ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Esma KAHRAMAN

PATLATMADA KAYA ÖZELLİKLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PATLATMADA KAYA ÖZELLİKLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Esma KAHRAMAN

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 08/02/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

.....	.....	.....
Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ	Prof. Dr. Suphi URAL	Prof. Dr. Faruk KARADAĞ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
.....	.....	
Doç. Dr. Ümit ÖZER	Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN	
ÜYE	ÜYE	

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No: 2001

T.C. ★ ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ 1923

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, Çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

PATLATMADA KAYA ÖZELLİKLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Esma KAHRAMAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Yıl: 2019, Sayfa: 337
Jüri : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Prof. Dr. Faruk KARADAĞ
: Doç. Dr. Ümit ÖZER
: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Bu çalışmada, patlatma faaliyetleri sonucunda elde edilen yığının ortalama parça boyut dağılımının mevcut kaya kütlesi özelliklerine ve patlatma tasarım parametrelerine bağlı olarak değişimleri araştırılmıştır. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Adana Çimento Türk A.Ş. Çaldağı ve Soda Sanayi A.Ş. Karadiken hammadde sahalarında gerçekleştirilen atımlar incelenmiş; incelenen atımların yerinde blok boyutu WipJoint yazılımı ve patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı ise WipFrag yazılımı ile belirlenmiştir. İkinci aşamada her atımdan alınan kayaçların özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Son olarak ortalama tane boyutu ile kayaç özellikleri ve patlatma parametreleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda ortalama tane boyutu ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında istatistiksel bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonunda ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile çalışma sahalarındaki bölgesel değişimler ve parçalanma indeksi kullanılarak etkin patlatma bölgeleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayaç özellikleri, Parça boyut dağılımı, Ortalama parça boyutu, Parçalanma indeksi, ANOVA.

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ROCK PROPERTIES ON PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN BLASTING

Esma KAHRAMAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Year: 2019, Pages: 337
Jury : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Prof. Dr. Faruk KARADAĞ
: Assoc. Prof. Dr. Ümit ÖZER
: Assoc. Prof. Dr. Yasin ERDOĞAN

In this study, the changes in the mean particle size distribution of the mass obtained as a result of blasting activities depending on the existing rock mass properties and blasting design parameters were investigated. The study consists of three basic stages. In the first stage, at the raw material sites of Adana Çimento Türk Inc. Çaldağı and Soda Sanayi Inc. Karadiken were investigated, the block size of the analyzed beats was determined by WipJoint software and fragment size distribution of the post-blast mass was determined by WipFrag software. In the second stage, laboratory experiments were conducted to determine the properties of the rocks taken from each shot. Finally, the relationship between mean particle size and rock properties and blasting parameters were evaluated by regression analysis. This result of these analyzes, it was determined that there was a statistical relationship between the mean particle size and the physical and mechanical properties of the rocks.

At the end of the study, one way variance analysis (ANOVA) was used to define the effective blasting zones by using regional changes and fragmentation index in the study areas.

Key Words: Rock properties, Particle size distribution, Mean particle size, Fragmentation index, ANOVA.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Madenlerde delme patlatma işlemlerinde amaç sadece boyut küçültmek değildir. Boyut küçültme ile birlikte aynı zamanda patlatma sonrası yükleme, boşaltma, nakliye, kırma ve öğütmenin işletme ekonomisine etkisi ile patlatmanın çevresel etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Delme patlatma prosesinin verimli bir şekilde ilerlemesi için en uygun tasarımının belirlenmesi gerekmektedir. Tasarımda kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametreler etkin bir patlatma için iyi bir şekilde değerlendirilmelidir. Kontrol edilemeyen parametreler göz önünde bulundurularak; delik çapı, delik eğimi, delik boyu, delik düzeni, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, sıkılama payı ve dip delgi boyu gibi kontrol edilebilen parametreler belirlenmelidir. Bu parametreleri etkin bir şekilde belirleyebilmek için, patlatma sahasının formasyon özelliklerinin incelenmesi ve kayaç özelliklerinin (basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı gibi) belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmanın amacı patlatma sonrası ortalama tane boyutu ile kayaç özellikleri ve patlatma parametreleri arasındaki ilişkileri inceleyerek patlatma verimlerini değerlendirmektir. Daha önceki çalışmalarda kayaçların bazı özelliklerinin patlatma üzerindeki etkileri incelenmiştir; fakat incelenen kayaç özellikleri kısıtlı tutulmuş ve aynı sahada her atımın kayaç özellikleri tek tek değerlendirilmemiştir. Bu çalışma da ise belirlenen kayaç özellikleri arttırılmış, fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikler göz önünde bulundurularak uygulanan deney aralığı geniş tutulmuştur. Ayrıca her atımın patlatma parametreleri de incelenerek bu parametrelerin ortalama tane boyutuna etkisi değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda Adana Çimento Türk A.Ş.'ne ait Çaldağı hammadde sahası ve Soda Sanayi A.Ş.'nin Karadiken hammadde sahası çalışma sahası olarak belirlenmiş ve iki sahada toplam 64 atım izlenmiştir. Patlatma öncesi yerinde blok boyutu analizi WipJoint yazılımı kullanılarak, patlatma sonrası yığının parça boyut

dağılımı ise WipFrag yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. WipFrag ve WipJoint yazılımlarının doğrulunu belirlemek amacıyla laboratuvar ölçeğinde denemeler yapılmış ve program sonuçlarının doğruluğu teyit edilmiştir. Ayrıca her bir atım için Kuz-Ram tahmin modeli de belirlenmiştir. Patlatma verimini gözlemleyebilmek için; blok, yığın ve Kuz-Ram parça boyut dağılım eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilerek D_{10}, D_{25}, D_{50}, D_{75} ve D_{90} değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Program verimi yüksek olduğu için WipFrag ve WipJoint analizlerinde düzeltme katsayısı kullanılmamıştır. Yığın ve blok parça boyut grafiklerinden elde edilen D_{50} değerleri, yığının ortalama tane boyutu olan X_{50} değerini ve bloğun ortalama tane boyutu olan X_B değerini vermektedir. Her atımın patlatma verimini değerlendirmek için ortalama blok boyutunun ortalama tane boyutuna oranı olarak ifade edilen "Parçalanma İndeksi (FI)" de belirlenmiştir.

Kayaç özelliklerinin belirlenmesi amacıyla atım bölgelerinden alınan numuneler, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarına getirilmiştir. Getirilen kayaç örnekleri ilgili standartlar doğrultusunda deneyler için hazır hale getirilmiştir. Numunelerin fiziksel özellikleri (özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağılıkça su emme oranı, porozite), mekanik özellikleri (tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, çift makaslama dayanımı, nokta yük dayanımı ve darbe dayanımı) ve indeks özellikleri (Schmidt sertliği, P dalga hızı ve Los Angeles aşınma kaybı) belirlenmiştir. Ayrıca tüm numunelerin kimyasal içeriği (XRF), mineralojik ve petrografik analizleri (XRD ve mikroskop) de yapılmıştır.

Çalışmadan elde edilen veriler derlenmiş, SPSS 22 ve Minitab 17 programları kullanılarak patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu ile kayaç özellikleri ve patlatma parametreleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile incelenmiştir. Uygulanan analizler sonucunda; sahalarda incelenen atımların, patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu ile darbe dayanımı dışındaki mekanik özellikleri, özgül ağırlık dışındaki fiziksel özellikleri ve tüm indeks özelliklerinin ilişkili olduğu belirlenmiş, amprik formüller elde edilmiştir.

Her iki hammadde sahasında da kırıcı performansı kırıcıların çene açıklığı ve proseste kullanılan parça boyut aralığı incelenerek patar ve istenilen parça boyut aralığına sahip hammadde oranları belirlenerek kırıcı performansı ile patlatma verimi arasında ilişki kurulmuş ve Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında kırıcı performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Adana Çimento Türk A.Ş.'ye ait hammadde sahası formasyon farklılıklarına sahiptir. Sahada kireçtaşı, killi kireçtaşı, kil taşı, marn ve killi kireçtaşı+marn ardalanmaları mevcuttur. Atım yapılan noktalarda ise "Kireçtaşı", "Killi Kireçtaşı" ve "Killi Kireçtaşı+Marn" oluşumları gözlenmiştir. Bu farklı formasyon oluşumlarının parçalanma indeksinde farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA analizi sonucunda bölgeler arasında farklılıklar olduğu ve en etkin parçalanma indeksine sahip bölgenin ise killi kireçtaşı+marn bölgesi olduğu belirlenmiştir.

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında ise formasyon farkı olmadığı Adana Çimento Türk A.Ş. Çaldağı hammadde sahasından daha homejen bir saha yapısına sahip olduğu görülmüştür. Fakat saha oldukça büyük olduğundan aynı formasyonlara sahip kayaç özelliklerinin bile bölgesel olarak değiştiği gözlenmiştir. bu nedenden dolayı saha; "Doğu", "Batı" ve "Orta" olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerde parçalanma indeksi açısından farklılık olup olmadığını değerlendirmek amacıyla ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda; bölgeler arasında anlamlı farklılık olmamasına rağmen orta bölgenin daha büyük parçalanma indeksine sahip olduğu görülmüştür. İstatistiksel olarak bölgeler arasında anlamlı farklılık olmamasının sebebi sahanın tamanın kireçtaşı formasyonundan oluşmuş olması ve kendi içerisinde değişimlerin çok olmamasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan incelemelerde parçalanma indeksi 5'ten büyük olan patlatmaların %80'den fazla boyut küçülmesi sağladığı için bu atımlar verimli olarak değerlendirilirken; sahalardaki değişimlerden dolayı patlatmaların verimsiz olduğu bölgelerde delikler arası mesafenin ve dilim kalınlığının küçültülmesi gerektiği önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarımda bana yön veren, bilim insanı olarak benim için model teşkil eden, engin tecrübelerini aktarmaktan sakınmayan, çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyerek; yapıcı ve yönlendirici fikirler sunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Maden Mühendiliği Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ'a ve Tez İzleme Komitesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Suphi URAL ile Sayın Prof. Dr. Faruk KARADAĞ'a çalışmalarıma katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Hocalarıma, Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve bölüm çalışanlarımıza teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden beri bakış açıları ile bana ilham veren ve çalışmalarımda bana yol gösteren Sayın Hocalarım Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN'a ve Dr. Ögr. Üyesi Ahmet TEYMEN'e şükranlarımı sunarım. Mineralojik analizlerde verdiği destekler için Dr. Ögr. Üyesi Nil YAPICI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirmeme destek olan Adana Çimento Sanayii Türk A.Ş. ve Soda Sanayii A.Ş. yetkililerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Maden Mühendisi Numan TOPALOĞLU ve Mustafa ULAŞLI'ya çalışmalarım sırasındaki sabır ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Beni sürekli motive eden ve çalışmalarımda bana destek olan canım arkadaşım Arş. Gör. Dr. Özlem AKAY'a, çalışmalarımda yardımlarını ve manevi desteğini esirgemeyen Dr. Ögr. Üyesi Zehra Funda TÜRKMENOĞLU'na ve Yüksek Lisans öğrencimiz Rüştü Emre TEZÖLMEZ'e ve Bölüm sekreterimiz Mustafa DOĞANTİMUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak beni her zaman destekleyen annem ve babam Aysel-Fethi EKİCİ'ye, doktora çalışmam süresince bana her zaman destek olan, doktoramın başarıya ulaşması için beni her zaman cesaretlendiren değerli eşim Ahmet Erinç KAHRAMAN'a ve biricik oğlum Fatih Emir KAHRAMAN'a en içten sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR VII
İÇİNDEKİLER VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ XVIII
ŞEKİLLER DİZİNİ XXII
SİMGELER VE KISALTMALAR XXXII
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Önemi 2
1.2. Çalışmanın İçeriği 3
1.3. Çalışmanın Yöntemi 4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. PATLATMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER 13
3.1. Kontrollü Patlatma Teorisi 13
3.1.1. Detonasyon 14
3.1.2. Şok ya da Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması 15
3.1.3. Gaz Basıncının Yayılımı 17
3.1.4. Kütle Taşınması 18
3.2. Kontrollü Patlatma Operasyonlarında Parçalamaya Etki Eden Parametreler 20
3.2.1. Kontrollü Patlatma Operasyonlarında Kontrol Edilebilen Parametreler 20
3.2.1.1. Patlayıcı Madde Özellikleri 20
3.2.1.1.(1). Detonasyon Hızı 20
3.2.1.1.(2). Patlayıcı Maddenin Cinsi 21
3.2.1.1.(3). Yoğunluk 22

3.2.1.1.(4). Partikül Boyutu 22
3.2.1.1.(5). Suya Karşı Dayanım 22
3.2.1.1.(6). Donmaya Karşı Dayanım 22
3.2.1.1.(7). Patlayıcı Maddenin Gücü 22
3.2.1.1.(8). Hassasiyet 22
3.2.1.2. Kontrollü Patlatma Tasarım Parametreleri 23
3.2.1.2.(1). Delik Çapı 24
3.2.1.2.(2). Basamak Yüksekliği (K) 25
3.2.1.2.(3). Dilim Kalınlığı (B) 25
3.2.1.2.(4). Alt Delme (Taban Payı) (U) 28
3.2.1.2.(5). Delik Boyu (L) 29
3.2.1.2.(6). Sıkılama Boyu (T) 29
3.2.1.2.(7). Delikler Arası Mesafe (S) 31
3.2.1.2.(8). Delik Eğimi 33
3.2.1.2.(9). Dip Şarj ve Kolon Şarj 33
3.2.1.2.(10). Delik Hata Payı (E) 36
3.2.1.2.(11). Özgül Şarj (q) 37
3.2.2. Kontrollü Patlatmalarda Kontrol Edilemeyen Parametreler 38
3.2.2.1. Kontrollü Patlatmalarda Parçalanmaya Etki Eden Kayaç Özellikleri 38
3.2.2.2. Kontrollü Patlatmalarda Parçalanmaya Etki Eden Saha Özellikleri 40
3.3. Kontrollü Patlatma Verimliliğinin Önemi 41
3.4. Kontrollü Patlatma Sonrası Parçalanma Veriminin Değerlendirilme Yöntemleri 42
3.4.1. Görsel-Gözlemsel Yöntemler 42
3.4.2. Fotoğraflama Tekniği 43
3.4.3. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri 43
3.4.4. Patar Sayımı Yöntemi 43

3.4.5. İkincil Atımlarda Patlayıcı Tüketimi 43
3.4.6. Ekskavatörün Yükleme Performansı 44
3.4.7. Elek Analizi 44
3.4.8. Üç Nokta Yöntemi 45
3.4.9. Parça-Numune Yöntemi 45
3.4.10. Görüntü İşleme Metodu 45
3.5. Kontrollü Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımını Belirleyen Programlar 45
3.5.1. JKSimBlast Programı 46
3.5.2. Fragalyst 46
3.5.3. Fragscan Programı 47
3.5.4. Split Desktop Programı 47
3.5.5. TUCIPS Programı 47
3.5.6. CIAS Programı 48
3.5.7. IPACS Programı 48
3.5.8. Goldsize Programı 48
3.5.9. WipFrag Programı 48
3.6. Kontrollü Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımı Tahmin Modelleri 49
3.6.1. Kuz-Ram Modeli 49
3.6.2. Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli 53
3.6.3. Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (JKMRC) Modeli 54
3.7. Parçalanma İndeksi 57
4. MATERYAL VE METOT 59
4.1. Materyal 59
4.1.1. Çalışma Sahaları 59
4.1.1.1. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahası 59
4.1.1.1.(1). Bölgesel Jeoloji 60
4.1.1.1.(2). Çalışma Sahası Jeolojisi 61

4.1.1.1.(3). Çalışma Sahasının Mineralojik ve Petrografik Analizi 61
4.1.1.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası 67
4.1.1.2.(1). Bölgesel Jeoloji 68
4.1.1.2.(2). Çalışma Sahası Jeolojisi 70
4.1.1.2.(3). Çalışma Sahasının Mineralojik ve Petrografik Analizi 70
4.1.2. Görüntü İşleme Programı 74
4.1.2.1. WipJoint Yazılımı ile Blok Analizi 74
4.1.2.2. WipFrag Yazılımı 75
4.2. Metod 77
4.2.1. WipJoint Yazılımı ile Blok Analizi 78
4.2.1.1. Fotoğrafların veya Videoların Çekilmesi 79
4.2.1.2. Blokların ve Çatlakların Analiz Edilmesi ve Program Çıktısı 79
4.2.2. WipFrag Proğramı ile Parça Boyut Analizinin Aşamaları 81
4.2.2.1. Fotoğrafların veya Videoların Çekilmesi 81
4.2.2.2. Fotoğrafın Programa Aktarılması 82
4.2.2.3. Fotoğrafların Ölçeklendirilmesi 84
4.2.2.4. Parçaların Analiz Edilmesi ve Program Çıktısı 85
4.2.3. Programın Laboratuvar Ölçeğinde Test Edilmesi 87
4.2.3.1. WipJoint Programının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi 87
4.2.3.2. WipFrag Programının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi 89
4.2.4. Uygulanacak Deneyler 91
4.2.4.1. Fiziksel Deneyler 92
4.2.4.1.(1). Özgül Ağırlık 92
4.2.4.1.(2). Birim Hacim Ağırlık 93
4.2.4.1.(3). Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme 94

4.2.4.1.(4). Porozite ve Boşluk Oranı 94
4.2.4.2. Mekanik Deneyler..... 95
4.2.4.2.(1). Tek Eksenli Basınç Dayanımı 95
4.2.4.2.(2). Brazilian Deney Yöntemiyle Dolaylı Çekme..... 96
4.2.4.2.(3). Nokta Yük Dayanımı 98
4.2.4.2.(4). Darbe Dayanımı 100
4.2.4.2.(5). Eğilme Dayanımı..... 102
4.2.4.2.(6). Çift Makaslama Dayanımı 103
4.2.4.2.(7). Schmidt Sertliği..... 104
4.2.4.2.(8). Aşınma (Los Angeles) Dayanımı 105
4.2.4.2.(9). Sonik Hız Deneyi 106
4.2.4.3. Kimyasal Analizler 108
4.2.4.3.(1). X Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)..... 108
4.2.4.3.(2). Gravimetrik (Yaş) Analiz..... 109
4.2.4.4. Petrografik ve Mineralojik Analizler 109
4.2.4.4.(1). X Işını Difraktometresi (XRD)..... 109
4.2.4.4.(2). Mikroskopla İnceleme..... 110
4.3. İstatistiksel Analiz Yöntemleri 111
4.3.1. Regresyon Analizi..... 111
4.3.1.1. Basit Regresyon Analizi 112
4.3.1.2. Çok Değişkenli Regresyon Analizi..... 112
4.3.2. Varyans Analizi (ANOVA) 113
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 115
5.1. Adana Çimento Sanayi Çaldağı Hammadde Sahasındaki Çalışmalar 115
5.1.1. Arazi Gözlemleri..... 115
5.1.2. Uygulanan Deneyler ve Sonuçları 118
5.1.2.1. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları 118
5.1.2.2. AÇS Çaldağ Hammadde Sahasının Mekanik Deney Sonuçları..... 121

5.1.2.3. AÇS Çaldağ Hammadde Sahası Kimyasal Analiz Sonuçları 129
5.1.3. Parça Boyut Dağılımlarının İncelenmesi 131
5.1.4. Kırıcı Performansı Açısından Patlatma Veriminin İncelenmesi 150
5.1.5. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahasında Ortalama Tane Boyutu ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişkiler 152
5.1.5.1. Ortalama Tane Boyutu (X_{50}) ile Kayaçların Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler 152
5.1.5.1.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık İlişkisi 153
5.1.5.1.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi 153
5.1.5.1.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Ağırlıkça Su Emme Oranı İlişkisi 154
5.1.5.1.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Porozite İlişkisi 155
5.1.5.1.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi 156
5.1.5.2. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkiler 158
5.1.5.2.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi 159
5.1.5.2.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi 160
5.1.5.2.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi 161
5.1.5.2.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi 162
5.1.5.2.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi 162

5.1.5.2.(6). Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi 163
5.1.5.2.(7). Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi 165
5.1.5.2.(8). Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi 165
5.1.5.2.(9). Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi .. 166
5.1.5.2.(10). Ortalama Tane Boyutu ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi 167
5.1.5.3. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişki 171
5.1.6. Ortalama Tane Boyutu ile Adana Çimento Hammadde Sahasında Uygulanan Patlatma Tasarım Parametreleri Arasındaki İlişkiler 173
5.1.7. Varyans (ANOVA) Analizi ile Sahanın Değerlendirilmesi 176
5.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasındaki Çalışmalar 182
5.2.1. Arazi Gözlemleri 182
5.2.2. Uygulanan Deneyler ve Sonuçları 186
5.2.2.1. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları 186
5.2.2.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Mekanik Deney Sonuçları 189
5.2.2.3. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Kimyasal Analiz Sonuçları 196
5.2.3. Parça Boyut Dağılımlarının İncelenmesi 198
5.2.4. Kırıcı Performansı Açısından Patlatma Veriminin İncelenmesi 220
5.2.5. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasında Kayaç Özellikleri ile Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişkiler 221

5.2.5.1. Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler 221
5.2.5.1.(1). Otalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık Arasındaki Ilişki 222
5.2.5.1.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi 223
5.2.5.1.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Ağırlıkça Su Emme Oranı İlişkisi 224
5.2.5.1.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Porozite(n) İlişkisi 225
5.2.5.1.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi 225
5.2.5.2. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Mekanik Özelliklerinin İlişkisi 228
5.2.5.2.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi 228
5.2.5.2.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı 229
5.2.5.2.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi 230
5.2.5.2.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi 231
5.2.5.2.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi 232
5.2.5.2.(6). Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi 232
5.2.5.2.(7). Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi 234

5.2.5.2.(8). Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi 235
5.2.5.2.(9). Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi .. 236
5.2.5.2.(10). Ortalama Tane Boyutu ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi 236
5.2.5.3. Kayaçların Kimyasal Özellikleri ile Tane Boyutu Arasındaki İlişki 241
5.2.6. Soda Karadiken Hammadde Sahasında Uygulanan Patlatma Tasarım Parametreleri ile Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişkiler 242
5.2.7. Varyans (ANOVA) Analizi İle Sahanın Değerlendirilmesi 245
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 253
KAYNAKLAR 257
ÖZGEÇMİŞ 271

