

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI
PARÇALANMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇOK SIRALI PATLATMA
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enver FERAH

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI
PARÇALANMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇOK SIRALI PATLATMA
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Enver FERAH
(505121016)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505121016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Enver FERAH**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI PARÇALANMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇOK SIRALI PATLATMA TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Türker Hüdaverdi**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Abdullah FİŞNE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Abdülkadir KARADOĞAN.....
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2016**
Savunma Tarihi : **08 Haziran 2016**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca her türlü yardımı bana sağlayan ve ilgisini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Türker Hüdaverdi'ye ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana yardımcı olan tüm İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürü borç bilirim.

Saha çalışmaları sırasında bana her türlü kolaylığı sağlayan Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Mühendislerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Öğrenim sürem boyunca manevi olarak daima yanımda bulunan değerli bölüm arkadaşlarım Cemalettin Erdoğan, Ezgi Toka ve Büşra Ertuğrul'a teşekkürü borç bilirim.

Her konuda daima yanımda olan beni her koşulda destekleyen ve bugünlere gelmemde büyük katkısı olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2016

Enver Ferah
Maden Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
2. ETİ MADEN KIRKA BOR İŞLETMESİNİN TANITILMASI.....	3
2.1 Bölgenin Tarihi	3
2.2 Coğrafi Konum.....	4
2.3 Jeolojik Yapı	5
2.3.1 Bölgenin formasyonu	5
2.3.2 Yapısal jeoloji ve cevherleşme	10
2.3.3 Genel mineraloji.....	11
2.3.4 Volkanizma ve boraks ilişkisi	13
2.3.5 Örtü ve cevherin kaya mekaniksel özellikleri.....	13
3. İŞLETMEDE UYGULANAN ÜRETİM YÖNTEMİ.....	15
4. PATLATMA İŞLEMLERİ	19
4.1 Patlayıcı Maddeler.....	19
4.1.1 Patlayıcı maddelerin tanıtılması.....	19
4.1.1.1 Emülsiyon patlayıcılar	19
4.1.1.2 Amonyumnitrat bazlı patlayıcılar	20
4.1.2 İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler	20
4.1.2.1 Yemlemeye duyarlı patlayıcılar	20
4.1.2.2 Kapsüle duyarlı patlayıcılar	22
4.2 Ateşleme Sistemleri.....	23
4.2.1 Elektrikli kapsüller	23
4.2.2 Elektriksiz kapsüller.....	23
4.2.3 İşletmede kullanılan ateşleme elemanları	24
4.3 Açık Ocak Basamak Tasarımı	24
4.3.1 İşletme için teorik patlatma tasarımı	25
4.3.2 İşletmede fiili uygulanan patlatma tasarımı	27
5. PARÇALANMA BOYUT ANALİZİ	29
5.1 KuzRam Modeli	29
5.2 KCO Modeli	30
5.3 Görüntü İşleme Yöntemi ile Parçalanma Analizi	31
5.4 Teorik Modeller ve Görsel Yöntemlerin Kıyaslanması	34
5.5 Boyut Dağılım Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	38

6. ÇEVRESEL ETKİLER	43
6.1 Yer Sarsıntıları ve Hava Şoku	43
6.2 İşletmede Ölçülen Titreşim ve Hava Şoku Değerleri	44
6.3 Ölçümlerin Değerlendirilmesi	46
6.3.1 Uzaklığa bağlı parçacık hızı	46
6.3.2 Uzaklığa bağlı ölçekli mesafe	47
6.3.3 Frekans-parçacık hızı ikilisi	48
6.3.4 Patlatma kaynaklı titreşimler için ön tahmin modeli	50
6.3.5 Hava şoku	55
7. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PATLATMA TASARIMI	57
7.1 2D Bench Basamak Patlatması Tasarım Yazılımı	57
7.2 Çok Sıralı Atım Tasarımı	59
7.2.1 Atım 1	59
7.2.2 Atım 2	62
7.3 Yığının Boyut Dağılımının Kestirimi	64
7.4 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı Kestirimi	65
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
8.1 Parça Boyut Dağılımının Değerlendirilmesi	67
8.2 Titreşim ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	68
8.3 Patlatma Tasarım Programının Değerlendirilmesi	68
KAYNAKLAR	71
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

ANFO	: Amonyum nitrat/Fuel-oil
KCO	: Kuznetsov-Cunningham- Ouchterlony Modeli
TNT	: Trinitrotoluen
OSMRE	: Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement
DIN	: Deutsches Institut für Normung
CMRI	: Central Mining Research Institute
JKMRC	: Julius Kruttschnitt Madencilik Araştırma Merkezi
NONEL	: Elektriksiz Ateşleme Sistemi
USBM	: United States Bureau of Mines



SEMBOLLER

Ca	: Kalsiyum
Na	: Sodyum
Mg	: Magnezyum
Al	: Alimunyum
B	: Bor
ppm	: Parts Per Million
HP	: Horse Power
V.O.D	: Velocity of detonation
I_b	: Şarj Konsantrasyonu
R₁	: Delik Eğilim Düzeltme Faktörü
R₂	: Kayaç Düzeltme Faktörü
c	: Kohezyon Katsayısı
dB	: Desibel
PPV	: Maksimum Parçacık Hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İşletme makine parkı	18
Çizelge 4.1 : İşletmede kullanılan patlayıcı maddelerin teknik özellikleri.	22
Çizelge 4.2 : İşletmede kullanılan kapsüller.....	24
Çizelge 4.3 : Farklı eğimler için maksimum dilim kalınlığı mesafesi düzeltme faktörü.	26
Çizelge 4.4 : Değişik kaya sabitleri için maksimum dilim kalınlığı mesafesi düzeltme faktörü.	26
Çizelge 4.5 : Olofsson'a göre hesaplanan teorik patlatma parametreleri	27
Çizelge 4.6 : İşletmede uygulanan atım parametreleri	28
Çizelge 5.1 : Farklı kayaç faktörlerinin kıyaslanması	35
Çizelge 6.1 : İşletmede Ölçülen Titreşim ve Hava Şoku Değerleri.....	45
Çizelge 6.2 : Langefors, Khilstörm ve Westerberg'in Parçacık Hızına Bağlı Hasar Sınıflaması.....	46
Çizelge 6.3 : Patlatma Hasar Kriterleri.....	46
Çizelge 6.4 : Parçacık Hızına Bağlı Hasar Kriterleri.....	46
Çizelge 6.5 : Değişik Mesafelerden İzin Verilen Maksimum Parçacık Hızı.....	47
Çizelge 6.6 : Uzaklığa Bağlı Olarak İzin Verilebilen Maksimum Ölçekli Mesafe Değerleri.....	47
Çizelge 6.7 : OSMRE'ye göre maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.....	48
Çizelge 6.8 : DIN 4150 standartlarına göre maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.	48
Çizelge 6.9 : Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.	49
Çizelge 6.10 : Farklı araştırmacılar için ölçekli mesafe yaklaşımları	50
Çizelge 6.11 : Farklı ölçekli mesafe formülleri ile elde edilen SD değerleri.	51
Çizelge 6.12 : Farklı tahmin modellerinin başarısı.....	55
Çizelge 6.13 : Hava şoku değerlerinin çevreye olan etkileri.	56
Çizelge B.1: Patlatma tasarım parametreleri	84



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kırka yer bulduru haritası.	4
Şekil 2.2 : Kırka bor işletmesinin görüntüsü.	5
Şekil 3.1 : İşletmedeki üretim.	15
Şekil 3.2 : İşletme tüvenan cevher silosu.	17
Şekil 4.1 : İşletmede kullanılan kuru ANFO.	21
Şekil 4.2 : İşletmede kullanılan emülsiyon tip patlayıcı.	22
Şekil 4.3 : İşletmede kullanılan kapsüle duyarlı patlayıcı.	22
Şekil 4.4 : Açık ocak basamak patlatması tasarımı.	25
Şekil 5.1 : Dikey olarak çekilen ölçekli fotoğraf.	32
Şekil 5.2 : Açılı olarak çekilen ölçekli fotoğraf.	32
Şekil 5.3 : Digital ortamda fotoğraf ağlama işlemi.	33
Şekil 5.4 : Digital ortamda boyut kontrolü.	33
Şekil 5.5 : Bir atım için parça boyut dağılım eğrisi.	34
Şekil 5.6 : Wipfrag ve KuzRam x50 değerlerinin kıyaslanması.	36
Şekil 5.7 : Wipfrag ve KuzRam xc değerlerini kıyaslanması.	36
Şekil 5.8 : Wipfrag ve KuzRam n değerlerinin kıyaslanması.	37
Şekil 5.9 : Atım 1 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.	38
Şekil 5.10 : Atım 6 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.	39
Şekil 5.11 : Atım 11 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.	40
Şekil 5.12 : Atım 14 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.	41
Şekil 6.1 : MiniMate Plus Cihazı İle Arazi Ölçümü.	44
Şekil 6.2 : Atım 6 için elde edilen maksimum düşey, enine ve boyuna parçacık hızları ve frekans ilişkisi.	49
Şekil 6.3 : Atım 9 için elde edilen maksimum düşey, enine ve boyuna parçacık hızları ve frekans ilişkisi.	50
Şekil 6.4 : USBM için regresyon analizi.	52
Şekil 6.5 : Långefors-Kihlström için regresyon analizi.	53
Şekil 6.6 : Indian Standards için regresyon analizi.	53
Şekil 6.7 : Ambraseys-Hendron için regresyon analizi.	54
Şekil 6.8 : CMRI için regresyon analizi.	54
Şekil 7.1 : JKSimblast yazılımı ile oluşturulan delik düzeni.	58
Şekil 7.2 : Patlatma tasarım parametreleri.	58
Şekil 7.3 : Delik içinde kullanılan patlayıcının yazılımdaki görüntüsü.	59
Şekil 7.4 : Delik dibi gecikmeli kapsülün görünümü.	59
Şekil 7.5 : Atım 1 için orta kısımdan açılan bir patlatma tasarımı.	60
Şekil 7.6 : Atım 1 için zaman konturları.	60
Şekil 7.7 : Atım 1 için atım süresi boyunca patlayan delik sayısı.	61
Şekil 7.8 : Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımının gösterimi (kg/t).	61
Şekil 7.9 : Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t).	62
Şekil 7.10 : Atım 2 için çok sıralı patlatma tasarımı.	62
Şekil 7.11 : Atım 2 için zaman konturları.	63

Şekil 7.12 : Atım 2 için atım süresi boyunca patlayan delik sayısı.	63
Şekil 7.13 : Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (kg/t).....	64
Şekil 7.14 : Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t).	64
Şekil 7.15 : KuzRam ile oluşturulan parça boyut dağılımı.....	65
Şekil A.1 : Atım 2 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	75
Şekil A.2 : Atım 3 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	75
Şekil A.3 : Atım 4 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	76
Şekil A.4 : Atım 5 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	76
Şekil A.5 : Atım 7 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	77
Şekil A.6 : Atım 8 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	77
Şekil A.7 : Atım 9 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	78
Şekil A.8 : Atım 10 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	78
Şekil A.9 : Atım 12 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	79
Şekil A.10 : Atım 13 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	79
Şekil A.11 : Atım 15 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	80
Şekil A.12: Atım 16 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	80
Şekil A.13 : Atım 17 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	81
Şekil A.14 : Atım 18 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması	81
Şekil B.1 : Deliklerin ateşleme sırası ve kullanılan yüzey gecikmeleri	83
Şekil B.2 : Delik içi ateşleme zamanı	84
Şekil B.3 : Zaman Konturları	84
Şekil B.4 : Deliklerin atım süresince ateşleme zamanı	84
Şekil B.5 : Enerji dağılımı kg/t	85
Şekil B.6 : Enerji dağılımı MJ/t	85
Şekil B.7 : Üç farklı kesite ait enerji dağılımı	86
Şekil B.8 : KuzRam parça boyut dağılım eğrisi	86

ETİ MADEN KIRKA SARIKAYA OCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI PARÇALANMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇOK SIRALI PATLATMA TASARIMI

ÖZET

Patlatma açık ocak madenciliğinde en sık uygulanan üretim yöntemlerinin başında gelir. Bu amaçla kullanılan patlayıcı maddeler ile kazılması zor kayaç gevşetilir veya parçalanır. Patlatma sonrası oluşan parçalanmış kayacın boyutları çalışma verimliliği açısından önem taşır. İyi parçalanmamış zeminler için ikinci bir atım yapılması gerekebilir. Bu açıdan kayaç parçalanma analizlerinin dikkatle yapılması gerekmektedir.

Patlayıcı maddelerin ateşlenmesi ile ortama büyük çaplı bir enerji salınımı gerçekleşir. Bu salınımlar sonucu başlıca yer sarsıntısı ve hava şoku olmak üzere çevresel olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin titizlikle ölçülmesi ve minimum seviyeye çekilmesi gereklidir.

Bu tez kapsamında, saha çalışmaları Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya açık ocağında gerçekleştirilmiştir. Sahanın jeolojik yapısına değinildikten sonra işletmedeki üretim yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve patlatma tasarım parametreleri, kullanılan patlayıcılar, ateşleme elemanları ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda işletme için teorik bir patlatma tasarımı hazırlanmış ve sahada uygulanan fiili parametreler ile kıyaslanmıştır.

İşletmede atımlar sonrası yağının parça boyut dağılımı görüntü işleme yoluyla analiz edilmiştir. Ayrıca KuzRam ve KCO modelleri ile her bir yığının boyut dağılımı tahmin edilmiş ve ortalama parçalanma boyutu, karakteristik boyut ve uniformite katsayıları hesaplanmıştır. Görüntü işleme ile elde edilen sonuçlar ile parçalanma tahmin modelleri karşılaştırılmış; KuzRam ve KCO modellerinin Sarıkaya ocağında pratik olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Sahada yapılan atımlar sonucu oluşan çevresel etkilerin tespiti için, yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Burada ölçülen değerler çeşitli standartlar ve hasar kriterleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Uzaklık, maksimum parçacık hızı, ölçekli mesafe ve frekans değerleri kullanılarak ölçümler analiz edilmiş ve atımların oluşturduğu çevresel etkiler irdelenmiştir.

Son olarak Sarıkaya ocağı için açık ocak patlatma tasarım programı ile işletmede uygulanan atım parametrelerine sadık kalınarak çok sıralı patlatma tasarımları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu tasarımlar ile yapılacak atımların enerji dağılımları, atımların yığılma yönleri gösterilmiş ve program yardımıyla parça boyut dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca yazılım yoluyla yer sarsıntısı analizleri gerçekleştirilmiştir.



EVALUATION OF ROCK FRAGMENTATION BY BLASTING AND DESIGNING MULTI-ROW BLASTS FOR ETI MINING KIRKA SARIKAYA MINE

SUMMARY

Blasting is the most common rock excavation and production method that is applied in both surface and underground mines. Size distribution of muckpile affects all downstream processes such as, loading, transportation, crushing etc. Optimum fragmentation also eliminates secondary blasting needs. Therefore, analysis of blast fragmentation should be performed for an efficient mining operation.

Some of the explosive energy is used for rock breakage. Some of the explosive energy creates environmental adverse effects. Main environmental effects of blasting are ground vibration and airblast. Ground vibration and airblast measurements should be performed regularly and environmental effect of rock blasting should be kept a minimum level.

The purpose of this thesis is evaluation of blast fragmentation by site measurements and the fragmentation models. Also, ground vibration and airblast levels were measured and analyzed. The other target of this study is the creation of a multi-row blast design using computer aided design technique.

In this thesis, all data were collected in Eti Mining Kırka Boron Works Sarikaya open pit mine. Rock formation, production method, blast design, explosives used and explosive properties were investigated in detail. A theoretical blast design was calculated for Eti Mining Sarikaya Mine.

Sarikaya mine contains borate formation in central parts and it contains clay, carbonate, silica and tuffaceous rocks. Center of the unit is relatively flat and at the north it has quite rugged terrain and at the north-east and south-west it is observed as erosion remains high on the hill. The thickness of the unit ranges between 150-300 m and the thickness diminishes from central of area which includes borate to sides and different types of minerals are observed in borate zone.

Borate zone in Sarikaya formation are covered with Tincal (Borax), a sodium borate mineral. Tincal zone is approximately 3500 m from north to south and it is about 800 m width from east to west. It has 50 m overburden thickness and about 70 m ore. The grade of Tincal is rich at the north side of mine, 26-29% B_2O_3 . Low grade ore contains 20-23% B_2O_3 .

In this thesis, totally 18 bench blasts were observed. All the blast design parameters, bench height, burden, spacing between holes, stemming length, subdrilling, were strictly measured for each blast. Rock mass condition was examined for each bench.

Hole diameter was 160 mm and hole length was 11m in Sarikaya mine. Holes are generally drilled as a single row. Numbers of the holes are determined according to production rate. Measured burden was 4.5-5 m. Spacing between holes was 5.5-6 m.

Stemming length was 3 m. Blast holes were generally drilled as single row. Theoretical blast design was calculated by Olofsson's approach. The measured and calculated blast design parameters were compared. In the mine, ANFO is charged for dry holes and emulsion type explosive is used for wet holes.

In this study, image analysis software was used to determine size distribution of blast muckpile. Additionally, most applied fragmentation models, KuzRam and KCO, were used to predict size distribution of muckpile. The results of KuzRam and KCO models were compared. KuzRam model was established 1973 by combining Kuznetsov's mean particle size prediction formula and Rosin Rammler size distribution curve. Also, a uniformity index is calculated using blast design parameters.

Kuznetsov-Cunningham- Ouchterlony (KCO) model was created in recent years by Ouchterlony. The researcher proposed KCO model especially to define the fine size fraction of size distribution curve more precisely. KCO model utilizes Kuznetsov's mean particle size prediction formula. However, KCO model uses a different curve equation to represent particle size distribution.

First phase of image analysis is taking photograph from muckpile for rock fragmentation analysis on computer. Photographs were captured from different parts of muckpiles for an efficient analysis. Image sampling is done in two ways: Surface to be measured may be perpendicular to the line of observation or tilt images is captured. A scale should be replaced on the muckpile during image sampling. One scale might be enough for vertical images. Tilt images need at least two scales. First scale is replaced lower part of muckpile, second scale is replaced upper part of muckpile.

All photographs are transferred to digital media after image sampling is done. Image analysis software creates a net for each image automatically. Then size of each rock fragments is determined based on the size of the scale. Software draw particle size distribution curve and calculates uniformity index, average size, sphericity etc. In this study, several images were captured from different parts of the muckpile. The results of the each analysis were combined and a single merged size distribution curve was created for each muckpile.

A rock factor is needed to determine average particle size for KuzRam and KCO fragmentation models. In this thesis, measured particle size distribution curve was used to determine optimum rock factor value. The effect of the variation in rock factor on the mean particle size was also investigated.

According to image analysis results, mean fragment size varies between 30.63 and 49.21 cm. Characteristic size is 38.03-61.66 cm. Uniformity index is between 1.57 and 1.98 cm. Size distribution curves obtained by KuzRam, KCO and image analysis technique are in accordance with each other. Calculated mean fragment size, characteristic size and uniformity index values by fragmentation models are close to the measured values. Especially, KuzRam model made successful predictions for size distribution. Mean deviation between measured and predicted mean fragment size is 3.81 cm. Mean uniformity index value calculated by KuzRam model is 1.52. Uniformity index values calculated by KuzRam model are lower than measured uniformity index by image analysis. Generally KCO model overestimates the fine size.

It is very important to minimize the environmental effects of rock blasting. Optimum blast design should be created considering environmental adverse effects. Ground vibrations and airblast levels are measured by blasting seismograph in Sarikaya Boron mine. Blasting seismograph can measure vertical, horizontal and transverse components of ground vibration. Airblast levels are measured by a linear microphone. Measured values were analyzed by Blastware 8 software. Blast vibration was evaluated considering several vibration damage criteria. The measured frequencies were also examined and peak particle velocity versus frequency graphs were created based on US Bureau of Mines and DIN norms. The measured ground vibration were under limit values. Scaled distance approach was explained. Vibration prediction equations were created using five different scaled distance approach. Efficiency of vibration prediction equations was compared by absolute error.

In this thesis, JKSimblast computer software is used to create multi-row blast designs. The software parameters were taken same as used in the field and explosives were chosen according to blast hole condition. Different delay patterns were applied and face displacement direction was investigated using the initiation time contours. Maximum instantaneous charge and total detonation duration were determined. Non-electric detonators were used as initiation system. Energy distributions were calculated for each blast and energy densities for cross sections are determined.

The software was also used to create KuzRam Fragmentation Model. The site constants obtained by on-site ground vibration measurements were used to predict ground vibration. It is concluded that blast design software will be helpful for site engineers.

1. GİRİŞ

Patlatma, madencilikte sıklıkla kullanılan kayaç kazı ve üretim yöntemidir. Patlatma kaynaklı parçalanmanın tespiti maden ocaklarının çalışma verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Uygun parçalanmanın elde edilmesi yükleme, taşıma ve kırma faaliyetlerinde verimlilik artışı sağlayacaktır. Diğer yandan patlama kaynaklı titreşimlerin minimum seviyede olması çevresel açıdan büyük önem arz etmektedir. Çevresel sorunların önüne geçebilmek için uygun bir patlatma tasarımı yapmak gerekmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ve daha çok bilgisayar ortamında çalışılmaya başlanması ile patlatma tasarımları için yazılımlar geliştirilmiştir. Patlatma tasarımının yazılımlar yoluyla gerçekleştirilmesi atım sonuçlarının önceden kestirilmesi açısından avantaj sağlayacaktır. Denemeler yoluyla gerçekleştirilen tasarım değişikliklerinin sonuçlarını görmek için arazide tam boyutlu atım yapılması gerekmektedir. Oysaki patlatma tasarım yazılımlarıyla simülasyon gerçekleştirmek ve bütün olası sonuçları bilgisayar ortamında önceden görmek mümkündür. Böylece deneme atımlarıyla oluşacak maliyet engellenebilir. Tasarım programları bütün verilerin kaydedilmesi açısından da fayda sağlayacaktır. Patlatma verileri için ayrıca bir dokümantasyon yazılımına ihtiyaç olmayacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, Eti Maden Kırka Bor İşletmesinde yapılan atımlar sonucu oluşan yığın parçalanmasının tespiti; ortaya çıkan titreşim ve hava şoku değerlerinin belirlenerek çevresel etki açısından değerlendirilmesi ve işletme için bilgisayar ortamında uygun atım tasarımlarının oluşturulmasıdır.



2. ETİ MADEN KIRKA BOR İŞLETMESİNİN TANITILMASI

2.1 Bölgenin Tarihi

İşletmenin kuruluş gayesi; ülkemizin yeraltı zenginlikleri içerisinde önemli bir yeri olan Bor cevherlerini aramak, işletmek, zenginleştirmek ve gerektiğinde bunlardan kimyasal işlemlerle Bor bileşiklerini üretmektir.

Dünyanın en büyük Boraks yatağı ve rezervinin önemli bir bölümünü oluşturan Kırka-Sarıkaya Boraks yatağı; 1950-1960 yılları arasında Türk Vatandaşları tarafından bulunmuş, 1962 yılında tüm ruhsatlar Türkiye'deki boraks yataklarına sahip olan, İngiliz Boraks Consolidated Ltd. şirketinin eline geçmiştir. Kırka Sodyum Tuzu yataklarından üç tanesinin işletme imtiyazı, 1968 yılından itibaren çeşitli tarihlerde Etibank'ın uhdesine geçirilmiştir. Bu zengin yatakları işletmek üzere, gerekli proje çalışmalarına 1969 yılında başlanmış, 1970 yılında da tesislerin kurulmasına başlanmıştır.

Eskişehir'in Seyitgazi ilçesine bağlı Kırka beldesinde yer alan Kırka Bor İşletmesi, 1970 yılında kurulmuştur.

1970 yılında Şantiye teşkilatı ile başlayan kuruluş 1972 yılında konsantratör'ün temelinin atılması ile tesis statüsüne kavuşmuş, konsantratörün devreye alınması ile 1975 yılında işletme statüsünde faaliyet göstermeye başlamıştır. İşletme Müdürlüğü 01.04.1979 tarihinden itibaren Kırka Boraks İşletmesi Müessesesi Müdürlüğüne, yeni yapılanma neticesinde de 01.05.1998 tarihinden itibaren İşletme Müdürlüğü haline dönüştürülmüştür. 31.01.2004 tarihi itibarıyla de Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Kırka Bor İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir.

Şu anda çalışan 4 tesiste Etibor- 48 (boraks pentahidrat) üretimi yapılmaktadır. 5. Bor Türevleri Tesisinin de yapımı devam etmekte olup 2015 yılı içinde devreye alınacaktır. Ayrıca 2014 yılı içinde Etimatik Borlu Temizlik Ürünü üretimine de başlanmıştır. 30.000 ton kapasiteli kompaktanmış kalsine tinal üretim tesisi yatırımı ise halen devam etmekte olup, 2015 yılı içerisinde devreye alınacaktır. [1]

2.2 Coğrafi Konum

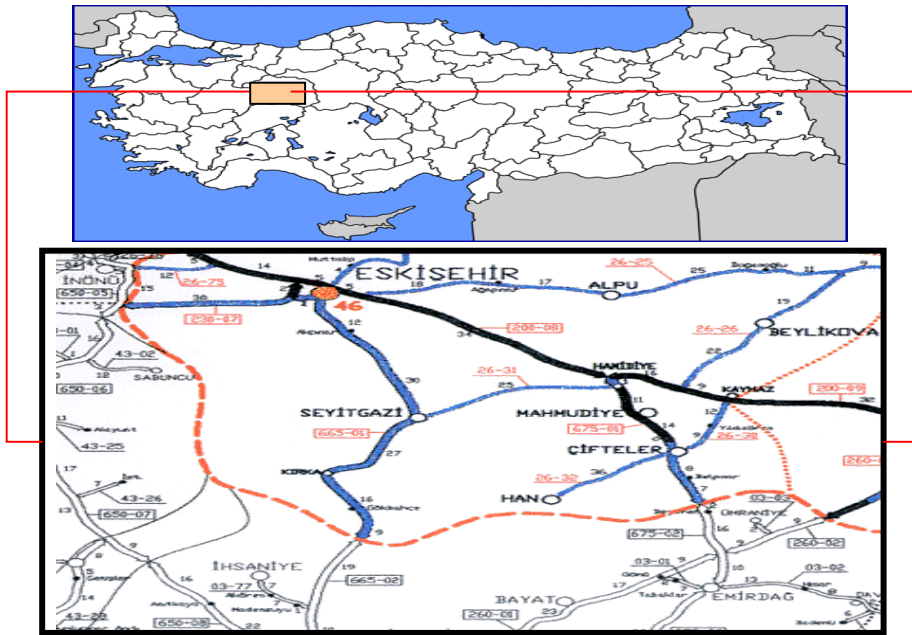
Kırka, Türkiye topraklarında Eskişehir ilinin Seyitgazi ilçesine bağlı bir bucaktır. Kırka Bucağı, kuruluş tarihi kesin olarak belli olmayıp, edinilen bilgilere göre 1634 yıllarına dayanmaktadır. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü ise, Eskişehir ilinin 70 km. güneyindeki Kırka bucağının 4,5 km. batısında bulunmaktadır.

Kırka, boraks madeninin bulunmasından sonra hızlı bir şekilde büyümüşür.

1959 Yılında Boraks madeni bulunmuş,1962 yılında da İngilizler tarafından işletilmeye başlanmıştır. 1969 yılında Etibank Madeni İşletmeye almış, dolayısıyla Kırka'nın büyümesi hızlanmıştır.

Gün geçtikçe belde çevrenin cazibe merkezi olmuş ve bu nedenle nüfus oranı sürekli artmıştır.1972 yılında 2100 olan nüfus 2000 yılında 5000 ve bu gün itibarıyla 6300 civarındadır.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü; Eskişehir ili, Seyitgazi ilçesi, Kırka beldesinin 4,5 km batısında Sarıkaya bölgesinde bulunmaktadır. Kırka yer bulduru haritası Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Kırka yer bulduru haritası.

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, hukuku ana teşekkülümüze ait olan İR-3825 sicil ve 32800 ruhsat numaralı saha içinde, Kırka-Sarıkaya bölgesinde bulunan bir adet açık ocakta dekapaj ve üretim faaliyetlerini yürütmektedir. İşletme sahasının doğusundan Eskişehir-Afyon mesafedeki Değirmenözü istasyonu ile yapılmaktadır.

Bölgede kara iklimi hüküm sürmekte olup, kışları soğuk, yazları sıcak ve kurak geçmektedir. Sahanın kuzeybatı ve güney bölümleri ormanlık olup, doğusu bitki örtüsüne sahip değildir.

Çalışma sahası, batı tarafında Kertil Tepe (1263 m), Kuşkayası Tepe (1286 m) ve Koca Tepe (1307 m)'den meydana gelmekte olup, bunların eteklerinden Lepçekdere'ye kadar arazi fazla engebeli değildir. Diğer bir deyişle, arazi ulaşım açısından hiçbir sorun yaratmamaktadır. İşletmenin görüntüsü Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2. 2 : Kırka bor işletmesinin görüntüsü.

2.3 Jeolojik Yapı

2.3.1 Bölgenin formasyonu

Bölgenin kabaca istifi: Volkanosedimanter gölsel basenin tabanını, değişik yaş ve litolojideki Miyosen Öncesi Temel Kayaçlar ile Alt Miyosen yaşlı Volkanik Kayaçlar oluşturmaktadır. Bu istif, formasyon mertebesinde beş litostratigrafik birime ayrılmıştır. Bu formasyonlar alttan üste doğru; Temel Kayaçlar, İdrisyayla Volkanitleri, Karaören Formasyonu, Sarıkaya Formasyonu, Türkmen Dağı Bazaltı, Fethiye Formasyonu, Kuvaterner Oluşukları.

Temel Kayaçlar, miosen öncesi yaşlı, metamorfik, kristalize kireçtaşı ve fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin alt sınırı gözlenememekte; üstüne ise, uyumsuz olarak Karaören Formasyonu gelmektedir. Birim, gölsel sedimanter istifin tabanında yükselti oluşturarak baseni çevrelemek suretiyle paleogölün yayılımını sınırlamaktadır. Muhtemel dizilimi aşağıdan yukarıya doğru; Metamorfikler (yeşil renkli şistler ve meta-kumtaşları), Kristalize kireçtaşları (gri,siyah renkli, yer yer mermerleşmiş), Fosilli kireçtaşları (bol nummulites içeren, sarı renkli) olarak sıralanmaktadır.

İdrisyayla Volkanitler, neojen yaşlı sedimanter istifin tabanında yer alırlar ve üç ana evrede oluşan volkanizmanın ürünüdürler. Neojen gölüne, Temel kayaçlar ile birlikte set ve paleotopoğrafya oluşturmaktadır. Birim, kendi içinde aşağıdan yukarıya doğru, pembe-kırmızı bazen de yeşil-siyah renkli andezitler, beyaz-mor-siyah renkli tabakalı riyolitler, kırmızı-kahverengi, köşeli, kenarları keskin olan volkanik lav çakıl ve bloklarının meydana getirdiği riyolitik volkanik breşten oluşmaktadır.

Formasyonun kalınlığı gerek alt ve üst sınırlarında belirlenen uyumsuzluk gerekse de yerleşimi bakımından belirlenememiştir. Birimin yaşı Alt Miyosen (Burdigaliyen)'dir. Birim, andezitten riyolite kadar değişim gösteren magmatik seriyi temsil etmektedir. Riyolitik breşler ise, bu dizilimin tuf püskürmesinden (Karaören Formasyonunun oluşumu) önceki otoklastik ürünlerini yansıtmaktadır. Bölgede, kuzeyde gözlenen perlitleşmeler ise, volkanizmanın lav ürünlerinin sulu bir ortama aktığına işaret eder.

Karaören Formasyonu, bölgede ilk volkanosedimanter birimidir ve Riyolitik bileşimli, kahverengi karasal tüfler, kırıntılı, karbonatlı ve silisli kayaç ara katkıları içeren gölsel riyolitik tüflerle temsil edilmektedir. Karasal tüfler, bölgenin güneyinden Afyon'a kadar uzanmakta ve az engebeli bir topoğrafya oluşturmakta olup, kalınlığı yaklaşık 150 m. olarak belirlenmiştir.

Gölsel tüfler, karasal tüflere göre daha geniş bir alanı kaplamakta ve genellikle sarp yamaçlı vadilerin içinde üstteki genç birimlerin aşınması ve faylanmalar neticesinde yüzeylenmektedir. Kalınlığı 170 m olarak belirlenmiştir. Temel Kayaçlar (Kristalize kireçtaşları) üzerinde uyumsuzlukla yer alan birimin üst sınırı Sarıkaya Formasyonunun kireçtaşları ile uyumlu olarak örtülmektedir. Bölgede birimin alt dokanağı belirlenememiş ancak; daha yaşlı birimlerle uyumsuz ilişkileri saptanmıştır.

Tüfler içinde gözlenen kimyasal kayaçlar daha çok basenin merkezinde; kırıntılı olanlar ise, kenar ve/veya temel ve taban kayaçlarının yüzelediği kesimlerde bulunmaktadır. Karaören Formasyonunun karasal tüfleri, temel kayaçlar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Üst sınırı da yine bu fasiyesten türeyen resedimante tüf/tüfitlerle (Fethiye Formasyonu) örtülmektedir. Karaören Formasyonunun gösel tüfleri, aşamalı sedimantasyonla İdrisyayla volkanitleri, bazı yerlerde de temel kayaçlar üzerine uyumsuz olarak gelmekte; üst sınırı ise, Sarıkaya Formasyonu ile belirlenmektedir. Formasyonun yaşı Alt Miyosen (Burdigaliyen)'dir.

Tüflerin çeşitli seviyelerinde gözlenen kimyasal ve kırıntılı kayaç ara katkıları, püskürmenin tekrarlandığını, gösel ortamın kesikli olarak volkanik kaynak veya kaynaklardan beslendiğini göstermektedir. Ayrıca, kuzeyden güneye doğru tüflerdeki pomzalarda ve kuvarslarda gözlenen tane boyu artışı ve bolluğu, volkanik kaynağın güneyde bulunduğu yorumlanmıştır. Tüfler, özellikle de tüfitler, içerisinde volkanik kayaç parçacıklarının bulunması, temel kayaçlar ile birlikte havzanın taban paleotopoğrafyasını oluşturan İdrisyayla Volkanitlerinin, sedimantasyon sırasında su üstünde kalan kısımlarının basene kırıntılı malzeme verdiği anlaşılmıştır. Ayrıca, taban kayaçları bölgede birbirlerine bağlı veya bağımsız küçük havzacıkların ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur.

