINNBLAST 99. Minnesota, June 7-11, 1999.
- Ouchterlony, F. 2005; "The Swabrec Function: Linking Fragmentation By Blasting And Crushing. Inst. Min. Metall A . **114**: A29-A44.
- Raina, A. K., Choudhury, P. B., Ramulu, M., Chakraborty, A. K., Dudhankar, A. S., 2002; "Fragalyst – An Indigenous Digital Image Analysis System For Grain Size Measurement in Mines" Journal of The Geological Society of India, **59**, 561-569.
- Rosin, P. ve Rammler, E., 1933; "The Laws Governing The Fineness Of Powdered Coal" *J Inst Fuel*, (7), 29-36.
- Schleifer, J.ve Tessier, B., 1996; "FRAGSCAN A Tool To Measure Fragmentation Of Blasted Rock", Measurement of Blast Fragmentation, Franklin, J. A. ve Katsabanis P. D., (Editör), 73-78.
- Tunstall A. M. ve Bearman, R.A., 1997; "Influence of fragmentation on crushing performance". Mining Engineering, January 1997.
- Workman, L. ve Eloranta, J. 2003; "The effects of blasting on crushing and grinding efficiency and energy consumption". In *Proc ISEE 29th Ann Conf Expl & Blasting Techn*, 1, 131-140.