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Bazı Patlayıcı Maddelerin Yoğunlukları, Detonasyon Hızları ve Basınçları 15

Çizelge 4.1. Wipfrag Yazılımının Kullandığı Farklı Üniformite Değerleri Düzeltme Katsayıları 77

Çizelge 4.2. Elek Analizi ile Wipfrag Analizi Dağılımlarının Sapması 90

Çizelge 4.3. Varyansların Eşit Olmaması Durumunda Seçilebilecek Post-Hoc İstatistikleri 114

Çizelge 4.4. Varyansların Eşit Olması Durumunda Seçilebilecek Post-Hoc İstatistikleri 114

Çizelge 5.1. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Atımlarının Patlatma Parametreleri 117

Çizelge 5.2. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları 119

Çizelge 5.3. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Mekanik Deney Sonuçları 123

Çizelge 5.4. AÇS Çaldağı Hammadde Sahasının Diğer Mekanik Özellikleri Deney Sonuçları 127

Çizelge 5.5. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Kimyasal Analiz (XRF) Sonuçları 130

Çizelge 5.6. Patlatmaların Dağılım Oranları ve Parçalanma Indeksi Değerleri 147

Çizelge 5.7. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri 152

Çizelge 5.8. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ve Artık Değerler 157

Çizelge 5.9. Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri 159

Çizelge 5.10. Diğer Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri 164
Çizelge 5.11. Mekanik Özellikler ile Kurulan Çoklu Regresyon Modelinde Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler 168
Çizelge 5.12. Tahribatsız Deney Sonuçları ile Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler 170
Çizelge 5.13. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahası ANOVA Analizi için Yapılan Sınıflama 177
Çizelge 5.14. Normallik Testi Sonuçları 179
Çizelge 5.15. Varyansların Homejenlik Testi Sonuçları 179
Çizelge 5.16. ANOVA Analizi Sonuçları 179
Çizelge 5.17. Post Hoc (LCD) Test Sonuçları 180
Çizelge 5.18. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Patlatma Parametreleri 185
Çizelge 5.19. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları 187
Çizelge 5.20. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Mekanik Deney Sonuçları 190
Çizelge 5.21. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Diğer Mekanik Özelliklerinin Sonuçları 195
Çizelge 5.22. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası XRF Sonuçları 197
Çizelge 5.23. Patlatmaların Dağılım Oranları ve Parçalanma İndeksi Değerleri 217
Çizelge 5.24. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri 222

Çizelge 5.25. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ve Artık Değerler 227
Çizelge 5.26. Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri 228
Çizelge 5.27. Diğer Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri 234
Çizelge 5.28. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen, Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler 238
Çizelge 5.29. Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen, Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler 240
Çizelge 5.30. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası ANOVA Analizi için Yapılan Sınıflama 247
Çizelge 5.31. Normallik Testi Sonuçları 248
Çizelge 5.32. Varyansların Homejenlik Testi Sonuçları 248
Çizelge 5.33. ANOVA Analizi Sonuçları 249
Çizelge 5.34. Post Hoc (LCD) Test Sonuçları 249
Çizelge 5.35. Kaya Kütlesinin Patlatılabilirliğinin Sınıflandırılması İçin Önerilen Nicel Göstergeler (Lu, 1997) 251

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Patlatma Sonrasında Delikte Oluşan Durum 14
Şekil 3.2. Detonasyonun Ardından Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması 16
Şekil 3.3. Teğetsel Gerilme Sonucu Ortaya Çıkan Basınç ve Çekme Gerilmeleri..... 16
Şekil 3.4. Değişik Koşullarda Kütle Taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik taban payı) 19
Şekil 3.5. Patlatma Tasarım Parametreleri 23
Şekil 3.6. Delik Çapının, Maliyet ve Parçalanma Boyuna Etkisinin Şematik Olarak Gösterilmesi..... 24
Şekil 3.7. Eğimli ve Dik Deliklerle Yapılan Patlatma Sonrası Oluşan Pasa Geometrisi 33
Şekil 3.8. Dip Şarj Ve Kolon Şarjın Delikte Görünümü 34
Şekil 3.9. Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın Operasyonlar Üzerindeki Etkisi..... 41
Şekil 3.10. Patlatma ile Boyut Küçülmesi 58
Şekil 4.1. AÇS Hammadde Sahasına Ait Yer Bulduru Haritası..... 59
Şekil 4.2. AÇS Hammadde Sahasının Civarının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti 62
Şekil 4.3. Fosil Kavkılı Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü..... 63
Şekil 4.4. Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü..... 63
Şekil 4.5. Kireçtaşı için XRD Kırınım Analizi..... 64
Şekil 4.6. Killi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 65
Şekil 4.7. Killi Kireçtaşı için XRD Kırınım Analizi 65
Şekil 4.8. Marnın Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 66
Şekil 4.9. Marn için XRD Kırınım Analizi..... 67

Şekil 4.10. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Yer Bulduru Haritası 68
Şekil 4.11. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Civarının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti 69
Şekil 4.12. Çalışma Sahası Genel Görüntüsü 71
Şekil 4.13. Doğu Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 72
Şekil 4.14. Batı Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 72
Şekil 4.15. Orta Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 73
Şekil 4.16. Doğu, Batı ve Orta Bölge için XRD Kırınım Analizi 74
Şekil 4.17. Çalışmanın Akım Şeması 78
Şekil 4.18. WipJoint Blok Analizi için Çekilmiş Görüntü ve Ölçeklendirme İşlemi 79
Şekil 4.19. WipJoint Yazılımda Blokların Oluşturulması ve Farklı Renklerde Gösterimi 80
Şekil 4.20. WipJoint Programı Sonucunda Program Çıktısı 80
Şekil 4.21. WipFrag Programının Analiz Aşamaları 81
Şekil 4.22. Yığın Fotoğraf Örneği 82
Şekil 4.23. Program İçerisine Görüntünün Çağrılması 83
Şekil 4.24. Fotoğrafın Program İçerinde Açılması 83
Şekil 4.25. Ölçeklendirme Penceresi 84
Şekil 4.26. Parça Boyut Aralığının Oluşturulması 85
Şekil 4.27. Dağılım için Parçaların Yüzeylerinin Oluşturulması ve Renklendirilmesi 86
Şekil 4.28. Görüntüden Elde Edilen Parça Boyut Dağılım Grafiği 86
Şekil 4.29. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi (a) Kullanılan Görüntü ve (b) Yazılımda İşlenmiş Görüntü 87
Şekil 4.30. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeği ile Karşılaştırılması 88
Şekil 4.31. WipJoint Yazılımının Diyagram Çıktısı 88

Şekil 4.32. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeği ile Karşılaştırılması 89
Şekil 4.33. Laboratuvar Ölçekli WipFrag Analizi (a) Ölçekli Görüntü, (b) Kenar Sınırlarının Belirlenmesi, (c) Boyutlarına Göre Parçaların Renklendirilmesi, (d) Parçaların Rastgele Renklendirilmesi 90
Şekil 4.34. Laboratuvar Ölçeğinde Yapılan Deneyin WipFrag Analiz Sonucu 91
Şekil 4.35. Elek Analizi ile WipFrag Analizinin Karşılaştırılması 91
Şekil 4.36. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Cihazı 96
Şekil 4.37. Brazilian Dolaylı Çekme Aparatı 97
Şekil 4.38. Nokta Yük Dayanım Cihazı 99
Şekil 4.39. Darbe Dayanım Cihazı 101
Şekil 4.40. Eğilme Dayanım Cihazı 102
Şekil 4.41. Çift Makaslama Deney Aparatı 104
Şekil 4.42. Schmidt Sertliği Çekici 105
Şekil 4.43. Los Angeles deney makinesi 106
Şekil 4.44. Sonik Hız Ölçüm Cihazı 107
Şekil 4.45. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı 108
Şekil 4.46. X Işını Difraktometresi (XRD) Cihazı 110
Şekil 5.1. Hammadde Sahasındaki Yapısal Değişimler 115
Şekil 5.2. Çalışma Sahasında Gerçekleştirilen Atım Noktaları 116
Şekil 5.3. Fiziksel Deneylerde Kullanılan Deney Numunesi Örnekleri 118
Şekil 5.4. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Özgül Ağırlık Deney Sonuçlarının Değişimi 120
Şekil 5.5. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değişimi 120
Şekil 5.6. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Ağırlıkça Su Emme Oranı Deney Sonuçlarının Değişimi 121
Şekil 5.7. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Porozite Deney Sonuçlarının Değişimi 121

Şekil 5.8. Eğilme Dayanımı Deneylerinde Kullanılan Deney Numunesi Örnekleri 122
Şekil 5.9. Mekanik Deneylerde Kullanılan Deney Numunesi Örnekleri 122
Şekil 5.10. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değişimi 124
Şekil 5.11. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi 124
Şekil 5.12. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Nokta Yük Dayanımı Sonuçlarının Değişimi 125
Şekil 5.13. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi 125
Şekil 5.14. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Çift Makaslama Dayanımı Değişimi 126
Şekil 5.15. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Darbe Dayanım Sonuçlarının Değişimi 126
Şekil 5.16. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Los Angeles Aşınma Kaybı Değişimi 128
Şekil 5.17. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Schmidt Sertliği Sonuçlarının Değişimi 128
Şekil 5.18. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası P Dalga Hızı Sonuçlarının Değişimi 129
Şekil 5.19. AÇS 1 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 131
Şekil 5.20. AÇS 2 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 132
Şekil 5.21. AÇS 3 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 132
Şekil 5.22. AÇS 4 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 133
Şekil 5.23. AÇS 5 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 133
Şekil 5.24. AÇS 6 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 134
Şekil 5.25. AÇS 7 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 135
Şekil 5.26. AÇS 8 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 135

Şekil 5.27. AÇS 9 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 136
Şekil 5.28. AÇS 10 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 136
Şekil 5.29. AÇS 11 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 137
Şekil 5.30. AÇS 12 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 137
Şekil 5.31. AÇS 13 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 138
Şekil 5.32. AÇS 14 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 138
Şekil 5.33. AÇS 15 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 139
Şekil 5.34. AÇS 16 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 139
Şekil 5.35. AÇS 17 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 140
Şekil 5.36. AÇS 18 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 140
Şekil 5.37. AÇS 19 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 141
Şekil 5.38. AÇS 20 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 141
Şekil 5.39. AÇS 21 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 142
Şekil 5.40. AÇS 22 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 142
Şekil 5.41. AÇS 23 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 143
Şekil 5.42. AÇS 24 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 143
Şekil 5.43. AÇS 25 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 144
Şekil 5.44. AÇS 26 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 144
Şekil 5.45. AÇS 27 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 145
Şekil 5.46. AÇS 28 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 145
Şekil 5.47. AÇS 29 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 146
Şekil 5.48. AÇS 30 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri 146
Şekil 5.49. Kırıcı Performansı Açısından İstenilen Boyutta Ürün ve Patar Oranları..... 151
Şekil 5.50. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık İlişkisi 153
Şekil 5.51. Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi 154
Şekil 5.52. Ortalama Tane Boyutu ile Ağılıkça Su Emme Oranı İlişkisi 154
Şekil 5.53. Ortalama Tane Boyutu ile Porozite İlişkisi 155

Şekil 5.54. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki 158
Şekil 5.55. Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi 159
Şekil 5.56. Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi 160
Şekil 5.57. Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi 161
Şekil 5.58. Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi 162
Şekil 5.59. Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi 163
Şekil 5.60. Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi 164
Şekil 5.61. Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi 165
Şekil 5.62. Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi..... 166
Şekil 5.63. Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi 167
Şekil 5.64. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişki 169
Şekil 5.65. Tahribatsız Deney Sonuçları ile Yapılan Çoklu Regresyon Analizi Sonucunda Tahmin Edilen Değerler ile Hesaplanan Değerler Arasındaki İlişki 171
Şekil 5.66. Ortalama Tane Boyutu ile Kalsiyum Oksit İçeriği İlişkisi 172
Şekil 5.67. Ortalama Tane Boyutu ile Silisyum Dioksit İçeriği İlişkisi 172
Şekil 5.68. Ortalama Tane Boyutu ile Basamak Yüksekliği İlişkisi 173
Şekil 5.69. Ortalama Tane Boyutu ile Delik Boyu İlişkisi 174
Şekil 5.70. Ortalama Tane Boyutu ile Sıkılama Payı Arasındaki İlişki 174
Şekil 5.71. Ortalama Tane Boyutu ile Delikler Arası Mesafe Arasındaki İlişki..... 175
Şekil 5.72. Ortalama Tane Boyutu ile Dilim Kalınlığı İlişkisi 175
Şekil 5.73. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Şarj İlişkisi 176
Şekil 5.74. Bölgelere Göre Parçalanma İndeksi Veri Dağılım Ağırlıkları 178

Şekil 5.75. Bölgelerin Parçalanma İndeksi Farklılıkları 180
Şekil 5.76. Batı Bölge Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği 182
Şekil 5.77. Orta Bölgesi Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği 182
Şekil 5.78. Doğu Bölgesi Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği 183
Şekil 5.79. Soda Sanayi Karadiken Hammdde Sanasında Atım Yapılan Noktalar 184
Şekil 5.80. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Özgül Ağırlık Sonuçları Değişimi 186
Şekil 5.81. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Birim Hacim Ağırlık Değişimi 188
Şekil 5.82. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Ağılıkça Su Emme Oranı Değişimi 188
Şekil 5.83. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Ağılıkça Porozite Oranı Sonuçlarının Değişimi 189
Şekil 5.84. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Tek Eksenli Basınç Dayanımının Değişimi 191
Şekil 5.85. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımının Değişimi 191
Şekil 5.86. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Nokta Yük Dayanımının Değişimi 192
Şekil 5.87. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Eğilme Dayanımının Değişimi 192
Şekil 5.88. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Çift Makaslama Dayanımının Değişimi 193
Şekil 5.89. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Darbe Dayanımının Değişimi 193
Şekil 5.90. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Los Angeles Aşınma Kaybının Değişimi 194

Şekil 5.91. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Schmidt Çekici Sertliği Değişimi 194
Şekil 5.92. Soda Sanayi Karadiken Hammadde P Dalga Hızı Sonuçlarının Değişimi 196
Şekil 5.93. Soda 1 Atımının Dağılım Grafikleri 198
Şekil 5.94. Soda 2 Atımının Dağılım Grafikleri 199
Şekil 5.95. Soda 3 Atımının Dağılım Grafikleri 199
Şekil 5.96. Soda 4 Atımının Dağılım Grafikleri 200
Şekil 5.97. Soda 5 Atımının Dağılım Grafikleri 200
Şekil 5.98. Soda 6 Atımının Dağılım Grafikleri 201
Şekil 5.99. Soda 7 Atımının Dağılım Grafikleri 201
Şekil 5.100. Soda 8 Atımının Dağılım Grafikleri 202
Şekil 5.101. Soda 9 Atımının Dağılım Grafikleri 202
Şekil 5.102. Soda 10 Atımının Dağılım Grafikleri 203
Şekil 5.103. Soda 11 Atımının Dağılım Grafikleri 203
Şekil 5.104. Soda 12 Atımının Dağılım Grafikleri 204
Şekil 5.105. Soda 13 Atımının Dağılım Grafikleri 204
Şekil 5.106. Soda 14 Atımının Dağılım Grafikleri 205
Şekil 5.107. Soda 15 Atımının Dağılım Grafikleri 206
Şekil 5.108. Soda 16 Atımının Dağılım Grafikleri 206
Şekil 5.109. Soda 17 Atımının Dağılım Grafikleri 207
Şekil 5.110. Soda 18 Atımının Dağılım Grafikleri 207
Şekil 5.111. Soda 19 Atımının Dağılım Grafikleri 208
Şekil 5.112. Soda 20 Atımının Dağılım Grafikleri 208
Şekil 5.113. Soda 21 Atımının Dağılım Grafikleri 209
Şekil 5.114. Soda 22 Atımının Dağılım Grafikleri 210
Şekil 5.115. Soda 23 Atımının Dağılım Grafikleri 210
Şekil 5.116. Soda 24 Atımının Dağılım Grafikleri 211
Şekil 5.117. Soda 25 Atımının Dağılım Grafikleri 211

Şekil 5.118. Soda 26 Atımının Dağılım Grafikleri 212
Şekil 5.119. Soda 27 Atımının Dağılım Grafikleri 212
Şekil 5.120. Soda 28 Atımının Dağılım Grafikleri 213
Şekil 5.121. Soda 29 Atımının Dağılım Grafikleri 213
Şekil 5.122. Soda 30 Atımının Dağılım Grafikleri 214
Şekil 5.123. Soda 31 Atımının Dağılım Grafikleri 214
Şekil 5.124. Soda 32 Atımının Dağılım Grafikleri 215
Şekil 5.125. Soda 33 Atımının Dağılım Grafikleri 216
Şekil 5.126. Soda 34 Atımının Dağılım Grafikleri 216
Şekil 5.127. Kırıcı Performansı Açısından İstenilen Boyutta Ürün ve Patar Oranları 221
Şekil 5.128. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık İlişkisi 223
Şekil 5.129. Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi 223
Şekil 5.130. Ortalama Tane Boyutu ile Ağılıkça Su Emme Oranı İlişkisi 224
Şekil 5.131. Ortalama Tane Boyutu ile Porozite İlişkisi 225
Şekil 5.132. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki 226
Şekil 5.133. Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi 229
Şekil 5.134. Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi 230
Şekil 5.135. Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi 230
Şekil 5.136. Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi 231
Şekil 5.137. Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi 232
Şekil 5.138. Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi 233
Şekil 5.139. Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi 234
Şekil 5.140. Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi..... 235
Şekil 5.141. Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 236

Şekil 5.142. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki 237
Şekil 5.143. Tahribatsız Deney Sonuçları Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişki 239
Şekil 5.144. Ortalama Tane Boyutu ile Kalsiyum Oksit İçeriği İlişkisi 241
Şekil 5.145. Ortalama Tane Boyutu ile Silisyum Dioksit İçeriği İlişki 242
Şekil 5.146. Ortalama Tane Boyutu ile Basamak Yüksekliği İlişkisi 243
Şekil 5.147. Ortalama Tane Boyutu ile Delik Boyu İlişkisi 243
Şekil 5.148. Ortalama Tane Boyutu ile Sıkılama Payı Arasındaki İlişki 244
Şekil 5.149. Ortalama Tane Boyutu ile Dilim Kalınlığı İlişkisi 244
Şekil 5.150. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Şarj İlişkisi 245
Şekil 5.151. Bölgelere Göre Parçalanma İndeksi Veri Dağılım Ağırlıkları 246
Şekil 5.152. Bölgelerin Parçalanma İndeksi Farklılıkları 250

SİMGELER VE KISALTMALAR

A_w : Ağırlıkça su emme
B : Dilim kalınlığı
BKO : Boyut küçülme oranı
d : Delik çapı
D_{10} : % 10 Oranda kümülatif materyal geçişi
D_{25} : % 25 Oranda kümülatif materyal geçişi
D_{50} : % 50 Oranda kümülatif materyal geçişi
D_{75} : % 75 Oranda kümülatif materyal geçişi
D_{90} : % 90 Oranda kümülatif materyal geçişi
E : Dilim kalınlığı
FI : Parçalanma indeksi
G_s : Özgül ağırlık
H : Ayna yüksekliği
HKO : Hata kareler ortalaması
h_o : Sıkılama mesafesi
Is_{50} : Nokta yük dayanımı
J : Dip delgi mesafesi
K : Basamak yüksekliği
n : Porozite
S : Delikler arası mesafe
SCH : Schmidt çekici sertliği
ρ : Birim hacim ağırlığı
σ_b : Basınç dayanımı
$\sigma_ç$: Çekme dayanımı
σ_{eg} : Eğilme dayanımı
τ : Çift makaslama dayanımı
q : Özgül şarj

1. GİRİŞ

Delme ve patlatma madencilik çalışmalarının en temel aşamalarını oluşturmaktadır. Hem yeraltı hem de açık işletmelerde mevcut kayayı yerinden sökerek üretim yapmak, cevhere ulaşmak için örtü tabakasının kaldırılmasında kullanılan hızlı, ekonomik ve en etkili işlem patlatmadır.

Verimli bir patlatmanın yapılabilmesi, uygun parça boyut dağılımının sağlanması ve patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılması madenciliğin temel problemleridir. Delme ve patlatma faaliyetleri maliyet ve zaman açısından madencilik döngüsü içerisinde tüm proses aşamalarını ekonomik olarak etkilemektedir. Bu sebepten dolayı delme patlatma sonrası işlemlerin (yükleme, nakliye, kırma v.b.) maliyeti ayrı ayrı ele alınmalıdır.

Verimli olmayan yani iyi parçalanmanın olmadığı bir patlatmanın sonucunda yükleyici makineler zor koşullarda çalışır, ikinci delme patlatma ihtiyacı doğar ve kaba malzeme oranı artar. Yükleyici makineler zor koşullarda çalışınca kapasiteleri düşer, arıza oranları yükselir. İkinci patlatma nedeniyle, fazladan maliyetin yanı sıra vardiyadaki iş kayıpları artar. Makinelerin yürüyüş sistemleri zarar görür. Patar oranının yüksek olması yükleme, taşıma emniyetinin azalmasına, kırıcıların kapasitelerinin düşmesine ve ton başına kırma maliyetinin artmasına neden olur. İyi bir patlatma sonrası ise, tüm olumsuzluklar kalkacaktır. İyi bir patlatma için basamak yüksekliklerine göre amaca uygun delik çapı ve delme düzeninin, patlayıcının ve ateşleme sisteminin seçilerek sadece gerektiği kadar doğru biçimde kullanılması gereklidir (Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1986).