Sarıkaya Formasyonu, orta kesimlerinde borat oluşumları içeren killi, karbonatlı, silisli ve tüflü kayaçlardan oluşmaktadır. Birim, havzanın merkezinde nispeten düz, kuzeyinde oldukça engebeli bir topoğrafya oluşturmakta ve bölgenin Kuzeydoğu ve Güneybatı'sında yüksek tepelerin üzerinde erozyon kalıntısı biçiminde izlenmektedir. Birimin kalınlığı 150-300 m (ort. 230 m) arasında değişmekte olup, boratların yer aldığı basenin merkezi kesimlerinden kenarlara doğru kalınlığı azalmaktadır.

Birimin ana litolojisini oluşturan killi-karbonatlı kayaçlar, dikey ve yanal yönde birbirlerine sık sık geçiş göstermekte, hatta mm seviyesinde kil/karbonat oranı sürekli değişmektedir. Boratlı zonda değişik türde mineraller gözlenmektedir. Yatak içinde alttan üste doğru Ca, Na-Ca, Na, Na-Ca, Ca borat biçiminde dizilim mevcuttur. Sarıkaya Formasyonunun alt sınırı Karaören Formasyonu ile uyumlu, İdrisyayla Volkanitleri ve Temel kayaçlar ile uyumsuzdur. Üst sınırı ise, Fethiye Formasyonu ile açılı uyumsuzlukla örtülmekte, Türkmen Dağı Formasyonu (bazalt) ile kesilmektedir.

Sarıkaya Formasyonunu oluşturan birimler Orta-Üst Miosen'de çökelmişlerdir. Formasyon, gölsel ortamlardaki kimyasal ve kısmen de piroklastik çökelmenin ürünlerini yansıtmaktadır. Birimin özellikle boratlı kesiminde bulunan yer yer bozunmuş pomza parçaları içeren kilttaşları, toz boyutundaki ince piroklastiklerin ise bütünüyle hidrolize olması ve sonra da karbonatla birlikte çökmesi durumu diğer bir ifadeyle boratların oluşumu sırasında volkanizmanın çökme ile eş zamanlı ve aralıklarla devam ettiğini göstermektedir. Borat katmanları volkanizmanın hidrotermal getirimleri sonucunda oluşmuşlardır. Borat yatağının merkezi kesimindeki kalınlık artışı ve mercak biçimindeki oluşumu ise, volkanizma ve evaporasyon sisteminin belirli dönemlerde tekrarlanarak devam ettiğini göstermektedir.

Türkmen Dağı Bazaltı, bölgedeki üçüncü ve son volkanik evreyi temsil etmekte ve bazaltik lavlardan oluşmaktadır. Birimin alt ve üstünü sınırlayan uyumsuzluk ve yerleşimi itibariyle kalınlığı tam olarak belirlenememiştir. Yaşı ise, Üst Miosen (Tortaniyen) olarak belirlenmiştir.

Fethiye Formasyonu, bütünüyle Karaören Formasyonunun karasal tüflerine ait silt-kum boyunda parçalardan oluşmaktadır. Üst seviyelerde ise, tüflü bağlayıcı malzeme içinde Sarıkaya Formasyonu'nun kireçtaşı ve çörtlerle temsil edilen çakıllarının miktarı ve tane boyu artmaktadır. Kısaca karasal ve gölsel tuf kırıntıları içeren resedimante tuf-tüfitten oluşmaktadır.

Güneyde Karaören ve Sarıkaya Formasyonları, batıda ise Temel Kayaçlar ve Sarıkaya Formasyonu üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Üst sınırı, aşınma yüzeyi ile yer yer de Kuvaterner oluşukları ile sınırlanmaktadır. Ortalama 100 m. kalınlığında olan birimin yaşı Pliosen'dir.

Kuvaterner oluşukları, köşeli, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda, pekişmemiş, kendinden daha yaşlı birimlerin sedimanlarından oluşmaktadır. Kalınlığı, Kırka Ovası'nda 20 m'yi bulmaktadır.

Açık Ocak bölgesini içerip, borat yataklarını içinde bulunduran tortul kayaçların istifini şu şekilde sıralayabiliriz:

Genç alüvyonlar, neojen tortullarının üzerinde Lepçek dere ve Koca dere boyunca gözlenen alüvyonlardır.

Resedimante tüfit, çalışma sahasının doğusundaki Kırka nahiyesine bakan düzlüklerde görülür. Daha genç oluşumlar olup, civardaki tüflerin bu bölgeye taşınıp tekrar sedimante olmasıyla meydana gelmişlerdir. Kırka Formasyonu olarak da adlandırılırlar.

Üst kalker serisi, Kil-marn serisinin üstünde yer alan, 30-50 m. arasında kalınlık gösteren örtü tavan kalkerlerinin alt seviyeleri genellikle yumuşak beyaz kitleler halindedir. Yumuşak mikrokristalin kalkerlerin üstünde beyaz silisli mikrokristalin kalkerler yer alır. Silis oluşumları ince bantçıklar veya şeritler halinde bulunur.

Bu bantçıkların kalınlığı 20-100 cm arasında değişir. Yumuşak kalkerler silisli mikrokristalin kalkerler ile birlikte üst seviyelere doğru aralanmalı olarak devam ederler.

Kil-Marn serisi, borat serisinin üstünde ince bir kil seviyesi ile başlar, daha sonra marnlı seviyelerle devam eder. Üst seviyelere doğru kilin azalması nedeniyle killi marn üzerinden killi kalkere dönüşür. Bu seviyeye Kil-Marn serisi denilmiş olup, kalınlığı 20-35 m arasındadır.

Borat serisi, marn-kil serisinin üstünde, genellikle muhtelif bor mineralleri ihtiva eden (üleksit, kolemanit gibi) killi bir seviye ile başlar. Bu killi seviyenin kalınlığı 3-5 m arasında değişmektedir. Bunun üzerinde esas borakslı seviye gelmektedir ki içinde yer yer ince marn-kil ve tüf arakatlari bulunduran bu serinin kalınlığı 2-150 m arasında değişmektedir. Bu kısımda üç tip cevher gözlenmekte olup, bunlar; bantlı, breşik ve camsı cevher tabirini kullandığımız masif oluşumlardır. Bu seviyede bulunan bor mineralleri: Üleksit, kolemanit, kurnakovit ve inderittir. Kalınlıkları 5-20 m arasında olup üleksitçe yoğun killi yapılar daha yoğundur.

Marn-Kil Serisi, taban kalkerinin hemen üstünde kalkerli marn olarak başlar, üst seviyelere doğru kil yüzdesi artar, killi marnlara geçiş gösterir. Kil yüzdesinin üst tarafa doğru artmasından dolayı yatakların dibinde bulunan bu kayaç serisine marn-kil serisi denilmekte olup, kalınlığı 25-35 m arasında değişmektedir.

Alt kalker serisi, gözenekli bir yapıya sahip olup, yer yer az miktarda silis oluşumları içerir. Renkleri krem ve gri arasında değişir. Gözeneklerde kalsit, opal, kalsedon oluşumlarına rastlanılır. Bunlar gözeneklere sızan çözeltilerin meydana getirdiği yeni oluşumlardır. Taban kalkerleri üst seviyelere doğru kalın levhalar halinde devam eder. Yapılan sondajlarla bu seri geçilememiş ancak, içinde çok kısa ilerlemeler

kaydedilmiştir. Çalışma bölgemizin Güneyinde Kaya Boğazı denilen mevkide mostra verirler. Alt kalker serisi Miyosen’de oluşmuşken, genç alüvyonlar, resedimente tüfit, kil-marn serisi, borat serisi ve marn-kil serisi Pliosen’de oluşmuştur. [1]

2.3.2 Yapısal jeoloji ve cevherleşme

Genelde Neojen çökelleri eski temel olan kıvrımlı karmaşık şistler üzerinde uyumsuz olarak oturmakta olup, eski temelin kıvrımları kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunu vermektedir. Çalışma bölgesinde, taban kalkerlerinin üzerindeki tabakalarda kıvrımlara rastlanmaz. Bunlar yataya çok yakın konumludur. Genellikle NW-SE doğrultulu; eğimleri ise, 40-100 arasında güneydoğu ve kuzeybatı’dır. Taban kalkerleri ise, kıvrımlıdır. Üst seviyeler bunun üzerine uyumsuz olarak oturur. Kaya Boğazı mevkiinde mostra veren taban kalkerleri bu bölgede antiklinal çekirdeği gibi yükselmektedir. Bu antiklinalin ekseni Kaya Boğazından itibaren Kuzey-Güney yönünde uzanır.

İnceleme sahasındaki mevcut faylar genç formasyonlar ve bitki örtüsü ile gömülü olduğundan, bunların yüzeyden takibi mümkün değildir. Faylar daha çok sondaj kesitlerinin tetkiki ve korelasyonu ile Açık Ocak bölgesinde yapılan gözlemler neticesinde değerlendirilerek, muhtemel faylar olarak geçirilmiştir. Faylar genelde eğim atımlı normal fay tipinde olup, Kuzey-Güney ve kuzeydoğu ve güneybatı istikametlerinde uzanırlar. Bu faylar bor düzeylerinin parçalanmasını ve bu zonlarda ayrışmasına sebep olmuştur. Yapısal süreçler değişik bor düzeylerinde kuzeybatı - güneydoğu eksen yönlü kıvrımlanmaları da üretmiştir.

Bugünkü Açık Ocak bölgesi, batısından ve doğusundan geçen iki ana fay ile kesilmiş bulunmaktadır. Bu faylardan Açık Ocak bölgesinin Batısından geçen, Kıraç Tepenin GB’sinden başlayıp Kertil Tepe, Kuşkaya Tepe ve Koca Tepe’nin doğusunu takiben Kaya Boğazı’na inen faydır. Açık Ocak bölgesinde heyelana sebebiyet veren fay da bu olmaktadır. Uzun vadeli proje uygulamalarında bu fayın ve batısındaki yamaçların iyi etüt edilmesi ve kontrollü çalışılması gerekmektedir. Diğer ana fay ise, Kıraç Tepe’nin doğusundan başlayıp, araziye Kuzey-Güney istikametinde kat ederek, uzanan faydır.

O.Baysal'a göre, borat yataklarının oluşumu Miyosen sonunda, teşekkül eden fay çatlaklarından gelen borik asit, Na, Mg içeren ekshalasyonlar, keza volkan çamur ve külleri mevcut Neojen göl sularına direkt karışmışlardır. Bu volkanik faaliyetler

Pliyosen boyunca da devam etmiştir. Yatakların esasını teşkil eden boraks, aynı zamanda üleksit, kurnakovit, inderit ve inyoit göl sularında kimyasal süreçlerle primer olarak çökelmiş ve ekshalatif sedimanter kökenli Sarıkaya borat yataklarını oluşturmuştur. Göllerin derin kesimlerinde boraks oluşurken, sığ kıyı kesimlerinde bunun yerine üleksit primer olarak çökelmiştir. Kurnakovit ve inderit ise, daha çok yatakların oluşum evresinin son safhalarında teşekkül etmiştir.

Yatakların genç sedimanlarla örtülüp gömülmesinden sonra sıcaklık ve basınç koşulları, keza primer boratların dehidratasyonu ve sirkülasyon sularının karışması nedeniyle kapilar suyun bileşimi, hidrostatik basıncı değiştirmiştir. Bu yeni fiziko-kimyasal koşullar altında kararlı durumlarını muhafaza edemeyen bir kısım primer boratlardan üleksit, kolemanit, inderborit ve tünelit sekonder olarak teşekkül etmiştir.

Primer borat oluşumlarının yanı sıra, göl sularına karışan piroklastik materyal, granulometrik inceliği, camsı yapısının termodinamik kararsızlığı ve ortamın bazik olması nedeniyle kısmen hidrolize olup çözülmüştür. Bu süreçlerle göl sularına karışan silis, Mg, kısmen de Al, düşük sıcaklık ve basınç koşullarına rağmen, Mg-montmorilloniti dolayısıyla killi yamaçları oluşturmuştur. Mg-montmorillonit sentezinden arta kalan silis, yatakların oluşumundan sonra başlayan kalker sedimantasyonu esnasında yer yer çökerek silisli kalkerleri meydana getirmiştir. [1]

2.3.3 Genel mineraloji

Bölgenin en yaşlı kayaçlarını, yeşil şistler ve kristalin kalkerlerden meydana gelmiş eski temel içermektedir. Neojen formasyonları bu iki temel üzerine uyumsuz olarak oturmaktadır. Neojen formasyonları, taban volkanitleri ile başlamakta olup, bu zonu riyolit, trakiandezitler meydana getirmektedir. Bu zondan itibaren taban tüfleri (yer yer kireçtaşı ara katkılı) ile volkanizma mahsulü boratlı kil-kalker seviyeleri gelmektedir. Civardaki tüflerin aşınmasıyla büyük miktarda malzeme bugünkü Kırka ovasında gördüğümüz ve resedimante tüfit olarak adlandırılan formasyonu meydana getirmiştir. Üst seviyeyi oluşturan ve Seyitgazi’de gözlenen bazalt lavları Neojen formasyonlarının erozyon safhası üzerinde yer almaktadır.

Bor yatakları genellikle Neojen yaşlı sedimanter yataklar arasında bulunmaktadır. Ancak; civardaki volkanik kayaçlar, bor yatakları ile volkanizma arasında sıkı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Volkanik eskhalasyonlarda halojenürler halinde bulunan bor; yoğunlaşarak borik aside dönüşür. Borik asit göl sularına karıştığında,

uygun şartlarda kalsiyum ve sodyum bikarbonat ile reaksiyona girer ve inyoit, hidroborasit gibi primer iyonlarının kalsiyum iyonu ile sekonder boratları teşekkül eder. Primer boratlar, bileşiklerin çökmesiyle meydana gelir. Kırka-Sarıkaya tinkal yatağı tuz görünüşünde yabancı ve kırınımlı düzgün olmayan bir yapıdadır.

Monoklinal-prizmatik kristalleşen boraks, yataklarda genellikle hipidiomorf ve allotriomorf kristal toplulukları halinde bulunmaktadır. Yatakların üst kesimlerindeki boraks bantları ekseriye birbirine kenetlenmiş, arnavut kaldırımı dokusu gösteren kristal tanelerinden meydana gelmiştir. Tanelerin arasında az miktarda izlenen ara dolgu maddesi kil veya marn bileşimindedir. Yatakların daha alt seviyelerindeki boraks kristalleri breşimsi doku gösterir. Bunlar 0,1-2 cm arasında değişen, kısa, kalın prizmatik taneler halindedir. Bu boraks kristallerinin aralarını daha küçük boraks kristalleri, marn veya kilden oluşmuş ara dolgu maddesi doldurur. Yer yer rastlanan masif boraks kristalleri tuz görünümünde allotriomorf kütleler halindedir ve herhangi bir yabancı madde kapanımı göstermez.

Boraks kristalleri herhangi bir yabancı karışım içermedikleri takdirde renksiz, şeffaf ve cam parlaklığındadır fakat; çoğunlukla kil minerali kapanımları nedeniyle sarı, gri, soluk mavi, yeşil, hatta siyah renklere sahiptir. Sertliği 2,5; yoğunluğu ise, 1,9 g/cm³tür. Gevrek bir yapısı vardır ve konkoidal şekilde kırılır.

Boraks açık havada kolaylıkla dehidratasyona uğradığından, ocaktan çıkarıldıktan bir müddet sonra beyaz tebeşirimsi bir görünüş kazanır. Bu suretle tinkalkonit meydana gelir. Cevherleşme zonunun alt ve üst konumunu içeren marn ve kil tabakaları içinde, cevher yatağının kenar zonlarında ve boraks kristalleri arasında primer ve sekonder olarak teşekkül etmiş diğer bor minerallerine (üleksit, kolemanit, inderit, tunelit, v.b.) rastlanmaktadır. [1]

2.3.4 Volkanizma ve boraks ilişkisi

Borun jeokimyasal çevrimi incelendiğinde, kil minerallerinin özellikle de illit ve smektitlerin, diğer silikat minerallerine oranla daha çok bor içerdiği görülmektedir. Yer kabuğunda en sık rastlanan kayalarda ppm mertebesinde ortalama B içerikleri; granitte 15, şeyilde 100, kıltaşında 300'dür. Kırka borat yataklarının oluşumu ile yakından ilişkisi olan Karaören ve Sarıkaya Formasyonu tüflerinin ortalama ana ve iz element içerikleri genelde üst kıtasal kabuk ile şeyle benzemektedir. Buradan hareketle, piroklastik kayaları oluşturan kalkalkali volkanizmanın kaynağının, üst

kıtasal kabuktaki diğer kayaçlarla birlikte killi kayaçlar olduğu görüşünü Karaören Formasyonu tüflerinin 114 ppm bor içeriğine sahip olması da güçlendirmektedir. Diğer taraftan, lityumun jeokimyasal çevrimi de bor elementine benzemektedir. Bölgedeki tüflerden itibaren gelişen smektitlerin Li bakımından zengin olması, borat oluşumunu sağlayan hidrotermal getirimlerin lityumca da zengin olduklarını ve boru veren volkanizmanın kaynak malzemesine killi kayaçların da katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Genel olarak boratların sedimanter kökenli, sığ yerleşimli magmadan kaynaklanarak, doğrudan göl sularına karışan borca zengin çözeltilerden oluştuğu görüşü, en geçerli görüş olarak kabul edilmektedir. [1]

2.3.5 Örtü ve cevherin kaya mekaniksel özellikleri

Örtü tabakasının cinsi ve kalınlığı bölgesel olarak değişmektedir. İşletmede 1975 yılında meydana gelen ve Kertil Heyelanı olarak adlandırılan malzemenin kaldırılması ve bundan sonra heyelan oluşumuna meydan vermeden çalışmaların sürdürülmesi amacıyla, 1988 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi ile Açık Ocak Heyelan ve Şev Etüdü çalışması başlatılarak 1991 yılında sonuçlandırılmıştır.

Açık İşletme sahası ve yakın çevresinin haritası incelendiğinde topoğrafyanın basamaklı bir yapı oluşturduğu ve basamakların üst kısmında sileksli tavan kireçtaşı bloklarının yer aldığı görülür. Ayrıca, İşletme civarında yapılan sondajlarda, logların incelenmesi sonucunda, sileksli kalker içeren seviyelerin birkaç kere kesilmiş olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu husus basamaklı yapıların çok önceden kaymış bulunan heyelan malzemelerinden oluşmasından kaynaklanmaktadır. En üst seviyede yer alan oldukça yüksek kesme dayanımlı silisli kireçtaşı blokları, alt seviyelerdeki nispeten daha az kesme dayanımlı kil ara bantlı seviyeler üzerinde dairesel kaymaları oluşturmaktadır. Bu tür kaymalarla ortaya çıkan topoğrafyanın içerdiği kayaçlar, orijinal eğim ve doğrultusundan farklı olarak yatay veya kayma dairesi aynasına eğimli gelecek şekilde bir yapı oluşturmuşlar ve zamanla ayrışmanın etkisi ile bugünkü duruma gelmişlerdir. Günümüzden çok önce oluşmuş bu heyelanlara fosil heyelanlar ismi verilmiştir. Açık İşletme sahasında, fosil heyelanların yarattığı topoğrafyanın eğimi 8° civarında olup, bu değer Açık Ocak'taki killerin rezidüel sürtünme açısına eşdeğerdir.

Açık İşletme dekapaj faaliyetlerinin çoğunluğu bu fosil heyelan malzemesinin içinde yapılacaktır. Doğada, kendi halinde kayarak stabil hale gelen bu malzemeler içinde açılan şevler yamaç yönündeki kaymayı önleyici kuvvetleri ortadan kaldırarak kayma hareketini başlatma eğiliminde olduğundan düşük açıyla açılmış şevlerde bile kaymalar beklenmektedir. Sahada, kaya şevlerinin duyarlılığı açısından cevherli zonda herhangi bir sorun bulunmamaktadır ancak; cevherin suda kolayca erime ve atmosferle teması ile tinkalkonite dönüşmesi cevherde açılan şevlerde rezidüel açılarının uygulanmasını gerektirmektedir. Yatağın tektonik ve jeolojik özellikleri nedeniyle, geçici genel şev açıları; dekapajda 12° - 20° , üretimde 18° - 20° arasında uygulanacak olup, Açık Ocağın batı yönünde nihai genel şev açıları üretim ve dekapajda 20° , doğu yönünde ise 30° olmaktadır. [1]



3. İŞLETMEDE UYGULANAN ÜRETİM YÖNTEMİ

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör ve Bor Türevleri Tesislerinin tuvönan cevher ihtiyacı; Sarıkaya formasyonundaki Borat yatağında bulunan, sodyumlu bir Borat minerali olan Tinkal (Boraks) cevheri ile karşılanmaktadır. Tinkal yatağının sınırlarının ve rezerv miktarının tespitine yönelik olarak 1968 yılından itibaren sondaj faaliyetlerine başlanmış ve aralıklarla değişik yıllarda sondaj çalışmaları günümüze değin devam ettirilmiştir.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Yönetim Kurulunun 25/12/2002 tarih ve 89/7 sayılı kararı ile tasvip edilen ve 2002 (dahil) - 2028 (dahil) yılları arasını kapsayan “Orta Vadeli İşletme Projesi” sınırları içerisinde üretim faaliyetleri gerçekleştirilen Tinkal yatağı: kuzey-güney yönünde yaklaşık 3.500 metre uzunluğunda, doğu-batı yönünde ise ortalama yaklaşık 800 metre genişliğinde bir koridor şeklinde olup; ortalama örtü tabakası kalınlığı 50 metre, cevher kalınlığı ise 140 metreye kadar çıkmakla birlikte ortalama 70 metredir. Tinkal yatağının merkezi kesiminde kalınlık artışı görülmekle birlikte, cevher yatağı mercek biçiminde bir morfolojiye sahiptir.

1970 yılından itibaren başlayan dekapaj faaliyetleri ile tuvönan cevher üretiminde “açık işletme metodu” uygulanmaktadır. Sarıkaya Açık Ocağında, kazı metodu olarak yukarıdan aşağıya doğru ters konik spiral basamak yöntemi uygulanmakta olup; kamyonların en alt kottaki cevhere ulaşımının sağlanabilmesi için cevher taşıma yolları spiral sistem ve/veya geri dönümlü sistemde oluşturulmaktadır. Dizayn edilen cevher basamaklarının yüksekliği 10 ± 3 metre, basamak genişliği ise 25 ± 5 metre olarak değişmektedir. Ocak 2012 tarihi itibariyle üzeri açık (üretime hazır) cevher sınırı içinde bulunan yaklaşık 600.000 m^2 'lik bir alandaki +1050 ile +1180 kotları arasında bulunan cevher basamaklarından, tuvönan cevher üretimi gerçekleştirilmektedir. Dekapaj faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgelerde dahil olmak üzere; toplam yüzey alanı $2.000.000 \text{ m}^2$ seviyelerine ulaşmış olan Sarıkaya Açık Ocağı dünyanın sayılı büyüklükteki açık işletmelerinden biridir. İşletmedeki üretim Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 : İşletmedeki üretim.

Delme- patlatma işlemi ile gevşetilen cevher kayacının kazısı hidrolik paletli ekskavatörlerle yapılmakta ve yükleme-taşıma için “hidrolik paletli ekskavatör + kamyon sistemi” uygulanmaktadır (Çizelge 3.1). Tuvönan cevher üretimi; uygun büyüklükte kapalı bir tuvönan cevher stok alanının bulunmaması, Tinkal cevher formasyonunda breşik ve kompleks yapıda kil ve marn minerallerinin bulunması ve Tinkal cevherinin suda çözünürlüğünün çok yüksek olması nedeniyle, yağmur ve kar gibi dış etkenlere maruz kalan cevherin kalitesini kaybetmesi gibi ciddi sorunlarla karşılaşmakta ve kilin nemi tutması nedeniyle tesislere beslemede çok ciddi sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu nedenlerle açık ocakta üretim haftada 7 gün, 3 vardiya düzeninde yılın tüm günlerinde yapılmakta olup, tesislerin günlük ihtiyacını karşılayacak şekilde, günlük olarak delme- patlatma işlemi yapılmaktadır. Yağışlı havalarda üst kotlardaki üretim basamaklarından düşük eğimli nakliye yolları kullanılarak üretimin devamlılığı sağlanmaktadır.

İleriki yıllarda açık ocaktaki yüksek tenörlü cevher miktarı yönünden bir darboğazla karşılaşılması ve açık ocağın dengeli bir şekilde genişlemesinin sağlanarak düşük tenörlü cevherlerinde değerlendirilebilmesi yönünden; tuvönan cevher üretimi, yüksek tenörlü ve düşük tenörlü cevherlerin bulunduğu en az iki farklı basamaktaki üretim noktasından paçal yapılarak gerçekleştirilmektedir. Dekapaj faaliyetlerinin tamamı müteahhit firmalar eliyle yapılmaktadır. Açık ocaktan tuvönan cevher ve aradekapaj nakliyesi ise 2008 yılı Mayıs ayından itibaren müteahhit firma marifetiyle hizmet alımı yoluyla yapılmaya başlanmıştır.

Aynı zamanda cevherin örtü tabakası ile kontak yaptığı zonlarda ve cevher basamaklarında karşılaşılan, cevher kalitesini olumsuz yönde etkileyen kil ve marnın

ayrılabilmesi amacıyla seçici kazı yapılmakta, bu çerçevede yıllık ortalama 150.000 m³ ara dekapaj malzemesi cevher taşımada kullanılan kamyonlar ile İşletme ara dekapaj tumba sahasına taşınmaktadır.

Üretim yapılan cevher basamağında karşılaşılan beklenmedik tenör dalgalanmaları, tesislerin o anki üretim durumu, yağışlar ve hava şartları, yükleyicilerde oluşabilecek çeşitli arızlar vs. nedenlerle açık ocaktaki üretim noktaları çok sık olarak değiştirilmekte ve her türlü hava koşullarına rağmen üretimin devamlılığı ile istenilen cevher kalitesinin sağlanabilirliğinin sürekliliği ileri düzeyde çalışma esnekliği gerektirmektedir. Bu yüksek çalışma esnekliği ancak hidrolik paletli ekskavatörler ve kamyonlar ile sağlanabilmektedir.

Ocak içi yollar cevher içinden geçmekte, üretimler esnasında yolların güzergâhı sık sık değişmekte, kış şartlarında oldukça kaygan olduğundan nakliyelerde sorun çıkmakta, bu yüzden kışın ocağın üst kotlarından, yazın ise alt kotlarından çalışma yapılmaktadır. Açık ocak yollarının bakımı, yapımı işletme tarafından yapılmaktadır. Açık ocağın güney tarafı cevherinin kuzey tarafı cevherine genellikle tenörü daha zengindir. Zengin tenör 26-29 % B₂O₃, zayıf tenör 20-23 % B₂O₃ Ocak tabanında biriken sular 1 adet dalgıç pompa vasıtasıyla konsantratör tesislerine beslenmektedir.

Kamyon taşımacılığında konsantratör tesisine besleme (Kamyon döküm noktasında) yerinde ızgaradan malzemenin geçirilmesini temin için İşletmeye ait bir loader devamlı bulundurulmakta ve çalıştırılmaktadır. Kırma eleme tesisinde kamyonun döktüğü ızgara boyutu 40x40 cm yeni yapılmakta olan kırma tesisinde ise 60x60 cm'dir (Şekil 3.2). Açık ocakta üretilen cevherin yerinde yoğunluğu 1,9 Ton/m³, atımlardan sonra kabarmış yoğunluğu 1,5 Ton/m³ tür.



Şekil 3. 2 : İşletme tüvenan cevher silosu.

Çizelge 3. 1 : İşletme makine parkı.

İŞ MAKİNASININ						
CİNSİ	MARKASI	MODELİ	TİPİ	İMAL YILI	KAPASİTE	MOTOR GÜCÜ
Dozer	Caterpillar	D 8 N	Tilt	1992	0	258 HP
Dozer	Liebherr	751	Angle	2000	0	395 HP
Dozer	Caterpillar	D 8 T	Bulldozer	2011	0	310 HP
Hid.Eks kavatör	Hitachi	ZX670 LCH-3	Hid.Paletli	2011	4,8 m ³	345 KW
Hid.Eks kavatör	Hitachi	ZX670 LCH-3	Hid.Paletli	2008	4,8 m ³	345 KW
Hid.eks kavatör	hitachi	ZX670 LCH-3	Hid.Paletli	2014	4,8	345 KW
Hid.Eks kavatör	Hitachi	EX-750-5	Hid,Paletli	1999	4,1 m ³	440 HP
Hid.Eks kavatör	Hitachi	800 H	Hid,Paletli	2001	4,1 m ³	440 HP
Loader	Mastaş	MST 444	Kaz.Yükleyici	2004	1,2 m ³	99 HP
Loader	Çukurova	840-C	Lastikli	1998	2,50 m ³	150 HP
Loader	Çukurova	840-C	Lastikli	2000	2,50 m ³	160 HP
Loader	Volvo BM	L 180	Lastikli	1992	6,01 Cu Yd	275 HP
Loader	Caterpillar	955-L	Paletli	1979	2 Cu Yd	130 HP
Loader	Caterpillar	973	Paletli	1986	2,8 m ³	210 HP
Loader	Kawasaki	Z 95 IV	Lastikli	1997	4,8 m ³	315 HP
Loader	Kawasaki	95ZV-2	Lastikli	2011	4,8 m ³	390 HP
Loader	Komatsu	WA 500-3 SM	Lastikli	2007	4,5 m ³	235 KW
Derin Delici	İngersoll-Rand	DM-25	Drillmaster	1985	36 Mt	304 HP
Derin Delici	İngersoll-Rand	EMET DM-25	Drillmaster	1985	36 Mt	320 HP
Derin Delici	Furukawa	HCR 12 EDS	Vagon Drill	1997	0	171 HP
Grayder	Caterpillar	140-G	Dizel	1986	150 HP	150 HP
Grayder	Champion	720 A VHP	Dizel	2000	170 HP	170 HP
Grayder	Komatsu	GD 675 - 5	Lastikli	2011	221 HP	221 HP

4. PATLATMA İŞLEMLERİ

Patlatma operasyonlarını çok sayıda jeolojik faktörler etkiler. Patlatmayı yapan kişinin kontrolünün dışında olmasına rağmen, kaya maddesinin yer değiştirmesi ve parçalanması güvenli bir şekilde yapılabilir.

Patlayıcı maddenin doğru seçilmesi atım verimliliği açısından önemli olduğundan küçümsenmemesi gereklidir; fakat patlatılacak kaya kütlelerinin karakteri parçalanma ve titreşim kontrolü açısından daha önemli bir rol oynar.

Kaya ve patlayıcı madde özelliklerinin yanında patlatma geometrisi ve gecikme aralıkları da patlatma operasyonlarının optimize edilmesinde dikkate alınmalıdır. [2]

4.1 Patlayıcı Maddeler

Patlayıcı maddeler, ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın, kimyasal katkısı olmadan çok hızlı bir reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler veren, organik veya inorganik bileşimlerdir. [3]

Patlatma deliklerinin tek amacı, içlerine patlayıcı doldurulup patlatılmaları sonucu şok dalgası şekillenmesi, gaz açığa çıkarması ve bir ısı yayması sonrasında kayacın parçalanmasına sebep olmaktır. [4]

4.1.1 Patlayıcı maddelerin tanıtılması

4.1.1.1 Emülsiyon patlayıcılar

Suya dayanıklı amonyum nitrat esaslı patlayıcı üretebilme araştırmaları sonucu emülsiyon patlayıcılar gündeme gelmiştir. [3]

Emülsiyon patlayıcılar; oksitleyici (genellikle amonyum nitrat), su, yanıcı madde (madeni yağ, parafin ya da mikro kristalize balmumu) ve gaz doldurulmuş cam ya da özel plastikten mikro toplar olmak üzere 4 bileşenden meydana gelirler. [4]

Genellikle organik veya mineral yağların çok büyük bir yüzdesi, su içinde çözünmezler. Ancak özel katkı maddeleri aracılığı ile emülsiyon haline gelebilirler. [3]

Emülsiyonlar iki türde oluşurlar. Birinci türde esas ortam sudur ve yağ zerrecikleri bu ortam içinde bulunur (su içinde yağ emülsiyonu). İkinci türde ise esas ortam yağdan oluşur ve su zerrecikleri bu ortam içirişinde bulunur (yağ içinde su emülsiyonu). Yüksek konsantrasyona sahip amonyum nitrat çözeltisi yağ veya mazot içerisinde ikinci bir tür emülsiyon haline getirilirse suya dayanıklı bir karışım elde etmek mümkün olur. Yağ ve emülsiyon oranı ile oynayarak emülsiyon patlayıcının kıvamı değiştirilebilir. [5]

Emülsiyon patlayıcılar; doğrudan deliğe pompalanabilir, kartuşlar halinde kullanılabilir, kapsüle duyarlı veya yemleme ile patlatılabilen kalitede üretilebilirler. [3]

4.1.1.2 Amonyumnitrat bazlı patlayıcılar

ANFO dünyada en yaygın kullanılan patlayıcıdır. Birincil patlayıcılar ile patlatılan patlayıcı bir karışım olarak bilinir. %94,7 amonyum nitrat ve %5,3 fuel-oil'den oluşur. [7]

ANFO içerisindeki mazot yüzdesi düştükçe enerji kayıpları artmaktadır. Mazot oranının ağırlıkça % 4 oranına indirildiği durumlarda ise enerji kaybı %12,1'e kadar yükselmekte ve portakal renkli gazların açığa çıktığı görülmektedir. [6]

Suya dayanıklı değildir, kuru deliklerde kullanılır. [8]

Temel girdilerinin yaygın olarak bulunabilmesi, ucuz olması, kolay hazırlanması, depolama ve taşımada daha emniyetli olmasından dolayı en yaygın kullanılan madde olmuştur. [6]

4.1.2 İşletmede kullanılan patlayıcı maddeler

4.1.2.1 Yemlemeye duyarlı patlayıcılar

ANFONİT® (Şekil 4.1) Poroz-Prill Amonyum Nitrat ile yakıt karıştırılması yoluyla hazırlanan yemlemeye duyarlı patlayıcıdır. ANFONİT® suya dayanıklı olmayıp kuru deliklerde kullanılmaktadır. Taneli yapısı sayesinde kuru deliklerde ideal delik şarjı sağlar. Az sulu ya da orta derecede sulu delik ve oluşumlarda sulu kısımlar

emülsiyon tipi patlayıcı kullanılarak şarj edildikten sonra ANFONİT® kullanılabilir. Sulu deliklerde plastik torbalarla kullanılması uygun değildir. Genellikle orta ve büyük çaplı deliklerde kullanılır. Küçük çaplı deliklerde kullanılacaksa, ateşleyici olarak infilaklı fitil kullanılması sakıncalıdır. ANFONİT® pnömatik olarak ya da şarj kamyonları ile şarj edilebilmektedir ve deliklerde homojen bir şarj düzeni ve yüksek enerji çıkışı oluşturarak patlatmadan yüksek verim alınmasını sağlar. 45 mm çapın altındaki yatay delik uygulamalarında kullanılması önerilmez.