Parçalanmaya etki eden parametreler iki sınıfta incelenmektedir. Bu parametreler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametrelerdir. İyi bir patlatmanın yani iyi bir parçalanmanın sağlanması için kontrol edilebilen parametrelerin optimum koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu koşullar belirlenirken kontrol edilemeyen parametreler (sahanın jeolojisi, kayaç özellikleri, yer altı su seviyesi v.b.) göz önünde tutularak verimli ve çevresel etkileri en alt

düzeyde olan patlatma tasarımı yapılmalıdır. Parçalanmanın verimini etkileyen ve değiştirilmesi en uygun kontrol edilebilen parametreler patlatma paternini oluşturan delik çapı, delik boyu, delikler arası mesafe gibi patlatma mühendisi tarafından değiştirebilecek parametrelerdir.

Patlatma sonrası parça boyut dağılımı ile verimi belirlemede standart elek analizi yöntemi zaman alıcı, maliyetli ve çok fazla iş gücü gerektiriren bir yöntemdir. Gelişen teknolojinin ortaya çıkardığı görüntü işleme programları ile parça boyut dağılımı belirlemek pek çok fayda sağlamaktadır. Bu yazılımlar vasıtasıyla patlatma öncesi yerinde blok analizi yapmak da mümkündür. Parçalanmanın verimli olup olmadığını patlatma sonrası parça boyut dağılımının ve patlatma öncesi blok boyut dağılımının belirlenerek karşılaştırılması ile mümkündür.

1.1. Çalışmanın Önemi

Parçalanmış kayaçların istenilen boyut dağılımı, her maden işletmesinin üretim prosesinde hammaddenin kullanım alanına göre farklılık göstermektedir. Çoğunlukla taş ocaklarında ince taneli (10 mm'den küçük tane boyutlu) malzeme kullanamazlar. Fakat çimento fabrikaları için bu durumun tersi söz konusudur. Parçalama malzemesi bakımından istenen parça boyut dağılımının elde edilmesini sağlayan patlama optimizasyonu, diğer operasyonlardaki işlem aşamalarında önemli maliyet tasarruflarına olanak sağlamaktadır. Parçalanma modelleri genellikle dört bileşene dayanmaktadır. Bu bileşenler; patlayıcı türü ve miktarı, delme parametreleri, sahanın jeolojik özellikleri ve kaya kütle özellikleridir. Bu bileşenlerin tümü, genellikle doğru bir şekilde ölçülmeyen kaya kütlesi parametreleri ile sahanın jeolojisi hariç, ayarlanabilmektedir. Bu nedenle, bir açık ocak işletmesinde kayaç davranışları incelenmeli, bölgesel değişimler göz önüne alınmalı, kaya kütle özellikleri ve sahanın jeolojik özelliklerine göre benzer patlatma performansı gösteren alanlar ve alt gruplar belirlenmelidir. Bu amaçla;

çalışılan sahaların kayaç özellikleri belirlenerek ortalama tane boyutu ile ilişkisi incelenmiştir. Böylelikle kayaç yapısında meydana gelen değişimler göz önünde bulundurularak sahada daha etkin patlatma tasarımı yapılmasına da destek olunacaktır. Bu durum patlatma sonrası ikincil patlatma, taşıma, yükleme, kırma ve öğütme işlemlerinin maliyetleride azaltacaktır.

1.2. Çalışmanın İçeriği

Tez kapsamında; Adana Çimento Türk A.Ş.'nin Çaldağı hammadde sahasındaki ve Soda Sanayi A. Ş.'nin Karadiken hammadde sahasındaki patlatmalar izlenmiştir. Patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu kayacın mekanik özellikleri (tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, çift makaslama dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı, Los Angeles aşınma kaydı, Schmidt sertliği, P dalga hızı), fiziksel özellikleri (özgül ağırlık, ağırlıkça su emme oranı, porozite, birim hacim ağırlık), kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Literatürde bu kadar kayaç parametresi bir arada değerlendirilmemiştir. Bu çalışma ile neredeyse tüm kayaç özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca patlatma tasarım parametrelerinin ve özgül şarjında patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutuna etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Patlatma öncesi aynanın blok analizi ve patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı değerlendirilerek parçalanmada etkin kayaç özellikleri belirlenmiştir. Patlatma öncesi blok analizinin yapıldığı WipJoint ve patlatma sonrası yığın parça boyut dağılım analizinin yapıldığı WipFrag program çıktılarının doğruluğunu belirlemek amacıyla laboratuvar ölçeğinde değerlendirmeler yapılarak program çıktıları ile kıyaslanmıştır.

Ayrıca yapılan çalışma ile sahalarda parçalanma indeksinin bölgesel değişimlerinin nasıl olduğu ve uygulanan patlatmaların hangi bölgelerde daha verimli olduğu incelenmiştir. Çalışma sahalarında değişim gösteren etkin parçalanma indeksi belirlenmiş ve en etkin parçalanma bölgesi belirlenmiştir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışmasında yerinde blok boyutunu belirlemek için WipJoint yazılımı, yığının parça boyut dağılımını belirlemek için WipFrag yazılımı kullanılmıştır. Kayaç özellikleri, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında ilgili standartlara uygun şekilde belirlenmiştir. Arazide yapılan çalışmalar, laboratuvarlarda elde edilen deney sonuçları ve yazılımdan elde edilen tüm veriler derlenmiş ve bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veriler Minitab 17 ve SPSS 22 paket programları kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Parçalanma indeksi (FI) kullanılarak çalışma sahasının bölgesel olarak patlatma verimi değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm patlatma verileri kullanılarak yerinde blok boyutuna göre sınıflama yapılmış ve etkin aralık belirlenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için aşağıdaki araştırma sorularının cevapları araştırılmış ve irdelenmiştir.

1. Kayaçların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin parçalanma üzerinde etkisi var mıdır?
2. Yerinde ortalama blok boyutu ve parçalanmayı etkilemekte midir?
3. Patlatma parametreleri patlatma sonrası yığının ortalama tane boytunu etkilemekte midir?
4. Patlatma verimi aynı saha içerisinde nasıl farklılıklar göstermektedir?

Araştırma soruları çalışma sonunda cevaplandırılmış ve kayaç özellikleri ile patlatma sonrası ortalama tane boyutu arasında ilişkiler gözlenmiştir. Ayrıca çalışma sahalarında hangi bölgede patlatmaların daha etkin olduğu da belirlenerek farklılıklar ortaya konmuştur. Tüm bu çalışmalar sonunda analiz sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçlar tartışılarak önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında madenlerde patlatma operasyonlarında patlatma sonrası ortalama parça boyutuna etki eden kayaç özellikleri ve patlatma tasarım paremetreleri belirlenmiştir. Atımların blok ve yığın parça boyut dağılımları incelenerek parçalanma indeksi hesaplanmış ve sahaların etkin patlatmaya sahip bölgesi belirlenmiştir. Bu çalışmanın içeriği ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Jimeno ve arkadaşları (1995) yaptıkları araştırmada patlatılabilirlik üzerinde en yüksek etkisi olan kayaç parametrelerini; kayacın dayanımı, zayıflık düzlemleri arası mesafe, yönelim, sedimanter yataklanma tabakalarının kalınlığı, dalga iletim hızı, kayacın elastik özellikleri, çatlakların sıklığı ve çatlak dolgu malzemesinin tipi, kaya kütlesinin homojenliği ve yapısının patlatılabilirlik üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Aler ve Du Mouza (1996) yaptıkları bildiride; patlatma öncesi yerinde blok boyutunu belirlemiş ve her atım sonrası yığınından aldıkları görüntüleri analiz ederek yığının parça boyut dağılımını tespit etmişlerdir. Ortalama blok boyutu ve ortalama yığın boyutunu kullanarak parçalanma indeksini belirlemişlerdir. Parçalanma indeksi ile bazı patlatma tasarım parametreleri (özgül şarj, sıra sayısı, gecikme aralığı) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Patlatma tasarım parametrelerinin parçalanmaya etki eden en önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir.

Aler ve arkadaşları (1996a) yaptıkları diğer bir çalışmada; delik boyu, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, sıra sayısı, atım büyüklüğü, özgül şarj, yerinde blok boyutu göz önüne almışlar ve bu parametrelerin parçalanmaya olan etkisini değerlendirmişlerdir. Çok değişkenli bir analizle İspanya'daki çinko ve uranyum madenlerinde gerçekleştirdikleri 32 atımı değerlendirmişlerdir. Yaptıkları analizde; yerinde blok boyutu ve parçalanma indeksi arasında pozitif bir korelasyon olduğunu belirlemişlerdir. Yani yerinde blok boyutu büyüdükçe

parçalanma indeksi yükselmektedir. Bu durumu çatlakların artması ile patlatma enerjisinin bu çatlaklardan kaçmasına bu durumun da parçalanmanın tam olarak gerçekleşmemesine neden olduğuna işaret etmişlerdir. Az kırık ve çatlak sistemine sahip kayaçlarda patlatma enerjisinde ki kaybın azaldığı ve böylece parçalanmanın da arttığını vurgulamışlardır.

Aler ve arkadaşları (1996b) aynı yıl içerisinde yaptıkları diğer bir çalımada inceledikleri atımların parçalanma indeksini belirlemişlerdir. İnceledikleri atımları yetersiz, orta ve iri parçalanma şeklinde gruplandırmışlardır. Daha sonra ayırma analizi kullanarak atımların parçalanma seviyesini tespit eden bir model oluşturmaya çalışmışlardır. Bu model ile çalışılan sahanın patlatma verimliliğini değerlendirmişlerdir.

Gama (1996) yaptığı çalışmada 'parçalanabilirlik' kavramını tanımlamış ve bir förmül geliştirmiştir. Bu kavram kayaç özelliklerine bağlı olmayan ve bir ton kayacı üretmek için gerekli patlayıcı enerjisini kullanarak değerlendirmiştir. Böylelikle bu indeksi belirlemede kayacın patlayıcı etkisi altında parçalanması göz önünde tutulmuştur. Bu indeks değeri kullanarak patlatma sonuçlarını tahmin edilebileceğini vurgulamıştır.

Lu (1997) tarafından yapılan doktora tezinde patlayabilirliği çok kolay, kolay, orta, zor ve çok zor olarak beş bölüme ayırmıştır. Yaptığı çalışmada patlayabilirlik ile tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı, Schmidt sertliği ve P dalga hızı ile ilişkilendirmiş ve kayaç özelliklerindeki değişime göre patlayabilirliği sınıflamıştır.

Bhandari (1997) tarafından yazılan 'Mühendislikte Kaya Patlatma Operasyonları' isimli kitapta parçalanma üzerinde etkili olan kayaç parametrelerinin; dayanım özellikleri, elastik özellikler, yoğunluk, dalga iletim hızı, porozite olduğunu ve saha parametrelerinin ise yapısal süreksizlikler, tabakalanma özellikleri, yeraltı suyu ve nem içeriği olduğunu belirlemiştir.

Özer (2001) tarafından yapılan doktora tezinde; patlatma tasarımında etkili olan parametreler araştırmış ve kayalarda parçalanma olayını simüle etmiştir. Delik cidarı basıncını kayacın çekme dayanımı ile ilişkilendirerek amprik bir formül elde etmiştir. PATTAS adını verdiği programı yazmış ve program vasıtasıyla patlatmanın sonucunu patlatmadan önce tahmin etmiştir. Tahmin ettiği sonuçları arazi çalışmaları ile kıyaslamıştır.

Capehart ve Lilly (2002) yaptıkları çalışmada; patlatılabilirliğe etki eden kayaç özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada patlatılabilirliğe etki eden en önemli kayaç özelliklerinin; elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, poisson oranı, bulk modülü, kaya materyalin basınç dalgalarını ve kesme dalgalarını iletim hızı olduklarını vurgulamışlardır. Ayrıca çatlak tokluğu, çatlaklar arası mesafe, çatlakların boyu ve yöneliminin de patlatılabilirliğe etki ettiğine işaret etmişlerdir.

Scoot ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada; kaya dayanımlarının genellikle tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanım indeksi gibi laboratuar testleri veya Schmidt çekici, P dalga hızı gibi yerinde uygulanabilen testlerle saptandığını belirterek, bu testlerin hassas bir şekilde ve yeterli sayıda yapılması ile patlatma performansı ile iyi bir şekilde ilişkilendirilebildiğini göstermişlerdir.

Kim (2006) tarafından yapılan çalışmada, kaya kırılma tokluğu değerleri ve fotoğraf analizi yöntemi kullanılarak patlatma tasarımı için yaklaşımlar geliştirilmiş ve özgül patlayıcı enerjisini, parça küçültme oranı ve kaya kırılma tokluğu ile ilişkilendirerek ampirik bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirdiği modeli Kuz-Ram modeli ile birleştirilerek, parça boyut dağılımı için yeni eşitlikler önermiştir.

Dağçimen (2006) yaptığı yüksek lisans tezinde; delme-patlatmaya etki eden parametreleri araştırmıştır. Yapılan patlatma dizaynlarının daha çabuk tasarlanabilmesi ve hesaplamalar sırasındaki hataların minimum seviyeye indirilebilmesi için birçok yaklaşım incelemiştir. Bu incelemelerin sonucunda,

tünel ve basamak patlatmaları için Langefors'un yaklaşımı, parça boyut dağılımı için ise Kuz-Ram modeli ile VISUAL BASIC programlama dili kullanılarak delALPat adında bir bilgisayar programı yazılmıştır.

Edizer (2006) yüksek lisans tezinde; sayısal tekniklerle elde edilmiş görüntüleri açık kaynak kodlu IMAGEJ yazılımı kullanarak analiz etmiş, patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımlarını, miktarlarını ve ölçüm değerlerini elde etmiştir.

Kılıç ve arkadaşları (2009); kaya kütle özelliklerinin patlatma etkinliğine etkisini belirlemek amacı ile Kırka boraks madeninde kayaç kütlesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiş ve aynı patlatma koşullarında patlatma sonrası parçalanma derecesi ile karşılaştırmışlardır. Kayaçların birim hacim ağırlığı, su emme, tek eksenli basınç dayanımı, gerilme mukavemeti, kohezyon ve içsel sürtünme açısını belirlemişler ve patlatma sonrası parça boyut dağılımı ile istatistiksel olarak ilişki kurmuşlardır. Yaptıkları analiz sonucunda; parçalanma ile kayaç özellikleri arasında ilişkinin varlığını tespit etmişlerdir.

Alabaş (2010) yüksek lisans çalışmasında; Afşin–Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesinde, dekapaj kazısı sırasında döner kepçeli ekskavatörlerin kazı verimi düşüklüğüne neden olan sert tabakaların, gevşetilmesi amacıyla uygulanan, gevşetme patlatmalarında kullanılan patlayıcı maddeler, ateşleme sistemleri, delik paterni ve şarjlama şeklini araştırmıştır. Ayrıca, patlatmalardan sonra döner kepçeli ekskavatörün kazı veriminin nasıl değiştiğini gözlemlemiştir. Sonuç olarak gevşetme patlatmaları sonucunda dekapajda çalışan döner kepçeli ekskavatörün kazı veriminin 2008 yılında ortalama yaklaşık %25, 2009 yılında ise yaklaşık %26 oranında artığını belirlemiştir.

Cevizci (2010) doktora çalışmasında; patlatma deliklerinde farklı sıkılama yöntemiyle patlatma verimini arttırmaya çalışmış ve patlatmalar esnasında patlatma kaynaklı titreşim ve hava şoku değerleri de ölçerek atım lokasyonundaki saha hasar parametrelerini tespit etmiştir. Alçı kullanılarak yapılan sıkılama ile alışılagelmiş

alçısız sıkılama atımlarının sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Çalışmasının sonucunda; alçı ile çabuk sertleşen sıkılama malzemesinin verimi arttırdığına işaret etmiştir.

Hüdaverdi (2010) doktora tezi kapsamında; İstanbul Cendere Bölgesi'ndeki üç komşu taş ocağında arazi ölçümleri gerçekleştirmiştir. Arazide patlatma tasarım parametrelerini ölçmüş; görüntü işleme yoluyla değerlendirmek için atım sonrası yığın ve atım öncesi basamak aynasını dijital kamerayla görüntülemiştir. Görüntülenen basamak aynasının yerinde blok boyutunu WipJoint yazılımıyla yığının parça boyut dağılımı ise WipFrag yazılımı ile belirlemiştir. Analizleri sırasında görüntü işleme yazılımlarının parçalanmanın belirlenmesi konusunda çok faydalı olduğu görmüştür. Atımlardan elde ettiği yığın analiz sonuçlarında parçalanma indeksini belirlemiştir. Kümeleme analizi kullanarak istatistiksel olarak değerlendirmiş ve patlatma parametrelerinin parçalanmaya etkisini çoklu regresyon analizleri ile değerlendirmiştir.

Sayınbatur (2011) yüksek lisans tezinde; delme-patlatma tekniklerini incelerken diğer yandan SLİ kömür madenlerinde bu alandaki işlemlerin etüdü ve iyileştirme olanaklarının araştırılmasını yapmıştır. Açık ocak maden işletmeciliğinde basamak kazılarında yaygın olarak kullanılan kare ve şeşbeş delik düzenleri ile arazide aynı koşullarda patlatma karakteristiklerini karşılaştırmıştır. Patlayıcı türü ve delik düzeni gibi parametrelerin parça boyutu, pasa şekli ve patlatma hasarına etkilerini araştırmıştır.

Hüdaverdi ve arkadaşları (2011), patlatma sonrası parça-boyut analizi için kapsamlı bir çok değişkenli analiz prosedürü sunmuşlardır. Çok değişkenli analizi gerçekleştirmek için yerinde blok boyutu ve elastisite modülünü belirlemişler ve patlatma veri seti oluşturmuşlardır. Çoklu regresyon analizi yığının ortalama tane boyutunu tahmin etmek için tahmin eşitliği geliştirilerek uygulanmıştır. İki farklı tahmin denklemi kaya sertliğine dayanarak geliştirmişlerdir. Tahmin denklemlerinin kapasitesini patlatma literatüründeki en çok uygulanan parçalanma

dağılım modeli ile karşılaştırmışlar ve modelin tahmin kapasitesinin yüksek olduğunu, karışık olmadığını ve madenlerde kullanmak için uygun olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kalaycı (2011) yaptığı yüksek lisans tezinde; İstanbul Çatalca Bölgesi Akyol taşocağı, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağı ve Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağındaki atımları inceleyerek patlatma sonucu harcanan faydalı enerji ile patlatma verimi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Patlatma verimini belirlerken görüntü işleme yazılımı olan Split-Desktop yazılımını kullanmıştır. İzlenen atımlarda genel olarak parçalanmaya harcanan enerji kademesinin Haktaş taşocağında yapılan atım hariç çok düşük seviyelerde olduğu, buna karşın sismik enerjiye harcanan enerji kademesinin çok daha yüksek değerlerde olduğunu belirlemiştir.

Lu ve arkadaşları (2011); patlatma mekanizmasının karmaşıklığından ve kaya kütlelerinin yapısal ilişki çeşitlerinden dolayı birden fazla deliğin patlatma simülasyonunun büyük ve zor bir iş olduğunu vurgulamış ve bu işi kolaylaştırmak amacıyla eşdeğer bir simülasyon metodu geliştirmişlerdir. Patlatmalar sonunda alan izleme verilerini karşılaştırmışlar ve patlatmanın uzak alanlarda dinamik tepkisini ölçmede uyguladıkları simülasyon yönteminin uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Hüdaverdi ve arkadaşları (2012); patlatmada parçalanma tahmini için kapsamlı bir çok değişkenli regresyon analizi sunmuşlardır. Dünyada çeşitli madenlerdeki patlatmaları derlemiş ve değerlendirmişlerdir. Literatürde kullanılan Aler ve arkadaşları (1996) tarafından belirlenen parçalanma indendeksi ile Jhanwar ve arkadaşları (2000) tarafından belirlenen parçalanma indeksi hesaplamasını kullanarak iki modeli birbirleriyle kıyaslamışlardır. Parçalanmanın tahmininde belirledikleri modellerin karmaşık olduğunu ve madenlerde kullanımının uyarlanabilir olmadığını göstermişlerdir.

Yılmaz (2013) doktora tezinde; patlatma yüküne maruz bir kaya kütlesinin parçalanma mekanizması üç-boyutlu sonlu farklar sayısal çözümleme yöntemi kullanılarak incelemiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen üç-boyutlu dinamik çözümlemeler ve bu çözümlemelerin sonuçlarıyla ilgili karşılaştırmalar değerlendirildiğinde önerilen sayısal çözümleme yöntemi kullanılarak galerilerde patlatma ile parçalanma mekanizmasının başarılı bir şekilde modellenebileceğini belirtmiştir.

Sasaoka ve arkadaşları (2015); parçalanmış kayaların boyut dağılımının sadece patlatma parametrelerine değil, aynı zamanda mekanik özelliklere ve kaya kütlesinin çatlak yoğunluğuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada özellikle kaya kütlesindeki çatlaklar, Japonya'daki kireçtaşı ocaklarında yoğun olarak geliştiğini vurgulayarak, parçalanmış kayaçların parça boyut dağılımında büyük etkiye sahip olduklarını işeret etmişlerdir. Her bir faktörün patlatma üzerindeki etkilerini belirlemek için farklı patlatma koşullarında ve aynalarda patlatlamalar yapmış ve bu patlatmaları izleyerek kaya kütlesi koşullarının ve patlatma standardının parçalanmış kayaların boyutu üzerindeki etkilerini açıklamışlardır. Parçalanmış kayaların boyutunu daha doğru tahmin edebilmek için kaya kütlesinin çatlak kırık durumu ile kayaçların özelliklerinin de nicel olarak değerlendirilmesi kanaatine varmışlardır.

Scott ve Onederra (2015) yaptıkları çalışmada; patlatma alanlarının tanımlanmasına katkıda bulunan önde gelen kaya kütle parametrelerinin kaya dayanımı, kaya kütle yapısı, kaya malzemesi yoğunluğu ve kaya sertliği olarak tanımlamışlardır. Bununla birlikte, tortul kayaçlar (yaklaşık 2 t/m^3 yoğunluğu) ile demir cevheri gibi yoğun bir malzeme (yaklaşık 3.6 t/m^3 yoğunluğu) arasında, yoğunluk değişiminin patlama performansı ve patlama kaynaklı parçalanma üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Souza ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada; kaya patlatma operasyonunu optimize etmenin bir yolunun kaya kütlesi için ayrıntılı yapısal

analiz yapmak olduğunu belitmişlerdir. Bunun için, geometrik ve jeomekanik değişimler kullanarak parçalanma derecesini analiz etmeyi sağlayan algoritmaları kullanmışlardır. Bu bağlamda, kayaların parçalanmasını belirlemede kullanılan klasik metadoloji kullanarak görüntü işleme yöntemi (Split Desktop) ile parçalanma analizi yöntemini kıyaslamışlardır.