Şekil 4. 1 : İşletmede kullanılan ANFO.

Nobelex® 1200 (Şekil 4.2) Anfo ile emülsiyonun karışımından elde edilen yemlemeye duyarlı patlayıcıdır. Patlama sonrasında açığa çıkan yüksek gaz hacmi sayesinde kayaç yapısı üzerinde etkili bir itme gücü meydana getirir. Suyu dayanıklı ve su ile kıyaslandığında daha yüksek yoğunluğa sahip olması sonucunda delik içindeki suyun yükselmesini sağlayarak dibin çöker. Patlayıcının yumuşak yapısı, kayaç kırılmasının en zor olduğu delik dibinin tam olarak doldurulmasına imkân sağlayarak daha uygun tane boyutunun elde edilmesi ve delik başına alınan taş miktarının daha yüksek olmasını sağlar. Nobelex® 1200 az sulu deliklerde, taban şarjından sonra Anfo kullanılmasına imkân verir. Isı değişimlerinden etkilenmez. Nobelex® 1200 paketli olmasının yanı sıra dökme bir üründür.



Şekil 4. 2 : İşletmede kullanılan emülsiyon tip patlayıcı.

4.1.2.2 Kapsüle duyarlı patlayıcılar

Nobelex ® TG (Şekil 4.3) suya dayanıklı bir patlayıcı maddedir. Nitrogliserin ya da TNT gibi tehlikeli kimyasallar içermez. Kayacın kırılmasında patlatma enerjisinin tamamının kullanılması için formüle edilmiştir. Aynı çapa sahip olan diğer emülsiyon patlayıcılara kıyasla daha yüksek patlatma hızına sahiptir ve uygun patlama ve enerji özellikleri ile mükemmel sonuçların alınmasını sağlar. Anfo ve diğer bütün yemlemeye duyarlı patlayıcılar için ideal bir yemleme olmasının yanı sıra Nobelex ® TG insan sağlığına zararlı değildir. Uygun şekilde saklandığında belirtilen raf ömrü boyunca performans kaybı görülmez. [8]



Şekil 4. 3 : İşletmede kullanılan kapsüle duyarlı patlayıcı.

Çizelge 4. 1 : İşletmede kullanılan patlayıcı maddelerin teknik özellikleri.

Özellikler	ANFONİT	NOBELEX 1200	NOBELEX TG
Yoğunluk (g/cm ³)	0,77-0,82	1,2-1,22	1,10-1,15
Duyarlılık	Yemleme	Yemleme	Kapsül
Enerji (mJ/kg)	3,9	2,67	4,56
Gaz Hacmi (lt/kg)	974	1041	825
Patlatma Sıcaklığı (°C)	2565	1773	2830
V.O.D. (m/s)	3500	5500	5000
Suya Direnci	Yok	Mükemmel	Mükemmel

4.2 Ateşleme Sistemleri

Ateşleme sistemleri, güvenli bir mesafeden delik şarjını ateşlemesini başlatmak için sinyal gönderen bir patlama elemanıdır. Bu sinyal elektrikli veya elektriksiz olarak yollanabilir. [9]

Elektrikli ateşleme sistemlerinde, elektrikli güç kaynağı kablo ile kapsüle güç ileterek patlatmayı başlatır. Elektriksiz ateşlemede ise çeşitli kimyasal reaksiyonlar ani alevlenme ile elektriksiz kapsülü harekete geçirirler. [10]

İyi bir patlatma operasyonu için ateşleme elemanlarının dikkatli seçilmesi ve uygulanması gerekmektedir. [2]

4.2.1 Elektrikli kapsüller

Adi tahrip kapsüllerinin yarattığı zamanlama sorununu ortadan kaldırmak ve delikteki patlayıcıları istenilen zamanda ve milisaniye mertebesinde aralıklar ile patlatabilmek için, elektrikli kapsüller kullanıma girmiştir. [3]

Elektrikli kapsüller prensipte içine iki iletken kablonun ucu akım kaynağına bağlıdır. Verilen akım, kablodan ve kibrit başının direnç telinden geçer. Akım direnç telini kızdırır ve üzerindeki eczayı yakar. Bu yanma kapsül içerisindeki birincil ve ana patlayıcıya kadar devam ederek patlatma gerçekleşir. [6]

Elektrikli ateşleme gecikmeli veya gecikmesiz olarak yapılabilir.

4.2.2 Elektriksiz kapsüller

Elektrikli kapsüllerin önemli kazalara yol açması, risk yaratması sonucu, elektriksiz kapsüller üretilmiştir. [3]

NONEL, düşük enerji tipli iletim hattı olan ve tüpün iç kısmı reaktif bir toz ile kaplanmış elektriksiz bir ateşleme sistemidir. Plastik tüp, sinyal hattından geçen bir şok dalgası ile reaksiyon olur. Bu şok dalgası geciktirici elemanı ateşleyecek kadar güçlü, fakat tüpü tahrip edecek veya patlayıcı maddeleri ateşleyecek kadar da güçlü değildir. Bir NONEL tüpünün şok dalgası hızı yaklaşık 2,100 m/sn'dir. [6]

NONEL tüpü emniyetli fitil, elektrikli kapsül, tahrip kapsülü veya üreticinin kendi ürünü olan başlatıcı ile ateşlenebilir. NONEL sistemi kullanılarak sınırsız gecikme aralığı elde etmek mümkündür. [5]

NONEL unitet milisaniye gecikme gerektiren her türlü açık ocak patlatmaları, kontrollü ve gecikmeli patlatmalar ve sınırsız gecikmeli patlatmalar için tasarlanmıştır. Tünel patlatmaları için uygun değildir. [6]

NONEL unitet sisteminde delik içi kapsüller ile yüzey bağlantı blokları birlikte kullanılmaktadır. Atım grubundaki bütün deliklerdeki yemlemelere aynı gecikme aralığına sahip delik içi kapsüller takılmaktadır. Deliklerin ateşleme sırası, yüzey bağlantı bloğunda bulunan gecikmeler ile belirlenir. Kapsüller 475 veya 500 ms gecikmeye sahiptir. Yüzey bağlantı blokları 0, 17, 25, 42, 67 ms gecikmeye sahiptir. [5]

4.2.3 İşletmede kullanılan ateşleme elemanları

NONELDET gecikmeli elektriksiz ateşleme sistemi olup üç farklı tipten oluşmaktadır. NONELDET MS, 400 ms ve 500 ms olarak iki adet gecikme süresi bulunan bir elektriksiz ateşleme sistemidir. Yüzey gecikme kapsülleri ya da infilaklı fitil kullanılarak ateşlenebilir. NONELDET MS tüpleri kırmızı renktedir. NONELDET SD, reaksiyonu yüzeyden delik içi kapsüllere gecikme süresi sırasında iletir. NONELDET SD tüpleri kırmızı renktedir. NONELDET EZDET bir ucuna yüzey kapsülü, diğer ucuna yüksek dirençli delik içi kapsül eklenmiş 20 m uzunluktaki kırmızı şok tüpünden oluşmaktadır. Ayrıca karmaşık patlatma tasarımlarının gerekliliklerini karşılamak için Noneldet MS ve SD ile birleştirilerek de kullanılabilir. [8]

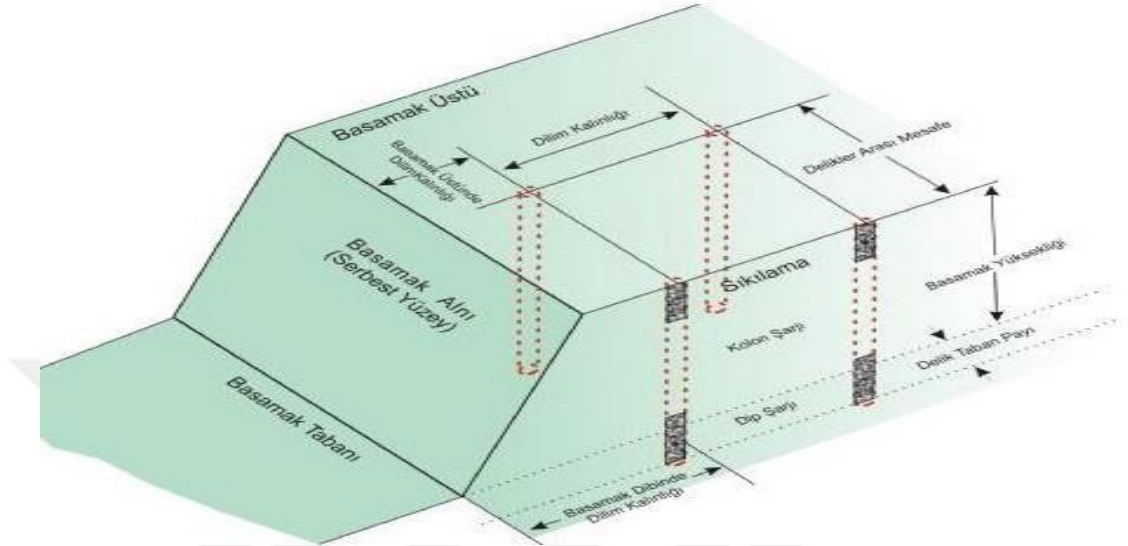
Çizelge 4. 2 : İşletmede kullanılan kapsüller.

Kapsül tipi	Tüp Boyu (m)	Gecikme Süresi (ms)
MS 500	10	500
EZDET 25/500	20	25/500
SD 25	8	25

4.3 Açık Ocak Basamak Tasarımı

Basamak patlatması en yaygın yapılan patlatma türüdür. Basamak patlatması, dik ve dike yakın patlatma deliklerinin tek veya birkaç sıralı şekilde serbest yüzeye karşı yapılması olarak tanımlanabilir. [7]

Açık ocak basamak patlatmasında rol oynayan birçok etken vardır. Kaya kütlelerinin özelliklerinin bu tasarımda çok etkin bir rol oynamasına rağmen patlatma geometrisi de uygun bir patlama verimi için oldukça önemli bir yer tutar. Basamak geometrisinin parametreleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Açık ocak basamak patlatması tasarımı.

Basamak geometrisi oluşturulurken; delik çapı ve boyu, basamak yüksekliği, delikler arası mesafe, delik ve serbest yüzey arası mesafe (maksimum dilim kalınlığı), alt delme, dilim kalınlığının kayaç faktörü de göz önünde bulundurularak iyi belirlenmesi gerekmektedir.

4.3.1 İşletme için teorik patlatma tasarımı

Basamak yüksekliği çoğu patlatmada 11 metre ve delik çapı 160 mm olarak belirlenen işletme için S. O. Olofsson'a göre teorik olarak hesaplanması yapılmıştır.

Olofsson'a göre patlatma tasarımı için öncelikle maksimum yük mesafesinin belirlenmesi ve diğer parametrelerini buna göre şekillenmesi gerekmektedir. [7]

Maksimum dilim kalınlığı denklem 4.1'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$B_{\max} = 1,36 * \sqrt{I_b} * R_1 * R_2 \quad (4.1)$$

Burada I_b şarj konsantrasyonu, R_1 delik eğilim düzeltme faktörü ve R_2 kayaç düzeltme faktörüdür. Formüldeki 1,36 değeri işletmede en çok kullanılan ana patlayıcı olan ANFO için çarpım katsayısıdır.

Çizelge 4.3 : Farklı eğimler için maksimum dilim kalınlığı mesafesi düzeltme faktörü.

Eğim	Dik	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1
R ₁	0,95	0,96	0,98	1,00	1,03	1,10

Çizelge 4.4 : Değişik kaya sabitleri için maksimum dilim kalınlığı mesafesi düzeltme faktörü.

c	0,3	0,4	0,5
R ₂	1,15	1,00	0,90

Şarj konsantrasyonunu bulmak için denklem 4.2 eşitliği kullanılır.

$$I_b = 7,85 * \sqrt{D^2} * 0,80 \quad (4.2)$$

Delik çapı 160 mm olan delikler için $I_b = 16,1$ kg/m olarak bulunur.

Dik delinen delikler için Çizelge 4.3'ten R₁ değeri 0,95 ve Çizelge 4.4'ten R₂ değeri ortalama kayaç için 1 olarak alınmıştır.

Maksimum dilim kalınlığı bu değerler ile birlikte 5,2 m olarak bulunur.

Basamak yüksekliği (K), maksimum dilim kalınlığı en az 2 katına eşit olmalıdır. Teorik açıdan işletme basamak yüksekliğinin uygun olduğu söylenebilir.

Alt delme (U), maksimum yükün 0,3 katı olarak belirlenmiştir. Böylece teorik olarak belirlenmesi gereken alt delme değeri 1,56 m olarak bulunur.

Delik boyu (H) , basamak yüksekliği ve alt delmenin toplamının ölçüsüdür. Teorik olarak hesaplanan delik boyu 12,56 m olmalıdır.

Delik hata payı 4.3'de verilen formül ile bulunur;

$$E = \frac{D}{1000} + 0,03 * H \quad (4.3)$$

Delik çapı m cinsinden alınmak için 1000'e bölünür. Buradan delik hata payı 0,537 m olarak bulunur.

Pratik dilim kalınlığı (B), maksimum dilim kalınlığı ve delik hata payının farkı ile bulunur. Bu hesap sonucu pratik dilim kalınlığı 4,66 m bulunur.

Delikler arası mesafe (S), pratik dilim kalınlığının 1,25 katı olarak hesaplanır. İşletme için olması gerek delikler arası mesafe 5,83 m olarak bulunur.

Sıkılama boyu (T), pratik dilim kalınlığı kalınlığına eşittir ve 4,66 m olur.

Şarj yüksekliği (L), delik boyunun sıkılama boyuna farkı olarak 7,9 m hesaplanır.

Bir delikte olması gereken şarj miktarı, şarj yüksekliği ve şarj konsantrasyonu çarpımından 127,2 kg olarak bulunur.

Özgül şarj(q) ,metreküp başına düşen patlayıcı miktarını belirler ve bir delikteki patlayıcı miktarının patlatılacak bölgenin hacmine oranı olarak belirlenir. Denklem 4.4'deki gibi hesaplanır.

$$q = \frac{Q}{B * S * K} \quad (4.4)$$

Özgül şarj bu parametreler doğrultusunda 0,423 kg/m³ olarak bulunur.

İşletmede sulu delikli atımlar için bu hesap yapıldığında formül 4.1'deki 1,36 ANFO katsayısı yerine 1,45 Emülsiyon patlayıcı katsayısı kullanılarak değerler bulunur.

Bulunan değerler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 : Olofsson'a göre hesaplanan teorik patlatma parametreleri.

	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Sıkılama Boyu (m)	Şarj Boyu (m)	Toplam Şarj (kg)	Özgül Şarj (kg/m ³)
ANFO	160	11	12,56	4,66	5,83	4,66	7,90	127,2	0,423
Emülsiyon	160	11	12,65	4,96	6,20	4,96	7,69	123,8	0,366

4.3.2 İşletmede fiili uygulanan patlatma tasarımı

İşletmede günlük ihtiyaç duyulan üretime göre delme sistemi oluşturulduktan sonra, delikler tek sıra ya da şaş-beş delik düzeninde delinmektedir. İşletmede dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe üretim ihtiyacına göre değişmektedir. Delik boyunun 1/3'ü kadar sıkılama yapılır. Delik boyu basamak yüksekliğine bağlı olarak değişmekte olup, 10 m yüksekliğindeki bir basamak için 10,5 m delik delinir. Bunun nedeni, patlatma sonucunda en az miktarda takoz bırakmaktır. Delik çapı, patlatma sonucu elde edilen malzemenin tane boyutu ve basamak yüzeyinin düzgünlüğünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. İşletmede 160 mm delik delebilen 2 adet Ingersoll-Rand marka DM-25 delici ile 102 mm delik delebilen Furukawa HCR-12 marka bir delici ile delme işlemleri yapılır.

Çizelge 4. 6 : İşletmede uygulanan atım parametreleri.

Atım No	D (mm)	K (m)	B (m)	S (m)	T (m)	U(m)	H (m)	L (m)	W _a (kg)	PF (kg/m ³)	WIPFRAG			KUZRAM		
											x ₅₀ (cm)	x _c (cm)	n	x ₅₀ (cm)	x _c (cm)	n
1	160	11	5	5,5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,450	36,23	47,57	1,65	42,32	54,01	1,50
2	160	11,5	5	5,5	3	0,5	12	9	144,1	0,456	45,73	56,23	1,76	42,30	53,81	1,52
3	160	11	5	6	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,412	40,27	51,17	1,85	45,37	57,58	1,54
4	160	10,5	5	5,5	3	0,5	11	8	128,1	0,444	40,01	50,04	1,62	42,37	54,26	1,48
5	160	11	5	6	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,412	41,94	49,7	1,72	45,37	57,58	1,54
6	160	11	5,5	6	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,375	42,12	51,94	1,74	48,97	62,88	1,47
7	160	11	5	6	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,412	49,21	61,66	1,7	45,37	57,58	1,54
8	160	6	5	5,5	2	0,5	6,5	4,5	72,0	0,437	43,34	54,56	1,74	38,98	50,11	1,46
9	160	9,5	5	5,5	3	0,5	10	7	112,1	0,429	30,63	38,03	1,84	42,56	54,96	1,43
10	160	11	5	5,5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,450	47,31	59,01	1,73	42,32	54,01	1,5
11	160	11	4,5	5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,550	30,95	41,44	1,57	36,05	45,72	1,54
12	160	11	5	5,5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,450	43,98	53,11	1,87	42,32	54,01	1,5
13	160	10	5	5,5	3	0,5	10,5	7,5	120,1	0,437	38,56	46,42	1,9	42,45	54,57	1,46
14	160	11	4,5	5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,550	35,88	47,61	1,71	36,05	45,72	1,54
15	160	11	5	5,5	3	0,5	11,5	8,5	136,1	0,450	42,02	50,34	1,88	42,32	54,01	1,5
16	160	10,5	5	6	3	1	11,5	8,5	136,1	0,432	47,79	58,02	1,79	43,72	54,88	1,61
17	160	11	5	6	3	1	12	9	144,1	0,437	43,59	51,37	1,98	43,76	54,8	1,63
18	160	9,5	5	5,5	3	1	10,5	7,5	120,1	0,460	39,99	51,02	1,74	40,74	51,72	1,54

D: Delik çapı K: Basamak yüksekliği B: Dilim kalınlığı S: Delikler arası mesafe T: Sıkılama U: Alt delme H: Delik boyu

L: Şarj boyu W_a: Bir delikteki patlayıcı miktarı PF: Spesifik Şarj x₅₀: malzemenin %50 sinin geçtiği elek açıklığı x_c: malzemenin %63,2 sinin

geçtiği elek açıklığı n: Üniformite indeksi

5. PARÇALANMA BOYUT ANALİZİ

Patlatmanın birincil amacı kayacı parçalamaktır. Sadece madencilik sistemlerine uygun değil aynı zamanda satılamayacak ufak parçaları en aza indirip, satılabilecek olanların değerini arttırarak parçalanma boyut aralığını veren önemli değerler vardır. Özel Patlatma tasarımlarından elde edilen boyut dağılımlarını tahmin etmek için çeşitli modeller yıllar boyunca öne sürülmüş ve girişimlerde bulunulmuştur. [11]

5.1 KuzRam Modeli

KuzRam modeli, 1973 yılında Kuznetsov tarafından bulunan ortalama parça boyutu(x_{50}) tahmin denklemi ve Rosin-Rammler eğrisinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu modelde yığının boyut dağılım eğrisini belirlemek için Rosin-Rammler formülü kullanılır. Rosin-Rammler formülü (Denklem 5.1’de görüldüğü üzere) değirmende öğütülen minerallerin tane boyut dağılımını belirlemek için kullanılırken daha sonraları patlatma sonrası oluşan malzemenin boyut dağılımını belirlemek için kullanılmaya başlanmıştır.

$$R = e^{-(x/x_c)^n} \quad (5.1)$$

R: Elek üzerinde kalan malzemenin oranı, x : Elek açıklığı, x_c : Yüzde miktarı bulunacak tane boyutu (karakteristik boyut), n : Üniiformite indeksidir.

Yüzde miktarı bulunacak tane boyutu (x_c), malzemenin %63,2 sinin geçtiği açıklığı vermektedir. Denklem 5.2’deki gibi hesaplanır.

$$x_c = x_{50} / (0,693)^{1/n} \quad (5.2)$$

x_{50} : Kuznetsov formülünden elde edilen ortalama tane boyutu, malzemenin %50 sinin geçtiği açıklığı verir.

Üniformite indeksi(n); boyut dağılım eğrisinin eğimini belirler. Yüksek n değeri daha üniform dağılım gösterirken, düşük n değeri dağılım aralığını genişletmektedir. Üniformite indeksi denklemi (Denklem 5.3’de görüldüğü üzere) 1983 yılında Cunningham tarafından ortaya atılmıştır.

$$n = (2,2 - 14 * B / D) [(1 + S / B) / 2]^{0,5} * (1 - (W / B)) * (L / H) \quad (5.3)$$

Burada; D: Delik şarj çapı (mm), B: Dilim kalınlığı (m), S: Delikler arası mesafe (m), W: Delik sapmalarının standart sapması (m), H: Basamak yüksekliği (m), L: Şarj uzunluğu (m)’ dur.

Şeş-beş delik düzeni için n değeri bulunurken, formül 1,1 ile çarpılır.

Kuznetsov’un oluşturduğu formül (Denklem 5.4) TNT için yazılmıştır. Cunningham 1983 yılında KuzRam formülünü diğer patlayıcılar için yeniden düzenlemiş ve günümüzde kullanılan formülü oluşturmuştur.

$$x_{50} = A * (V_0 / Q_e)^{0,8} * Q_e^{0,167} * (115 / E)^{0,633} \quad (5.4)$$

Burada; A: Kayaç faktörü (1-13), Q_e: Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg), V₀: Delik başına kayaç hacmi, E: Patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvetidir. (ANFO=100) [11-12-13]

5.2 KCO Modeli

KuzRam modelinde ince malzeme sorunu ve sınırsız maksimum malzeme boyutu gibi sorunlar değişik modeller denenerek geliştirilemeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Kuznetsov-Cunningham- Ouchterlony (KCO) Modeli ortaya atılmıştır.

Ouchterlony, yeni parça boyut dağılım fonksiyonunun iri boyutlu ve ince malzemeyi daha iyi tanımladığını belirtmiştir.

Rosin-Rammler fonksiyonu gibi ortalama parça boyutu temel parametre olarak kullanan yeni fonksiyon, bunun yanında parçalanma boyutuna üst seviye yani maksimum malzeme boyutu belirleyerek (Denklem 5.5) ve eğri şekil katsayısını (Denklem 5.6) da kullanarak KuzRam modeline eklenmiştir.

KCO modeli;

$$P(x) = 1 / \{1 + [\ln(x_{\max} / x) / \ln(x_{\max} / x_{50})]^b * n\} \quad (5.5)$$

$$b = [2 * \ln(2 * \ln(x_{\max} / x_{50}))] \quad (5.6)$$

Burada; x: Belirlenen elek açıklığı (cm), x_{50} : Ortalama parça boyutu (cm), x_{\max} : Maksimum parça boyutu (cm), b: Eğri şekil katsayısı, n = Üniformite indeksi'dir. [14-15]

5.3 Görüntü İşleme Yöntemi ile Parçalanma Analizi

Parçalanma sonrası oluşan yığının hepsine elek analizi uygulamak pek mümkün olmadığından dolayı günümüzde yığın parça boyut dağılımını en iyi şekilde analiz etmek için bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır.

Ülkemizde en çok kullanılan görüntü işleme programları Wipware Inc. Şirketi tarafından geliştirilen Wipfrag programı ve Arizona Üniversitesi'nde Kemeny ve arkadaşları tarafından geliştirilen Split programıdır.

Görüntü işleme yöntemi, hızlı bir yöntemdir. Birden fazla görüntü hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir. Üretimin durdurulmasına, kesintiye uğratılmasına gerek duyulmaz. [15-16]

Bu tez kapsamında, parçalanma boyut dağılım analizi için Wipfrag programı kullanılmıştır.

Görüntü işleme ile boyut dağılım analizi yaparken en önemli nokta yığın üzerinde fotoğraflama işlemidir. Verimli bir analiz için, oluşan yığının farklı kısımlarından örnek resimler alınmalıdır. Yığından tek veya çok az fotoğraf alınması ve farklı yerlerden alınmaması durumunda verimli bir analiz olmayacaktır. Yığındaki parçaların daha net görüntülenmesi için gölge vuran karanlık kısımlardan veya güneşe karşı şekilde fotoğraflama yaparak parlamasını sağlayacak etkenlerden kaçılmalıdır.

Fotoğraflama iki şekilde yapılabilir. İlk olarak fotoğraf makinesi yere paralel olacak şekilde dikey fotoğraf çekilebilir. Fakat bu yöntemde yığın içinde iri parçaların iyi

belirlenmemesi söz konusudur. Diğer yandan açılı çekilecek fotoğraflarda yığın daha geniş bir şekilde gözükcek ve analiz edilecek parça sayısı artacaktır. Bu bakımdan açılı fotoğraf daha uygun olacaktır.

Fotoğraflama işlemi sırasında, yığın parça boyutlarının belirlenebilmesi için ölçek kullanılmalıdır. Dikey çekilen fotoğraflarda tek ölçek yeterli olabilir, ancak açılı fotoğraflarda biri yakına diğeri uzağa olmak üzere iki tane ölçek kullanılmalıdır. Dikey ve açılı fotoğraflama işlemine örnek Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

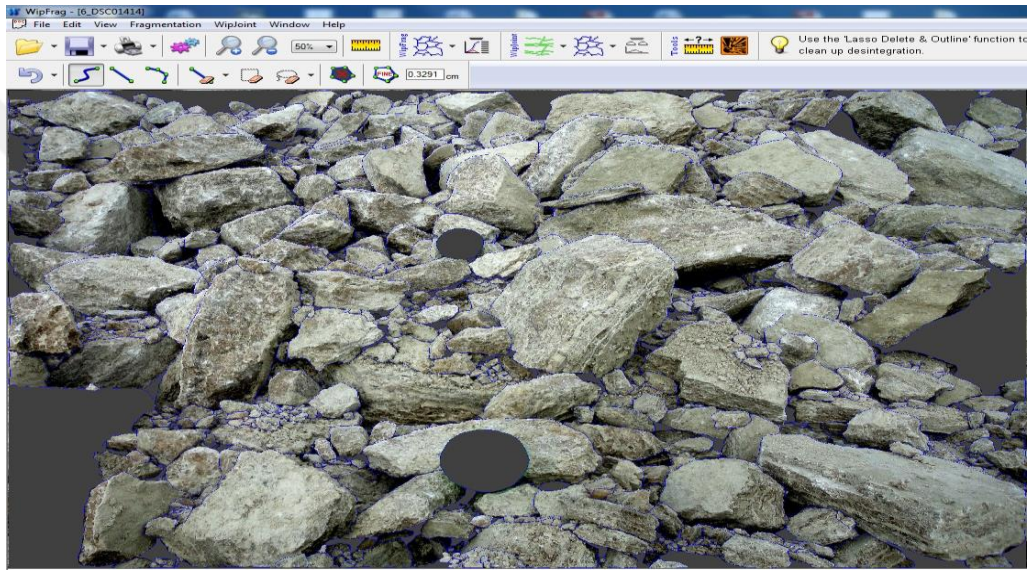


Şekil 5. 1 : Dikey olarak çekilen ölçekli fotoğraf.

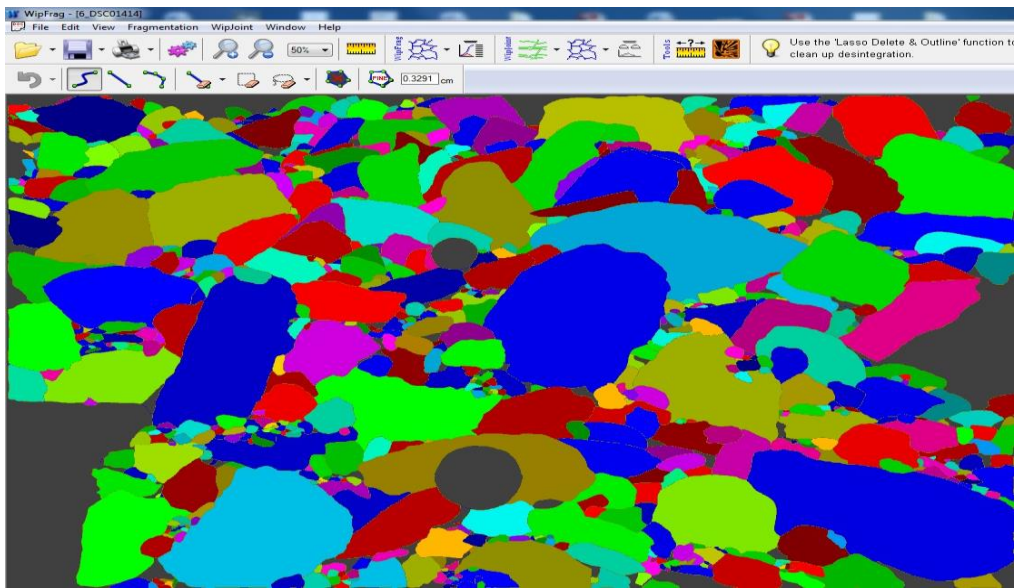


Şekil 5. 2 : Açılı olarak çekilen ölçekli fotoğraf.

Fotoğraflama işlemi sonrasında çekilen fotoğraflar digital ortamda programa aktarılır. Kullanılan ölçeklere boyut verilir, bu sayede yığın içerisindeki parçaların boyutları program içerisinde hesaplanacaktır. Program içerisinde, yığın parçaları ağlara ayrılır. Ağlama işlemi sırasında tam olarak alınamayan parçalar (parçanın boyutundan düşük ağlama, parça üzerindeki tabakalanmanın ağlanması gibi) el ile düzeltilir. Parça boyutları çizim esnasında kontrol edilebilir ve çok büyük boyutlarda (bolder) varsa görmezden gelinebilir. Boyut kontrolü ile ağlama sırasında bir hata olup olmadığı da parçaları renklendirme işlemi ile farkedilip düzeltilir. Örnek fotoğraf ağlama şekil 5.3 ve boyut kontrol etme şekil 5.4'te gösterilmiştir.

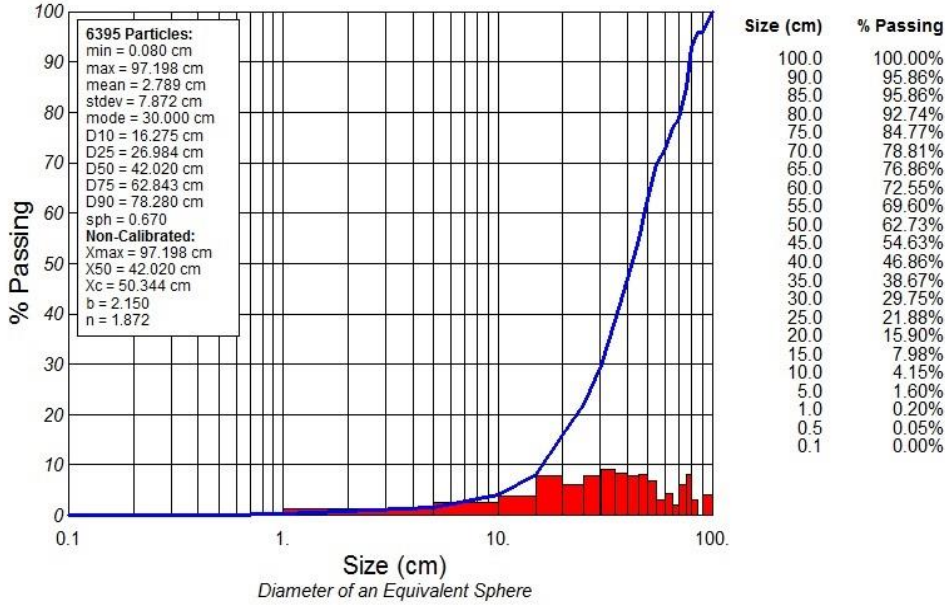


Şekil 5. 3 : Digital ortamda fotoğraf ağlama işlemi.



Şekil 5. 4 Digital ortamda boyut kontrolü.

Fotoğraf ağlama işleminin ardından program boyut dağılım grafiğini oluşturur. Her bir yığın için birden fazla fotoğraf işlenir ve bunların sonuçları birleştirilerek yığının parça boyut dağılım eğrisi ortaya konur. Teorik modellerde hesaplayıp formüle koyduğumuz x_{50} , x_c , n değerleri program yardımıyla otomatik olarak belirlenir. Örnek boyut dağılım grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5. 5 : Bir atım için parça boyut dağılım eğrisi.

5.4 Teorik Modeller ve Görüntü İşleme Yönteminin Kıyaslanması

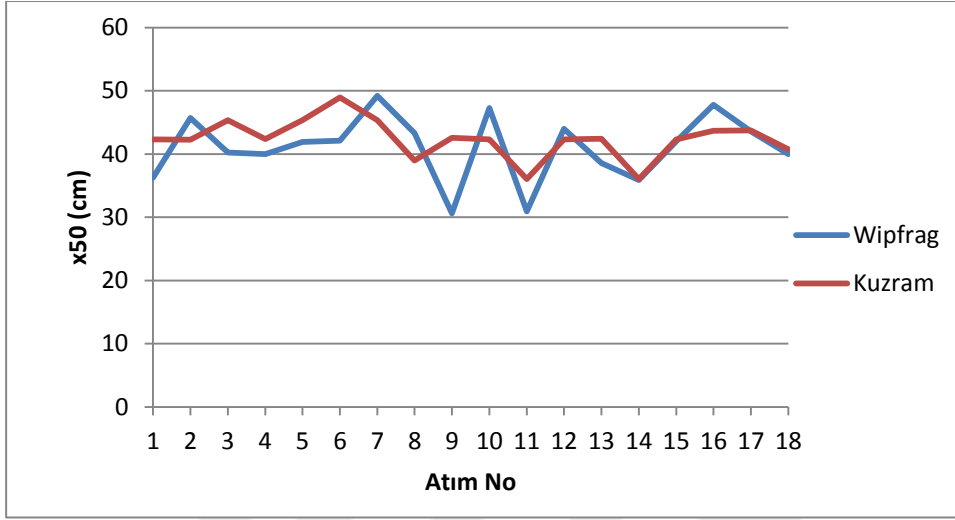
KuzRam ve KCO modellerinde, ortalama parça boyutu bulunması için kayaç faktörünün (A) bilinmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında kayaç faktörünü belirlemek için görüntü işleme yoluyla ölçülen değerler teorik KuzRam modeliyle karşılaştırılmış ve KuzRam modeli için en uygun kayaç faktörü kullanılmıştır. Bu yolla kayaç faktöründeki değişimin KuzRam modelindeki temel parametrelere etkisi de incelenmiştir (çizelge 5.1). Burada farklı A değerleri ile bulunan x_{50} değerlerinin mutlak hatası hesaplanarak en düşük mutlak hatada olan A değeri kayaç faktörü olarak seçilmiştir. Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere bu değer 9 olarak belirlenmiştir

Kayaç faktörü 9 için; Wipfrag ve KuzRam modelinin x_{50} , x_c , n değerleri arasındaki ilişkiler ve sapmalar irdelenmiş ve Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7'de birbirleri ile olan bağlantılar gösterilmiştir.

Çizelde 5. 1 : Farklı kayaç faktörlerinin kıyaslanması.

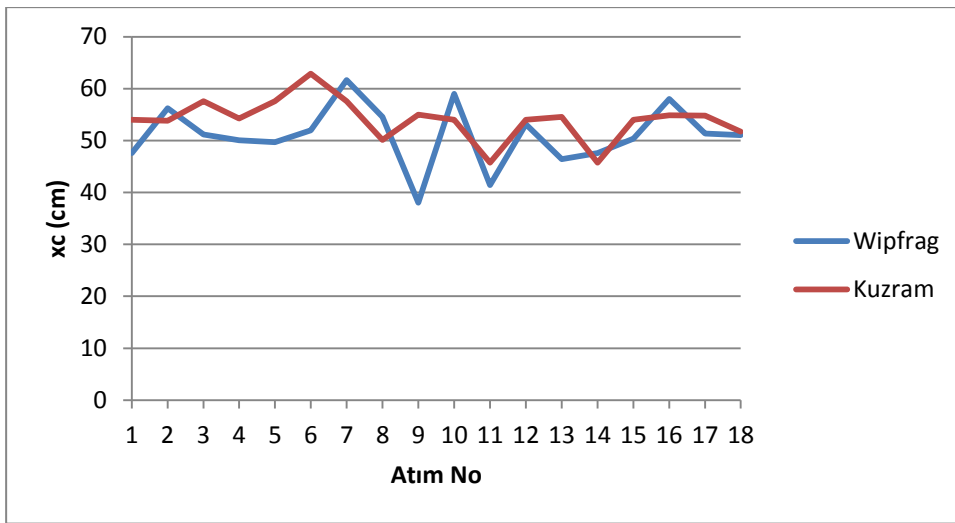
Atım No	X ₅₀ Wipfrag (cm)	X ₅₀ KuzRam A6 (cm)	Mutlak hata (cm)	X ₅₀ KuzRam A7 (cm)	Mutlak hata (cm)	X ₅₀ KuzRam A8 (cm)	Mutlak hata (cm)	X ₅₀ KuzRam A9 (cm)	Mutlak hata (cm)	X ₅₀ KuzRam A10 (cm)	Mutlak hata (cm)
1	36,23	28,22	8,01	32,92	3,31	37,62	1,39	42,32	6,09	47,03	10,80
2	45,73	28,20	17,53	32,90	12,83	37,60	8,13	42,30	3,43	47,00	1,27
3	40,27	30,25	10,02	35,29	4,98	40,33	0,06	45,37	5,10	50,42	10,15
4	40,01	28,25	11,76	32,96	7,05	37,66	2,35	42,37	2,36	47,08	7,07
5	41,94	30,25	11,69	35,29	6,65	40,33	1,61	45,37	3,43	50,42	8,48
6	42,12	32,65	9,47	38,09	4,03	43,53	1,41	48,97	6,85	54,41	12,29
7	49,21	30,25	18,96	35,29	13,92	40,33	8,88	45,37	3,84	50,42	1,21
8	43,34	25,96	17,38	30,29	13,05	34,61	8,73	38,94	4,40	43,26	0,08
9	30,63	28,37	2,26	33,10	2,47	37,83	7,20	42,56	11,93	47,29	16,66
10	47,31	28,22	19,09	32,92	14,39	37,62	9,69	42,32	4,99	47,03	0,28
11	30,95	24,03	6,92	28,04	2,91	32,04	1,09	36,05	5,10	40,05	9,10
12	43,98	28,22	15,76	32,92	11,06	37,62	6,36	42,32	1,66	47,03	3,05
13	38,56	28,30	10,26	33,02	5,54	37,73	0,83	42,45	3,89	47,17	8,61
14	35,88	24,03	11,85	28,04	7,84	32,04	3,84	36,05	0,17	40,05	4,17
15	42,02	28,22	13,80	32,92	9,10	37,62	4,40	42,32	0,30	47,03	5,01
16	47,79	29,14	18,65	34,00	13,79	38,86	8,93	43,72	4,07	48,57	0,78
17	43,59	29,17	14,42	34,04	9,55	38,90	4,69	43,76	0,17	48,62	5,03
18	39,99	27,16	12,83	31,69	8,30	36,22	3,77	40,74	0,75	45,27	5,28
Ortalama Mutlak Hata			12,82		8,38		4,63		3,81		6,07

İşletmede uygulanan 18 atım sonucunda gerek teorik modeller gerekse görüntü işleme tekniği ile elde edilen boyut dağılım eğrileri sonucu bulunan x_{50} , x_c , ve n değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bu değerlerin teorik ve pratik olarak kıyaslanması Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' de gösterilmiştir.



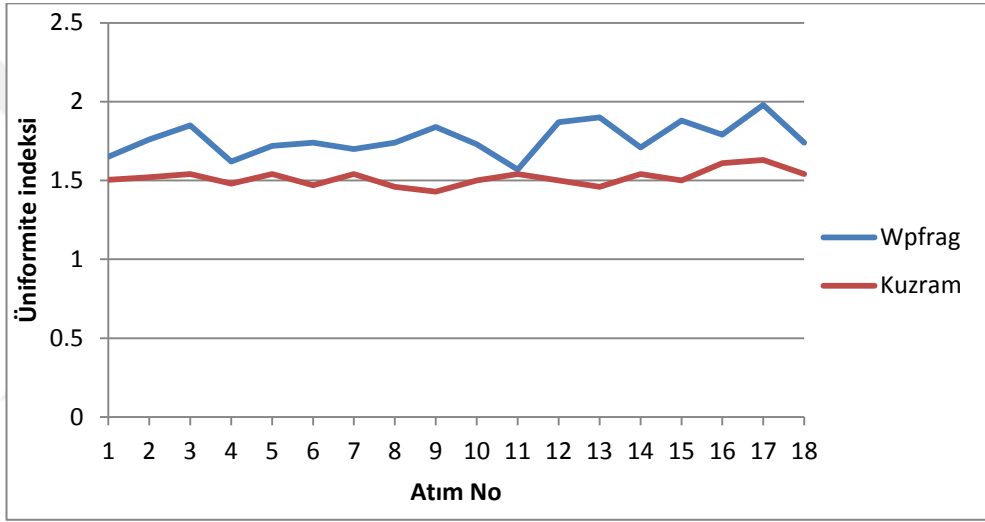
Şekil 5. 6 : Wipfrag ve KuzRam x_{50} değerlerinin kıyaslanması.

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi; 9 numaralı atım dışında değerler arasında çok fazla sapma görülmektedir. 9 numaralı atımda 11,93 cm sapma görülmektedir. Diğer iki yüksek sayılabilecek sapsmalar 6,85 cm ile 6 numaralı atım ve 6,09 cm ile 1 numaralı atımlardır. Atımların genelinde tahmin modeli değerleri biraz daha yüksek olarak görülmekte ve uygulama ile aralarında çok fark görülmemektedir.



Şekil 5. 7 : Wipfrag ve KuzRam x_c değerlerini kıyaslanması

Teorik ve pratikte bulunan xc değerlerini kıyasladığımızda (Şekil 5.6), genel olarak tahmin değerleri uygulama değerlerine oranla biraz daha yüksek çıkmış, fakat aralarında çok büyük farklar bulunmamaktadır. Genel olarak baktığımızda ortalama sapma değeri 5,27 cm'dir. ortalamayı geçen en büyük sapma 16,93 cm ile 9 numaralı atımda ikinci olarak da 10,94 cm ile 6 numaralı atımda, 8,15 cm ile 13 numaralı atımda ve 7,88 cm ile 5 numaralı atımda meydana gelmiştir. Bu atımlarda böyle sapma olmasının nedeni atım sırasında uygulanan basamak geometrisindeki hatalar veya fotoğraflama esnasında çekilen fotoğrafların daha ince boyutları görmüş olması olabilir. Genele baktığımızda bulunan değerler teorik ve pratik olarak birbirlerine yakın çıkmıştır.

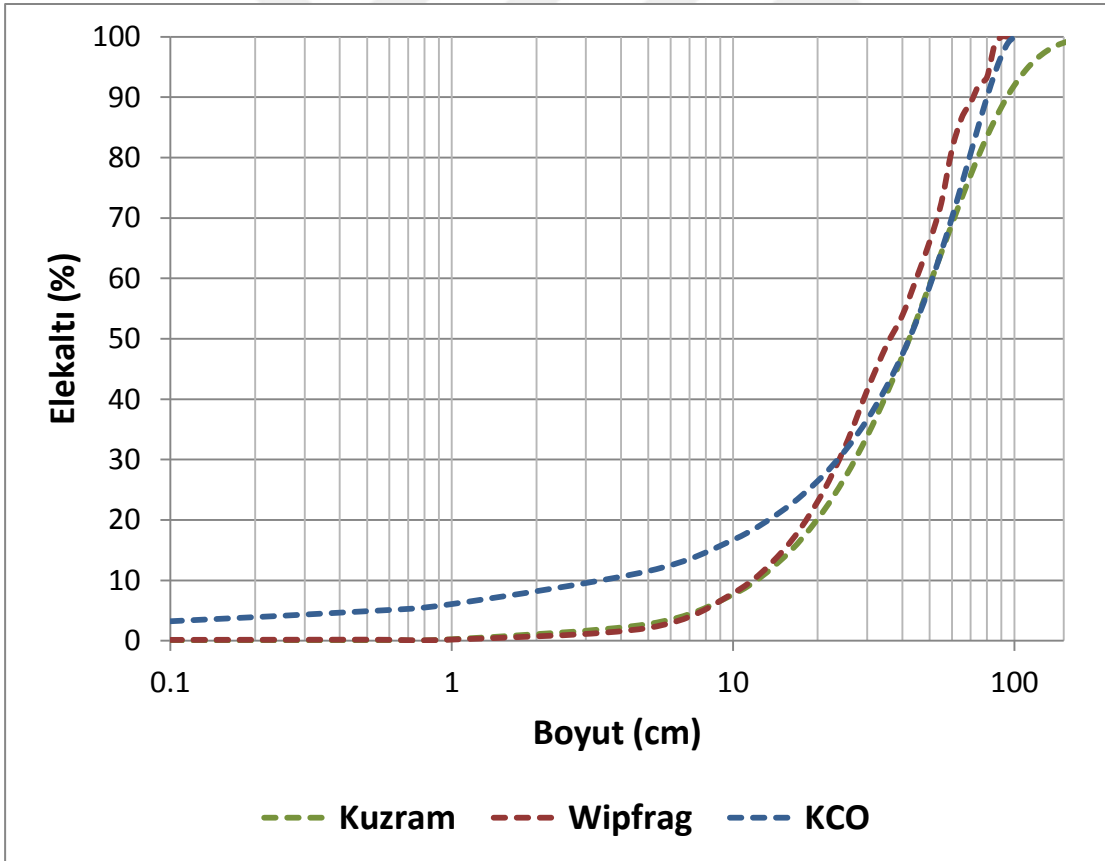


Şekil 5. 8 : Wipfrag ve KuzRam n değerlerinin kıyaslanması.

n değerlerini incelediğimizde, bütün atımlarda Wipfrag programı ile yapılan dağılım eğrisinin üniformite katsayılarının KuzRam'a göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Teorik modelde yapılan tahmin dağılımının üniformite değerleri, yani grafik eğimi daha düşük olarak hesaplamıştır. Buradan görüntü işleme yoluyla yapılan boyut dağılım analizinin daha üniform bir yapı gösterdiği anlaşılabilir.

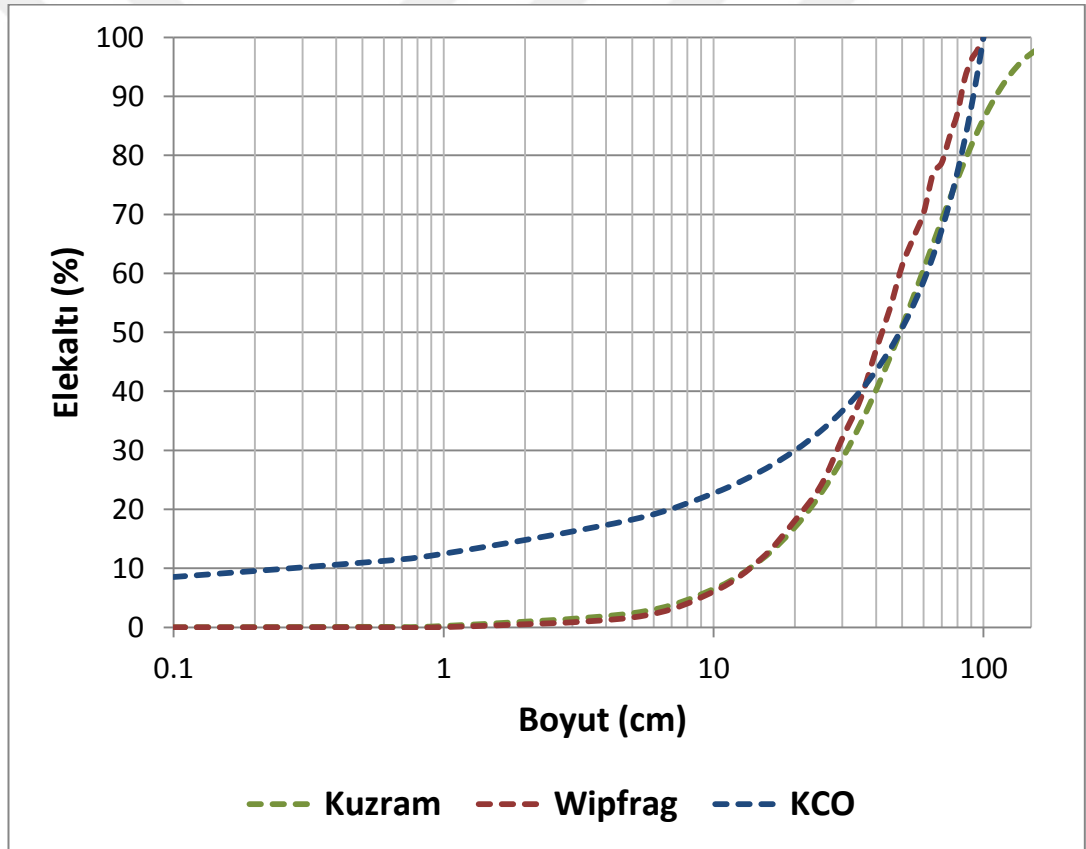
5.5 Boyut Dağılım Grafiklerinin Karşılaştırılması

1 numaralı atım için boyut dağılım grafiklerini incelediğimizde (Şekil 5.9) KCO modelinde ince boyutlu malzeme miktarı KuzRam modeli ve Wipfrag programıyla oluşturulan dağılım grafiğinde belirlenen ince boyut malzeme miktarından daha fazla hesaplanmaktadır. 3 dağılım grafiği içinde x_{10} değerlerine bakacak olursak; parçalanmış malzemenin KuzRam için %7,66, Wipfrag için %7,86 ve KCO için %16,71'i elek altına geçmiştir. X_{50} , x_c ve n değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Kuzram modelinde sabit bir maksimum boyut olmadığından 200 m'ye kadar tahmin gerçekleştirmiştir. x_{40} ve x_{70} değer aralıkları KCO ve KuzRam modellerinde hemen hemen aynı tahmin edilmiştir. KuzRam modeline göre 100 cm'nin üzerinde kalan malzeme miktarı %8,05 olarak tahmin edilmiştir. KCO ve Wipfrag dağılım grafiklerinde maximum değer 100 cm'dir. Genel olarak 3 grafiğede bakılırsa hemen hemen birbirlerine yakın grafikler çizilmiştir.



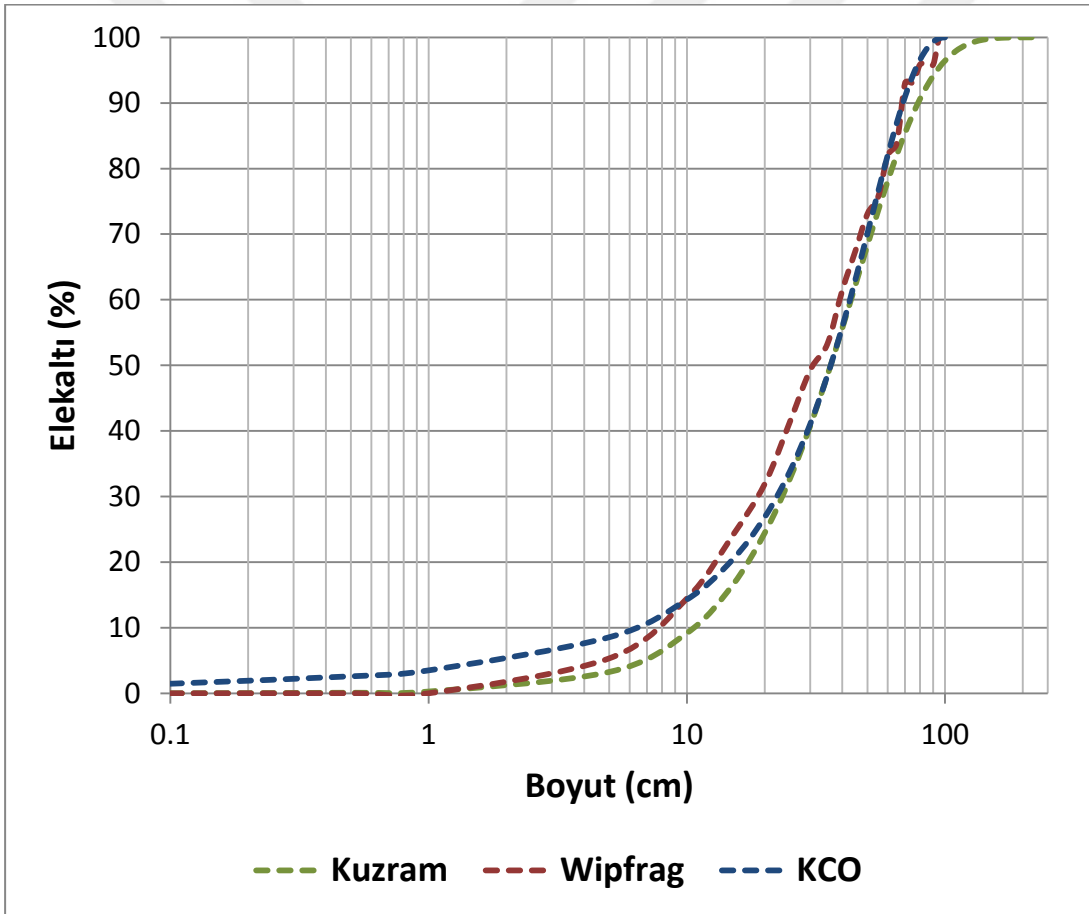
Şekil 5. 9 : Atım 1 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.

6 numaralı atım için boyut dağılım grafiklerini incelediğimizde (Şekil 5.10) KCO modelinde ince boyutlu malzeme miktarı KuzRam modeli ve Wipfrag programıyla oluşturulan dağılım grafiğinde belirlenen ince boyut malzeme miktarından daha fazla hesaplanmaktadır. 3 dağılım grafiği içinde x_{10} değerlerine bakacak olursak; parçalanmış malzemenin KuzRam için %6,48 Wipfrag için %6,05 ve KCO için %26,35'i elek altına geçmiştir. X_{50} , x_c ve n değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. x_{40} ve x_{70} değer aralıkları KCO ve KuzRam modellerinde hemen hemen aynı tahmin edilmiştir. KuzRam modeline göre 100 cm'nin üzerinde kalan malzeme miktarı %13,84 olarak tahmin edilmiştir. KCO ve Wipfrag dağılım grafiklerinde maximum değer 100 cm'dir. Genel olarak 3 grafiğede bakılırsa hemen hemen birbirlerine yakın grafikler çizilmiştir.



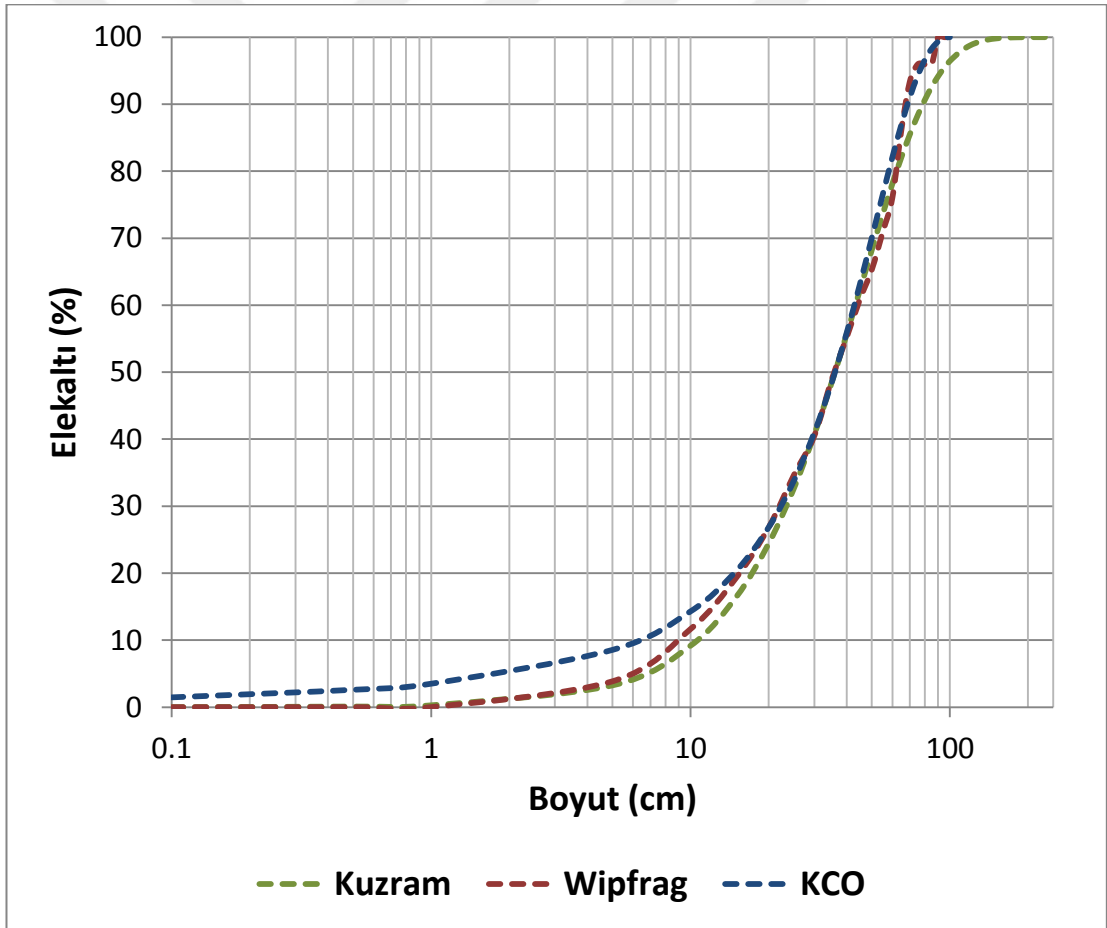
Şekil 5. 10 : Atım 6 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.

11 numaralı atım için boyut dağılım grafiklerini incelediğimizde (Şekil 5.11) KCO modeli, KuzRam modeli ve Wipfrag programıyla oluşturulan dağılım grafiğinde belirlenen ince boyut malzeme miktarları hemen hemen aynı hesaplanmaktadır. 3 dağılım grafiği içinde x_{10} değerlerine bakacak olursak; parçalanmış malzemenin KuzRam için %9,18 Wipfrag için %14,45 ve KCO için %10,30'i elek altına geçmiştir. X_{50} , x_c ve n değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. x_{40} ve x_{70} değer aralıkları KCO ve KuzRam modellerinde hemen hemen aynı tahmin edilmiştir. KuzRam modeline göre 100 cm'nin üzerinde kalan malzeme miktarı %3,55 olarak tahmin edilmiştir. KCO ve Wipfrag dağılım grafiklerinde maximum değer 100 cm'dir. Genel olarak 3 grafiğe de bakılırsa hemen hemen birbirlerine yakın grafikler çizilmiştir.



Şekil 5. 11 : Atım 11 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.

14 numaralı atım için boyut dağılım grafiklerini incelediğimizde (Şekil 5.12) KCO modeli, KuzRam modeli ve Wipfrag programıyla oluşturulan dağılım grafiğinde belirlenen ince boyut malzeme miktarları hemen hemen aynı hesaplanmaktadır. 3 dağılım grafiği içinde x_{10} değerlerine bakacak olursak; parçalanmış malzemenin KuzRam için %9,18 Wipfrag için %11,66 ve KCO için %10,30'i elek altına geçmiştir. X_{50} , x_c ve n değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. x_{40} ve x_{70} değer aralıkları KCO ve KuzRam modellerinde hemen hemen aynı tahmin edilmiştir. KuzRam modeline göre 100 cm'nin üzerinde kalan malzeme miktarı %3,55 olarak tahmin edilmiştir. KCO ve Wipfrag dağılım grafiklerinde maximum değer 100 cm'dir. Genel olarak 3 grafiğe de bakılırsa hemen hemen birbirlerine yakın grafikler çizilmiştir.



Şekil 5. 12 : Atım 14 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



6. ÇEVRESEL ETKİLER

Madencilik sektöründe karşılaşılan en sıkıntılı ve karmaşık olaylardan birisi patlatma sonrası meydana gelen çevresel sorunlardır.

Patlatma işlemi sırasında patlayıcı enerjisinin bir kısmı kayaçta bir çatlak şebekesi oluşturmak ve oluşan bu yapıyı ileriye doğru ötelemek, diğer bir kısmı ise sismik, ısı, ışık, ses enerjisi olarak harcanarak; yer sarsıntısı, hava şoku, taş savrulması, gaz emisyonu gibi çevresel olumsuzluklara neden olur. Bu etkiler ise işletme, çalışanlar ve işletme yakınındaki yerleşim yerleri için problemler doğurur. [6,9]

6.1 Yer Sarsıntıları ve Hava Şoku

Patlatmalardan kaynaklanan en önemli çevresel etkiler yer sarsıntılarıdır. Bunun nedeni, sarsıntısının diğer etkenlere göre daha uzak mesafelere ulaşabilmesidir.

Yer sarsıntıları incelenirken, ilerleyen dalga türlerinin anlaşılması da önemlidir. Çünkü farklı dalga türleri binalar üzerinde farklı kuvvetler ile etkili olur ve farklı hasarlanma şekillerine neden olurlar.

Gövde dalgaları, P dalgaları ve S dalgaları olarak ikiye ayrılır. P, dalgaları ilerleme yönünde basınç ve gerilme dalgaları şeklinde hareket ederler ve en çabuk yayılan dalgalardır. S dalgaları, sarsıntının ilerleme yönüne dik harekete ve makaslama şeklinde bir gerilime neden olurlar.

Yüzey dalgaları, gövde dalgalarından daha sonra etkili olmalarına rağmen, yarattıkları hareketin yüzeyde yoğunlaşması ve ilerlemesi nedeniyle binalar üzerinde daha fazla hasar yaratma riski vardır. En önemli yüzey dalgaları Love ve Rayleigh dalgalarıdır.

Patlatma kaynaklı yer sarsıntısının oluşumu üzerinde etkili olan faktörleri genel olarak kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Kontrol edilebilen faktörler arasında gecikme başına patlayıcı miktarı, ateşleme yönü, şarj boyu ve çapı, delik eğimi, dilim kalınlığı, delikler arası

mesafe sayılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise topografya, örtü tabakasının tipi ve atmosferik koşullardır.

Hava şoku, yüksek frekanslı işitilebilir sestem oluşan ve düşük frekanslı işitilemeyen sestem oluşan atmosferik bir hava basınç dalgasıdır. İşitilemeyen düşük frekanslı hava şoku, yüksek olanlara göre daha geç sönümlenir ve uzun mesafelerde etkilidir.

Yer titreşimleri ölçülürken en çok tercih edilen parametre parçacık hızıdır. Titreşim dalgaları tarafından harekete maruz bırakılan parçacık, üç boyutlu salınım özelliği gösterebileceğinden birbirine dik üç yönde (boyuna, düşey, enine) ölçümü yapılır.

Maksimum parçacık hızı değerlendirilirken ölçekli mesafe kavramı kullanılabilir. [3,17,18,19]

6.2 İşletmede Ölçülen Titreşim ve Hava Şoku Değerleri

İşletmede titreşim ve hava şoku ölçümleri InstanTel MiniMate Plus cihazı ile yapılmıştır. Cihaz jeofon yardımıyla parçacığın enine, boyuna ve düşeydeki hızlarını ve mikrofon ile hava şoku seviyesinin ölçümünü yapar. Ölçülen veriler Blastware 8 yazılımı ile bilgisayarda analiz edilir.



Şekil 6. 1 : MiniMate Plus Cihazı İle Arazi Ölçümü.

Çizelge 6. 1 : İşletmede Ölçülen Titreşim ve Hava Şoku Değerleri.

Atım No	d (m)	Titreşim							Hava Şoku (dB)
		ppt (mm/s)	Frequency (Hz)	ppv (mm/s)	Frequency (Hz)	ppl (mm/s)	Frequency (Hz)	PVS (mm/s)	
1	28,5	11,7	47	73,3	47	26,8	57	73,8	91,5
2	48	21,3	51	45	57	35,7	32	45,5	124,5
3	55,5	29,6	27	39	51	30,4	39	42,8	123,7
5	39	38,6	51	57,9	>100	39,5	28	64,5	127,9
6	110	22,2	41	42,4	53	34	32	45,3	130,3
7	45	49,7	28	53,1	47	53	27	62,5	130,2
8	50	16,3	57	17,3	>100	15,7	51	22,4	128,8
9	49,5	52,2	27	29	51	52,8	53	63,5	127
10	43,5	37,5	64	49,8	51	61	30	63,1	123,6
11	66	21,5	47	37,8	73	40,4	24	47	132,4
12	200	11,6	47	10,9	73	14,4	37	19,3	126,3
13	300	0,127	>100	0,762	27	1,14	14	1,17	120,1
14	200	0,762	73	0,762	21	0,762	23	1,95	115
15	43,5	32,3	23	49,1	28	59,8	30	64,7	127,7
16	200	1,4	26	1,14	23	1,65	26	1,67	115,4
17	120	3,56	73	4,57	>100	4,44	64	5,01	126,1
18	60	11	22	11,6	43	15,9	43	15,9	130,1

d: Ölçüm noktasının patlama noktasına olan uzaklığı, ppt: Yatay maksimum parçacık hızı ppv: Düşey maksimum parçacık hızı, ppl: Boyuna maksimum parçacık hızı , pvs: Maksimum parçacık hızı bileşkesi

6.3 Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Patlatma kaynaklı çevresel etkiler ve hasarlar bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve bu araştırmalara dayanan titreşim standartları belirlenmiştir. Bu yaklaşımlar titreşim standartlarını parçacık hızına dayanarak sınıflandırır. Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 gösterilmiştir.

Çizelge 6. 2 : Langefors, Khilstörm ve Westerberg'in Parçacık Hızına Bağlı Hasar Sınıflaması (1958).

Parçacık Hızı (mm/sn)	Hasar
71 mm/sn	HasarYok
109 mm/sn	İnce Sıva Çatlakları
160 mm/sn	Sıva ve Duvarlarda Çatlaklar
231 mm/sn	Ciddi Çatlaklar

Çizelge 6. 3 : Patlatma Hasar Kriterleri (Edwards ve Northwood-1959).

Parçacık Hızı (mm/sn)	Hasar
$\leq 50,8$ mm/sn	Güvenli Bölge
50.8-101,6 mm/sn	Dikkatli Olunması Gereken Bölge
$> 101,6$ mm/sn	Hasar Bölgesi

Çizelge 6. 4 : Parçacık Hızına Bağlı Hasar Kriterleri (USBM-1971).

Parçacık Hızı	Hasar
$\leq 50,8$ mm/sn	Hasar Yok
50.8-101,6 mm/sn	Sıva Çatlakları
101,6-177,8 mm/sn	Küçük Hasarlar
$> 177,8$ mm/sn	Büyük Hasarlar

6.3.1 Uzaklığa bağlı parçacık hızı

OSMRE standartlarına göre, patlatma sonrası 3 boyutta ölçülen titreşim değerlerinin limitleri Çizelge 6.5'te gösterilmiştir. Ölçülen değerler bu limitlerin altında olursa patlatma çevre için zararsız olarak tanımlanır. Bu standartlara göre değerlendirmede frekansa bakılmaz.

Çizelge 6. 5 : Değişik Mesafelerden İzin Verilen Maksimum Parçacık Hızı (OSMRE)

Mesafe (m)	Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)
0-91	31,75
91-1524	25,4
≥ 1524	19,05

Çizelge 6.1 incelendiğinde, atım 5 ve 18 ppv değerleri 31,75 mm/sn'nin ve 200, 300 ve 120 m uzaklıklardan yapılan atımların 25,4 mm/sn'in altında kaldığı görülmektedir.