Elahi ve Hosseini (2017); Abyek Çimento fabrikasına ait kireçtaşı hammadde ocağındaki patlatmaları inceleyerek, görüntü işleme analizi ile parça boyut dağılımını belirlemişlerdir. Parçalanma miktarını belilemek için Split Desktop yazılımını kullanmışlardır. Parçalanmayı incelemek için farklı patlatma paternlerine sahip üç bloğu analiz etmişler ve her bir blok için D_{20}, D_{50} ve D_{80} değerlerini ayrı ayrı belirlemişlerdir. Yazılımının çıktılarını Kuz-Ram modeli sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Split Desktop'daki dijital görüntü işleme sonuçları ile Kuz-Ram modelinin sonuçları arasındaki benzerlik olduğunu göstermişlerdir.

Mohammadi ve Barati (2018); kaya parçalanmasının yükleme, nakliye, ezme ve öğütme işlemlerini etkilediği için patlatmanın madencilik, cevher hazırlama ve tünel yapımında toplam maliyet açısından önemli bir rol oynadığına işaret etmişlerdir. Açık ocak patlamalarında, parça boyutu dağılımını nicel olarak tahmin etmek için çeşitli modeller kullanıldığını fakat tünel patlamalarında kaya parçasının dağılımının ölçülmesinde güvenilir bir yöntem bulunmamasının tünel inşa çalışmalarında sorunlara sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu nedenle çalışmalarında geleneksel Kuz-Ram modelininde kullanılan parametreler ile regresyon analizi yapmışlar ve tünel patlatmalarında parça boyut dağılımını belirlemek için bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Modelde Bakhtiari barajında bulunan dört tünelden toplanan 23 veri seti kullanılmıştır. Bu modelin etkililiğini değerlendirmek için patlama sonrası parça boyut dağılımı, görüntü işleme yöntemiyle elde edilen gerçek boyut ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; tortul kayaçlardan oluşan tünel projelerinde kaya parçasını tahmin etmek için yüksek korelasyon katsayısına (R^2) sahip yeni bir modelin etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

3. PATLATMA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Bu bölümde parçalanma, patlatma, patlatma veriminin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlar ve patlatma sonrası parça boyut analizleri ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Kontrollü Patlatma Teorisi

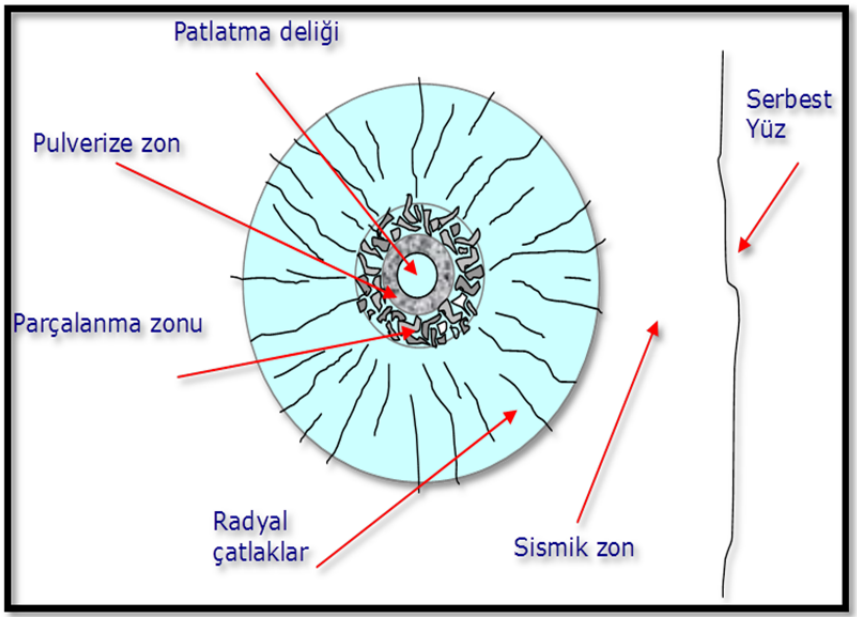
Patlatma vasıtasıyla parçalanma işlemi, delik içindeki patlayıcı maddeyi ateşlemekle başlar. Patlayıcı maddenin ateşlenmesinden ortaya çıkan basınç dalgası ve sıcak gaz, deliği çevreleyen kaya üzerinde balyoz darbesi şeklinde etki eder ve kayanın kırılıp parçalanmasına yol açar.

Delik içine yerleştirilmiş patlayıcı maddenin patlatılması sırasında ve patlatma tamamlandıktan sonra malzemenin kırılma ve ötelenmesini temsil eden 4 temel süreç vardır (Davis, 1983):

- Detonasyon,
- Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı,
- Gaz basıncının yayılımı,
- Kütle taşınmasıdır.

Patlayıcı madde bir delik içine yerleştirilip ateşlendiğinde çok kısa bir zaman içinde çok yüksek ısı ve basınçta, büyük miktarlarda gazların açığa çıkması ile sonuçlanan reaksiyonlar meydana gelir. Yüksek patlayıcıların önemli bir özelliği birim zamanda çok büyük miktarlarda enerji üretmesidir. Açığa çıkan gaz basıncı delik duvarlarında hareket eder ve böylece deliği bulunduğu ortamın daha ötesine genişletmek için deliği basınç ve gerilmelerin tesiri altında bırakır (Bhandari, 1997).

Patlayıcı maddelerin etkisi ile kaya yapılarının kırılma mekaniği üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Burada amaçlanan; kayanın nasıl kırıldığını anlamak, buna uygun patlayıcı ve ateşleme ürünleri üretmek ve bunları doğru miktarda ve şekilde kullanmaktır. Bianevski'nin de çok doğru olarak saptadığı gibi "kaya yapıları kırıkken bile yük taşıma yeteneği bulunan malzemelerdir". O nedenle barajlarda, yol inşaatlarında yaygın şekilde kaya dolgu tekniğine baş vurulmaktadır. Kaya yapılarının patlatma ile kırılma mekaniğini en iyi şekilde gösteren resim George B. Clark tarafından Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Patlatma Sonrasında Delikte Oluşan Durum (Clark ve ark., 1968)

3.1.1. Detonasyon

Kırılma ve parçalanma işleminin başlangıcı detonasyondur. Patlayıcı maddenin çok ani kimyasal tepkimeye girip şok dalgası ve çok yüksek basınç ve sıcaklıkta gaz üretmesine, detonasyon adı verilir. Patlatma süresince kimyasal tepkime ses hızından daha büyük bir hızla patlayıcı kolonu boyunca ilerler. Patlamadaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 1650-3870°C ve basınçlar ise 9-275

kbar arasındadır (Persson ve ark., 1994). Detonasyon basıncı, Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$P_d = 2{,}5\ \rho \times V_d^{\,2} \times 10^{-4} \qquad 3.1$$

Burada,

P_d: Detonasyon basıncı (MPa),

ρ: Patlayıcı madde yoğunluğu (ton/m^3),

V_d**:** Detonasyon hızı (m/s)'dır.

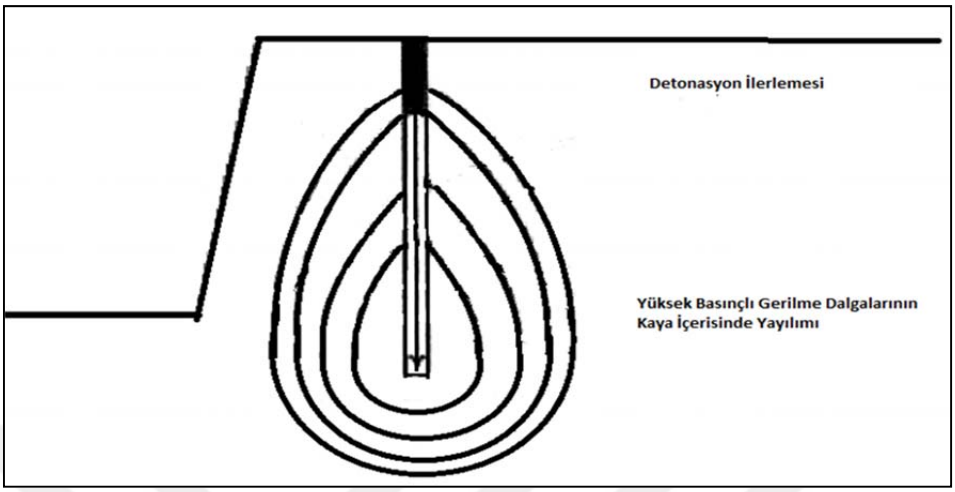
Bazı patlayıcıların yoğunlukları, detonasyon hızları ve basınçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı Patlayıcı Maddelerin Yoğunlukları, Detonasyon Hızları ve Basınçları (Atlas Powder, 1987)

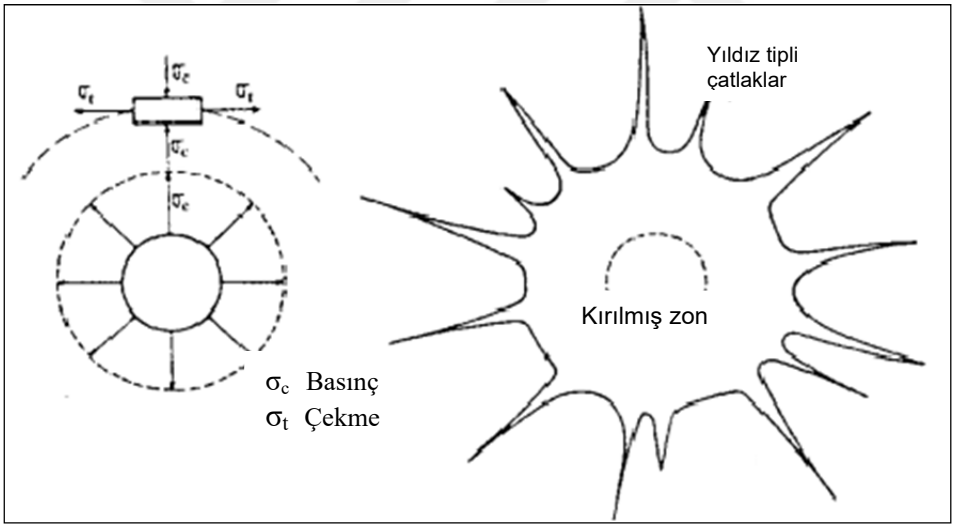
Patlayıcı Madde	Yoğunluk (gr/cm^3)	Detonasyon Hızı (m/sn)	Detonasyon Basıncı	
			(Kbar)	(psi)
AN-FO	0,81	3657,6	27	396900
Powermax 420	1,19	5791,2	100	1470000
Hi-Prime	1,40	6096,0	130	1911000
"G" Booster	1,60	7924,8	251	3689700

3.1.2. Şok ya da Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması

Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Bunlar, basınç dalgaları olarak kaya içersine yayılıp, yük mesafesi boyunca ilerlemeye devam ederler. Açık yüzeye vardıklarında, iki ortamın empedans farkı nedeniyle, şekil değiştirip çekme dalgaları olarak kayanın içine geri dönerler (Şekil 3.2). Basınç dalgaları ve bu dalgaların serbest yüzeyden yansıması ile oluşan çekme gerilmesi dalgası sonucu, önce delik etrafındaki kaya kırılır, daha sonra delik çapının dört katı kadar radyal çatlaklar oluşur (Şekil 3.3) (Ash, 1968; Hagan, 1974).



Şekil 3.2. Detonasyonun Ardından Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması (Atlas Powder, 1987)



Şekil 3.3. Teğetsel Gerilme Sonucu Ortaya Çıkan Basınç ve Çekme Gerilmeleri (Jimeno ve ark., 1995)

Sıkıştırma dalgası bir süreksizlik ya da ara yüzeyle karşılaştığında enerjinin bir kısmı süreksizlik içerisinde taşınacak, bir kısmı ise yansıyacaktır. Enerjinin bölünmesi ara yüzeyin her iki kenarındaki malzemelerin akustik empedans oranlarına bağlı olmaktadır. Empedans kayaç yoğunluğu ve kayacın 'P' dalgası

iletme kapasitesi ile ilgili bir kayaç özelliğidir. Akustik empedans (I) herhangi bir malzeme için Eşitlik 3.2'deki gibi ifade edilmektedir (Koçarslan, 2013).

$$I = \rho \times Vp \tag{3.2}$$

Burada;

I: Akustik empedans (Ns/m^3),

ρ: Malzemenin yoğunluğu (kg/m^3),

Vp: Malzemenin sonik hızı (m/s)'dır.

Parçaların çatlak düzleminin ötesinde parçalanması, şarj patladığında, şok dalgalarının (stres dalgaları) ortama yayılmasından kaynaklanmaktadır. Şok dalgası, akustik empedansdan çok daha düşük olduğunda, hava ile doldurulmuş bir yapı ile karşılaşırsa ortamın genişliği artar ve şok dalgası pratik olarak tamamen serbest yüzeyden (yani fissürden) yansıtılır (Saharan et al. 2006).

Kayacın akustik empedans değerindeki artış patlayabilirliğin zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu durumda kayacın akustik empedans değeri direk olarak patlatma veriminde etken bir parametredir. Patlayıcı maddeninde akustik empedans değeri de patlatma verimini etkilemektedir. Patlatma dalgalarının yayılımında her iki empedansta etkilidir.

3.1.3. Gaz Basıncının Yayılımı

Dalgaların yayılımı sırasında ve sonrasında, yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlar genişleyerek delik çevresinde bir baskı alanı yaratırlar. Bu alanda gazlar, radyal çatlakları geliştirirler ve herhangi bir süreksizliğe doğru hızlı bir şekilde giriş yaparlar. Bu esnada, kırılma ağının gelişmesi de devam eder. Patlatma ürünü gazların kayaç içinde hareket yolları en az dayanıma sahip yollardandır. Gaz ürünler genleşme esnasında ilk olarak çatlak, eklem, fay vb. yapısal süreksizliklere doğru ilerler. Ayrıca, belirli bir ortamda düşük kohezyon ve bağlara sahip olan

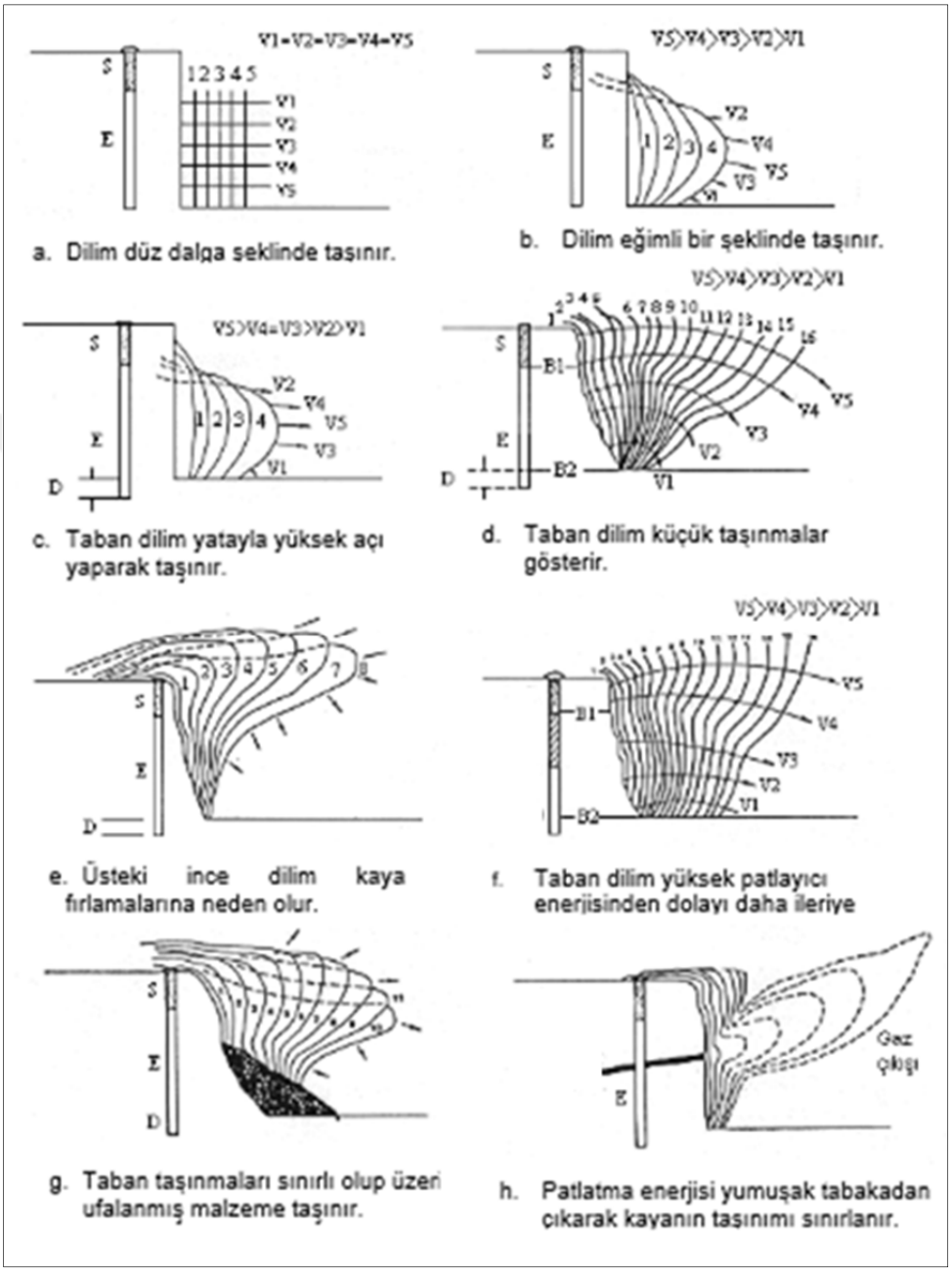
tabakalı oluşumların ara yüzeyleri gazların seçtiği öncelikli genleşme bölgeleridir. Eğer delik ile serbest yüzey arasındaki süreksizlikler yeterince büyük ise, yüksek basınç altındaki gazlar doğrudan atmosfere dağılırlar. Bu durum sıkıştırma basıncının azalmasına, dolayısı ile kayacın kırılması için gerekli enerjinin düşmesine neden olur. Sonuç olarak kırılmış malzemenin ötelenmesi ve malzemenin parçalanması azalır (Olofsson, 1988; Sher ve ark., 2000).

Kaya kütlesi içerisinde gaz basıncının hapsedilme süresi; patlayıcının cinsine ve miktarına, malzemenin cinsine ve yapısına, çatlak ağlarına, sıkılama malzemesi cinsine, miktarına ve dilim kalınlığına bağlı olmaktadır. Hapsedilme süresi değişik malzeme, patlayıcı madde ve dilim kalınlıklarında 5-110 ms aralığında değişmektedir. Genellikle dilim kalınlığının artırılması ve yüksek enerjili patlayıcı madde kullanımı ile gazın hapsedilme süresi artırılabilmektedir (Koçarslan, 2013).

3.1.4. Kütle Taşınması

Parçalanma işlemindeki son aşama malzemenin hareketidir. Gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma oluşmaktadır (Şekil 3.4). Şekilde de gözlendiği gibi arazinin durumuna göre patlatma sonrası yığının taşınmasında farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar dilimler arasındaki değişimden kaynaklanmaktadır.

Parçalanan malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli değişken delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Malzemenin kütlesel hareketi kırılma işlemindeki son aşamadır. Parçalanmanın bir kısmı havadaki çarpışmalar ve malzemenin zemine çarpması ile devam eder. Basamak yüksekliği arttıkça, bu tip kırılmalar artacaktır. Bunun nedeni, parçaların basamak zeminine düşerken, darbe hızlarındaki artıştır. Benzer olarak “V” şeklinde tasarlanan karşılıklı sıralardan çıkan malzemenin havada çarpışmasıyla parçalanma artacaktır (Persson ve ark., 1994).



Şekil 3.4. Değişik Koşullarda Kütle Taşınmaları (S: Sıkılama, E: Patlayıcı, D: Delik Taban Payı) (Atlas Powder, 1987)

3.2. Kontrollü Patlatma Operasyonlarında Parçalamaya Etki Eden Parametreler

Patlatma operasyonlarında parçalanmaya etki eden parametreler kontrol edilebilen (patlayıcı özellikleri, patlatma tasarım parametreleri) ve kontrol edilemeyen (kayaç özellikleri ve saha özellikleri) parametreler olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Etkin parçalanmada önemli olan kontrol edilebilir parametrelerin iyi bir şekilde belirlenmesidir. Bu da ancak saha ve kayaç özelliklerini doğru bir biçimde tanımlamak ile mümkündür. Ayrıca aynı saha içerisinde bölgesel değişimlerde dikkate alınmalıdır.

3.2.1. Kontrollü Patlatma Operasyonlarında Kontrol Edilebilen Parametreler

3.2.1.1. Patlayıcı Madde Özellikleri

Patlayıcı madde özellikleri; detenasyon hızı, yoğunluğu, suya dayanımı, dona dayanımı, depolama şartları, depolama süresi, gücü, patlatma esnasındaki gaz ve ısı özellikleri olarak sıralanabilir.

3.2.1.1.(1). Detonasyon Hızı

Detonasyon reaksiyonun hızı olup, patlatma sonucu oluşan detonasyon dalgalarının hızı veya patlatma dalgasının bir patlayıcı madde sütununda birim zamandaki ilerleme miktarıdır. Bir patlayıcı maddenin detonasyon hızı şarj çapına, patlayıcı yoğunluğuna, patlayıcı partiküllerinin boyutuna ve sıkıştırma etkisine bağlı olarak değişir. Şarj çapı ile yoğunluk arttırılarak, sıkıştırma etkisi yaratılarak, partikül boyu azaltılarak detonasyon hızı arttırılabilir. Kaya yapısına göre patlayıcı seçilirken detonasyon hızı mutlaka göz önüne alınmalıdır. Patlatma yapılacak kayaç sert formasyon ise detonasyon hızı yüksek olan, kayaç yapısı yumuşak ise detonasyon hızı daha düşük olan patlayıcılar kullanılmalıdır. Yüksek detonasyon hızı, yüksek basınçlı şok dalgası, yüksek yoğunluk ve kapsül ile ateşlenebilme hassasiyetli nitrogliserin bazlı patlayıcılar (dinamitler), slurry patlayıcılar ve

emülsiyon tipi patlayıcılar yüksek detonasyon hızına sahip patlayıcılardır. Amonyum nitrat bazlı, değişik katkı maddeleri ile emülsiyon haline getirildikten sonra hassaslaştırılarak patlayıcı özelliği kazandırılan maddeler (AN-FO) patlayabilir karışımlardır (Toprak, 2012).

3.2.1.1.(2). Patlayıcı Maddenin Cinsi

Patlayıcılar çeşitli kimyasal bileşimlerde olup ısınma, basınç, darbe ve elektrik akımı etkisiyle saniyenin kesirleriyle ifade edilen zaman aralıklarında kimyasal bir reaksiyon (tepkime) sonunda meydana gelen yüksek sıcaklıktaki gazın yarattığı basınç ve titreşimle temasta bulunduğu ortamı tahrip eden maddelerdir.

- ***Nitrogliserin Esaslı Patlayıcılar:*** Günümüzde temel patlayıcı olarak kullanılan infilak hızları yüksek patlayıcılardır. Depolanma şartları oldukça önemlidir.
- ***Amonyum Nitrat Esaslı Patlayıcılar:*** Amonyumnitrat kimyasal olarak amonyak ile nitrik asidin tepkimeye girmesi sonucu oluşan organik bir tuzdur. AN-FO (% 94-95 amonyumnitrat + %5-6 mazot) madencilik sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Darbe ve düşme etkisiyle patlamaması nedeniyle emniyetli olmasına ragmen suya karşı oldukça dayanıksızdır. Bu durum patlayıcının sulu deliklerde kullnımını sınırlamıştır.
- ***Emülsiyon Tipi Patlayıcılar:*** Nitrogliserin esaslı patlayıcıların her tür darbelerden etkilenmesi, depolama ve taşımasının tehlikeli olması, AN-FO'nun suya dayanıksızlığı, patlatma hızının yüksek olmayışı, yemlemeye ihtiyaç duyulması gibi nedenlerden dolayı bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için bu tip patlayıcılar üretilmiştir. Bu tip patlayıcılar kullanılırken doğrudan deliğe pompalanabilir ya da kartuş halinde kullanılabilir.

3.2.1.1.(3). Yoğunluk

Patlayıcı maddenin birim hacminin ağırlığını ifade etmektedir. Detonasyon sırasında birim zamanda reaksiyona giren kütleyi gösterir. Ayrıca patlayıcının duyarlığının ve detonasyon basıncının oluşmasında da önemli rol oynar. Patlayıcı maddenin yoğunluğu tasarımında ve patlayıcının kuvvetinin belirlenmesinde kullanılan bir parametredir. Genel olarak yüksek yoğunluk daha fazla enerji üretimini gösterir (Şeran ve Akay, 1999).

3.2.1.1.(4). Partikül Boyutu

Patlayıcı maddenin partikül boyutu azaltıldığı zaman yüzey alanı artacağı için detonasyon hızı da artacaktır ve kritik çap küçülecektir (Toprak, 2012).

3.2.1.1.(5). Suya Karşı Dayanım

Patlayıcı madde 24 saat boyunca suda kaldığı halde yapısal özelliklerinde herhangi bir değişme olmaz ise suya karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir.

3.2.1.1.(6). Donmaya Karşı Dayanım

Sıcaklığın 0^0C derecenin altına düştüğü durumlarda bu özellik önem arz etmektedir. Nitrogliserinli patlayıcıların duyarlılığı donmaya karşı hassastır ve tehlike teşkil ederler. Bu sebeple kış aylarında nitrogliserinin yanı sıra nitroglikol de dinamite karıştırılır.

3.2.1.1.(7). Patlayıcı Maddenin Gücü

Belirli ağırlıktaki patlayıcı maddenin taşıdığı enerji patlayıcının gücünü ifade eder. Patlayıcı maddenin gücü, artan detonasyon hızı ile birlikte artar.

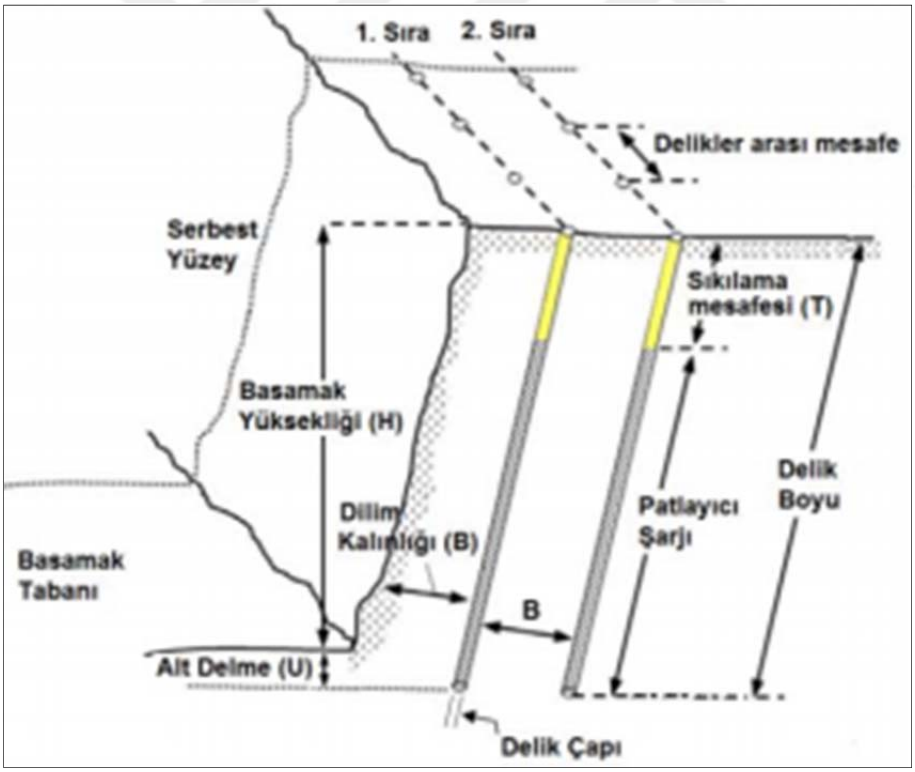
3.2.1.1.(8). Hassasiyet

Patlayıcı maddenin patlayabilmesi için minimum bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji miktarı o patlayıcının duyarlılığını verir. Bazı patlayıcıların

duyarlılığı yüksek yemlemeye gerek kalmadan kapsülle patlatılabilen (örn, nitrogliserin bazlı dinamitler) patlayıcılar kapsüle duyarlı patlayıcılar iken, duyarlılığı düşük olan ve patlayabilmeleri için yemlemeye ihtiyaçları olan patlayıcılar (örn, AN-FO) kapsüle duyarsız patlayıcılardır.

3.2.1.2. Kontrollü Patlatma Tasarım Parametreleri

Patlatma tasarım parametreleri delik çapı, yeri, eğimi ve boyu, delik düzeni, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi, sıkılama payı, delik taban payı, şarj şekli, delik içi dağılımı, atım grubu boyutları, yemleme, ateşleme şekli ve düzeni, gecikme tipi ve süresi, özgül şarj vb.dir (Kahriman, 1999) (Şekil 3.5).



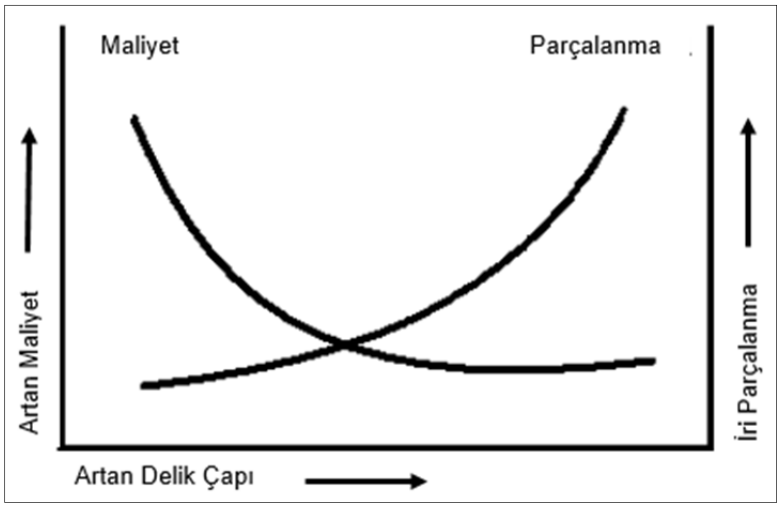
Şekil 3.5. Patlatma Tasarım Parametreleri (Hüdaverdi, 2015)

3.2.1.2.(1). Delik Çapı

Delik çapının seçiminde göz önünde bulundurulması gereken parametreler; kayaç özellikleri, istenilen parça boyut dağılımı, basamak yüksekliği, patlayıcı madde özellikleri ve jeolojik yapıdır. Uygun delik çapının belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalarda delik çapı genellikle basamak yüksekliği (K) ile ilişkilendirilmiştir. Patlayıcı madde üreten kuruluşların bazıları ise iyi bir parçalanma ve tasarım kontrolü için delik çapının basamak yüksekliğinin onda biri kadar olmasını önermektedirler (Zeigler, 1991; Dick ve Ark., 1983). Bazı araştırmacılara göre delik çapı değerlerinin değişimini incelersek; Dick ve arkadaşları (1983) 51-425 mm arasında, Olofsson (1988) 30-400 mm arasında ve Tamrock (1984) ise basamak yüksekliği (K)/100-200 olarak değerlendirmişlerdir.

Hagan ve Harries (1977) ile bazı diğer araştırmacılar ise delik çapının, basamak yüksekliğinin 40'ta biri ile 80'de biri arasında değiştiğini, yaptıkları çalışmalar sırasında gözlemlemişlerdir.

Delik çapının, maliyet ve parçalanma boyuna etkisinin şematik olarak gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir (Erkoç, 1990).



Şekil 3.6. Delik Çapının, Maliyet ve Parçalanma Boyuna Etkisinin Şematik Olarak Gösterilmesi (Erkoç, 1990)

3.2.1.2.(2). Basamak Yüksekliği (K)

Basamak yüksekliği; delme, patlatma, riperleme ve yükleyici makineler açısından önemli bir parametredir. Genellikle delici makinelerin tij boyları basamak yüksekliğini belirler. Maksimum basamak yüksekliği delik makinesinin boyutu ve yükleyici makinenin kepçe boyutuna bağlıdır.

Güvenlik açısından bakıldığında ayna yüzeyinden taş düşmesi halinde olumsuz etki yaratmayacak yüksekliğe bakılmalıdır. Genellikle küçük çaplı deliklerde düşük basamak yüksekliği seçilir.

Basamak yüksekliğinin delik çapına oranı optimum seviyenin altına düşerse kaya fırlama ihtimalleri artmaktadır. Bu durumda sıkılama payı arttırılıp kaya fırlama ihtimali azaltılabilir. Eğer basamak yüksekliği delik çapına göre optimum değerden fazla seçilirse her ne kadar sert tijler kullanılsa da delik sapması görülebilir. Artan basamak yüksekliği de basınç dağılımları etkilerini arttırmaktadır. Normal patlatmalarda kural olarak basamak yüksekliği dilim kalınlığının en az 2,5 en fazla 6 katı alınması doğru bir seçim olacaktır (Erkoç, 1990).

3.2.1.2.(3). Dilim Kalınlığı (B)

Dilim kalınlığı en önemli patlatma tasarım parametresidir. Bu parametrenin önemli olmasının sebebi sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan eşitliklerde bir değişken olmasıdır.

Dilim kalınlığı, kritik bir tasarım unsuru özelliğindedir. Bu kritiklik hem delme patlatmanın ekonomisi yönünden, hem de fırlayan kaya, yer sarsıntısı gibi ocak ve çevre emniyetini etkilenmesi bakımından önem arz etmektedir. Araştırmacılar işletme koşullarına uygun dilim kalınlığını belirlemek amacıyla uzun süreden beri çeşitli çalışmalar yapmışlar ve ampirik yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bununla beraber dilim kalınlığını her işletme ve her kaya birimi

için deneme-yanılma yoluyla belirleme yaklaşımı güncelliğini korumaktadır. Çeşitli araştırmacıların dilim kalınlığı için önerdikleri bağıntılar Arıoğlu (1990) tarafından ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan bir kısmı sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Diğer bir kısmı ise bu büyüklüklerle birlikte, kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır (Kalaycı, 2011).

Arıoğlu (1990) ve Atlas Powder Company (1987) tarafından dilim kalınlığı hesabı Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4'de verilmiştir.

$$B = 0{,}024 \times d + 0{,}85 \tag{3.3}$$

$$B = (25 - 35) - 12 \times d_e \tag{3.4}$$

Gustaffson (1973) ve Olofsson (1988) tarafından belirlenen maksimum dilim kalınlığı hesabı Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'da verilmiştir.

$$B_{max} = 0{,}045 \times d \tag{3.5}$$

$$B_{max} = 1{,}36 \times {I_b}^{0,5} \times R_1 \times R_2 \tag{3.6}$$

Langefors ve Kihlström (1978) tarafından belirlenen dilim kalınlığı ve maksimum dilim kalınlığı hesabı Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8'de verilmiştir.

$$B_{max} = (d/33) \times (P \times S_t)/[C_o \times f \times (S/B)]^{0,5} \times R_1 \times R_2 \tag{3.7}$$

$$B = B_{max} - E \tag{3.8}$$

Burada;

B_{max}: Maksimum dilim kalınlığı (m),

d: Delik çapı (mm),

I_b: Şarj yoğunluğu (kg/m),

R_1: Delik eğimi düzeltme faktörü,

R_2: Kaya düzeltme faktörü,

d_e: Patlayıcı maddenin çapı (inç),

P: Patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu (kg/dm^3),

S_t: Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti,

C_0: Kaya patlatma katsayısı,

f: Atım güçlük katsayısı,

S: Delikler arası mesafe (m),

E: Delik hata payı (m)'dır.

Araştırmacılar tarafından belirlenen eşitliklerin dışında Rustan (1993), Bilgin (1986) ile Paşamehmetoğlu ve arkadaşları (1986) her bir işletmede tek delik düzeninin uygulanmasının daha olumlu sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir. Tüm bu formüller genel bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda; dilim kalınlığını delik çapının fonksiyonu olarak ifade eden yaklaşımların pratik kolaylıklar sağladığı ve hemen hemen tümünün birbirine oldukça yakın değerler olduğu (minimum ve maksimum aralıkları içinde) görülmektedir.

Langefors ve Kihlström (1963) tarafından verilen formülün; (özellikle sağlam kayalarda) kaya özelliklerini (kaya patlatma katsayısı şeklinde), delik çapı ile diğer delik geometrisi unsurlarını ve patlayıcı madde özelliklerini (yoğunluk ve kudretini) dikkate alması nedeniyle pratikte çok başarılı sonuçlar verdiği araştırmacılar ve uygulamacılar tarafından pek çok yayında ifade edilmektedir. Aynı yaklaşımın esas alındığı bu çalışma kapsamında yapılan tasarımlarla da başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak formülün başarısı için, kaya patlatma katsayısının çok iyi bir şekilde (gerekirse test atımlarıyla) tayin edilmiş olması gerekmektedir (Kahriman, 1995).

3.2.1.2.(4). Alt Delme (Taban Payı) (U)

Aynaların tabanında kırılması güç bir kısım vardır. Eğer delikler tam basamak yüksekliğinde delinirse tabanda tırnak dediğimiz sert bir kısım kalır. Bu da yükleyici ve kazıcı makineler açısından istenmemektedir. Bu yüzden delikler aynayı tam tabanından kesecek gibi biraz derin delinir. Bu fazlalığa taban payı (tırnak payı) denir. Uygulamalarda genelde taban payı, basamak yüksekliğinin %10 kadarı alınır (Kahriman, 1999). Araştırmacıların çok büyük bir bölümü; taban payını (U), dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir.

Hoek ve Bray (1991), Dick ve arkadaşları (1983) ve Atlas Powder Company (1987) tarafından belirlenen alt delme hesabı Eşitlik 3.9, Eşitlik 3.10 ve Eşitlik 3.11'de verilmiştir.

$$U = (0{,}2 - 0{,}3) \times B \tag{3.9}$$

$$U = (0{,}1 - 0{,}5) \times B \tag{3.10}$$

$$U = (0{,}2 - 0{,}5) \times B \tag{3.11}$$

Konya ve Walter (1990) ile Tamrock (1984) ve Olofsson (2002) tarafından belirlenen alt delme hesabı Eşitlik 3.12'de ve Eşitlik 3.13'de verilmiştir.

$$U = 0{,}3 \times B \tag{3.12}$$

$$U = 0{,}3 \times B_{\max} \tag{3.13}$$

Hagan'nın önerisi (1974) ve Bilgin ve Paşamehmetoğlu (1986) tarafından belirlenen alt delme hesabı Eşitlik 3.14'de verilmiştir.

$$U = 8{,}0 \times d \tag{3.14}$$

Burada;

d: Delik çapı (m),

U: Delik Taban Payı (m),

B: Dilim Kalınlığı (m)'dır.

3.2.1.2.(5). Delik Boyu (L)

Delik boyu basamak yüksekliği ile alt delme uzunluğunun toplamıdır (Eşitlik 3.15). Eğer eğimli delik deliniyorsa, trigonometrik olarak ek uzunluk hesaplanmalıdır.

$$L = H + U \tag{3.15}$$

Burada;

L: Delik boyu (m),

H: Basamak yüksekliği (m),

U: Dip delgi boyu (m).

3.2.1.2.(6). Sıkılama Boyu (T)

Patlatma sonrası yığının uygun dağılım göstermesi ve patlatmanın çevresel etkilerin azaltılmasında en önemli unsur; sıkılama boyu, sıkılama malzemesi boyutu ve özelliğidir. Sıkılama boyu ve bu boydaki değişimlerin çevresel ve patlatma verimi açısından etkileri incelenirken araştırmacılar dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak çeşitli yaklaşımlar geliştirmişlerdir.Tamrock (1984) ve Hoek ve Bray (1991) tarafından belirlenen sıkılama boyu hesabı Eşitlik 3.16 ve Eşitlik 3.17'de verilmiştir.

$$ho = (0{,}7 - 1) \times B \text{ (m)} \tag{3.16}$$

$$ho = (0{,}67 - 2) \times B \text{ (m)} \tag{3.17}$$

Langefors ve Kihlström (1978), Bilgin ve Paşamehmetoğlu (1986) tarafından belirlenen sıkılama boyu hesabı Eşitlik 3.18 ve Eşitlik 3.19'da verilmiştir.

$$ho = B \tag{3.18}$$

$$ho = (20 - 60) \times d \tag{3.19}$$

Konya ve Walter (1990) tarafından belirlenen sıkılama boyu hesabı Eşitlik 3.20'de ve bu pratik yaklaşımına ek olarak, sıkılama boyunun hesabında, patlayıcı madde kudretini ve kayanın yoğunluğunu dikkate alan yeni bir eşitlik önermişlerdir (Eşitlik 3.21).

$$ho = 0{,}7 \times d \text{ (feet)} \tag{3.20}$$

$$ho = 0{,}45 \times d_e \times (\frac{S_{tv}}{SG_r})^{0{,}33} \tag{3.21}$$

Burada;

d_e: Delik çapı (inç),

S_{tv}: Patlayıcı maddenin hacimce kudreti,

SG_r: Kayanın özgül ağırlığı.

Bazı araştırmacılar sıkılama boyunu, hava şokunu ve kaya fırlamasını en aza indirecek bir fonksiyon (Eşitlik 3.22) şeklinde ifade etmektedirler (Zeigler, 1991).

$$ho = Z \times \left(12/R_f\right) \times (W_e \times S_{tv}/100)^{0{,}33} \tag{3.22}$$

Burada;

Z: Kaya fırlaması ile ilgili bir faktör,

R_f: Kaya faktörü,

W_e: Sekiz kartuş çapındaki patlayıcı maddenin miktarı (kg),

S_{tw}: Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudretidir.

Normal koşullarda; sıkılama boyunun dilim kalınlığına eşit alınmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği hemen tüm araştırmacılarca kabul görmüş bir yaklaşımdır.

3.2.1.2.(7). Delikler Arası Mesafe (S)

Delikler arası mesafenin belirlenmesinde başka birçok faktör etkin olmakla birlikte yaygın bir kabul ile daha çok dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Kahriman, 2004). Formüllerde daha çok delikler arası mesafe dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir.

Olofsson (1988) tarafından belirlenen delikler arası mesafe hesabı Eşitlik 3.23'de verilmiştir.

$$S = 1{,}25 \times B \tag{3.23}$$

Hemphill (1981) tarafından delikler arası mesafe; tek sıra (Eşitlik 3.24), çok sıralı ve gecikmesiz (Eşitlik 3.25, Eşitlik 3.26) olarak üç farklı şekilde belirlenmiştir.

$$S = 1{,}8 \times B \tag{3.24}$$

$$S = \left[B \times \left(h_b + h_p\right)\right] \times 0{,}5 \quad (\text{hb} + \text{hp}) \leq 4 \text{ ise} \tag{3.25}$$

$$S = 2 \times B \qquad (\text{hb} + \text{hp}) \geq 4 \text{ ise} \tag{3.26}$$

Burada;

h_p= Kolon şarj boyu (m), ve h_b= Dip şarj boyu (m)'dur.