6.3.2 Uzaklığa Bağlı Ölçekli Mesafe

Ölçekli mesafe (Denklem 6.1'de görüldüğü üzere), patlatma noktasına olan uzaklık ile gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarının kombinasyonu olarak hesaplanır.

$$SD = D / \sqrt{W} \quad (6.1)$$

Burada; SD: Ölçekli mesafe (m/kg^{0,5}), D: Patlatma noktasına olan uzaklık (m), W: Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı (kg)

Çizelge 6.6'da Uzaklığa bağlı olarak izin verilebilen maksimum ölçekli mesafe değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6. 6 : Uzaklığa Bağlı Olarak İzin Verilebilen Maksimum Ölçekli Mesafe Değerleri

Uzaklık [ft] // [m]	Ölçekli Mesafe Limit Değeri SD= D/W ^{0.5} [ft/lb ^{0.5}]	8 ms aralıkla patlatılabilecek azami patlayıcı miktarı [lb] // [kg]
100 // 30,48	SD = 50 0-300 ft / 0-90 m	4,0 // 1,8140
150 // 45,72		9,0 // 4,0815
200 // 60,96		16,0 // 7,2576
250 // 76,20		25,0 // 11,3375
300 // 91,44		36,0 // 16,3260
400 // 121,92	SD = 55 301-5000 ft / 91-1500 m	53 // 24,0355
600 // 182,88		119 // 53,9665
800 // 243,84		212 // 96,1420
1000 // 304,80		331 // 150,1085
2000 // 609,60		1322 // 599,5270
4000 // 1219,20		5290 // 2399,015
5500 // 1676,40	SD = 65 >5001ft / >1501m	7160 // 3247,612
6000 // 1828,80		8521 // 3864,273
10000 // 3048,00		23700 // 10747,950

6.3.3 Frekans-Parçacık Hızı İkilisi

Frekans, birim zamanda oluşan titreşim dalgalarının sayısı olarak ifade edilir ve birimi Hertz (Hz) olarak gösterilir. [9]

Yapılan araştırmalar titreşim analizlerinde frekansın da etkin bir rol oynadığını göstermektedir. Frekansın yüksek olduğu atımlar çevredeki yapılara daha az zarar verirken frekansın düşük olduğu durumlar çevre yapıları için daha tehlikeli olarak belirlenebilirler. 40 Hz altı frekans değerleri düşük frekanslı olarak kabul edilirken, 40 Hz üstü frekans değerleri yüksek olarak kabul görmektedir.

Pratik olarak düşük frekanslı yer sarsıntısı yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0,75 in/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0,50 in/sn (12,7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2,0 in/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir. [21]

Frekans-Parçacık hızına bağlı titreşim değerleri için OSMRE standartları Çizelge 6.7'de, Alman standartları olan DIN 4150 Çizelge 6.8' de ve Türk standartları Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. 7 : OSMRE'ye göre maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.

Yapı Türü	Maksimum Parçacık Hızı	
	Düşük Frekans <40 Hz	Yüksek Frekans >40 Hz
Modern Alçı Pano Duvarlı Evler	19,0 mm/s	50,8 mm/s
Ahşap sıva Duvarlı Evler	12,7 mm/s	50,8 mm/s

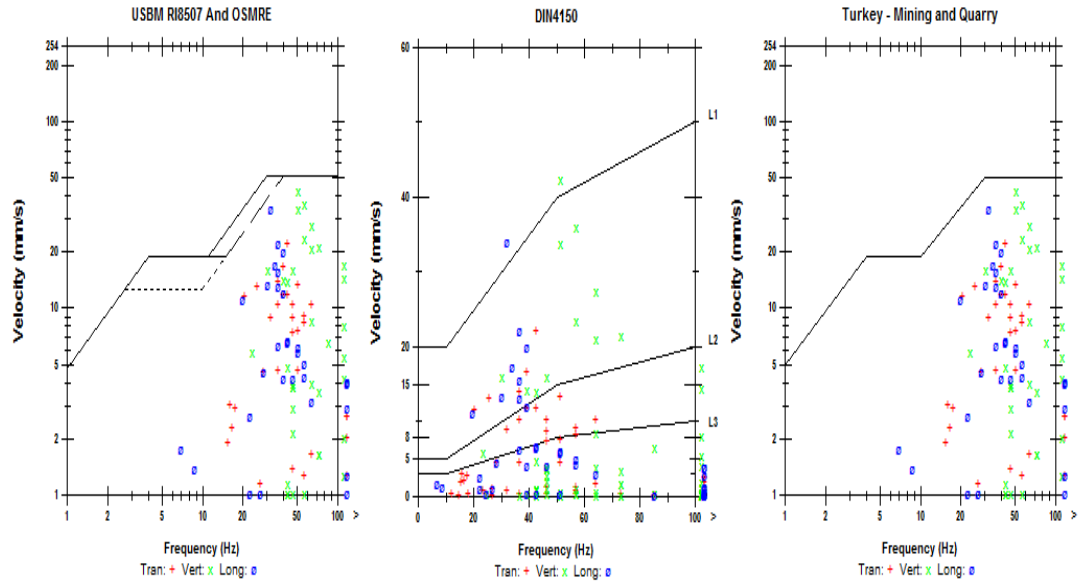
Çizelge 6. 8 : DIN 4150 standartlarına göre maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.

Yapı Türü	Maksimum Parçacık Hızı (mm/s)		
	Taban Seviyesindeki Frekans Degerleri (Hz)		
	<10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz
1 Endüstriyel Binalar	20	20-40	40-50
2 Yerleşim Birimleri ve Benzer Yapılar	5	5-15	15-20
3 Titreşime Duyarlı Yapılar	3	3-8	8-10

Çizelge 6. 9 Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen maksimum parçacık hızı-frekans ilişkisi.

Titreşim Frekans (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

Bu standartlar doğrultusunda Blastware 10 yazılımı ile, ölçümü yapılan atımların oluşturduğu titreşimlerin çevreye oluşturacakları muhtemel riskler belirlenmiştir. Bu doğrultuda Atım No 6 Şekil 6.2’de ve Atım No 9 Şekil 6.3’de örnek olarak incelenmiştir.

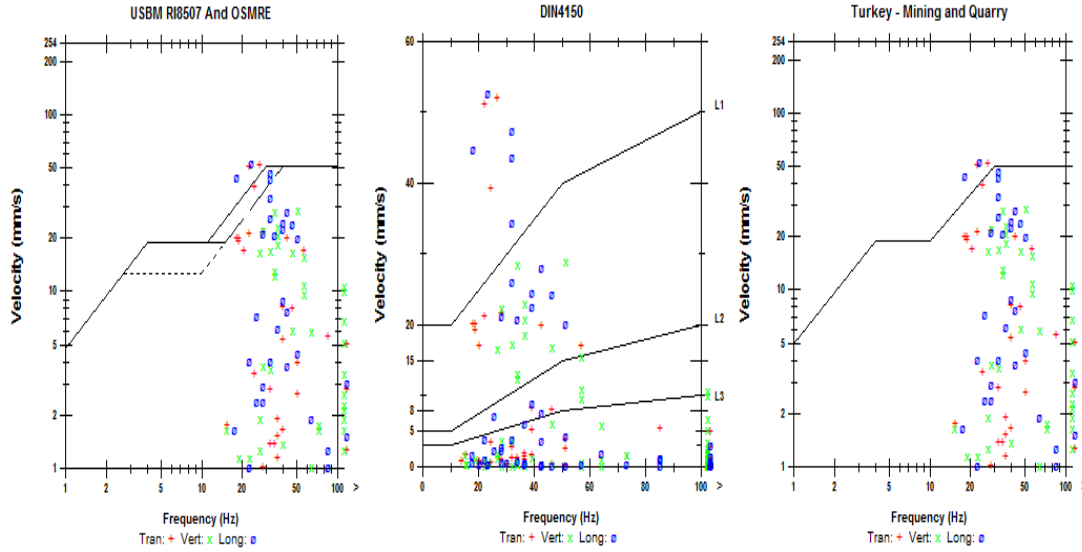


Şekil 6. 2 : Atım 6 için elde edilen maksimum düşey, enine ve boyuna parçacık hızları ve frekans ilişkisi.

Atım 6 için OSMRE grafiği incelendiğinde maksimum parçacık hızı bileşenlerinin belirlenen sınır değerler içerisinde olduğu görülmektedir. Yüksek ve düşük frekans durumlarında ölçülen maksimum bileşenler sınır içerisinde olduğundan çevre yapılarına herhangi bir zarar oluşturmayacağı görülmektedir.

Aynı atım için DIN standart grafiği incelendiğinde endüstriyel yapılar için bir sorun oluşturmaz iken yerleşim yerleri ve titreşime duyarlı yapılar için maksimum değer çizgisinin üstünde değerler ölçüldüğü görülmektedir. İşletmenin çevresinde bu tarz yapılar bulunmadığından çevreye herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

Türk standartlarını incelediğimizde OSMRE grafiği ile benzer özellik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6. 3 : Atım 9 için elde edilen maksimum düşey, enine ve boyuna parçacık hızları ve frekans ilişkisi.

Atım 9 için maksimum parçacık hızı-frekans grafik dağılımı incelendiğinde OSMRE standartlarında yüksek frekans değerleri için bir sorun teşkil etmemekte, düşük frekans değerlerinde de çoğu değer optimum çizgi altında görülmektedir.

Aynı atım için DIN standartlarını incelediğimiz zaman özellikle 50 Hz altı frekans değerleri için endüstriyel ve hassas yapılar için yüksek değerler olduğu söylenebilir.

Aynı atım için yine Türk standartlarını incelediğimizde OSMRE grafiği ile benzer özellik gösterdiği söylenebilir.

6.3.4 Patlatma kaynaklı titreşimler için ön tahmin modeli

Sahada ölçülen parçacık hızı değerleri ve ölçekli mesafe kavramı kullanılarak işletme için regresyon analizi yapılabilir. Ölçekli mesafe için farklı araştırmacılar değişik formüller önermişlerdir (Çizelge 6. 9).

Çizelge 6. 10 : Farklı araştırmacılar için ölçekli mesafe yaklaşımları.

USBM [23]	Langefors-Kihlström [24]	Ambraseys-Hendron [25]	Indian standards [26]	CMRI [27]
D/\sqrt{W}	$\sqrt{W}/D^{3/4}$	$D/W^{1/3}$	$W/D^{2/3}$	\sqrt{W}/D

Çizelge 6. 11 : Farklı ölçekli mesafe formülleri ile elde edilen SD değerleri.

USBM SD	Langefors-Kihlström SD	Indian SD	Ambraseys-Hendron SD	CMRI SD
2,44	0,95	14,41	6,53	0,41
4,12	0,64	10,17	10,99	0,24
4,76	0,57	9,22	12,71	0,21
3,34	0,75	11,68	8,93	0,30
9,43	0,34	5,83	25,20	0,11
2,73	0,95	21,23	8,37	0,37
6,25	0,43	4,65	14,36	0,16
3,50	0,76	14,64	10,10	0,29
3,73	0,69	10,86	9,96	0,27
5,66	0,50	8,21	15,12	0,18
12,13	0,31	7,81	37,21	0,08
25,72	0,16	2,98	68,72	0,04
17,15	0,22	3,91	45,81	0,06
2,64	0,97	21,72	8,09	0,38
11,79	0,32	8,27	36,58	0,08
10	0,33	5,83	27,02	0,10
5,67	0,49	7,21	14,57	0,18

Her atım için ölçekli mesafe tespit edildikten sonra parçacık hızı değerleri kullanılarak tek değişkenli regresyon analiz gerçekleştirilir ve maksimum parçacık hızını (ppv) tahmin eden bir denklem (Denklem6.2) ortaya konur. [22]

$$PPV = k * (SD)^{-\beta} \quad (6.2)$$

Burada k ve β saha sabitleri olup; k, yer iletim katsayısı ve β , jeolojik sabit olarak ifade edilir. Bu iki katsayının belirlenmesi için arazi üzerinde belli sayıda ölçüm alınması gerekmektedir. [28] K sabiti regresyon analizi eğrisinin maksimum değerini, β sabiti ise bu eğrinin eğimini belirler. [9]

USBM için maksimum parçacık hızı tahmin denklemi (Denklem 6.3) Şekil 6.4'deki regresyon analizi ile hesaplanmıştır;

$$PPV = 539,67 * (SD)^{-1,797} \quad (6.3)$$

$$R^2 = 0,7733$$

Langefors-Kihlström için maksimum parçacık hızı tahmin denklemi (Denklem 6.4) Şekil 6.5'teki regresyon analizi ile hesaplanmıştır;

$$PPV = 114,19 * (SD)^{-2,34} \quad (6.4)$$

$$R^2 = 0,754$$

Indian standards için maksimum parçacık hızı tahmin denklemi (Denklem 6.5) Şekil 6.6'daki regresyon analizi ile hesaplanmıştır;

$$PPV = 0,3483 * (SD)^{-1,911} \quad (6.5)$$

$$R^2 = 0,5463$$

Ambraseys-Hendron için maksimum parçacık hızı tahmin denklemi (Denklem 6.6) Şekil 6.7'deki regresyon analizi ile hesaplanmıştır ;

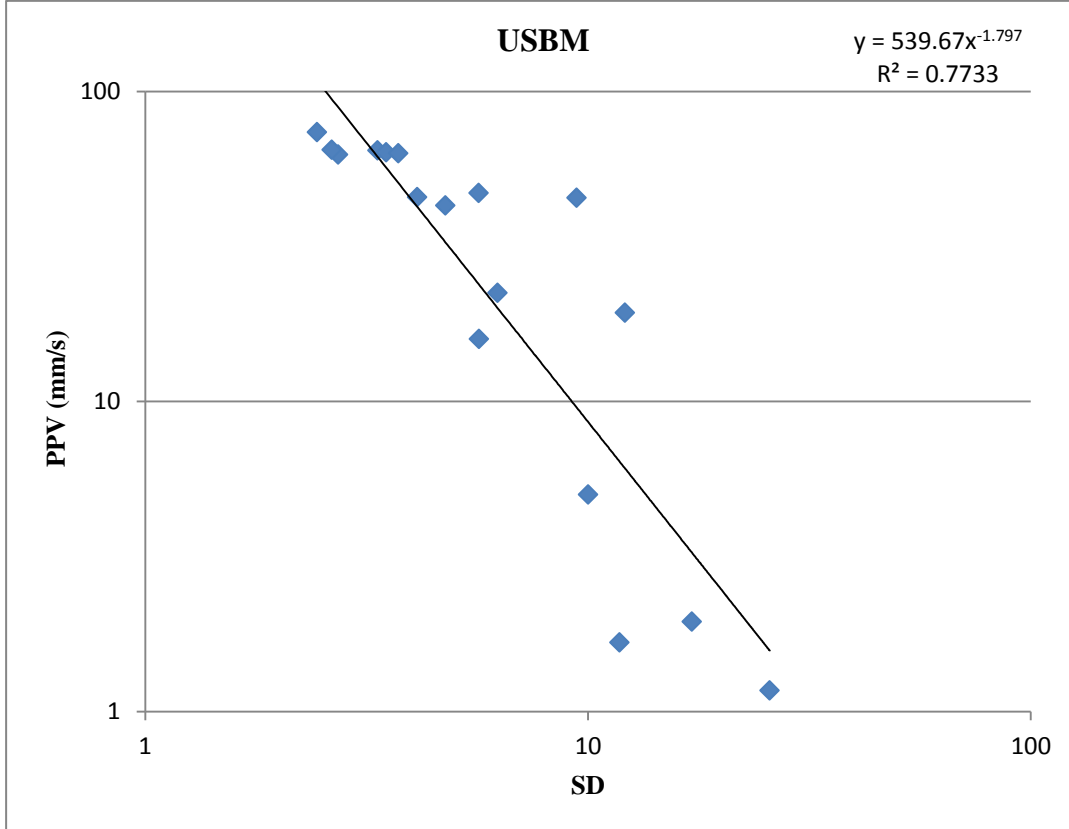
$$PPV = 3416,5 * (SD)^{-1,808} \quad (6.6)$$

$$R^2 = 0.7792$$

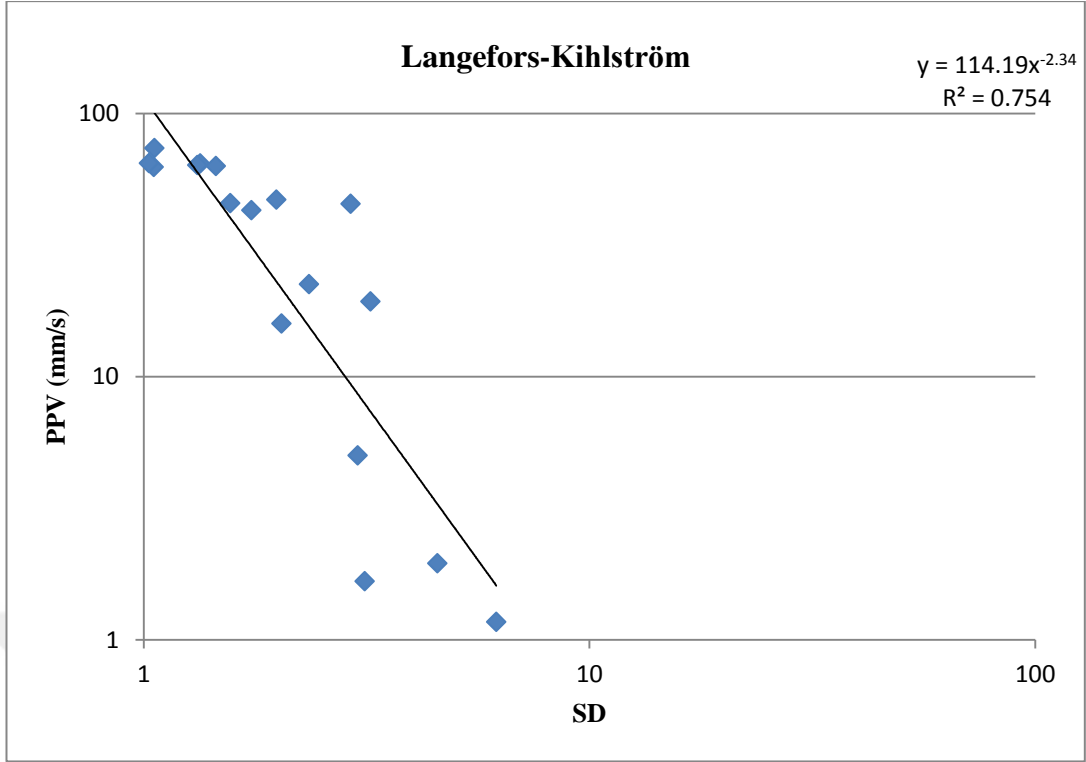
CMRI (Central Mining Research Institute) için maksimum parçacık hızı tahmin denklemi (Denklem 6.7) Şekil 6.8'deki regresyon analizi ile hesaplanmıştır ;

$$PPV = 539,67 * (SD)^{-1,797} \quad (6.7)$$

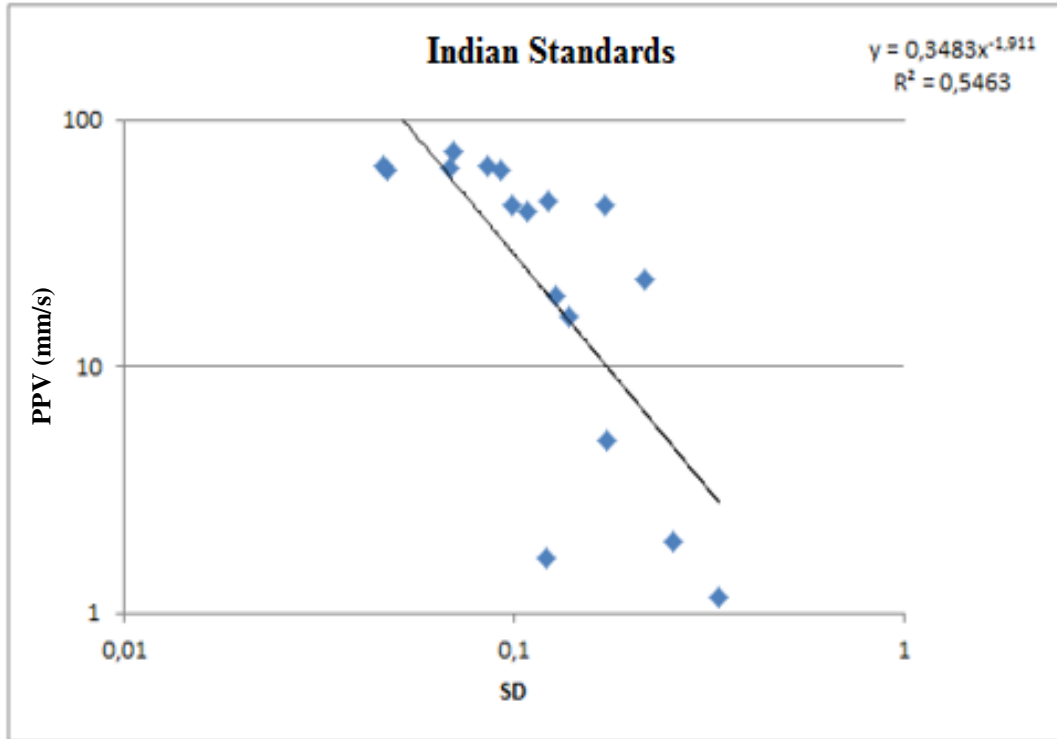
$$R^2 = 0.7733$$



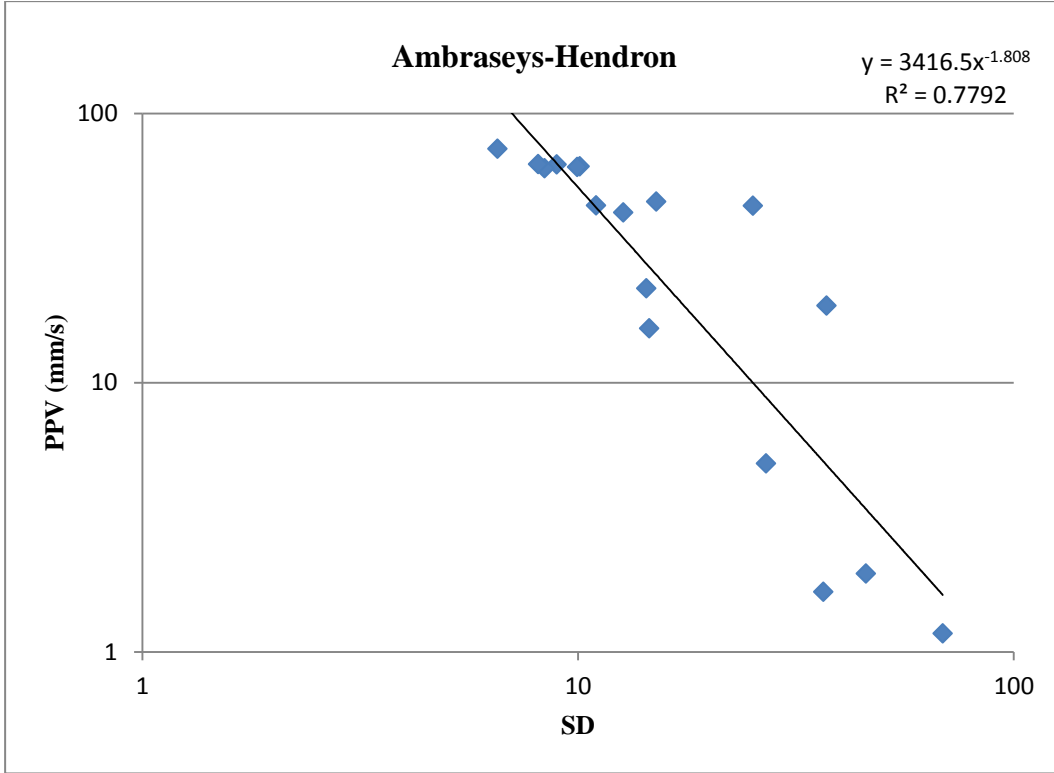
Şekil 6. 4 : USBM için regresyon analizi.



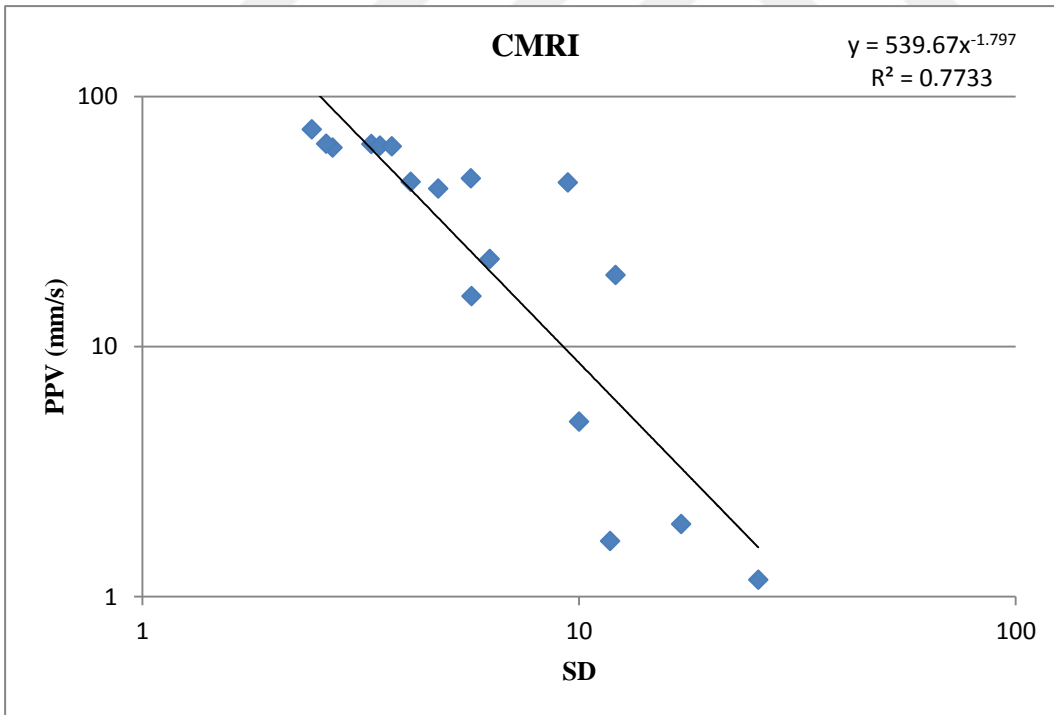
Şekil 6. 5 : Langefors-Kihlström için regresyon analizi.



Şekil 6. 6 : Indian standards için regresyon analizi.



Şekil 6. 7 : Ambraseys-Hendron için regresyon analizi.



Şekil 6. 8 : CMRI için regresyon analizi.

Çizelge 6. 12 : Farklı tahmin modellerinin başarısı.

ppv (mm/s)	USBM Tahmin (mm/s)	Hata (mm/s)	Lange- Kihls Tahmin (mm/s)	Hata (mm/s)	Indian std. Tahmin (mm/s)	Hata (mm/s)	Amb- Hend Tahmin (mm/s)	Hata (mm/s)	CMRI Tahmin (mm/s)	Hata (mm/s)
73.8	108,33	34,53	100,14	26,34	57,07	16,73	114,94	41,14	108,33	34,53
45.5	42,45	3,05	40,11	5,39	29,28	16,22	44,78	0,72	42,45	3,05
42.8	32,71	10,09	31,09	11,71	24,31	18,49	34,45	8,35	32,71	10,09
64.5	61,66	2,84	57,75	6,75	38,19	26,31	65,19	0,69	61,66	2,84
45.3	9,57	35,73	9,36	35,94	10,13	35,17	10,00	35,30	9,57	35,73
62.5	88,87	26,37	101,08	38,58	119,59	57,09	73,30	10,80	88,87	26,37
22.4	20,04	2,36	15,46	6,94	6,58	15,82	27,64	5,24	20,04	2,36
63.5	56,81	6,69	59,68	3,82	58,82	4,68	52,22	11,28	56,81	6,69
63.1	50,67	12,43	47,68	15,42	33,21	29,89	53,51	9,59	50,67	12,43
47	23,95	23,05	22,94	24,06	19,47	27,53	25,18	21,82	23,95	23,05
19.3	6,09	13,21	7,38	11,92	17,71	1,59	4,94	14,36	6,09	13,21
1.17	1,58	0,41	1,61	0,44	2,80	1,63	1,63	0,46	1,58	0,41
1.95	3,27	1,32	3,28	1,33	4,71	2,76	3,39	1,44	3,27	1,32
64.7	94,45	29,75	107,28	42,58	124,89	60,19	77,93	13,23	94,45	29,75
1.67	6,41	4,74	7,89	6,22	19,76	18,09	5,10	3,43	6,41	4,74
5.01	8,61	3,60	8,59	3,58	10,10	5,09	8,81	3,80	8,61	3,60
15.9	23,88	7,98	21,61	5,71	15,18	0,72	26,93	11,03	23,88	7,98
		12,83		14,51		19,88		11,33		12,83

Farklı regresyon analizleri sonucu oluşturulan denklemler ile bulunan maksimum parçacık hızlarını incelediğimizde (çizelge 6.11) sahada ölçülen maksimum parçacık hızı ile hata payını en düşük veren regresyon tahmin denkleminin Ambraseys-Hendron yaklaşımı ve en yüksek hata payının Indian Standards olduğu görülmektedir. USBM, Langefors-Kihlström, Ambraseys-Hendron ve CMRI tahminlerinde belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin hemen hemen aynı olduğu ve Indian Standards tahmininde bu katsayının diğerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

6.3.5 Hava şoku

Hava şoku, yüksek frekanslı (>20 Hz) duyuyabilir sestem oluşan ve düşük frekanslı (<20 Hz) duyulamayan sestem oluşan atmosferik bir hava basınç dalgasıdır. Duyulamaz düşük frekanslı hava şoku, yüksek olanlara göre daha geç sönümlenir ve uzun mesafelerde etkilidir. [17]

Hava şoku için izin verilen limit değerler ve çevreye olan etkileri Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. 13 : Hava şoku değerlerinin çevreye olan etkileri.

dB	
180	Binalarda Hasar
170	Pencere Camlarının Çoğu Kırılır
160	
150	Bazı Pencere Camı Kırılmaları
140	Ani (impulsive) Ses İçin Maksimum Seviye
128	Emniyetli Seviye
	Rahatsız Edici Sürekli Ses Sınırı
120	15 Dakika Süreli Şok Dalgaları Halinde Şikayetler
110	
100	
90	8 Saatlik Sürekli Seste Rahatsız Olma
80	

Çizelge 6.9’da görüldüğü üzere arazide ölçülen patlatma kaynaklı hava şoku değerleri 91,5 dB-132,4 dBL arasında ölçülmüştür. 6, 7, 8, 11 ve 18 no’lu atımlarda hava şoku değeri Çizelge 6.9’da emniyetli seviye olarak belirtilen 128 dBL’nin üzerindedir. Bununla birlikte impulsiv ses için maksimum seviye olan 140 dBL’nin altındadır. Çevresel hasar oluşturacak bir etki söz konusu değildir.

7. BİLGİSAYAR DESTEKLİ PATLATMA TASARIMI

Bu çalışmada patlama tasarımı için JKSimBlast yazılımı kullanılmıştır. JKSimBlast, madencilik patlatmaları ve ilişkili operasyonlar için JKTech tarafından geliştiren bir simülasyon yazılımıdır.

Yazılım Avustralya Queensland Üniversitesi'ne bağlı olan JKMRC (Julius Kruttschnitt Madencilik Araştırma Merkezi) kurumun 20 yıldan fazladır yapmış olduğu araştırmalara dayanmaktadır ve dünya çapında 400'den fazla kullanıcıya sahiptir.

Ana modülleri 2DBench, 2DRing ve 2DFace'tir. Bu modüller sırasıyla açık ocak basamak patlatması tasarımı, yeraltı ve tünel patlatma tasarımı için kullanılır. 3 modlün ortak amacı optimum bir patlatma tasarımı sağlamak, delik içi patlayıcı ve malzeme dolumu, delik içi ve yüzey gecikmesi hesabı yapmak, patlatma simülasyonu ve gerçekleştirmektir [29]. Bu çalışmada açık ocak patlatma tasarımı amacıyla kullanılan 2DBench modülünden faydalanılmıştır. Patlatma tasarımı yapıldıktan sonra simülasyon oluşturulabilir ve patlatmanın enerji dağılımı, oluşan yığının parça boyut dağılımı yazılım ile hesaplanabilir.

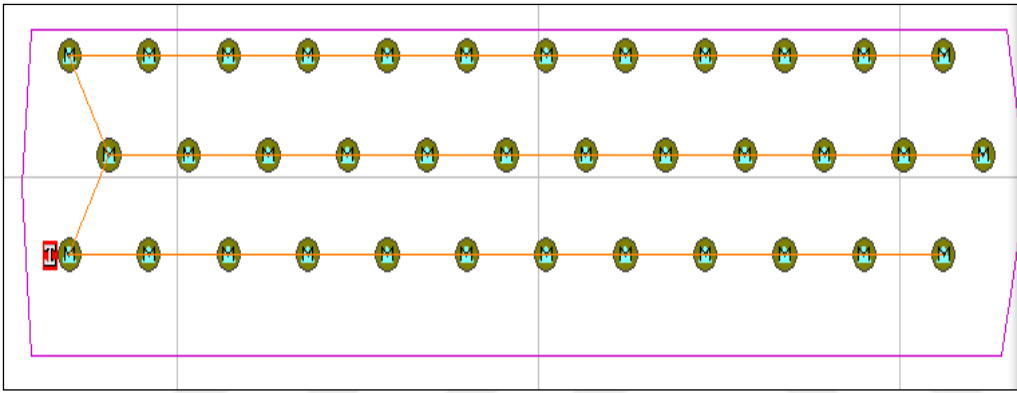
Eti Maden Kırka Ocağı için JKSimBlast yazılımı kullanılarak, iki farklı ateşleme düzenine sahip patlatma tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu tasarımların gecikme süreleri farklı tutulmuş ve arazide görüldüğü üzere bazı deliklerin su barındırdığı göz önüne alınarak sulu deliklere emülsiyon-Anfo karışımı ve kuru deliklere Anfo koyulması öngörülmüştür.

7.1 2DBench Basamak Patlatması Tasarım Yazılımı

Her iki atım içinde delikler arası mesafe 5,5 m ve dilim kalınlığı 5 m olarak arazi değerleri ile eş olarak alınmıştır. Yine arazide uygulanan değerlere benzer olarak basamak yüksekliği 11 m, delik çapı 160 mm, ve alt delme 0,5 m olarak belirlenmiştir.

Yazılımda tasarım yapılırken öncelikle patlatma parametreleri belirlenerek basamak görüntüsü oluşturulduktan sonra enerji dağılımı ve özgül şarj değerleri için bir poligon oluşturularak bu poligon baz alınıp işlemlere devam edilir. Delik içi patlayıcılar ve gecikme zaman girdileride verildikten sonra patlatma simülasyonu gerçekleştirilir ve değerler incelenir. Yazılım içerisinde bu değerleri oluşturmak için modlar mevcuttur.

Delme modu kullanılarak delik özellikleri ve patern parametreleri verilerek düzenlenir. Delik düzeni (Şekil 7.1), delikler arası mesafe ve delik boyu gibi değerler bu modda verilir (Şekil 7.2).



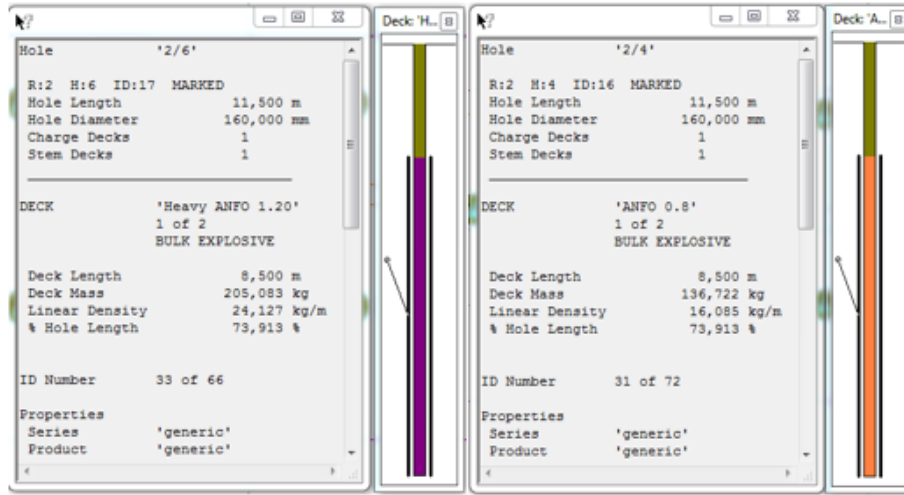
Şekil 7. 1 : JKSimblast yazılımı ile oluşturulan delik düzeni.

Blast Design Para...	
Burden	5,000 m
Spacing	5,500 m
Diameter	160,000 mm
Bench Height	11,000 m
Bench Level	11,000 m
Floor Level	0,000 m
Hole Length	11,500 m
Stand Off	-0,500 m
Hole Dip	90,00 degrees
Hole Bearing	0,00 degrees

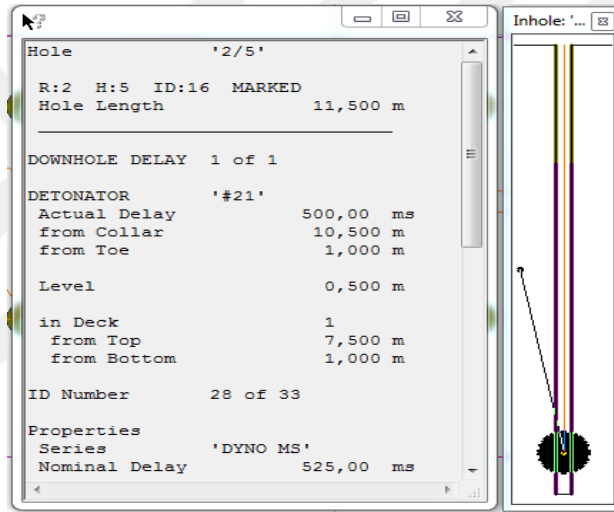
Şekil 7. 2 : Patlatma tasarım parametreleri.

Load (Şarj) modu kullanılarak delik içinde kullanılacak patlayıcı madde Anfo veya Ağır ANFO (Emülsiyon ANFO karışımı) (Şekil 7.3) olarak belirlenebilir ve patlayıcı şarjı delik dibi veya yüzeyden mesafe verilerek gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada patlayıcı şarj yüksekliği 8,5 m ve sıkılama 3 m olarak alınarak arazi değerlerine bağlı kalınmıştır.



Şekil 7.3 : Delik içinde kullanılan patlayıcının yazılımdaki görüntüsü.

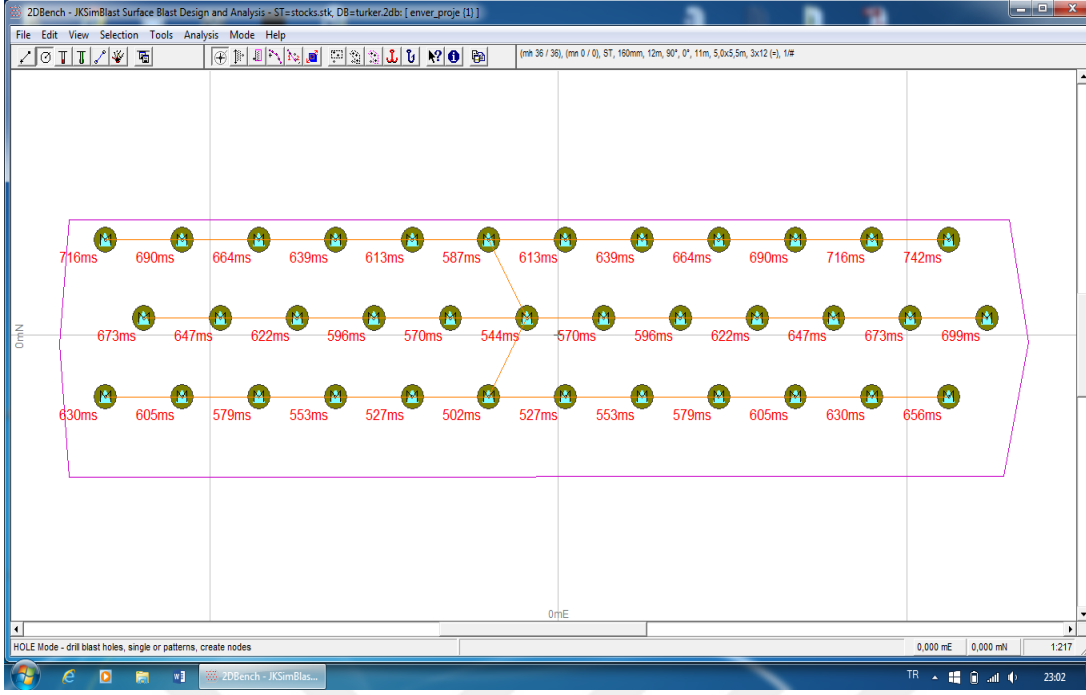


Şekil 7.4 : Şekil 5. Delik dibi gecikmeli kapsülün görünümü

7.2 Çok Sıralı Atım Tasarımı

7.2.1 Atım 1

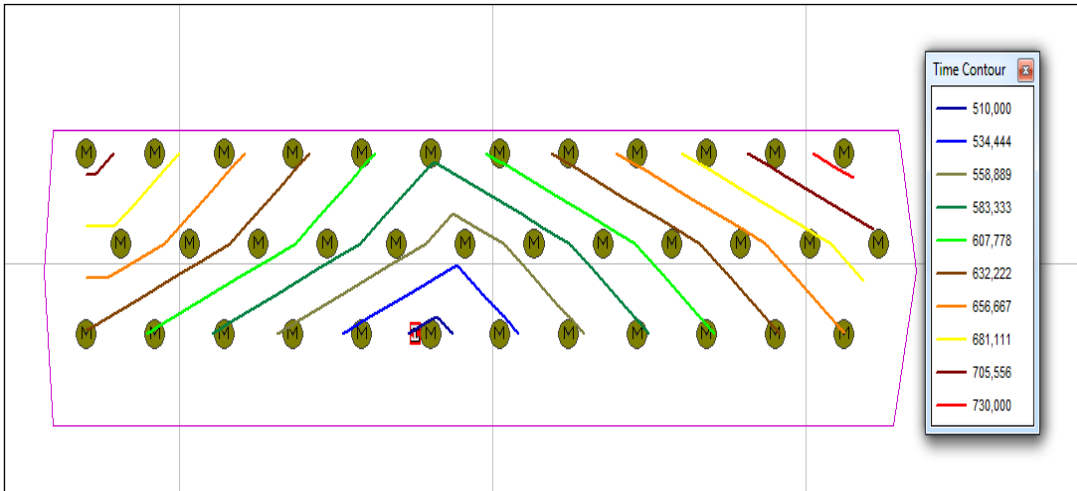
Ocak için tasarlanan birinci atımda (Şekil 7.5) toplam 36 delikli 3 sıra düşünülmüş ve bunun üzerinden yorumlama yapılmıştır. Yüzey gecikmesi delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms ve delik dibi gecikmesi her delik için 500 ms olarak belirlenmiştir. Delik patlatmasına ilk sıranın soldan 6. Deliğinden başlanması kararlaştırılmıştır. Bu atımda hiç bir delikte su olmadığı yani deliklerin hepsinin kuru olduğu varsayılmış ve patlayıcı madde olarak Anfo kullanılmıştır.



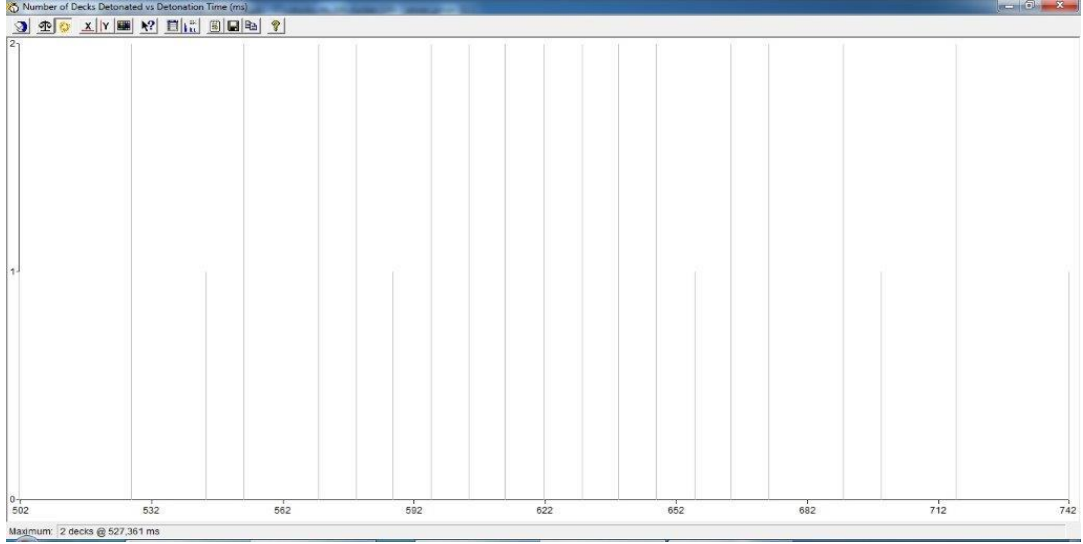
Şekil 7.5 : Atım 1 için orta kısımdan açılan bir patlatma tasarımı.

Şekil 7.5’de görüldüğü üzere soldan 6. Delik ilk delik olarak belirlenmiş ve patlama o noktadan başlayarak devam etmiştir. Son patlayan delik, ateşlemenin başlamasından 742 ms sonra patlayan 3. Sıra sağdan 1. Deliktir.

Deliklerin patlama sırasına göre ilerlemesini gösteren zaman konturları uygulanan atımın nasıl bir yığılma oluşturacağını gösterir (Şekil 7.6). Burada patlatılan basamağın içe ortaya yıkılarak yığın oluşturması söz konusudur ve aynı anda patlayan maksimum delik sayısı 2’dir (Şekil 7.7).

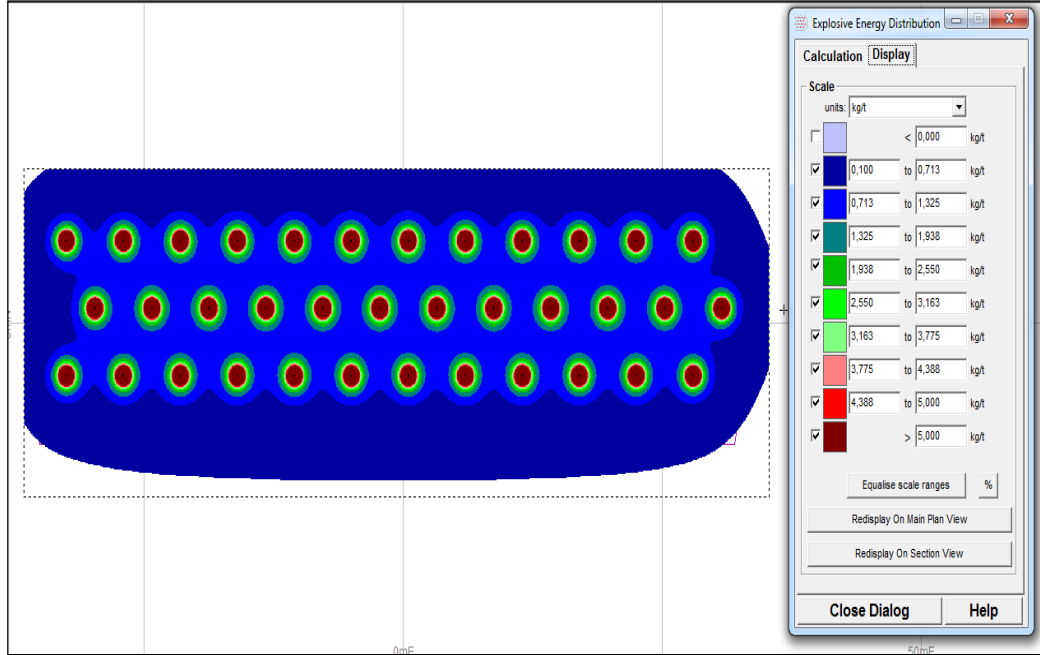


Şekil 7.6 : Atım 1 için zaman konturları

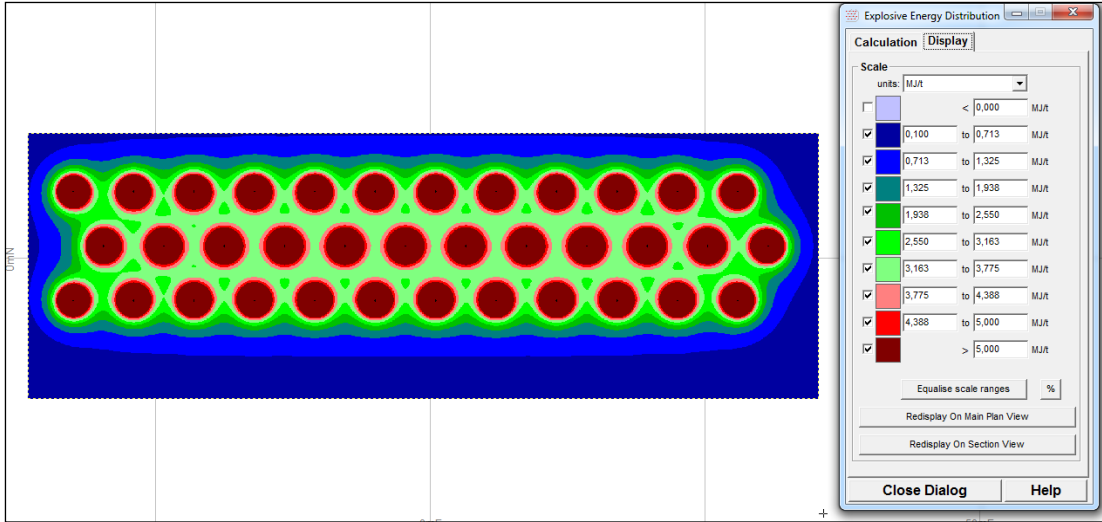


Şekil 7. 7 : Atım 1 için atım süresi boyunca patlayan delik sayısı.

Patlatma simülasyonu gerçekleştirildikten sonra Atım 1 için enerji dağılım grafiği oluşturulmuştur. (Şekil 7.8). Enerji dağılımı incelendiğinde enerjinin en yüksek olduğu yerler delik bölgeleri olarak gözükmemektedir. Delik merkezinden uzaklaştıkça enerji azalma göstermiştir. Patlatma sonrası her bir delikte ortaya çıkan enerji diğer deliklere ulaşmadan azalma göstermiştir. Delik içerisinde açığa çıkan enerji 5 kg/t'dan yüksek olarak belirlenmiş ve koyu mavi ile gösterilen bölgede 0,1 ve 0,713 kg/t seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 8 : Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımının gösterimi (kg/t)

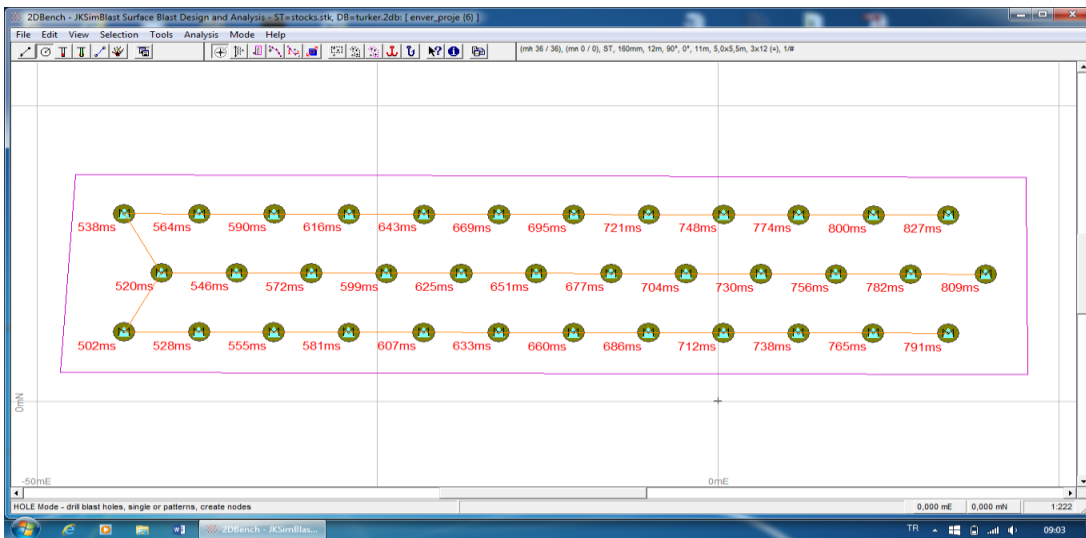


Şekil 7.9 : Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t)

Şekil 7.9'da enerji dağılımı Mj/t olarak gösterilmiştir. Sıralar arası bölgedeki enerji yoğunluğunu bu şekilde daha net görmek mümkündür. Şeklin yanındaki ölçekten farklı renklerin temsil ettiği enerji değerleri görülebilir.

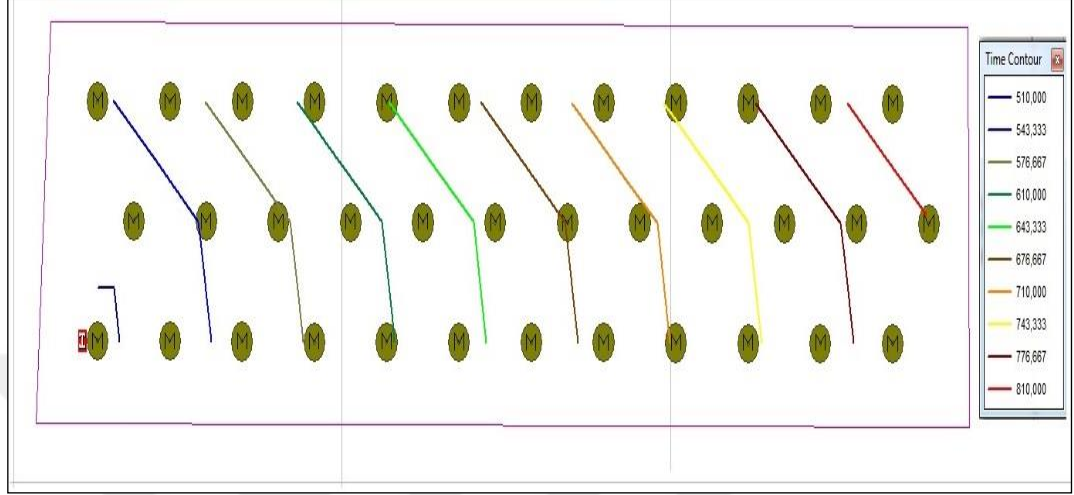
7.2.2 Atım 2

Atım 2 için 3 sıralı 36 delikli bir atım tasarlanmıştır (Şekil 7.9). Atım 1'den farklı olarak ilk sıranın soldan birinci deliğinden, yani yandan ateşleme başlamaktadır. Delik parametreleri arazi ölçümleri ile birebir aynıdır. Yüzey gecikmeleri delikler arası 25 ms, sıralar arası 17 ms ve delik dibi gecikmesi 500 ms olarak alınmıştır. Atım 2 için 5 delik içerisinde su bulunduğu varsayılmış ve bu deliklerde emülsiyon patlayıcı şarjı düşünülmüştür.

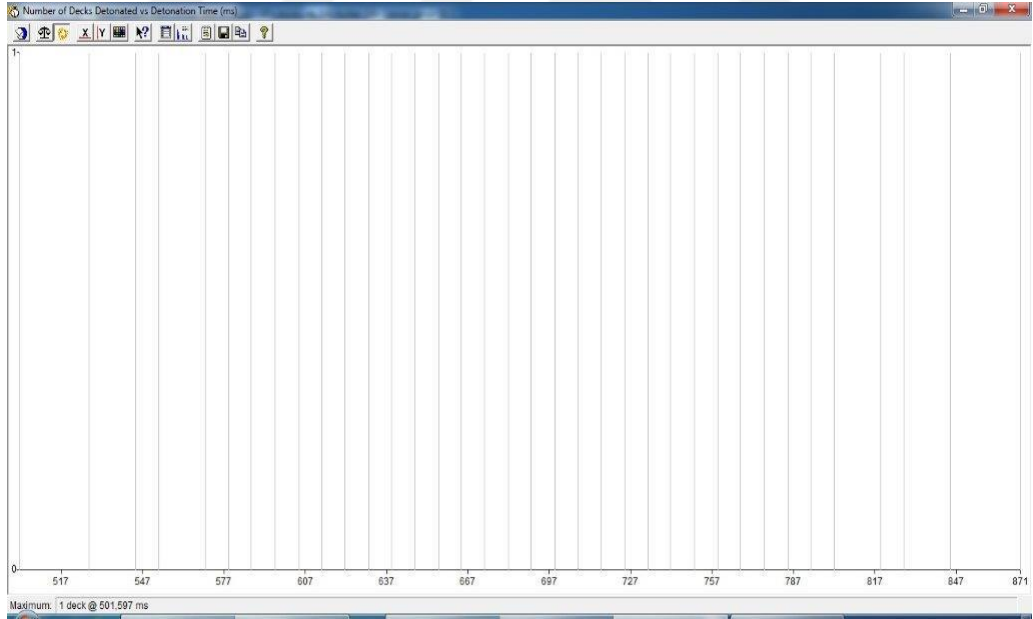


Şekil 7.10 : Atım 2 için çok sıralı patlatma tasarımı

Soldan ateşleme yapılan bu atımda detonasyon sağ tarafa doğru devam edecek; son delik ateşlemeden 827 ms sonra patlayacaktır. Bu tasarımda ateşleme soldan sağa doğru ilerleyecektir. Patlama sırasını gösteren konturlar Şekil 7.11’da gösterilmiştir. Bu atım için aynı anda patlayan maksimum delik sayısı 1’dir (Şekil 7.12).

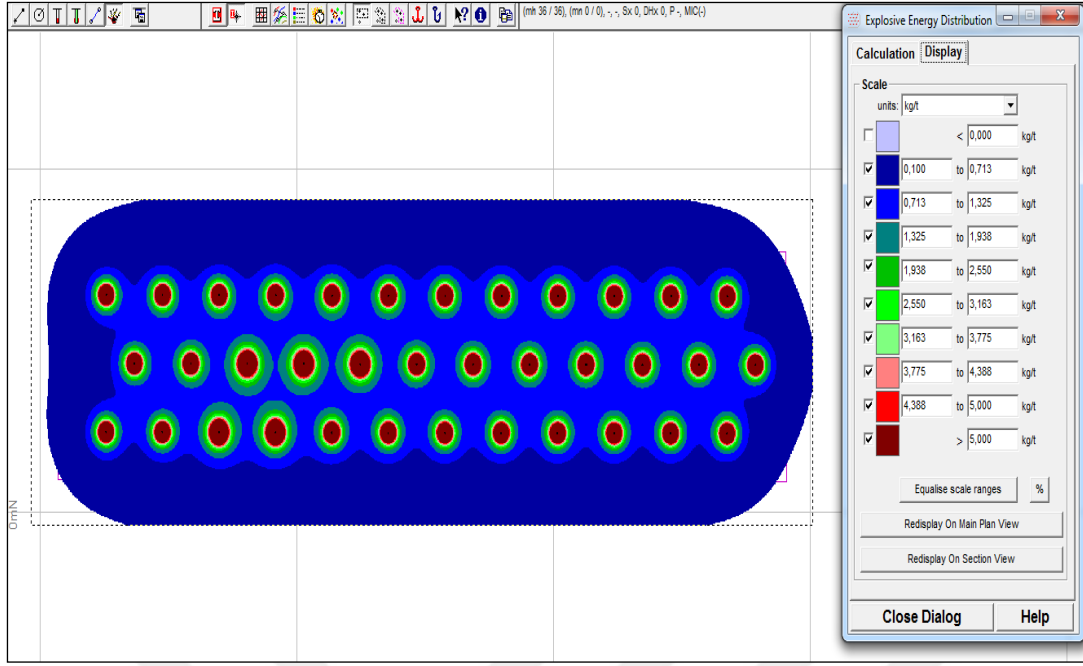


Şekil 7.11 : Atım 2 için zaman konturları

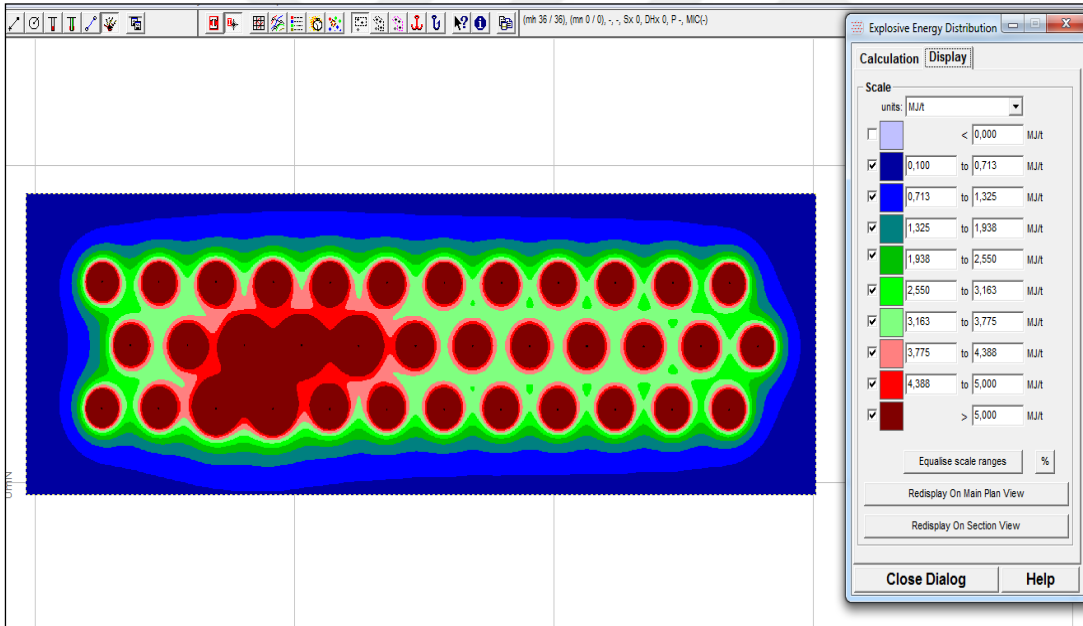


Şekil 7.12 : Atım 2 için atım süresi boyunca patlayan delik sayısı.

Atım 2 için enerji dağılımı grafiğine bakıldığında emülsiyon Anfo karışımı patlayıcı kullanılan deliklerde enerjinin Anfo olanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 7.13). Mj/t olarak enerji dağılımı incelendiğinde emülsiyon şarjlı deliklerin çevresinde yüksek bir enerji yoğunluğu görülmektedir. (Şekil 7.14). Bu kısımda nispeten yüksek seviyeli parçalanma beklenebilir.



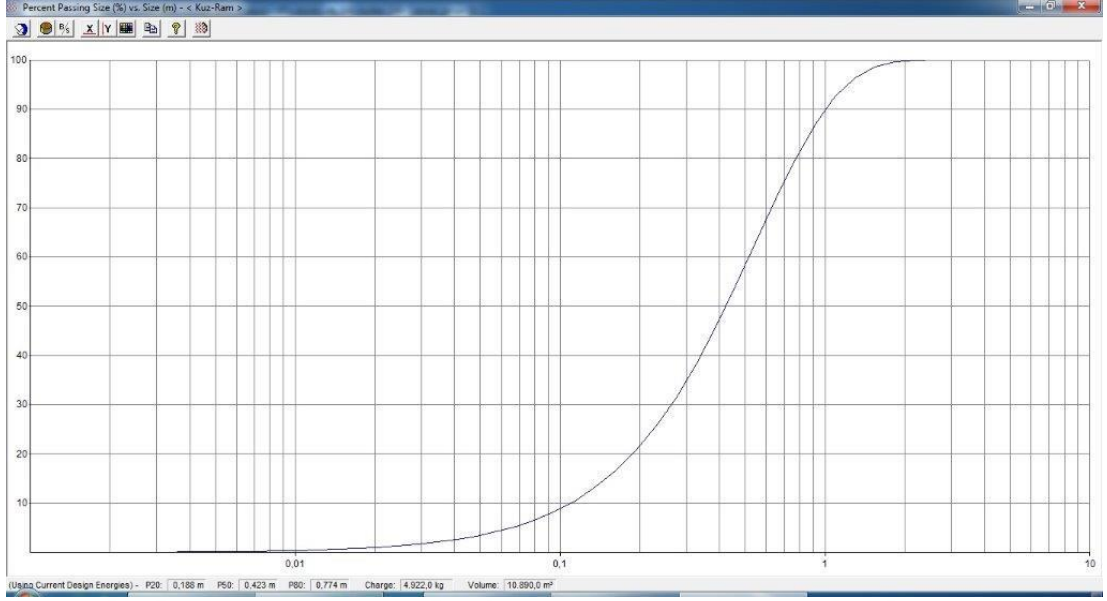
Şekil 7. 13 : Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (kg/t).



Şekil 7. 14 : Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t).

7.3 Yığının Boyut Dağılımının Kestirimi

Bilgisayar destekli patlatma tasarımı gerçekleştirildikten sonra ek olarak KuzRam modeliyle atımın parça boyut dağılımını da rahatlıkla tahmin etmek mümkündür. Kayaç faktörü 9 alınarak çizilen KuzRam Modeli (Şekil 7.15) ile x_{50} değeri 42,32 cm olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 7. 15 : KuzRam ile oluşturulan parça boyut dağılımı.

7.4 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı Kestirimi

Arazi verilerine dayanarak geliştirilen maksimum parçacık hızı denklemleri vasıtasıyla, bilgisayar destekli tasarlanan atımın beklenen yer sarsıntısı seviyelerini tahmin etmek mümkündür. Sahada uygulanan patlatma tasarımı için bir delikteki patlayıcı miktarı 136,7 kg'dır. 8 ms aralıkla aynı anda patlayan 2 delik söz konusu ise, maksimum patlayan patlayıcı miktarı (W) 273,4 kg bulunur. USBM maksimum parçacık hızı yaklaşımı (6.1) ile yapılan bir tahmin için Ölçüm mesafesi (D) 200 m formülde değerler yerine yerleştirilirse beklenen parçacık hızı 6,11 mm/sn bulunur. 300, 400 500 m mesafe için tahmini parçacık hızı değerleri sırasıyla 2,95, 1,76 ve 1,18 mm/sn olarak bulunur. Diğer yaklaşımlar kullanılarak yazılım üzerinde tahmin yapılabilir [30].



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Eti Maden Kırka Sarıkaya Ocağı için 40 günlük bir süreçte yapılan 18 atım incelenmiş ve bu atımların her biri için parça boyut analizi ve titreşim analizleri yapılmıştır. Pratikte uygulanan atım parametreleri ile teorik hesaplanan parametreler karşılaştırılmıştır. Bütün bu incelemelerin sonunda işletmeye uygun bilgisayar destekli patlatma tasarımı önerilmiştir.

8.1 Parça Boyut Dağılımının Değerlendirilmesi

Parça boyut analizi için öncelikle her atım sonrasında oluşan yığının çeşitli bölgelerinden görüntü alınmış ve bilgisayar ortamına aktarılarak ocaktaki parçalanma analizi yapılmıştır. Görüntü işleme yoluyla elde edilen ortalama parça boyutu 30,63-49,21 cm aralığındadır. Karakteristik boyut 38,03-61,66 cm aralığındadır. Üniformite indeksi 1,57-1,98 arasında ölçülmüştür. Ortalama üniformite indeksi değeri 1,77'dir. Bu analizler sonrasında teorik parçalanmanın tespiti için KuzRam ve KCO modelleri incelenmiş ve ocakta oluşan parçalanma ile olan uyumuna bakılmıştır. Bu 3 dağılım grafikleri incelediğinde x_{50} , x_c ve n değerlerinin hemen hemen hepsinde birbirine yakın değerler olduğu gözlenmiştir. KuzRam modelin temelini oluşturan Kuznetsov denklemi kayaç faktörünün belirlenmesinin ardından oldukça başarılı tahminlerde bulunmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen boyutlar arasındaki fark ortalama olarak 3,81 cm olarak hesaplanmıştır. Kuznetsov denklemi ile yapılan en başarılı ortalama parça boyutu tahminleri 14, 15 ve 17 ve 18 numaralı atımlardır. 1., 3., 6., 9. ve 11. atımlarda model ile yazılımın ölçtüğü ortalama parça boyutu arasında 3 cm'den büyük farklar mevcuttur. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama üniformite indeksi değeri 1,52'dir. Üniformite indeksi için KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında ortalama fark 0,25 olarak tespit edilmiştir. Özellikle 1, 4, 7 ve 11 numaralı atımlarda üniformite indeksi değerleri birbirine çok yakındır. Burada KCO modelinin ince boyutlu malzeme miktarını daha fazla hesapladığı görülmektedir. KuzRam modeliyle elde edilen üniformite indeksi görüntü işleme yoluyla elde edilen

değerlerden daha düşüktür. Görüntü işleme yoluyla daha üniform bir boyut dağılımı ölçülmüştür.