Langefors ve Kihlström (1978) tarafından belirlenen delikler arası mesafe hesabı Eşitlik 3.27'de verilmiştir. Atlas Powder Company (1987) tarafından belirlenen delikler arası mesafe hesabı Eşitlik 3.28'de ve Eşitlik 3.29'da verilmiştir.

$$S = (1{,}15 - 1{,}25) \times B \tag{3.27}$$

$$S = (1 - 1{,}8) \times B \tag{3.28}$$

$$S = 2 \times B \tag{3.29}$$

Araştırmacılar tarafından oluşturulan eşitlikler incelendiğinde delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranının 1-1,8 arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmacıların desteklediği diğer bir nokta ise delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 den küçük olması durumunda meydana gelecek sorunlardır (Kalaycı 2011). Bu sorunlar;

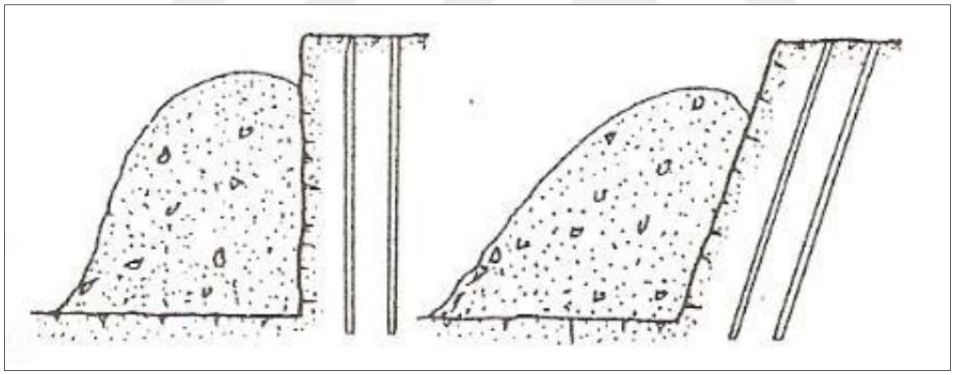
- Sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır.
- Bu çatlaklar gaz kaçışının hızlanmasına sebep olacaktır.
- Çevresel etkilerin (hava şoku ve gürültü) artmasına sebep olacaktır.
- İri blok oluşumuna neden olacaktır.

Diğer yandan delikler arası mesafe ile dilim kalınlığı oranını çok büyük olursa, uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama nedeniyle iri bloklar ortaya çıkacaktır.

3.2.1.2.(8). Delik Eğimi

Genel olarak eğimli delik kullanımının; geri çatlak, kaya fırlaması ve yer sarsıntısı gibi olumsuzlukları azaltmanın yanında patlatmanın verimliliğini artırdığı pek çok araştırmacı tarafından gözlenmiştir. Öte yandan çok sağlam kayalar için dik deliklerin olumlu sonuçlar verebileceği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. Şarj zorluğu nedeniyle çeşitli araştırmacılar arasında delik eğiminin genel kabul görmüş minimum değeri 45°'dir (Zeigler, 1991).

Başarılı bir atım için, genel olarak seçilmesi gereken ortalama eğim açısını Olofsson (1988) 71° olarak önerirken, Rosenberg (1970) 65°-75° ve Gregory (1984), 60°-65° olarak önermektedirler. Delik eğimine etki eden diğer bir unsur ise basamak yüksekliği ve delik uzunluğuna bağlı olarak değişen delik hata payıdır. Şekil 3.7'de eğimli ve dik deliklerde oluşan pasa geometrisi verilmiştir.



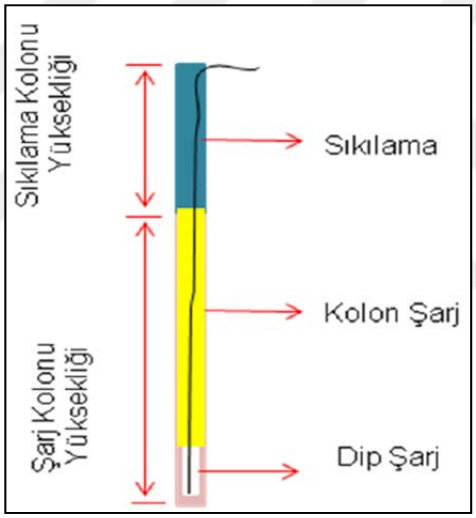
Şekil 3.7. Eğimli ve Dik Deliklerle Yapılan Patlatma Sonrası Oluşan Pasa Geometrisi (Köse ve ark., 2001)

3.2.1.2.(9). Dip Şarj ve Kolon Şarj

Basamak patlatma tasarımlarında patlatma delikleri iki şekilde şarj edilir. Bunlar, sürekli şarj ve kısmi şarjdır. Kısmi şarj özel durumlar için geçerlidir. Buna karşılık sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en genel uygulama

biçimidir. Sürekli şarj durumunda; delikteki şarj boyu; kayaç özellikleri ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak olarak ikiye ayrılmıştır (Kılıç, 2012).

Delik taban kısmında daha fazla enerji ihtiyacı nedeniyle; genellikle delik tabanına konacak patlayıcı madde gücünün daha fazla olması gerekir. Ayrıca patlayıcı maddenin ayna boyunca iyi dağılımını sağlamak için, patlayıcı madde kolonunun belirli bir uzunlukta olması hususu patlama teorisi açısından gereklidir. Konuyla ilgili olarak çalışmalar yapan bazı araştırmacılar dip ve kolon şarjının boylarını, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıda gibi ifade etmişlerdir. Şekil 3.8'de dip şarj ve kolon şarjının delikteki görünümü verilmiştir.



Şekil 3.8. Dip Şarj ve Kolon Şarjın Delikte Görünümü (Toprak, 2012)

Dip şarjı uzunluğu (h_b, m) Dip şarj konsantrasyonu (l_b, kg)

Langefors ve Kihlström (1978), Atlas Powder Company (1987), Dick ve arkadaşları (1983) tarafından belirlenen dip şarj boyu hesabı Eşitlik 3.30, Eşitlik 3.31 ve Eşitlik 3.32'de verilmiştir.

$$h_b = B + U = 1{,}3 \times B \tag{3.30}$$

$$h_b = (0{,}3 - 0{,}5) \times B + U \quad (3.31)$$

$$h_b = (0{,}3 - 0{,}6) \times B + U \quad (3.32)$$

Tamrock (1984), Langefors ve Kihlström (1978), Gustafsson (1973) tarafından dip şarj konsantrasyonu hesabı Eşitlik 3.33, Eşitlik 3.34 ve Eşitlik 3.35'de verilmiştir.

$$I_b = C_o \times B_2 \quad (3.33)$$

$$l_b = \left(\frac{f}{s}\right) \times \left(\frac{S}{B}\right) \times 0{,}8C_o \times B_2 \quad (3.34)$$

$$I_b = d^{2^{t/1000}} \quad (3.35)$$

Dip şarj miktarı (Q_b, kg)

Dip şarj miktarı Eşitlik 3.36'da verilmiştir.

$$Q_b = l_b \times h_b \quad (3.36)$$

Kolon şarjı uzunluğu (h_p, m) ve Kolon Şarjı Konsantrasyonu (I_p, kg)

Langefors ve Kihlström (1978), Atlas Powder Company (1987) tarafından belirlenen kolon şarj uzunluğu hesabı Eşitlik 3.37 ve Eşitlik 3.38'de verilmiştir.

$$h_p = H - 2{,}3 \times B \quad (3.37)$$

$$h_p = H - h_b - h_o \quad (3.38)$$

Tamrock (1984), Langefors ve Kihlström (1978) tarafından belirlenen kolon şarj konsantrasyonu hesabı Eşitlik 3.39 ve Eşitlik 3.40'da verilmiştir.

$$l_p = 0{,}4 \times l_b \tag{3.39}$$

$$l_p = (0{,}4 - 0{,}5) \times l_b \tag{3.40}$$

Kolon şarjı miktarı, (Q_p, kg)

Kolon şarjı miktarını belirleyen hesap Eşitlik 3.41'de verilmiştir.

$$Q_p = l_p \times h_p \tag{3.41}$$

3.2.1.2.(10). Delik Hata Payı (E)

İstenilen parça boyut dağılımının elde edilmesi için önemli unsurlardan biri deliklerin planlanan boyutlarda delinmesidir. Arazi koşulları, operatör hataları gibi durumlardan dolayı sapmalar kaçınılmazdır. Önemli olan bu sapma miktarlarının kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasıdır.

Langefors ve Kihlström (1978), Tamrock (1984), Olofsson (1988) tarafından belirlenen delik hata payı Eşitlik 3.42, Eşitlik 3.43 ve Eşitlik 3.44'de verilmiştir.

$$E = 0{,}05 + 0{,}03 \times K \tag{3.42}$$

$$E = 0{,}05 + 0{,}03 \times H \tag{3.43}$$

$$E = (\frac{d}{1000}) + 0{,}03 \times H \tag{3.44}$$

Burada;

E: Delik hata payı (m),

d: Delik çapı (mm),

H: Delik Uzunluğu (m),

K: Basamak yüksekliği (m)'dir.

3.2.1.2.(11). Özgül Şarj (q)

Özgül Şarj 1 m³ kayayı patlatmak için kullanılan patlayıcı madde miktarını göstermektedir. Pratikte genellikle Eşitlik 3.45 yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu kavram pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve bazı kayaç özellikleri ile ilişkilendirilmiştir.

$$q = \frac{Q}{S \times B \times H} \tag{3.45}$$

Langefors ve Kihlström (1978) yaptığı çalışmada patlatma geometrisi ve kaya patlatma sabitini ilişkilendirmiştir (Eşitlik 3.46). Broadbent (1974) tarafında özgül şarj ve sismik hız arasındaki ilişki tarafından geliştirilmiştir (Eşitlik 3.47).

$$q = \left[\left(1{,}4 \times C_o \times B^3 + 0{,}4 \times C_0 \times B^2 \times (K - 2B)\right)\right]/(n \times K \times B^2) \tag{3.46}$$

$$\mathrm{q} = -1{,}9928 + 0{,}2904 \times \ln \mathrm{Vp} \quad (\mathrm{r}=0{,}89) \tag{3.47}$$

Ülkemizdeki Paşamehmetoğlu ve arkadaşları bazı demir işletmeleri ve linyit işletmelerinde araştırmalarda bulunmuş özgül şarj ile basma dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlık, empedans, sismik dalga hızı (P dalga hızı) gibi bazı kaya özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler geliştirmişlerdir (Eşitlik 3.48, Eşitlik 3.51) (Bilgin ve Paşamehmetoğlu 1986).

Basma dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0{,}074 + 0{,}004 \times \sigma_b \tag{3.48}$$

Çekme dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0{,}074 + 0{,}004 \times \sigma_{\text{ç}} \qquad (r = 0{,}82) \tag{3.49}$$

Birim hacim (özgül) ağırlık ve özgül şarj ilişkisi:

$$\mathrm{q} = 0{,}019 + 2{,}038 \times 10^{-4} \times d_r \quad (\mathrm{r}= 0{,}99) \tag{3.50}$$

Kaya empedansı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0{,}02 + 3{,}97 \times 10^{-8} \times I \qquad (r = 0{,}99) \tag{3.51}$$

Leighton (1982), özgül şarj ve kaya kalite indeksi arasında aşağıdaki ilişkiyi geliştirmiştir (Eşitlik 3.52).

$$q = RQI - 24{,}9/7{,}1 \quad (\text{kg/ton}) \tag{3.52}$$

Burada;

q: Özgül şarj (kg/m³),

C_o: Kaya patlatma katsayısı (kg/m³),

K: Basamak yüksekliği (m),

n: Delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı,

B: Dilim kalınlığı (m),

f: Delik eğim faktörü,

σ_b: Kayanın tek eksenli basma dayanımı (MPa),

$\sigma_ç$: Kayanın endirekt çekme dayanımı (MPa),

d_r: Kayanın yoğunluğu (kN/m³),

I: Empedans ((MN-m)/(m³-sn)),

Vp: Sismik (p-dalga) hız (m/sn),

RQI: Kaya kalite indeksi (Mpa-dak/m)'dir.

3.2.2. Kontrollü Patlatmalarda Kontrol Edilemeyen Parametreler

3.2.2.1. Kontrollü Patlatmalarda Parçalanmaya Etki Eden Kayaç Özellikleri

Patlatma olayı karmaşık (kompleks) bir iştir ve bu olayda kayaç özellikleri önemli rol oynar. Şöyle ki; kayacın çatlak yapısı, mukavemeti, yoğunluğu gibi faktörlerin değişimi patlatma dizaynında rolü olan diğer bazı parametreleri de etkiler. Optimum bir patlatma dizaynı yapılabilmesi için mutlaka kayaç özelliklerinin göz önünde tutulması gerekir (Yılmaz ve ark., 2002).Patlatma

operasyonlarında parçalanmaya etki eden kayaç özeliklerini araştıran pek çok araştırma vardır. Araştırmacılar her geçen gün yeni yaklaşımlar geliştirmektedir. Patlatma operasyonlarında etkili olan kayaç özellikleri;

- Yoğunluk
- Basınç, çekme ve darbe dayanımları
- Sismik dalga hızı
- Empedans
- Elastisite modülü ve Poisson oranı
- Değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi ve izotropiklik).
- Sertlik

Lin (1988) tarafından yapılan çalışmada kayacın empedans değeri (kayaç yoğunluğu ile kayaç içerisinde dalga yayılım hızının çarpımı) kayacın şok dalgasına verdiği direnci göstermektede olduğunu ve bu paraöetrenin patlatmada etkili bir olduğunu belirtmiştir. Esen ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada parçalanmaya etki eden kayaç özelliklerini irdelemişlerdir. Bu özelliklerin yoğunluk, dalga iletim hızı, karakteristik empedans, enerji yutma özelliği, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eklem ve tabakalanma olarak sıralamışlardır. Tamrock (1984) yaptığı çalışmada ise kayacın parçalanmasına etki eden unsurların kayacın yapısal durumu, sertliği, homojenitesi olduğuna işaret etmiştir.

Kayaç özellikleri patlatma verimini önemli derecede etkilemektedir. Plastik davranış gösteren kayaçların (kil, marn) patlatma esnasında kovan yapma ihtimali fazladır. Patlayıcı madde seçiminde patlatma tasarım parametrelerine kadar bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tür kayaçlarda patlayıcı seçiminde yıkma enerjisi fazla olan, özgül gaz hacmi büyük olan patlayıcılar tercih edilmelidir. Kayaç kırılgan ve masif ise kayanın kırılmasında birincil parçalanma mekanizmaları etkili olacağından seçilecek patlayıcı maddelerin daha kudretli ve daha yüksek ateşleme hızlı olması gerekir. Çok eklemli ve çatlaklı zayıf kayalarda

gaz kaçışı fazla olduğu için fazla gaz veren düşük yoğunluklu, düşük patlama hızlı ve fazla gaz veren patlayıcı maddeler seçilmelidir (Kahriman, 1999).

3.2.2.2. Kontrollü Patlatmalarda Parçalanmaya Etki Eden Saha Özellikleri

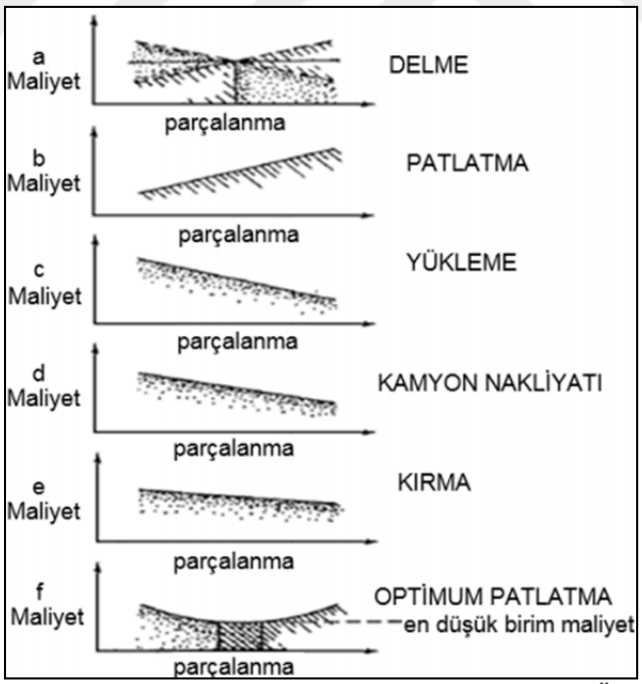
Patlatma operasyonlarına etki eden en önemli ve en kontrol edilemeyen parametre sahanın jeoloji durumundan ileri gelen özelliklerdir. Bu özellikler:

- **Kayaç tipleri:** Kayacın metamorfizma geçirmiş olması derinlik veya yüzey kayacı olması parçalanmayı ve patlatma verimini etkilemektedir. Derinlik kayaçları yüzey kayaçlarından daha dayanımı yüksek ve daha homejendir. Bu durumda kayacın yataklanma tipi parçalanma üzerinde etkin kontrol edilemeyen parametrelerdir.
- **Faylar:** Fay geçişleri killeşmiş ince boyutlu malzemeler içermektedir. faylar patlatmayı olumsuz ektilemekte ve patlatma verimini düşürmektedir. Patlatma tasarımında sahadaki fay sistemleri göz önünde bulundurulmalıdır.
- **Çatlak sistemleri:** Çatlak sistemleri patlatma esnasında meydana gelen çekme mukavemetini geçirmemektedir. Ayrıca çatlaklar patlama gazlarının kaçmasına sebep olarak patlatma veriminin düşmesine sebep olmaktadır.
- **Su durumu:** Sahanın su durumu patlatma verimi açısından oldukça önemlidir. Patlayıcı maddeler özelliklede AN-FO suda eriyen bir karışımdır. Patlatma deliğinde su bulunması durumunda suya dayanıklı patlayıcı madde seçilmesi gerekmektedir.

Açık işletmecilikte, çatlak yüzeyleri dilim kalınlığı ve ara mesafeyi etkiler, patlayıcının miktarının arttırılması gerekir. Kırılmış, çatlak içeren lağım delikleri sağlam olmayıp delik bitmeden çökme gibi tehlikeler içerirler. Tıkanmış deliklere patlayıcı şarjı yapmak zordur ve bazen bu delikler şarj edilemez (Toprak, 2012).

3.3. Kontrollü Patlatma Verimliliğinin Önemi

Patlatma verimliliği genellikle patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı ile ilişkilendirilmektedir. Kayaçta istenilen boyut dağılımı hammadde olarak kullanım alanına göre işletmeden işletmeye değişmektedir. İstenilen boyut ayrıca işletmedeki makine ve ekipman ile de değişim göstermektedir. Patlatma sonrası yığın boyut dağılımı ne çok küçük olmalı ne de ikincil bir kırma işlemine gerek duyulacak kadar büyük olmalıdır. Parçalanma veriminin yüksek olması işletme ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Patlatma işlemi kendisinden sonraki operasyonları da direk etkilemektedir. Verimli bir patlatmanın patlatma sonrası operasyonlarının maliyetine etkisi Şekil 3.9'da verilmiştir. İyi dizayn edilmiş bir patlatma tasarımı uygulandığında yükleme, nakliye, kırma ve öğütme gibi diğer giderlerdeki azalma patlatma maliyetinin göz ardı edilmesine sebep olacaktır.



Şekil 3.9. Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın Operasyonlar Üzerindeki Etkisi (Mckenzie, 1967)

Patlatma sonrası oluşan yığının istenilen boyutta olmasının avantajları;

- İkincil kırma işlemi için ek maliyet önlenmiş olacaktır.
- Kırıcı performansının artması ile enerji tüketimi azalacaktır.
- Kepçe kovası dolum oranı artacak böylece makine verimli kullanılacaktır.
- Kamyonlar etkin yükleme yapabilecek ve kamyon doluluk oranı artacaktır.
- Patlatma sonrası operayonlarda kullanılan makine, cihaz ve ekipmanların bakım onarım giderlerini de azaltacaktır.

3.4. Kontrollü Patlatma Sonrası Parçalanma Veriminin Değerlendirilme Yöntemleri

Patlatma sonrası oluşan yığının verimi parça boyutunun belirlenmesi ile mümkündür. Parça boyut dağılımın geleneksel yöntem olan elek analizi ile belirlenmesi olduça zaman alan, emek gerektiren ve maliyetli bir işlemdir. Ama tam ve kesin bir sonuç ancak elek analizi ile mümkündür. Patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımını görüntü işleme alt yapısıyla belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar ve yazılımlar her geçen gün artmaktadır. Yaygın olarak kullanılan parçalanma verimi değerlendirme yöntemleri aşağıdaki alt başlıklarda incelenmiştir.

3.4.1. Görsel-Gözlemsel Yöntemler

En kolay ve en yaygın uygulanan yöntemdir. Patlatma sonrası oluşan yığın atımın hemen ardından patlatmadan sorumlu mühendis tarafından incelenir ve tahminlerde bulunularak değerlendirilir (Kahriman, 1995). Patlatma yığının arkası tam olarak değerlendirilmediği için güvenilir değildir.

3.4.2. Fotoğraflama Tekniği

Bu teknikle değişik analiz metotları kullanılarak yığın boyut dağılımı değerlendirilmektedir. Araştırmacılar patlatılan yığının %15'ini veya daha azının fotoğrafını çekerek bir ızgara ile analiz etmişlerdir. Sonuçlar ortalama boyut dağılımından %9,6'lık bir sapma göstermiştir. Teknikteki daha ileri aşama, üç boyutlu tahmin amacıyla fotoğraf görüntü alanının içine ölçekli hedefler koymak olmuştur. Fotoğraf esaslı yöntemler zaman kaybedici ve parçalanmanın doğasını sayısal olarak ifade etmede yeterince başarılı olamamıştır. Yüksek hızlı dijital kamera (fotoğraflama tekniği) kullanımıyla, parça boyut dağılımının zamanla değişimi ortaya konulmuştur (Kahriman, 1995).

3.4.3. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri

Bu yöntem, fotoğraf tekniğinden daha güvenilir bir yöntemdir. Üç boyutlu ölçümler sağlar ve bu nedenle belirli münferit parçalar için hacim hesaplanması imkanı verir. Bununla birlikte, bu tekniğin asıl kullanım alanı; topoğrafik ölçme, jeolojik yapı ve süreksizliklerin haritalanmasıdır (Kahriman, 1995).