Bu çalışmanın ardından, bilgisayar ortamında incelenen boyut dağılımı ile teorik modeller arasında çok yüksek farklar olmadığı anlaşılmış ve işletme için KuzRam modelinin güvenilir bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

8.2 Titreşim ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Her bir atım için titreşim ve hava şoku değerleri patlatma yapılan basamağa farklı uzaklıklardan mini mate plus cihazı ile ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler çeşitli standartlara göre değerlendirilmiştir. Bu tezde Sarıkaya ocağında atım sonucu oluşan titreşim ve hava şoku değerlerinin belirlenen standartlara göre çevreye etkisinin minimum düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

Ölçülen titreşim değerleri ile her bir atım için değişik yaklaşımlarla ölçekli mesafe değerleri oluşturulmuş ve regresyon analizleri ile işletme için teorik maksimum parçacık hızı tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen USBM denklemi için belirlilik katsayısı (R^2) 0,77, Langefors-Kihlström denklemi için 0,75 seviyesindedir. En düşük (R^2) değeri Indian standards denklemi için 0,55 olarak elde edilmiştir. Denklemler yoluyla tahmin edilen maksimum parçacık hızı değerleri ile sahada ölçülen değerlerin farkları ayrıca incelenmiştir. Oluşturulan bu denklemler yer sarsıntısının ön tahmini için kullanılabilir. Ocak ilerledikçe denklemlerin yenilenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

8.3 Patlatma Tasarım Programının Değerlendirilmesi

İşletmede yapılan atımların genelde tek sıralı atımlar olduğu gözlemlenmiş ve bilgisayar yazılımı ile çok sıralı patlatma tasarımları yapılmıştır. Burada görüldüğü gibi bilgisayar destekli tasarım ile her şeyden önce patlatma tasarım parametrelerinin yüksek hassasiyetle belirlenmesi mümkündür. Farklı ateşleme düzenleri oluşturulabilir ve ateşleme simülasyonu gerçekleştirilebilir. Ateşleme konturları yoluyla atım anında kayaç hareketinin ne şekilde gerçekleşeceği öngörülebilir. Ateşleme düzeni parçalanma verimliliği üzerinde ve patlatma kaynaklı yer sarsıntısı hususunda büyük önem arz etmektedir. Aynı anda patlayan delik sayısı uygulanan ateşleme paterninin bir sonucudur.

Patlatma tasarım programlarıyla patlatılacak kısım birebir ölçekli olarak çizildiği için, kırılacak kayaç miktarını en yüksek hassasiyetle belirlemek mümkündür. Atım öncesi kullanılacak olan patlayıcı miktarı, ateşleme elemanı miktarı detaylı olarak hesaplanabilir.

Tasarım programının bir diğer faydası bu yazılımlarla atım sırasında enerji dağılımının görülebilmesidir. Basamak yapısı nedeniyle kimi zaman deliklerin boyu farklı olabilmektedir veya su durumu nedeniyle kullanılan patlayıcı tipi değişebilmektedir. Bu durumun patlatma verimliliği üzerindeki etkisi enerji dağılımı yoluyla rahatlıkla incelenebilir. Bu tezde emülsiyon patlayıcı kullanılması durumunda enerji dağılımındaki değişim incelenmiştir. Enerji yoğunluğunun yüksek olduğu kısımda parça boyut dağılımının daha ince olması beklenebilir.

Ölçümler ile elde edilen bilgiler ışığında yazılımın parçalanma modülü kullanılarak atım öncesi ortalama parça boyutu tahmin edilebilir. Ayrıca yer sarsıntısı tahmin denkleminin katsayıları bulunmuştur. Arazi ölçmeleri sonucu elde edilen katsayılar kullanılarak farklı mesafeler için yer sarsıntısı tahmini yapılabilir. Yapılan incelemeler sonucunda, patlatma tasarım programlarının Kırka Ocağı'nda verimli bir şekilde kullanılabileceği öngörülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] **Ayten, E.** (2012). Sarıkaya Açık Ocağı Bilgilendirme Raporu, Eti Maden Kırka Bor İşletmesi, Eskişehir.
- [2] **Tamrock.** (1984). Handbook on Surface Drilling and Blasting, Finland.
- [3] **Erkoç, Y.O.** (1990). Kaya Patlatma Tekniği, Çeliker Maatbacılık, İstanbul.
- [4] **Gokhale, B.V.** (2010). Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines, CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands.
- [5] **Hüdaverdi, T.** (2004). *KBİ Karadeniz Bakır İşletmesi Murgul Ocakları İçin Patlatma Faaliyetlerindeki Büyük Atımların Optimum Çalışma Şartlarının Araştırılması* (yüksek lisans tezi). İTÜ, İstanbul
- [6] **Alpaydın, E., Alpsar, M., Elmacı, E., Halıcılar, G., İnal, H.S., İşçen, H.İ., Patır, O. ve Özkazanç, M.O.** (2003). Patlayıcı Maddeler ve Patlatma Teknikleri, Nitromak, Ankara.
- [7] **Olofsson, S.O.** (1990). Applied Explosives Technology For Construction And Mining Applex, Sweden.
- [8] **Url-1** <[http:// http://www.nitromak.com](http://www.nitromak.com)>, alındığı tarih: 21.10.2015.
- [9] **Atlas Powder Company.** (1987). Explosives and Rock Blasting, USA.
- [10] **Bhandari, S.** (1997). Engineering Rock Blasting Operations, A.A. Belkama, Rotterdam, The Netherlands
- [11] **Cunningham, C.V.B.** (2005). *The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on.* African Explosives Limited, Modderfontein, South Africa.
- [12] **Kuzu, C. ve Hüdaverdi, T.** (2006). *Patlatma ile Kaya Kırmada KUZ-RAM Modelinin Değerlendirmesi, IV.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 2-4 Aralık.*
- [13] **Hüdaverdi, T. ve Akyıldız, Ö.** (t.y). *Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın KuzRam Modeli İle Değerlendirilmesi, İTÜ, İstanbul.*
- [14] **Ouchterlony, F.** (2005). *The Swebrec© function: linking fragmentation by blasting and crushing.*
- [15] **Hüdaverdi, T. ve Akyıldız, Ö.** (t.y). *Agrega Ocaklarında Parçalanma Modelleriyle Patlatma Sonrası Yığının Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi.*
- [16] **Hüdaverdi, T.** (2010). *Parçalanmanın iyileştirilmesine yönelik patlatma tasarımlarının araştırılması* (doktora tezi), İTÜ, İstanbul.
- [17] **Hüdaverdi, T., Kuzu, C., Fişne, A. ve Ökten, G.** (2007). *Prediction and prevention of airblast levels, INTER-NOISE, İTÜ, İstanbul, 28-31 Ağustos.*

- [18] **Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C.** (t.y). *Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi Ve Analizi*, İTÜ, İstanbul.
- [19] **Cihangir, F.** (2006). *Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Yer Titreşimi Ve Hava Şoku Etkilerinin İstatistiksel Analizi* (yüksek lisans tezi), KTÜ, Trabzon.
- [20] **Hüdaverdi, T., Kuzu, C. ve Fişne, A.** (2007). *Analysis of blast induced vibrations in aggregate mining*, *INTER-NOISE*, İTÜ, İstanbul, 28-31 Ağustos.
- [20] **Hüdaverdi, T., Kuzu, C. ve Fişne, A.** (2007). *Analysis of blast induced vibrations in aggregate mining*, *INTER-NOISE*, İTÜ, İstanbul, 28-31 Ağustos.
- [21] **Arpaz, E., Ceylanoğlu, A.** (2001). *Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS*, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- [22] **Hüdaverdi, T.** (2015). *Farklı Regresyon Modelleri ile Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tahmin Edilmesi*, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 141-150 ss., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [23] **Duvall, W.I. and Petkof, B.** 1959. Spherical propagation of explosion generated strain pulses in rock. US Bureau of Mines, RI 5483.
- [24] **Langefors, U. and Kihlstrom, B.** 1963. *The Modern Technique of Rock Blasting.*, Wiley Publisher, New York.
- [25] **Ambraseys, N.R. and Hendron, A.J.** 1968. Dynamic Behavior of Rock Masses. In: *Rock Mechanics in Engineering Practice*, Stagg, K.G. and O.C. Zeinkiewicz. Wiley, London, pp: 442
- [26] **Indian Standards Institute**, 1973. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast. ISI Bulletin IS-6922.
- [27] **Roy, P. P.** (1991). Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors. *Min. Sci. Technol.*, 12, 157-165.
- [28] **Erçıkdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Cihangir, F.** 2004. *Patlatma Kaynaklı Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [29] **SoftBlast**, JKSimBlast Blast Simulation Evaluation and Management, User Manual, 2006
- [30] **Ferah, E., Hüdaverdi, T.** 2015. *Eti Maden Kırka Ocağı için Bilgisayar Destekli Patlatma Tasarımı, VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.

EKLER

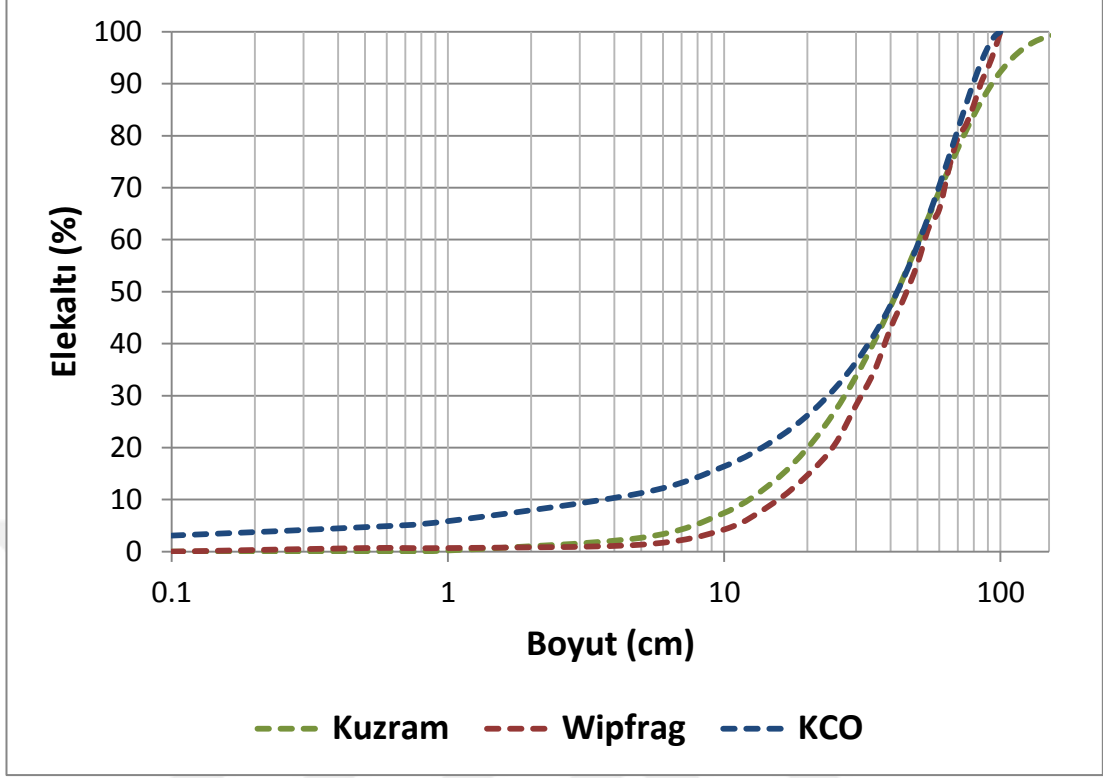
EK A: Parça Boyut Dağılım Eğrileri

EK B: Bilgisayar Destekli 4 Sıralı Atım Tasarımı

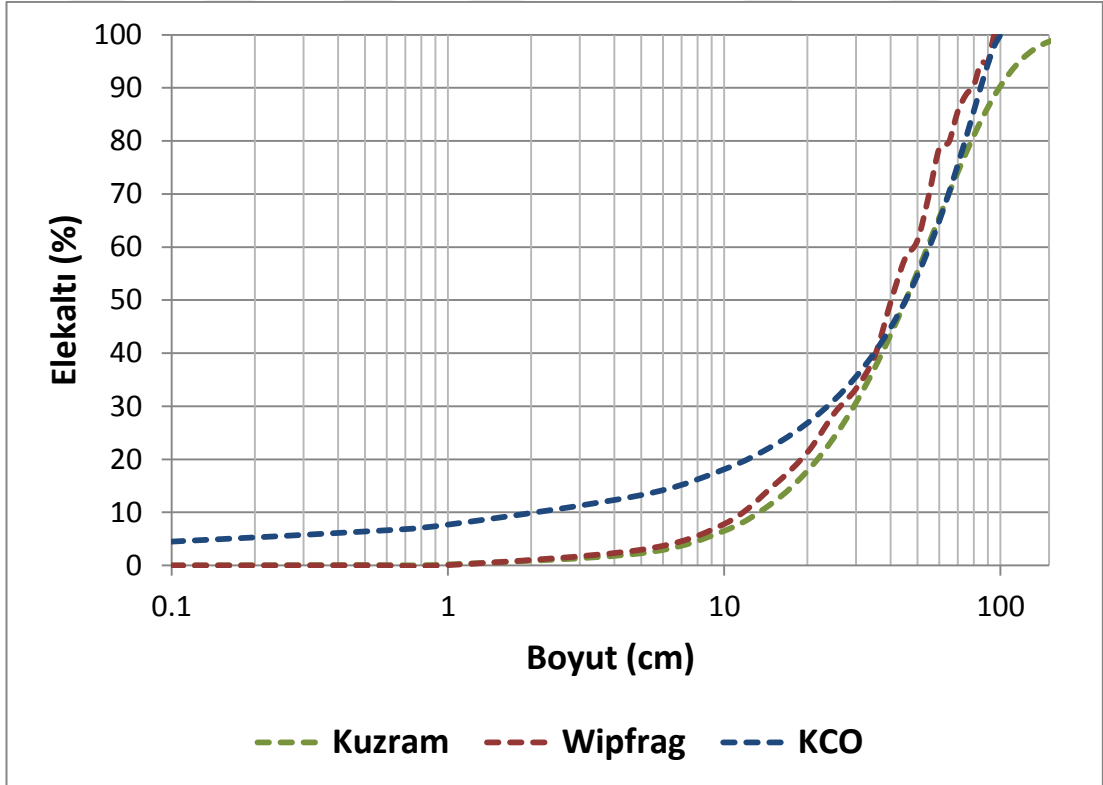




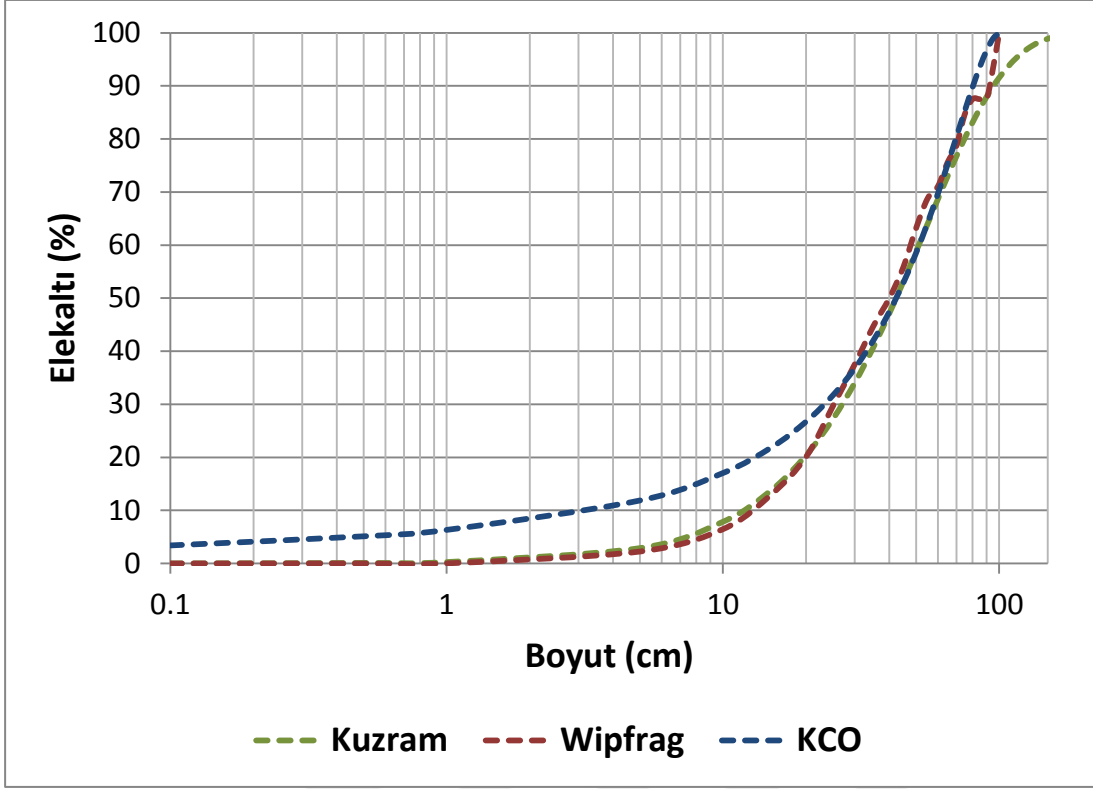
EK A



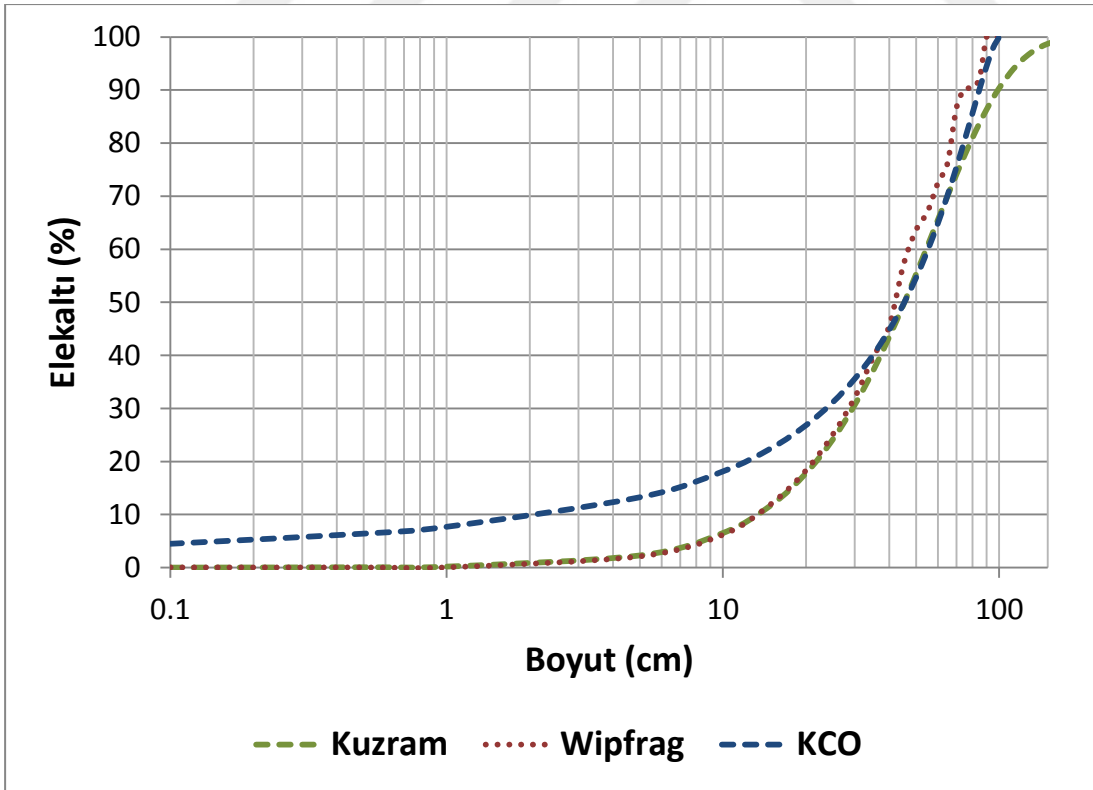
Şekil A. 1 : Atım 2 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



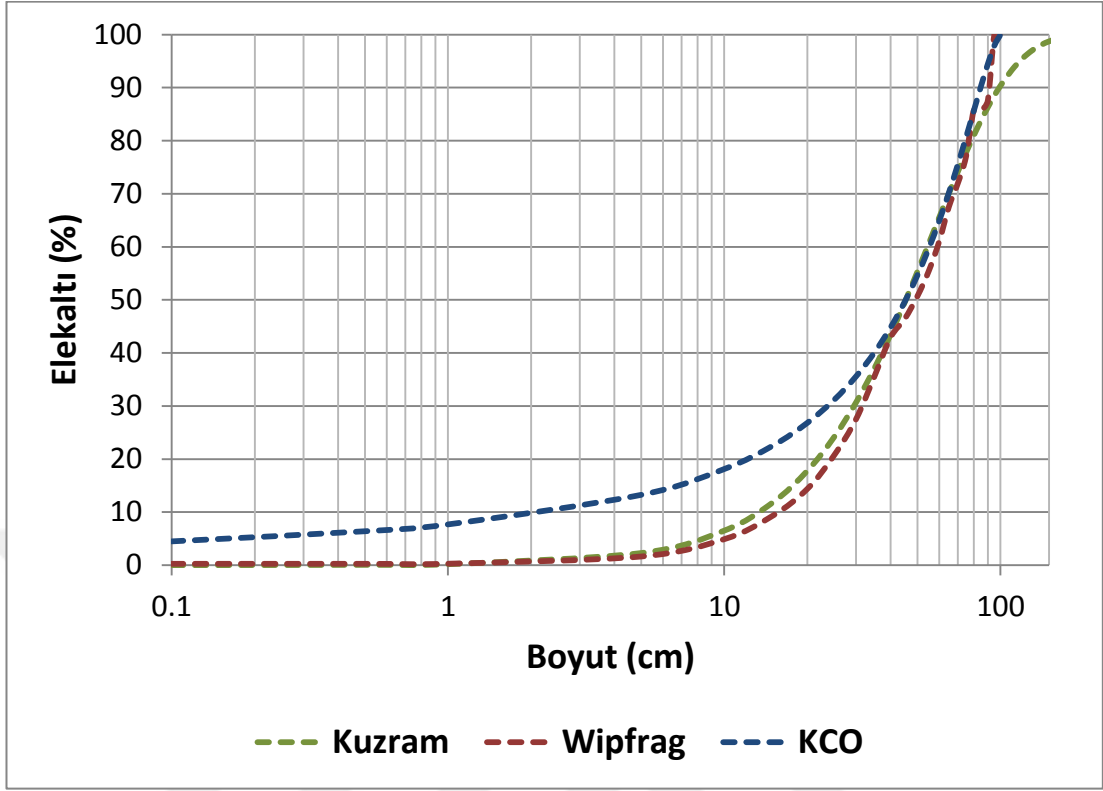
Şekil A. 2 : Atım 3 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



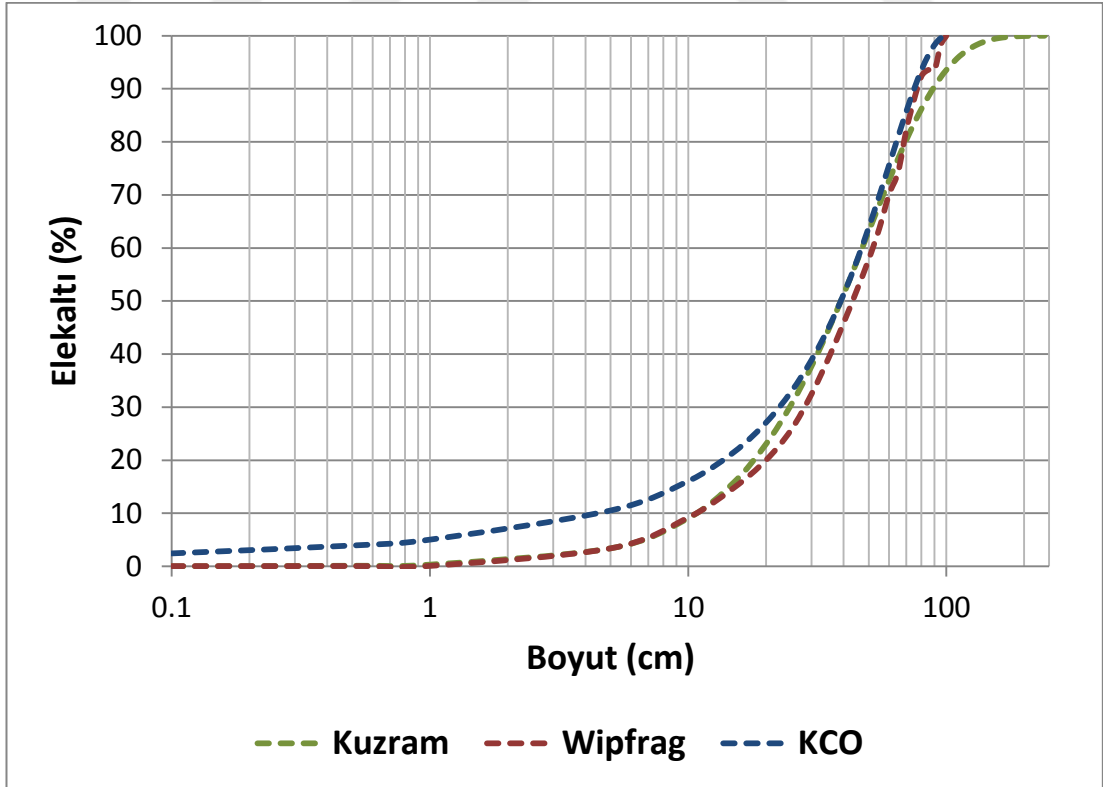
Şekil A. 3 : Atım 4 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



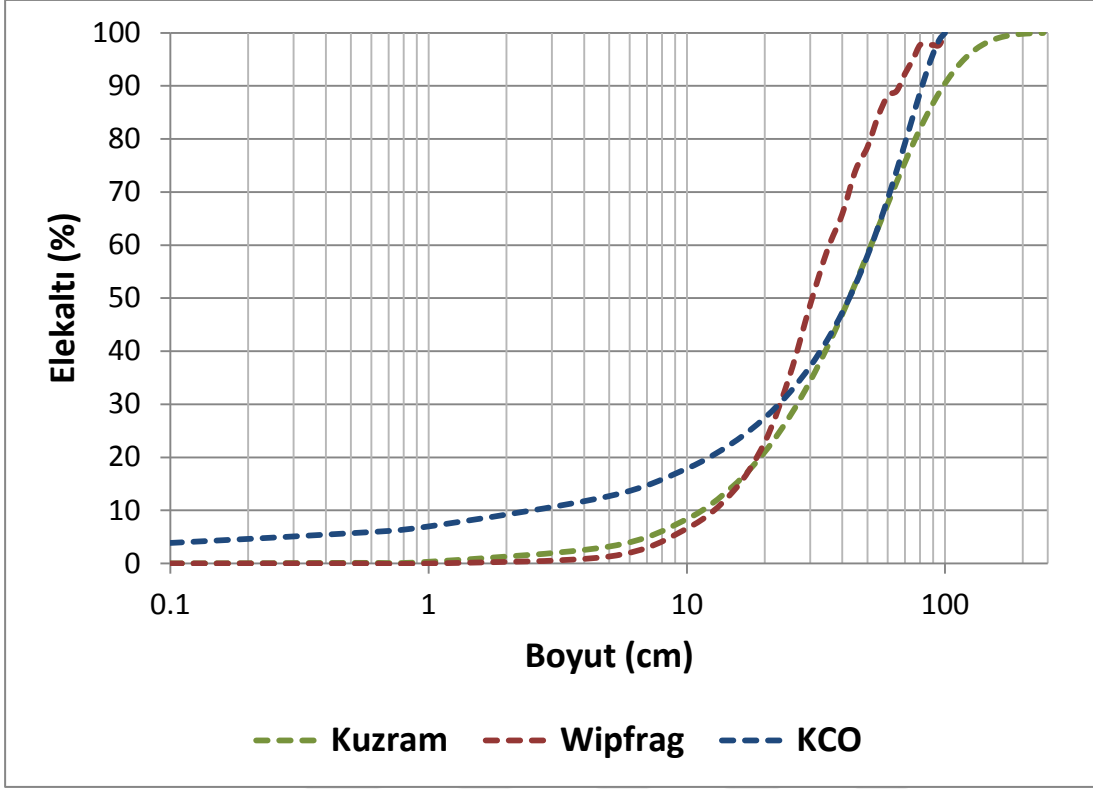
Şekil A. 4 : Atım 5 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



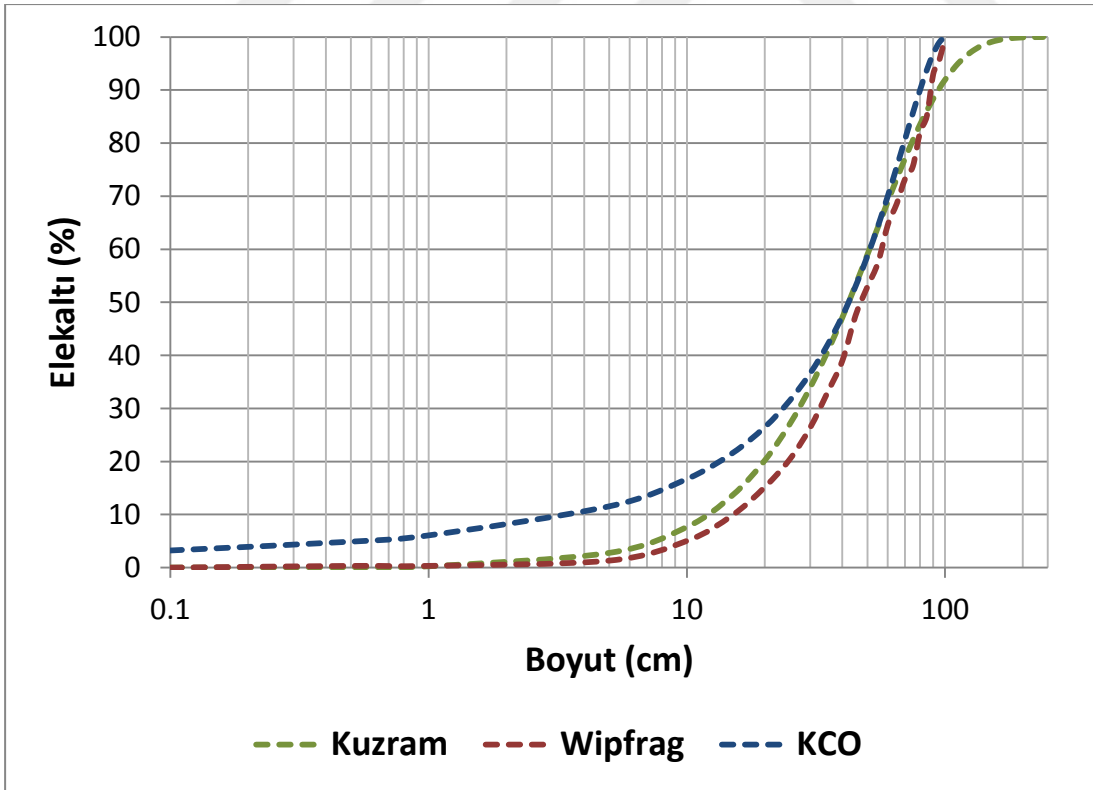
Şekil A. 5 : Atım 7 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



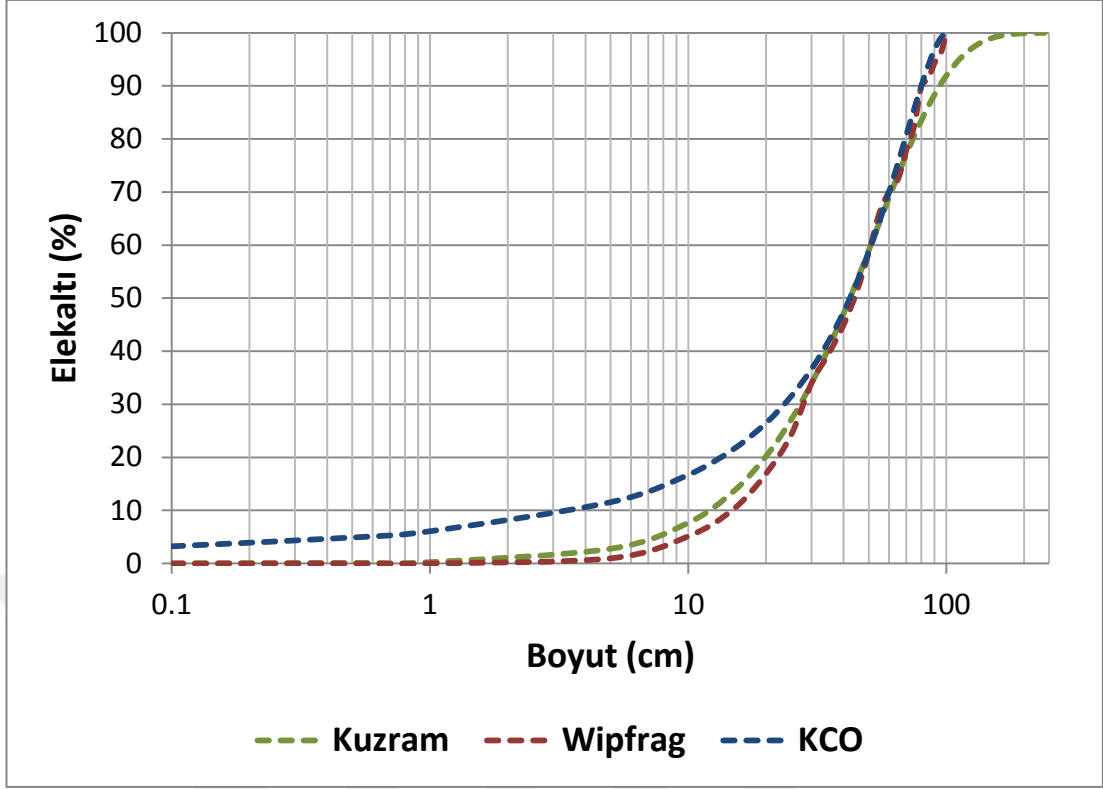
Şekil A. 6 : Atım 8 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