3.4.4. Patar Sayımı Yöntemi

Patlatma sonrası yığının yüklenmesi sırasında ekskavatör kepçesine sığmayan malzeme patar olarak adlandırılmakta ve ekskavatöre yüklenemeyen bu parçalar sayılmaktadır. Bu iri blokların eni, boyu ve kalınlığı gibi boyutları ölçülür. Patlatma bölgesinde kayanın toplam miktarına göre bir patar indeksi hazırlanabilir. Bu metot, parça boyutunun üst limitleri değerlendirilirken güvenilirdir. Ancak ortalama ve küçük parça boyutu tahmininde yanıltıcı olabilir (Kahriman, 1995).

3.4.5. İkincil Atımlarda Patlayıcı Tüketimi

Patlatma sonrası yığında ekskavatör yada yükleyicilerle yüklenemeyen iri parçalar yani patarları parçalamak için ikincil bir patlatma yapılması

gerekmektedir. Patarlar için kullanılan patlayıcının toplam kaya kütlesine oranını ifade eden bir indeks geliştirerek, bir işletmedeki nihai tasarım için, atım grupları arasında yapılacak optimizasyon çalışmalarında mukayese aracı olarak kullanılabilir (Kahriman, 1995).

3.4.6. Ekskavatörün Yükleme Performansı

Patlatma sonrası yığın yükleme işlemi takip edilerek malzemenin kırma öğütme ünitesine taşınması için kamyona yüklenen malzeme miktarından yola çıkarak parçalanmanın verimi ve parça boyutu hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Ayrıca kırıcı performansı, güç tüketimi ve kırıcı aksamlarının aşınma miktarları da gözlemlenerek sahaya ait atımların parça boyutu ve parçalanma performansı değerlendirilebilir.

Yöntem ile ekskavatörün patlatma sonrası elde edilen yığını yükleme süresi ve yükleme yapamadığı parçalar gözlemlenerek patlatma verimi değerlendirilmektedir.

3.4.7. Elek Analizi

Elek analizi yığının parça boyutu hakkında sayısal değer veren en iyi yöntemdir. Fakat patlatma sonrası oluşan tüm yığının elenmesi gerekmektedir. Bu durum zaman alıcı, iş gücü gerektiren ve maliyetli bir işlemdir. Büyük atımlarda teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir değildir.

Yöntemde standartlara uygun olarak üretilmiş elekler kullanılır, yığın eleklerden geçirilir ve yığın üstünde kalan malzemenin miktarı belirlenir. Elek üstünde kalan numune miktarı ile toplam elenen miktar karşılaştırılarak elek üzerinde kalan yüzde belirlenir. Sonuç olarak elek üstü malzemenin yüzdesi ve tanelerin boyutunu kapsayan bir grafik ortaya çıkarılır (Kahriman, 1995).

3.4.8. Üç Nokta Yöntemi

Parça boyut dağılımının kestirilmesinde kullanılan ve Luea Teknoloji Üniversitesinde geliştirilen üç nokta yöntemi görsel bir yöntemdir (Nie, 1988). Bu yöntemde, patlatma sonrası oluşan yığının boyut-dağılım eğrisi, görsel olarak kestirimi yapılan üç noktadan geçmektedir. Bu noktaları, 10 mm'den küçük tanelerin, ortalama parça boyutunun ve en büyük parça boyutunun yüzdesel ağırlığı oluşturmaktadır.

3.4.9. Parça-Numune Yöntemi

Parça numune yöntemi 1940 yıllarında İsveç'te kullanılmaya başlanmıştır (Özkahraman, 1994). Patlatma sonrası oluşan yığından el ile yığını temsil edeceği düşünülen numuneler toplanır. Toplanan numuneler elek analizine tabi tutularak yığının parça boyut dağılımı elde edilir.

3.4.10. Görüntü İşleme Metodu

Görüntü işleme metodu ile yığın içindeki parça boyut dağılımı belirlemek üzere yığın üzerinden veya yığının temsil edecek şekilde belli bölgelerinde fotoğraflar alınarak bu fotoğrafların CAD yazılımı ile dijitalleştirilmesi ile yapılır. Bu işlem çok zaman alan bir işlemdir, çünkü resimdeki her taşın dış hatları kaya parçalarının boyutunu bulmak için yapılacak olan ileri hesaplamalar ile dijitalleştirilmelidir. Otomatik ölçüm işleminde parçaların hatları bir bilgisayar programı tarafından teşhis edilir. Bunun için standart dijital görüntü işleme algoritmaları görüntü artırma işlemlerinin başlangıcı için kullanılabilir (Bobo, 2001).

3.5. Kontrollü Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımını Belirleyen Programlar

Delme patlatma çalışmalarında patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımını belirlemede kullanılan pek çok ticari yazılım mevcuttur. Yazılımların

geri planı genel olarak birbirine benzemektedir. Bazıları patlatma yığınından elde edilen ölçekli fotoğrafları kullanır ve yazılımlar kendi içerisinde oluşturdukları algoritma ile parça boyut dağılımlarını belirlemektedir. Bazılarında ise Kuz-Ram ve KCO gibi parçalanma tahmin modelleri kullanılmaktadır.

3.5.1. JKSimBlast Programı

JKSimBlast (Julius Kruttschnitt Simulation of Blast) yazılımı, Avustralya, Brisbane'de bulunan Julious Kruttschnitt Technic tarafından geliştirilen ödüllü, genel amaçlı bir patlatma tasarımı yazılımıdır (Anonim,2017).

Patlatmanın simüle edilmesi, tasarımı, organizasyonu ve yığın analizi için geliştirilmiştir. 'Analysis' menüsü açıldığında, iki parçalanma modeli görünür. Program yığın analizini Kuz-Ram ve JKMRC modellerine göre tahmin etmektedir. Programın içerisinde bulunan 2DBench modülünde, patlatma tasarımının 2D plan görünümü elde edilir. Oluşturulan deliklerin geometrik özellikleri, kullanılan patlayıcı madde özellikleri, delik içi ve yüzey gecikme bağlantıları belirlenip, ekranda grafiksel olarak gösterilir. Patlatma planı tamamlandıktan sonra ateşleme simülasyonu görüntülenebilir. Temel analizler; malzeme, patlayıcı hacmi ve tonajı, toplam maliyetler ve çevre etkilerini kapsamaktadır. İleri analizler ise; en yüksek anlık yük, enerji dağılımı, PPV (Tepe Parçacık Hızı) haritası, dinamik yükü içermektedir (Jamnia, 2015).

3.5.2. Fragalyst

Fragalyst, Nagpur CMRI Bölge Merkezi (Hindistan) ve Pune'nin Wavelet Grubu (Hindistan) tarafından geliştirilen bir görüntü analiz sistemidir. Bu sistem, videosu veya fotoğrafları çekilmiş yığının fotoğraflarının bilgisayara yüklenerek, görüntüleri gri skalaya dönüştürerek görüntüyü geliştirmekte ve 2 boyutlu sonuçlar elde etmektedir. Yazılım yardımıyla yığının 2 boyutlu bilgileri 3 boyutlu bilgilere dönüştürülmektedir (Raina ve arkadaşları, 2003).

3.5.3. Fragscan Programı

Fragscan sistemi Schleifer ve Tessier (1996) tarafından Ecole des Mines de Paris bünyesinde geliştirilmiştir. FRAGSCAN, bir kamera ve matematiksel morfoloji tekniği yardımıyla damperli veya taşıyıcı kayıştan püskürtülen kayaların boyut dağılımının ölçüm yöntemini kullanır. FRAGSCAN ekipmanı bir kamera, bir Görüntü toplama kartı, bir kontrol veri kartı, bilgisayar tipi PC ve bir ışıktan oluşur. Küresel bir model kullanılarak yüzeyden hacim dağılımına dönüşüm mümkün olmaktadır. İşletim sistemi tam otomatik bir araçtır.Tutarlı ve güvenilir sonuçlar sağlar. Bu sistem endüstriyel kullanım için daha iyidir (Schleifer ve Tessier, 1996).

3.5.4. Split Desktop Programı

Split programı Kemeny ve arkadaşları tarafından 1993–1995 yılları arasında Arizona Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Split Engineering adlı ABD Tuscon şehrinde bulunan şirket aracılığıyla ticari dağıtımı yapılmaktadır (Kemeny ve ark. 2006). İki boyutlu görüntü işlemeye dayanan SplitDesktop, patlama parçalanma analizi için en popüler yazılım paketlerinden biridir. Bu yazılım ölçekleme aracı olarak kullanılan iki nesne (genellikle top) ile çekilmiş görüntüleri kullanır ve ölçekleme işleminden sonra yazılım görüntü filtresiyle görüntüleri otomatik olarak ayırır ve sınırları çizer. Daha sonra sınırlarını çizdiği taneleri analiz ederek boyutlandırır ve dağılım eğrisini oluşturur.

3.5.5. TUCIPS Programı

TUCIPS Almanya'da Clausthal Teknik Üniversitesi'nde, Havermann ve Vogt (1996) tarafından patlama parçalanmasını ölçmek için geliştirilmiştir. Bu sistem genel görüntü işleme algoritmalarını ve görüntü analizi için özel olarak oluşturulmuş bir algoritmaya çevirmektedir. Üreticileri programın pratik kullanım için uygun olduğunu ve gerçek verilerden %5 sapma belirlediğini öne sürmektedir.

3.5.6. CIAS Programı

CIAS, ABD Madencilik Bürosu (USBM) ve Noramco Enginnering Corparation tarafından ortaklaşa olarak geliştirilmiş bir programdır. Downs ve Kettunen (1996) tarafından geliştirilmiştir.

3.5.7. IPACS Programı

IPACS, Dahlehielm (1996) tarafından geliştirlmiştir. Program ölçekleme, kapama, görüntü geliştirme, gri seviye görüntü segmentasyonu, şekil analizi (birleştirme ve bölme) ve yazılımın işleyişi gibi işlem parametrelerinden oluşur. Üreticileri bu sistemin işlem hızı ve doğruluğundan dolayı endüstriyel amaçlar için çok uygun olduğuna işaret etmişlerdir.

3.5.8. Goldsize Programı

Goldsize programı Kleine ve Cameron (1996) tarafından, Kanada kökenli Golder Associates Inc. şirketi bünyesinde patlama parça boyut dağılımlarının boyutlarını tahmin etmek için geliştirilmiş Windows tabanlı bir bilgisayar programıdır. Bilgisayarın fare işaretçisi kullanılarak taşlar elle izlenir. Uygulama ile, bir bilgisayar faresini kullanarak yaklaşık 100 kaya parçasını 10 dakikada sayısallaştırmak mümkündür. Program tüm yığının gerçek bir görüntüsünü sunar (Golder, 1997).

3.5.9. WipFrag Programı

Görüntü işleme yazılımları konusunda tüm dünyada çalışmalarda bulunan farklı araştırma grupları mevcuttur. Maerz ve arkadaşları (1996) kendi kurdukları Wipware Inc. Şirketi bünyesinde WipFrag programını geliştirmişlerdir. Bu program dijital dosyalar, fotoğraflar, video görüntüleri üzerinden çalışabilmektedir. Program dijital görüntüdeki parçaları sahip olduğu algoritma ile otomatik olarak belirlemekte ve geometrik olasılıklardan yararlanarak iki boyutlu parça boyut dağılımından üç boyutlu dağılıma geçmektedir. Daha sonra program kendi

içerisinde parça boyut dağılımını vermektedir. Program ile Kuz-Ram ve KCO tahmin modelleri dağılımları da elde edilebilmektedir. Ayrıca WipJoint arayüzü ile ise ayna fotoğrafları işlenmekte ve blok analizi yapılabilmektedir.

3.6. Kontrollü Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımı Tahmin Modelleri

Patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımının belirlenmesi; patlatma veriminin değerlendirilmesinde bilgi veren ve en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Pek çok araştırmacı patlatma sonrası ortalama parça boyutunu belirlemek için bazı kayaç özellikleri ve patlatma parametrelerini kullanarak farklı modeller geliştirmişlerdir. Bu modellerden en yaygın kullanılanı Cunningham'ın (2005) geliştirdiği Kuz-Ram modelidir.

Model; Kuznetsov (Hustruild, 1999) tarafından ortalama boyut (X_{50}) tahmini için önerilen ampirik eşitlik ile Rosin ve Rammler (1933) tarafından önerilen boyut dağılım fonksiyonun Cunningham (2005) tarafından birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Diğer araştımacılar ise ortalama tane boyutunun tahmini için Kuz-Ram modelinde eksiklikler olduğunu düşünerek yeni modeller geliştirmişlerdir.

3.6.1. Kuz-Ram Modeli

Kuz-Ram modelinin temelini oluşturan Kuznetsov denklemi, 1973 yılında V. M. Kuznetsov tarafından yapılan bir çalışmada ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında bir taş ocağındaki atımları incelemiş ve atımlarda TNT kullanmıştır. İncelediği atımların parça boyut dağılımlarını belirleyerek kaya hacmi başına ortalama parça boyutu ve uygulanan patlayıcı enerjisi arasındaki ilişki kurmuştur. Ortalama parça boyutunu veren Kuznetsov denklemi Eşitlik 3.53'de verilmiştir (Kuznetsov, 1973).

$$X_{50} = A(V_0/Q_e)^{0,8} \times {Q_e}^{0,167} \times 115/E^{0,633} \quad (3.53)$$

Burada;

X_{50}: Ortalama parça boyutu (cm)

A: Kaya faktörü (1−13)

Q_e: Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg)

V_o: Delik başına kayaç hacmi: B×S×H

B: Dilim kalınlığı (m)

S: Delikler arası mesafe (m)

H: Basamak yüksekliği (m)

E: Patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvetidir (AN-FO = 100).

Cunningham (1983)'ın katkısı: Kuznetsov tarafından belirlenen eşitlik sadece TNT ile yapılan patlatmalardan derlenmiştir. Denklemin sonundaki Cunningham (1983) tarafından eklenen ifade diğer patlayıcılarında kullanımına imkan vermektedir. Parçalanma eğrisinin çiziminde Rosin-Rammler (1933) eşitliği olarak adlandırılan Eşitlik 3.54 kullanılır.

$$R = e^{-(\frac{x}{xc})^n} \tag{3.54}$$

Buradaki üniformluk katsayısı, Cunningham (1983) tarafından tanımlanmıştır. Buna göre üniformluk katsayısı Eşitlik 3.55'deki gibidir;

$$n = (2{,}2 - 14B/D) \times [\left(1 + \frac{S}{B}\right)^{0{,}5}/2] \times (1 - W/B) \times (L/H) \tag{3.55}$$

Rosin-Rammler (1933) denkleminden Xc belirlenirse, yeni denklem Eşitlik 3.56'daki gibi olmaktadır.

$$X_c = X/(\ln(\frac{1}{R})^{\frac{1}{n}}) \tag{3.56}$$

Cunningham (1983) X_{50} değerini Kuznetsov tarafından önerilen ortalama boyut değerini ($X=X_{50}$)=0,5 (%50) kabul ederek dağılımı belirlemiştir. Buna göre, karakteristik boyut Eşitlik 3.57'de ortaya konmuştur.

$$X_c = X_{50}/(0{,}693^{\frac{1}{n}}) \quad (3.57)$$

Burada;
R: Elek üzerinde kalan malzemenin oranı,
x: Elek açıklığı,
x_c: Yüzde miktarı bulunacak tane boyutu,
n: Üniformite indeksi,
D: Delik şarj çapı (mm),
B: Dilim kalınlığı (m),
S: Delikler arası mesafe (m),
W: Delik sapmalarının standart sapması (m) [W= 0,1+(0,03×H)],
H: Basamak yüksekliği (m),
L: Şarj uzunluğu (m)' dur.

Patlatma işleri için Rosin-Rammler (1933) formülü kullanıldığında x_c karakteristik boyut olarak belirlenir ve malzemenin % 63,2'sinin geçtiği açıklığı göstermektedir.

Cunningham (1987) üniformite indeksi konusunda bazı araştırmalar yapmış ve üniformite indeksi ile ilgili aşağıdaki sonuçlara varmıştır:

- Üniformite indeksinin 0,75'ten küçük olması toz malzemeyi ve patar olarak tanımlanan istenmeyen iri parçaların ortaya çıktığını,
- Üniformite indeksinin 1'den küçük olduğu durumda indeksteki değişim iri parçalar ve çok ince malzeme için kritik bir hal aldığını,
- Üniformite indeksi 1,5 civarında veya daha yüksekse yığının yapısında çok fazla değişim beklenmediğini,
- Üniformite indeksinin normal aralığı 0,75 ile 1,5 arasında değiştiğini ve genellikle patlatma kaynaklı parçalanma inceleniyorsa bu değerin 1 civarında olacağını belirtmiştir.

Lilly'nin (1986) katkısı: Lilly (1986) tarafından geliştirilmiş olan patlatılabilirlik indeksi, Kuznetsov denklemindeki kayaç faktörünü hesaplamak için Cunningham (1987) tarafından modele dahil edilmiştir (Cunningham, 2005). Böylelikle kaya faktörünün bulunması kolaylaşmıştır (Eşitlik 3.58).

$$A = 0{,}06 \times (RMD + JPS + JPA + RDI + HF) \quad (3.58)$$

Burada;

RMD (Kaya kütle sınıflaması);

- Çok çatlaklı parçalanmış kaya=10
- Bloklu kaya kütlesi=20
- Masif kaya kütlesi= 50

JCF: Eklem durum faktörü

- Sıkı çatlak=1,0
- Aralıklı çatlak = 1,5
- Dolgu malzemeli çatlak = 2,0

JPS (Eklem düzlemi aralığı)

- <0,1 m=10
- 0,1–1 m=20
- >1 m=50

JPA (Eklem düzlemi yönelimi)

- Yatay= 10
- Aynanın dışına doğru dalan= 20
- Aynaya paralel= 30
- Aynanın içine doğru dalan= 40

RDI (Özgül ağırlık etkisi)

- RDI= (25 RD-50), RD: Kayaç özgül ağırlığı (t/m^3)

HF Sertlik katsayısı-(E=Elastisite modülü)

- E<50 GPa ise HF=E/3
- E>50 GPa ise HF = UCS/5, (UCS= Tek eksenli basınç dayanımı [MPa])'dır.

3.6.2. Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli

Kuz-RAM modelinde parçalanma eğrisini elde etmek için Rosim Rammler eşitliği kullanılmaktadır. Swebrec'in (İsveç Patlatma Araştırmaları Merkezi) araştırmacıları Rosin-Rammler (1933) denkleminin parçalanma eğrisini doğru tanımlamadığını öne sürmektedirler. İsveç Kaya Mühendisliği Araştırma Kurumu'nun gerçekleştirdiği araştırmalardan yararlanarak parçalanma eğrisini yeniden tanımlamışlardır (Hüdaverdi, 2010).

Swebrec fonksiyonu (Eşitlik 3.59), üç temel parametreyi kullanmaktadır. Bunlar ortalama parça boyutu, maksimum parça boyutu ve eğri şekil katsayısıdır (Ouchterlony, 2005a, b).

$$P(x) = 1/[1 + [\ln(X_{max}/x)/\ln(X_{max} \times 50)] \times b \qquad (3.59)$$

Burada;

$0 < x < X_{max}$,

b: Eğri şekil katsayısı $= 0{,}5 \times 500{,}25 \times \ln[X_{max}/X_{50}]$,

X_{50}: Ortalama parça boyutu (mm),

X_{max}: Maksimum parça boyutu (mm)'dur.

Araştırmacılar fonksiyonun 0−500 mm parça boyut aralığında iyi sonuç verdiğini belirtmektedirler. Ayrıca Rosin-Rammler (1933) eğrisi yerine kendi geliştirdikleri eğrinin kullanımını önermekte, yeni modeli KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) modeli olarak adlandırmaktadırlar (Ouchterlony, 2005b).

3.6.3. Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (JKMRC) Modeli

Kuz-Ram modelinin ince boyutlu malzeme miktarını başarıyla kestiremediği düşüncesinden yola çıkan Avustralya'da yerleşik, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center (JKMRC) adlı araştırma kurumu, Kuz-Ram modelini modifiye ederek iki yeni model ortaya koymuştur. Bunlardan birincisi 'Ufalanma Zonu Modeli' (CZM), diğeri ise 'İki Bileşenli Model' (TCM)'dir (Hüdaverdi, 2010).

Ufalanma Zonu Modeli (CZM): Araştırmacılar modellerini ezilme bölgesinin ince boyut dağılımını, kırılma bölgesinin de iri boyut dağılımını belirlediği ilkesine göre geliştirmişlerdir (Demenegas, 2008).

Ufalanma zonu modeli, tüm parça büyüklüğü dağılım eğrisini tanımlamak için iki farklı Rosin-Rammler (1933) eğrisi kullanır. Birincisinde eğrinin ince bölümünü, ikincisinde ise eğrinin iri bölümü oluşturulur. İki eğri, kaya kütlesi özelliklerine bağlı olan karakteristik tane boyutu X_c'de birleştirilir. Ufalanma bölgedeki en iri tane boyutunun 1 mm olduğu varsayılır ve karakteristik tane büyüklüğü X_c, güçlü kayaçlar için X_{50}'den (UCS> 50 MPa), çok yumuşak kayaçlar için X_{90}'a (UCS <10 MPa) kadar değişmektedir (Kanchibotla ve ark., 1999). Parçalanma eğrisinin kaba kısmı aşağıdaki denklemde (Eşitlik 3.60) verilmiştir.

$$P(x) = 1 - e^{[\ln(1-P_{xc})(\frac{x}{xc}^{nc})} \quad (3.60)$$

Burada;

P(x): X açıklığa sahip elekten geçen malzeme yüzdesi (%),

P_{xc}: Karakteristik boyutu (X_c) geçen malzeme yüzdesi (%),

X: Elek açıklığı (m),

X_c: Karakteristik boyut (m),

n_c: İri boyut için üniformluk katsayısıdır (Eşitlik 3.61).

$$n_c = [2{,}2 - 14\,(B/D)] \times \sqrt{(\frac{1+(S/B)}{2})} \times (L_t/\mathrm{H}) \quad (3.61)$$

İnce malzemenin, içerisinde, sıkıştırma-kayma yetmezliğinden dolayı partiküllerin kayaların ezilmesiyle üretildiği, patlama deliğinin etrafındaki silindirik bir ezilmiş bölgeden kaynaklandığı varsayılmaktadır (Kanchibotla ve ark., 1999). Ezilmiş zonun yarıçapı, kumlama deliğinden radyal gerilmelerin kaya kütlesinin basınç kuvvetini aştığı noktaya olan mesafedir edilir ve Eşitlik 3.62 ile hesaplanır.

$$r_c = r \times \sqrt{\frac{p_d}{\sigma_c}} \tag{3.62}$$

Burada;
r_c: Ezilme bölgesinin yarıçapı (m),
r: Delik yarıçapı (m),
P_d: Detonasyon basıncı (Pa),
σ_c: Kayanın tek eksenli basınç dayanımı (Pa)'dır.