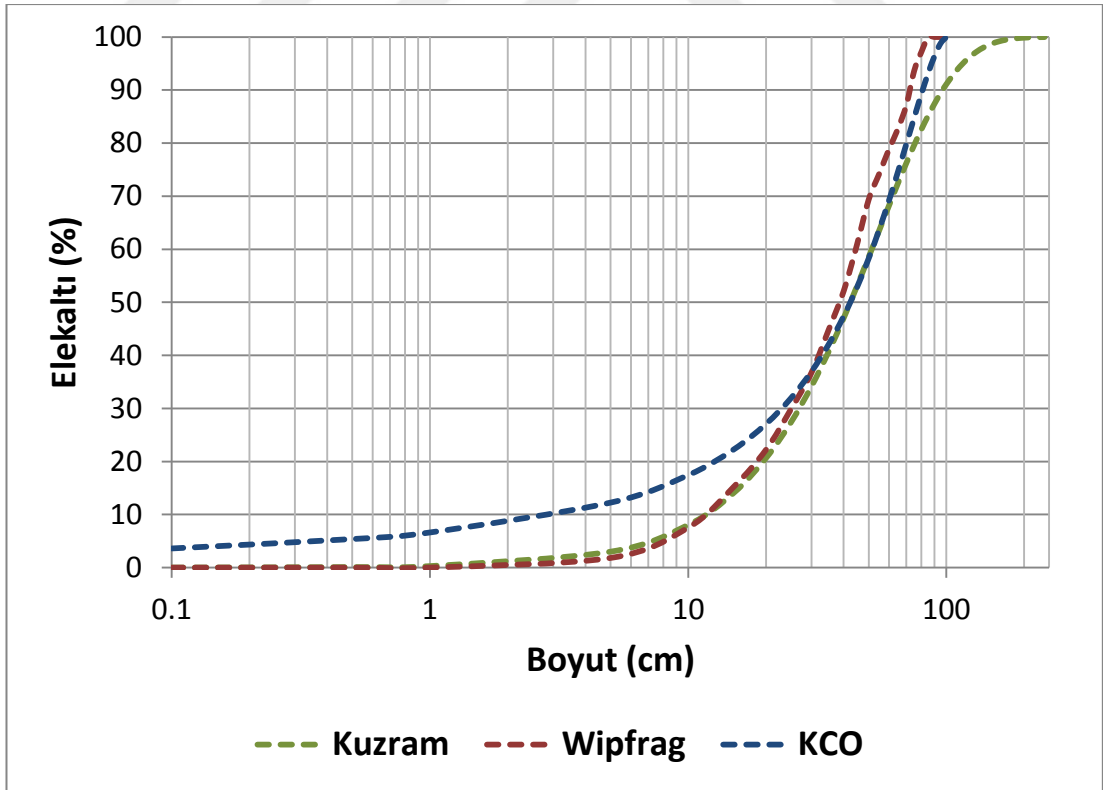
Şekil A. 7 : Atım 9 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



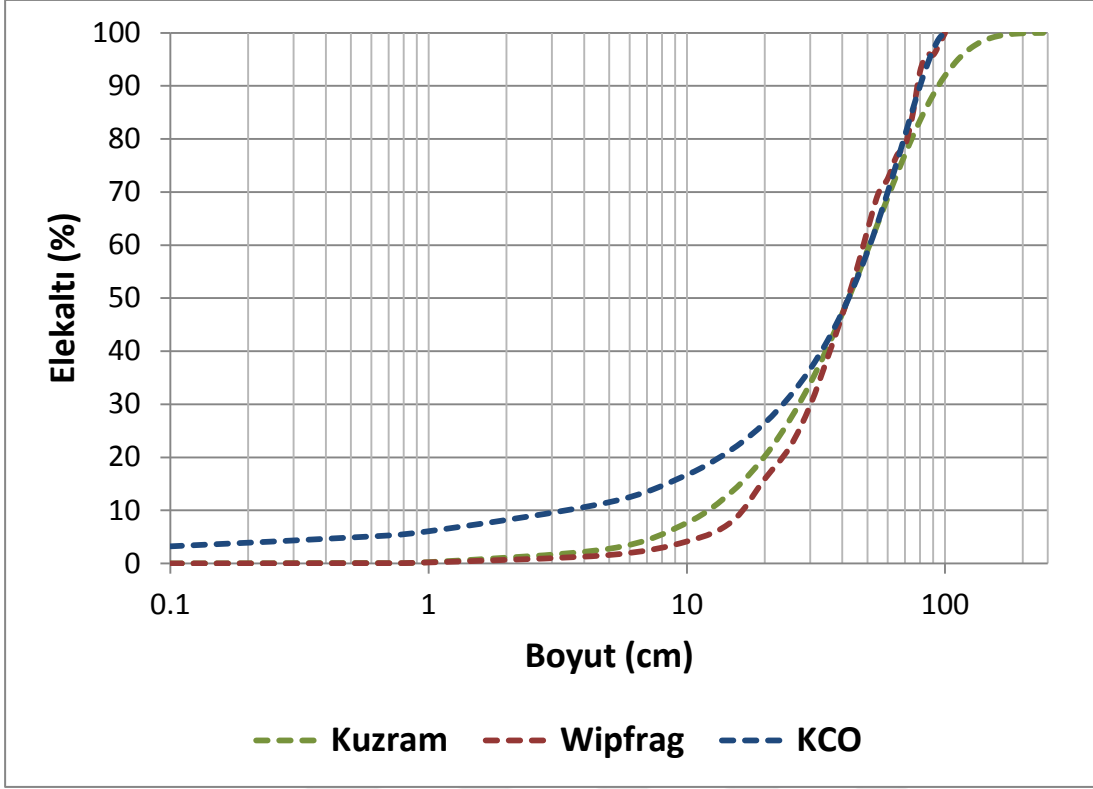
Şekil A. 8 : Atım 10 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



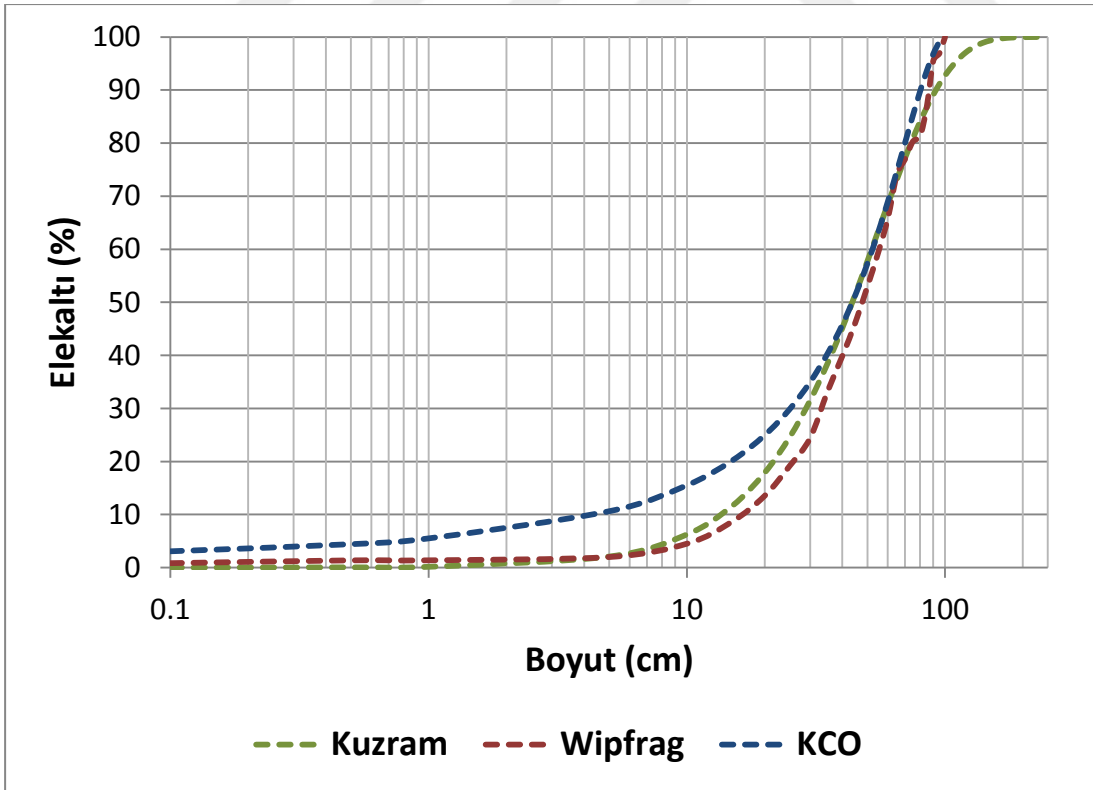
Şekil A. 9 : Atım 12 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



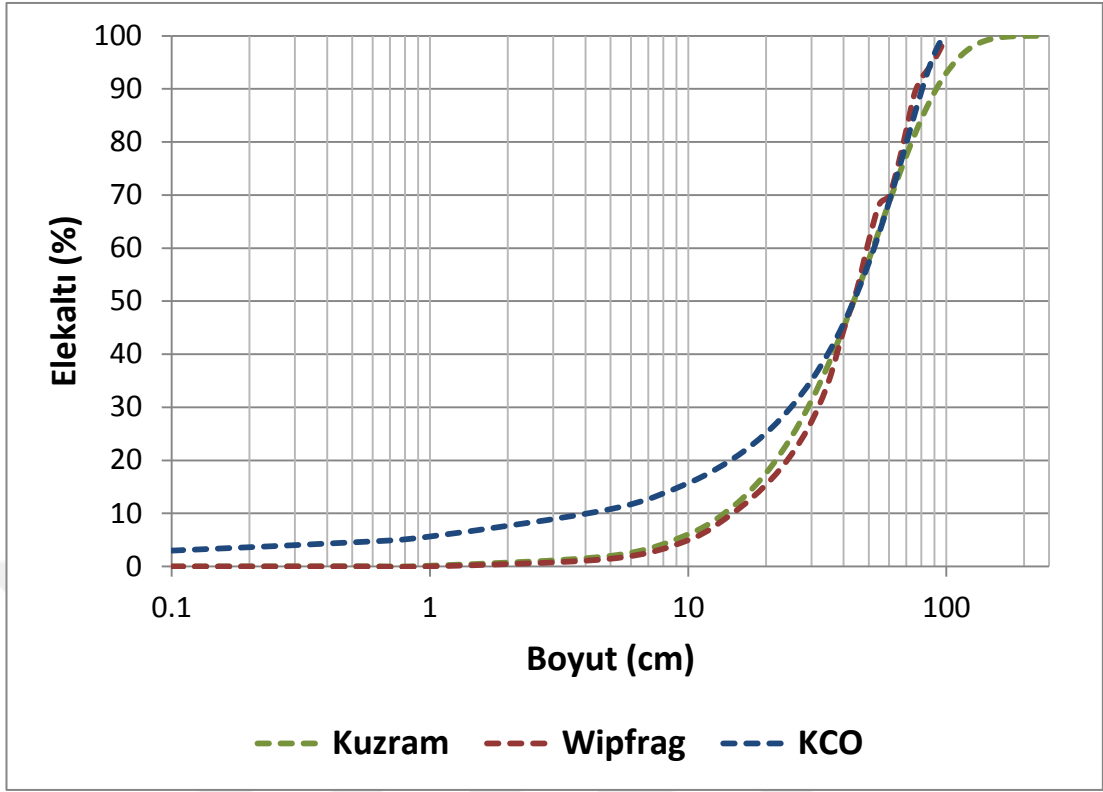
Şekil A. 10 : Atım 13 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



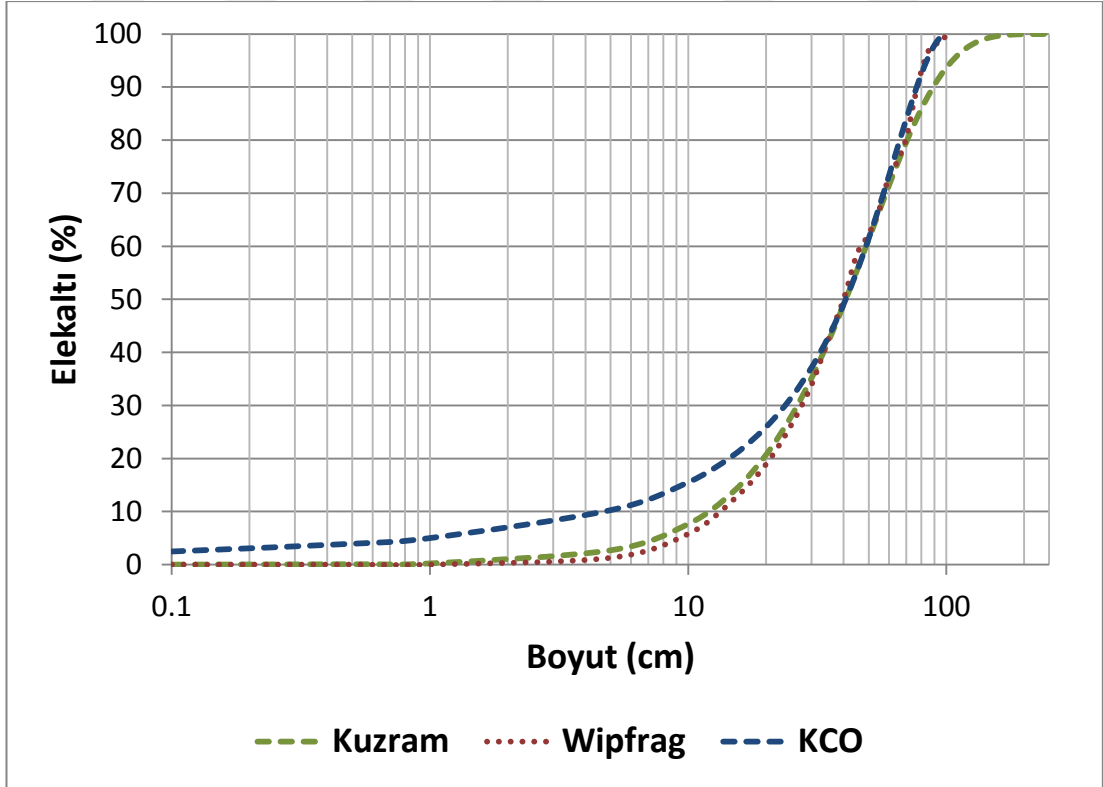
Şekil A. 11 : Atım 15 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil A. 12 : Atım 16 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil A. 13 : Atım 17 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



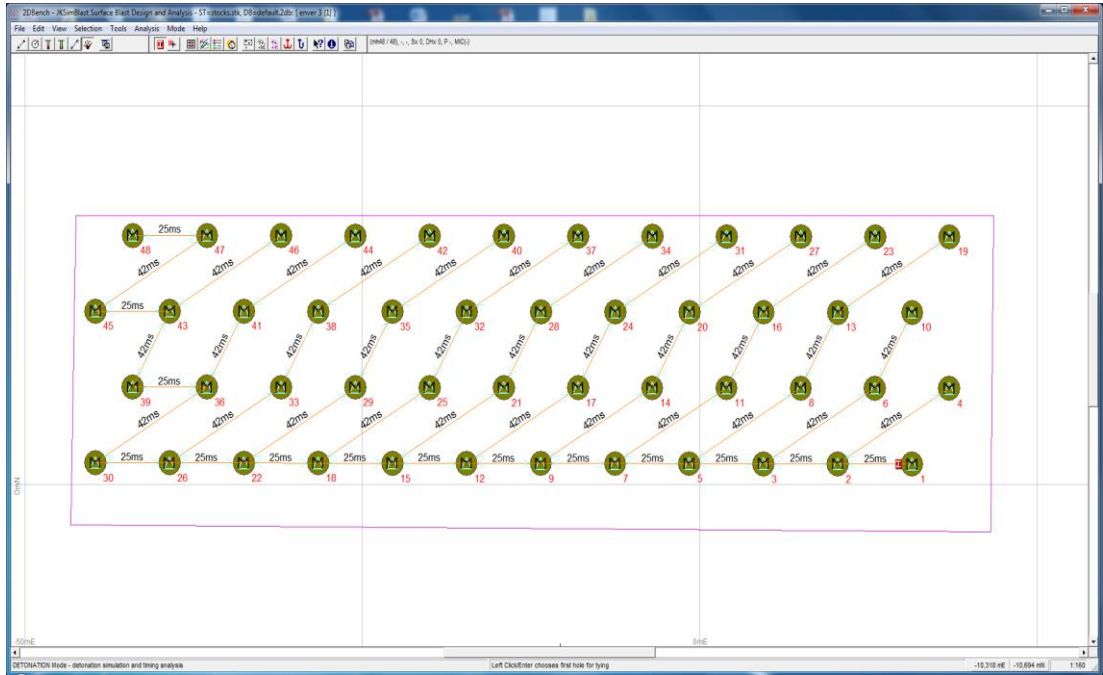
Şekil A. 14 : Atım 18 için parça boyut dağılım eğrilerinin karşılaştırılması.



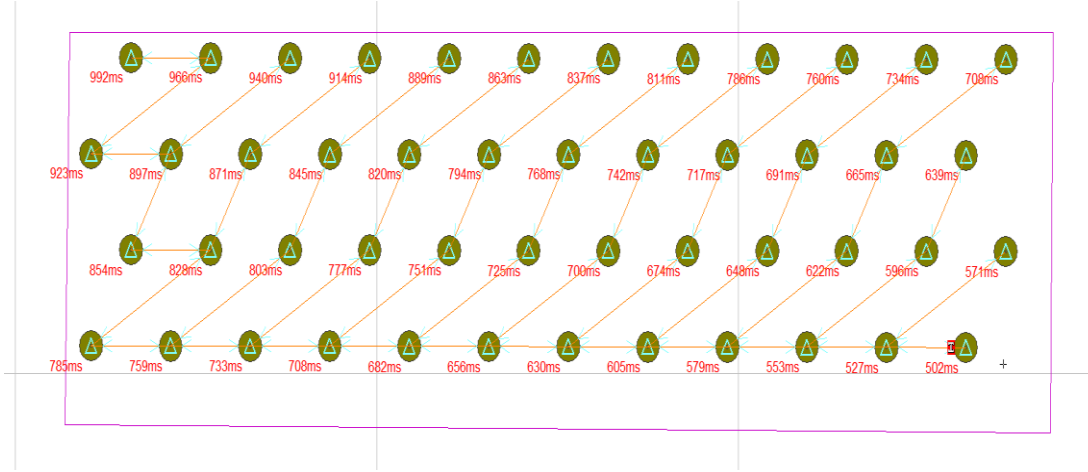
EK B

Çizelge B. 1 : Patlatma tasarım parametreleri.

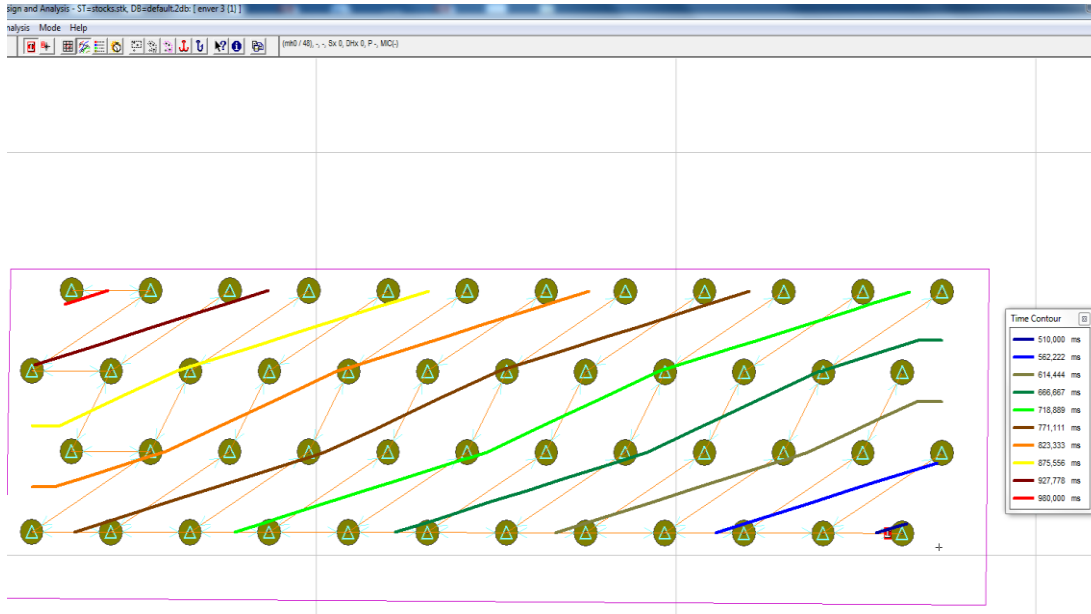
Parametre	Değer
Dilim kalınlığı	5,0 m
Delikler arası mesafe	5,5 m
Delik sayısı	48
Toplam delik uzunluğu	552,0 m
Toplam kayaç hacmi	14520 m ³
Toplam kayaç tonajı	39204 ton
Toplam patlayıcı miktarı	6562,7 kg
Toplam enerji	24806,9 MJ
Delik içi kapsül sayısı	48 adet
Delik içi kapsül gecikme süresi	500 ms
Delik içi kapsül gecikme tüp uzunluğu	552 m
Yüzey kapsülü sayısı	47
Yüzey kapsülü gecikme süresi	25 ms, 42 ms
Yüzey gecikme elemanı uzunluğu	352 m
Özgül şarj	0,167 kg/t - 0,452 kg/m ³
Özgül patlayıcı enerjisi	0,633 MJ/t - 1,708 MJ/m ³
Özgül delme	0,014 m/ m ³



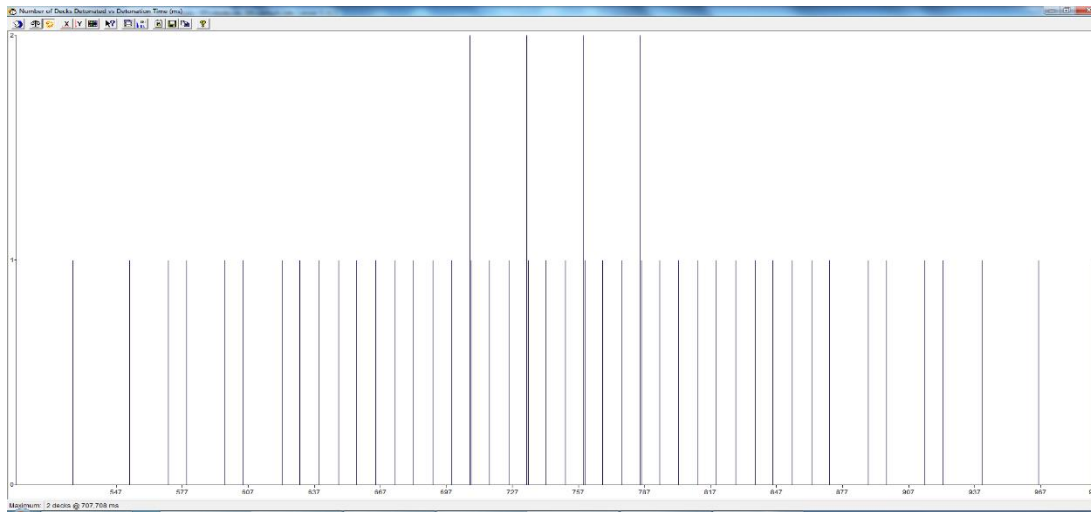
Şekil B. 1 : Deliklerin ateşleme sırası ve kullanılan yüzey gecikmeleri.



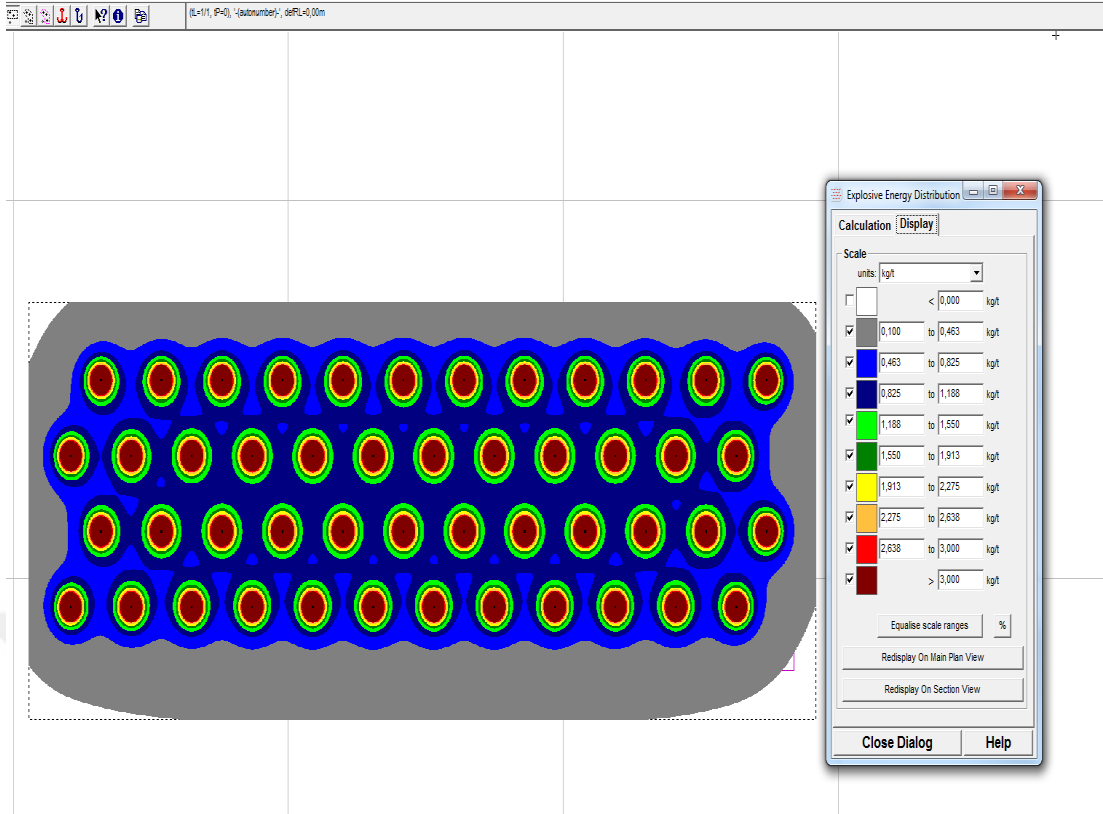
Şekil B. 2 : Delik içi ateşleme zamanı.



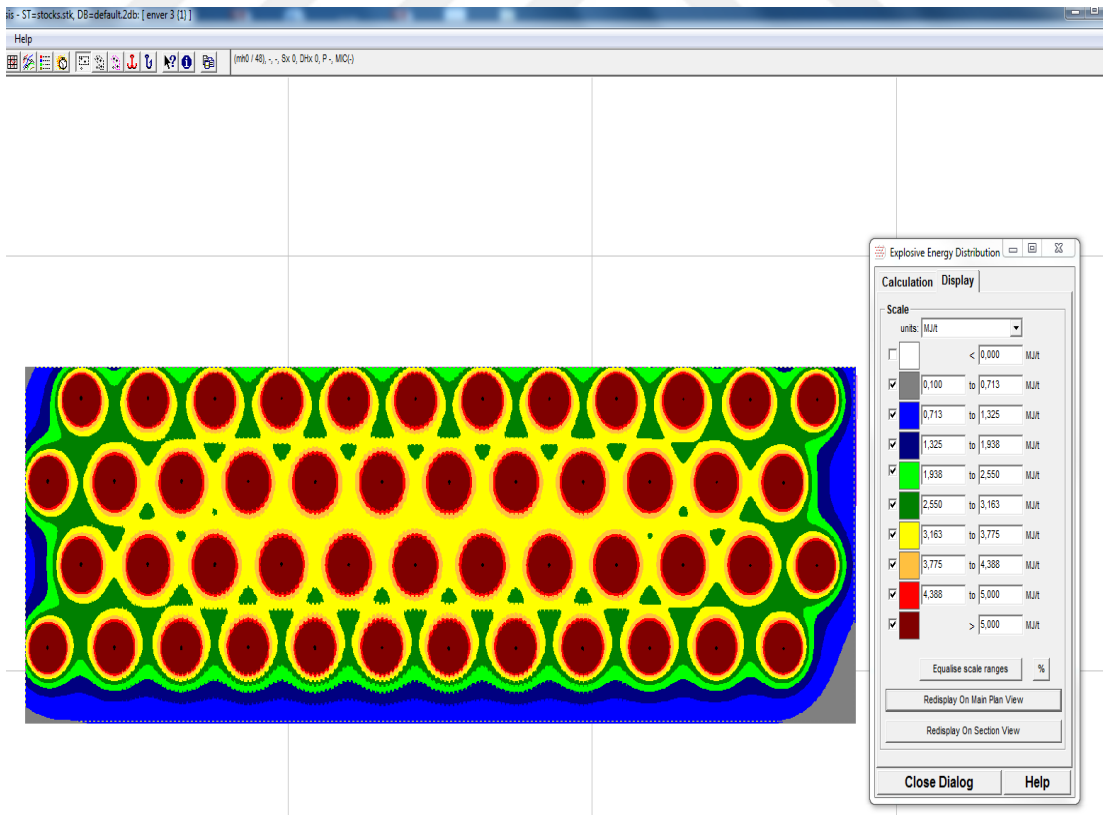
Şekil B. 3 : Zaman Konturları.



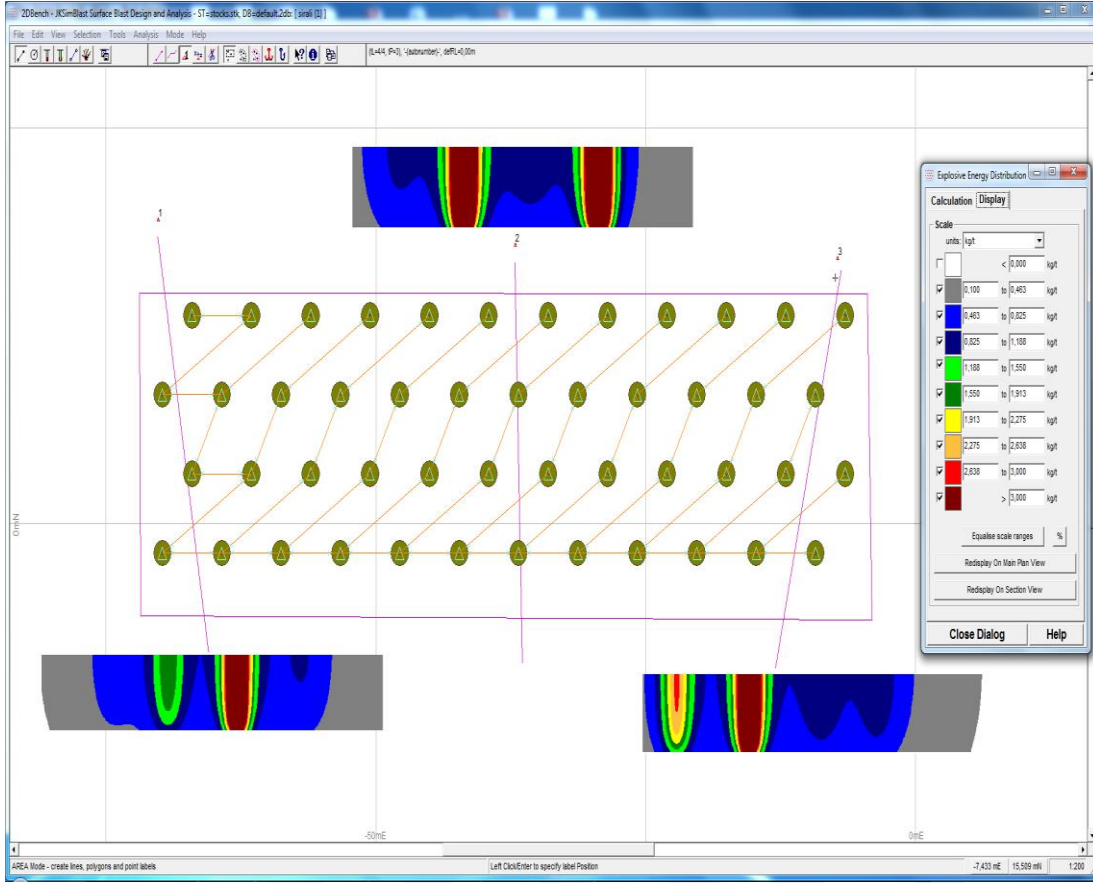
Şekil B. 4 : Deliklerin atım süresince ateşleme zamanı.



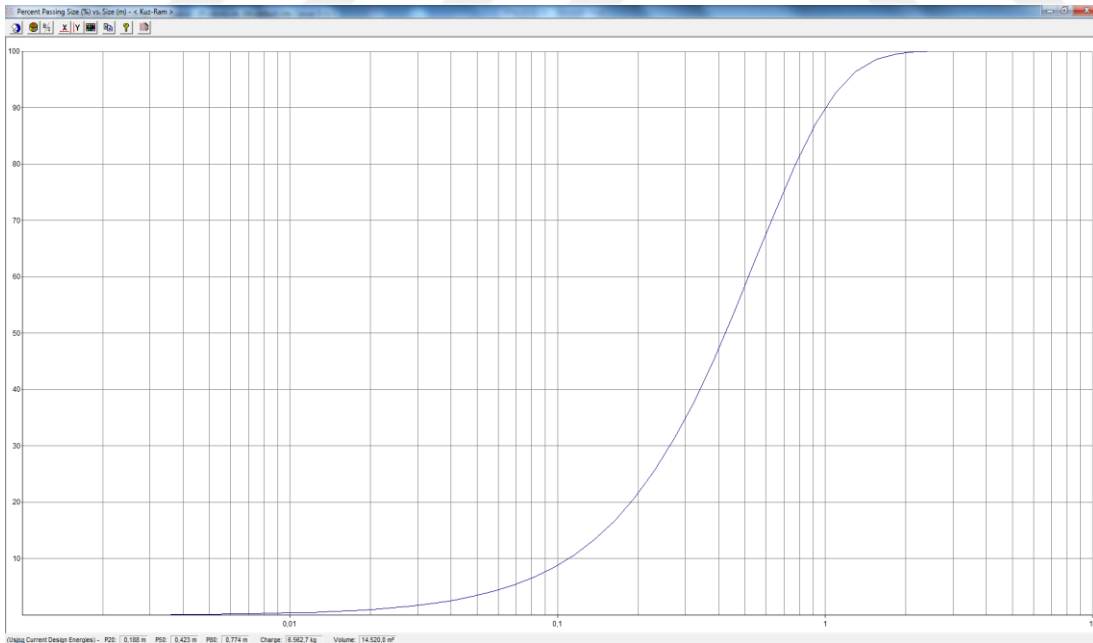
Şekil B. 5 : Enerji dağılımı kg/t.



Şekil B. 6 : Enerji dağılımı MJ/t.



Şekil B. 7 : Üç farklı kesite ait enerji dağılımı.



Şekil B. 8 : KuzRam parça boyut dağılım eğrisi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Enver Ferah
Doğum Yeri ve Tarihi : Şişli/ İstanbul 05.04.1990
E-Posta : enver_ferah@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010 yılında Zonguldak Üzülmüş Taşkömürü Müessesesi'nde Yeraltı stajını tamamladı.
- 2010 yılında Eti Maden Bigadiç Bor İşletmesi'nde açık işletme stajını tamamladı.
- 2011 yılında Eti Maden Kırka Bor İşletmesi'nde Cevher Hazırlama Stajını tamamladı.
- 2015 yılından itibaren Maskat Uluslararası Havaalanı Geliştirme Projesi'nde çalışmakta.
- 2015 yılında Ekip Takdir Ödülü'nü kazandı.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ferah, E., Hudaverdi, T., 2015. Eti Maden Kırka Ocağı için Bilgisayar Destekli Patlatma Tasarımı, *VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.