Detonasyon basıncı Eşitlik 3.63 ve ufalanmış malzemenin oranı Eşitlik 3.64 ile hesaplanabilir;

$$P_d = \rho c \times \frac{V_e^2}{4} \tag{3.63}$$

Burada;
P_d: Detonasyon basıncı (Pa),
V_e: Detonasyon hızı (m/sn),
ρc: Patlayıcı yoğunluğu (kg/m^3)'dur

$$F_c = \frac{V_c}{V_b} \tag{3.64}$$

Burada;
F_c: Ufalanmış malzeme oranı,
V_c: Ufalanmış kaya hacmi (m^3),
V_b: Patlatılan kaya hacmi (m^3)'dir.

Parçalanma eğrisindeki ince boyut dağılımı, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır (Eşitlik 3.65).

$$P(x) = 1 - e^{\ln(1-P_{Xc})\times(\frac{X}{X_c})^{nf}} \quad (3.65)$$

Malzemenin ince kısmı için üniformite indeksi Eşitlik 3.66 ile hesaplanmaktadır.

$$n_f = \frac{\ln(1-f_c/\ln(1-P_{xc})}{ln1/X_c} \quad (3.66)$$

Burada;
P_{xc}: Karakteristik boyuttan geçen malzeme yüzdesi (%),
X: elek boyutu (m),
n_f: malzemenin ince kısmı için üniformite indeksidir.

İki Bileşenli Model (TCM): İki bileşenli model ufalanma zonu modelinden farklı olarak Rosin-Rammler (1933) eğrisi ile ilişkili olarak tek bir modelle açıklanmaktadır. Parçalanma eğrisi birleştirilmeden tek ve sürekli bir eğri olarak elde edilir. İki bileşenli model yoluyla elde edilen parçalanma eğrisinin denklemi Eşitlik 3.67 ile açıklanır.

$$P(x) = 100 \times (1 - (1 - F_c) \times e^{[-\ln 2(\frac{x}{a})^b]} - F_c e^{[-\ln 2(\frac{x}{c})^d]} \quad (3.67)$$

Burada;
P(x): x boyutunun altındaki malzemenin yüzdesi (%),
X: Malzemenin boyutu (m),
F_c: Ezilmiş malzeme dağılımı,
a: Kırılmış zon dışındaki ortalama tane boyutu (m),
b: Kırılmış bölge dışındaki üniformite katsayısı,
c: Kırılmış zondaki ortalama tane boyutu (m),
d: Kırılmış bölgedeki üniformite katsayısıdır.

c ve d parametreleri, kayaçların batlatılması ve daha sonra istenilen parça boyutunun elde edilmesi için yapılan testlerle elde edilir. a ve b parametreleri, Kuz - Ram modeli parametreleri X_{50} ve n'ye benzer olarak değerlendirilir ve aynı değerler kullanılır. TCM için ezilmiş bölgenin yarıçapı aşağıdaki Eşitlik 3.68 ve yerinde çekme gerilmesi ise Eşitlik 3.69 ile hesaplanır.

$$r_c = [\frac{r}{\sqrt{\frac{24 \times TS_i}{P_b}}}] - r \tag{3.68}$$

Burada;

r_c: Ezilmiş zon çapı (m),

r: Patlama deliği çapı (m),

P_b: Detonasyon basıncı (Pa),

TS_i: Yerinde çekme gerilmesi (Pa)'dır.

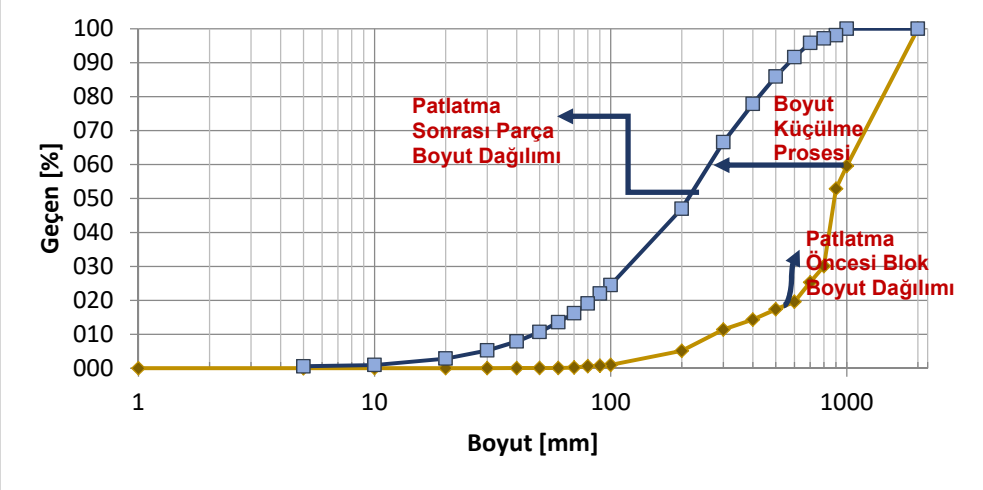
$$TS_i = \sigma_t [\frac{0,05}{ortalama\ tane\ boyutu}]^{0,18} \tag{3.69}$$

Litaratürde pekçok tahmin modeli geliştirilmesine rağmen, Kuz-Ram tahmin modeli en sık kullanılan modeldir.

3.7. Parçalanma İndeksi

Patlatma prosesi bir boyut küçültme işlemidir. Patlatma öncesi blok parça boyut dağılımından patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımına dönüşmesidir (Şekil 3.10). Aynanın blok boyutu patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı ile doğrudan ilişkilidir.

Latham ve Lu (1999) patlatma işlemini yerinde blok boyutundan patlatma sonrası yığın boyutuna geçiş olarak tanımlanabilir. Bu geçiş işlemi patlatma enerjisi ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.10. Patlatma ile Boyut Küçülmesi

Atımların etkinliğini karşılaştırmak için parçalanma indeksi önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Parçalanma indeksi Eşitlik 3.70 yardımıyla hesaplanmaktadır (Hüdaverdi, 2010).

$$FI = \frac{X_b}{X_{50}} \tag{3.70}$$

Burada;

FI: Parçalanma indeksi,

X_b: Yerinde ortalama blok boyutu,

X_{50}: Ortalama yığın boyutu'dur.

Parçalanma indeksininin patlatma verimliliğine etkilerinin araştıran en önde gelen araştırmalar Aler ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında parçalanma indeksini parçalanma verimliliğini kestirmek için kullanmışlardır. Parçalanma indeksi yoluyla inceledikleri atımları değerlendirmişler ve atımlarda yapılabilecek değişiklikleri belirlemişlerdir (Aler ve ark., 1996a,b, Aler ve Du Mouza, 1996).

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Çalışma Sahaları

Çalışma sahası olarak Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahası ve Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası seçilmiştir.

4.1.1.1. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahası

Adana Çimento Sanayi'ne ait Çaldağı hammadde sahası Adana-Ceyhan Karayolu 12. km İncirlik mevkiinde olup, çimento üretim ünitesiyle aynı bölge içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. AÇS Hammadde Sahasına Ait Yer Bulduru Haritası

Hammadde ocakları üretim fabrikasının güneyinde bulunan Çaldağı Tepesi civarında yer almaktadır. Çalışma sahası iki alt çalışma alanına ayrılarak "A Sektörü" ve "B Sektörü" olarak adlandırılmıştır. A Sektörü fabrikanın güneyindeki tren hattının hemen güneyinden başlayıp göl yatağı sonuna kadar devam etmektedir. A sektörü yaklaşık 461443m^2'lik alanı, B Sektörü ise hammadde ocağının batı kısmında olup, yaklaşık 179139m^2'lik alanı kapsamaktadır.

4.1.1.1.(1). Bölgesel Jeoloji

Etüt alanı ve civarının jeolojisi değişik araştırmacılar tarafından detay olarak çalışılmıştır. Bunlardan daha çok Adana baseni üzerinde yoğunlaşanlardan bazıları Ternk (1957); Schmidt (1961); Özgül ve arkadaşları (1973); İlker (1975); Görür (1979 ve 1985); Yalçın ve Görür (1984); Yetiş ve Demirkol (1986)'dır. Bu çalışma sonuçlarına göre, bölgenin kuzeyinde Tersiyer yaşlı kayaçlar temelde, genelde pembemsi kırmızı, bazen de sarımsı turuncu renklerde olabilen çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan Oligosen-Alt Miyosen yaşlı karasal Gildirli formasyonu ile başlamaktadır. Gildirli formasyonunun üzerine boz renkli çakıllı kumtaşı, çakıllı-kumlu kireçtaşı ve silttaşından oluşan Alt Miyosen yaşlı Kaplankaya formasyonu, bunun üzerinde ise beyaz-krem renkli Alt-Orta Miyosen yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan, Karaisalı formasyonu gelmektedir.

Karaisalı formasyonunun üzerinde ise derin deniz ortamında çökelmiş, yeşilimsi gri renkli şeyl ve marnlardan oluşan Alt-Orta Miyosen yaşlı Güvenç formasyonu yanal ve düşey geçişli olarak bulunmaktadır. Bu birim üzerine gelen Kuzgun formasyonu Üst Miyosen yaşlı olup, açık gri, yer yer yeşilimsi, gri, kahverengi kumtaşı-kiltaşı içermektedir ve sığ denizel, karasal ortamı temsil etmektedir. Kuzgun formasyonu üzerine bölgedeki Tersiyer yaşlı istifin tavanını oluşturan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere formasyonu gelmekte olup, birimin sığ denizel ortamı temsil eden sarı, bej renkli çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve alçıtaşından (jips) oluşmaktadır. Handere formasyonunun üzerine Kuvaterner yaşlı Kaliçi+taraça ve alüvyon uyumsuz olarak gelmektedir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan etüt alanları ise, Kuzgun formasyonu içersinde yer almaktadır.

4.1.1.1.(2). Çalışma Sahası Jeolojisi

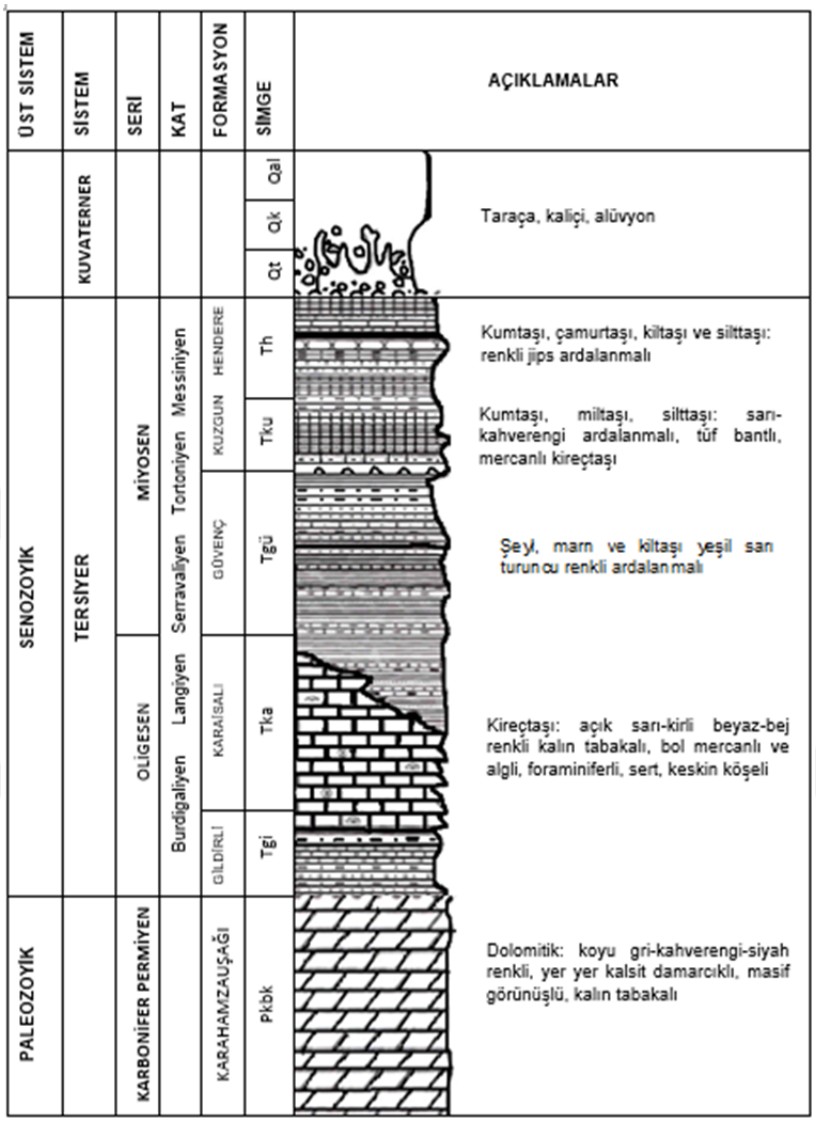
İnceleme alanında formasyon resif ilerisi (resif önü) kesiminde silttaşı ve kiltaşları, resif çatısında (resif çekirdeği) genellikle kireçtaşları, lagün (resif gerisi) kesiminde iyi boylanmalı kumtaşı, yeşilimsi mavi renkli kiltaşı–marn, killi kireçtaşlarından oluşan litolojiler sunmaktadır (Şekil 4.2). İnceleme alanında Kuzgun formasyonu resifal özellikte gelişmiştir. Genç resif oluşumunun resifal ortamının resif gerisi–lagün, resif çatısı ve resif önü fasiyeslerde geçişler mevcuttur. İnceleme alanında stratigrafik birim olarak bulunan Kuzgun formasyonunu oluşturan litolojik birimler kalker, killi kalker, kil, kiltaşı, marn, siltaşı ve kumtaşıdır. Bu birimlerin tabaka eğimleri 0-5° olup doğuya doğru eğimlidirler. Tabakaların doğrultuları Kuzey-Güney yönündedir (Alkan,2007).

4.1.1.1.(3). Çalışma Sahasının Mineralojik ve Petrografik Analizi

Çalışma sahasının jeolojik birimleri ile bu birimlerin mineralojik ve petrografik özellikleri; makrokobik, mikroskobik ve XRD analizleri kullanılarak Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında belirlenmiştir. Kayaçların mineralojik olarak değişimleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma alanı;

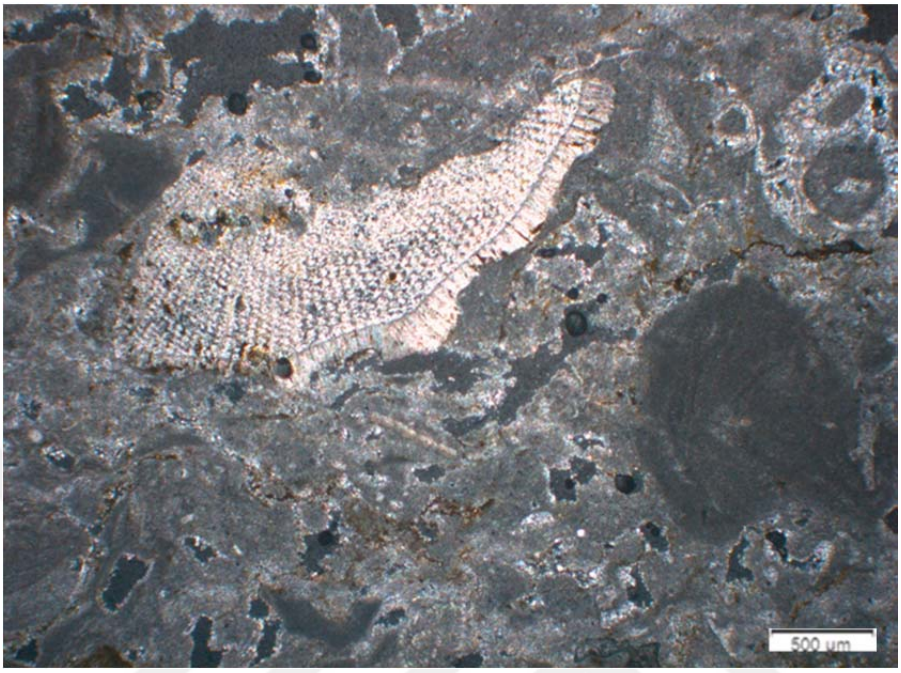
- Kireçtaşı,
- Killi Kireçtaşı,
- Marn,
- Kiltaşı,
- Kumtaşı alt birimlerinden oluşmaktadır.

Fakat çalışma sahasında gerçekleştirilen atımlar kireçtaşı, killi kireçtaşı ve killi kireçtaşı marn bölgelerinde gerçekleştirilmiş olup bu bölgelerin mineralojik (mikroskobik ve XRD) ile petrografik analizleri yapılmıştır. XRD analizleri Rigaku Flex II X-ray Diffractometer kullanılarak yapılmıştır. Taramalar $5^{o}<2\Theta<90^{o}$ aralığında 0,05 derece steple ve dakikada 1 derecelik hızla kaydedilmiştir.



Şekil 4.2. AÇS Hammadde Sahası Civarının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Alkan, 2007)

Kireçtaşı: Farklı orijinli bol fosil kavkılı, mikrokristalen kalsit dolgulu kayaç, biyomikritik kireçtaşı olarak isimlendirilebilinir (Şekil 4.3). Fazla miktarda demir içerikli stilolitleri mevcuttur. Matriks içerisinde kil mineralleri mevcuttur. Çok az oranda boşluk dolgusu şeklinde silis mineralleri mevcuttur (Şekil 4.4).

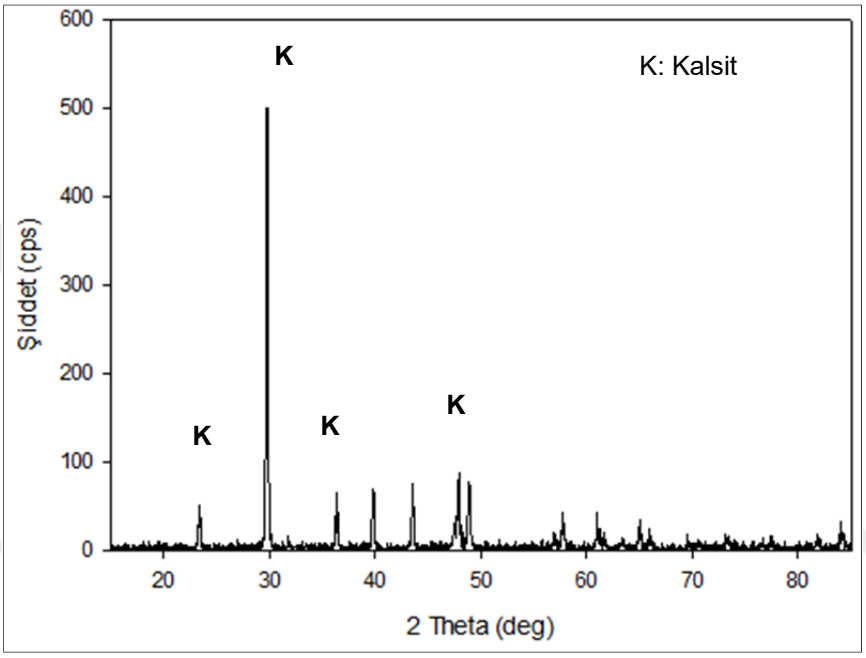


Şekil 4.3. Fosil Kavkılı Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü



Şekil 4.4. Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

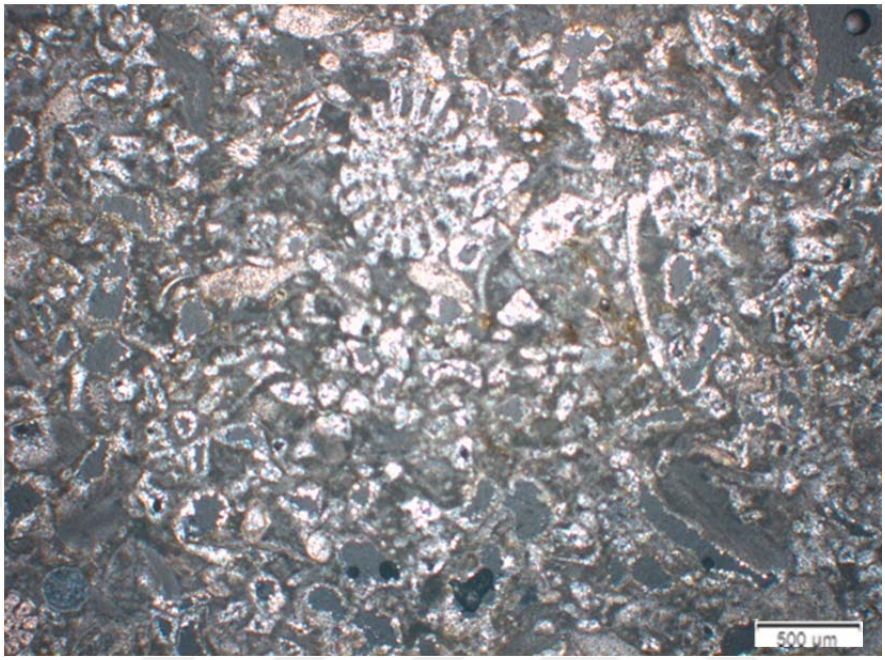
Petrografik incelemeler sonucunda Folk (1962)'ye göre intrabiyomikrit, Dunham (1962)'ye göre istiftaşı olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.5 verilen X-ışını kırınım analizi (XRD) incelendiğinde; numunenin esas olarak kalsit ($CaCO_3$) minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir.



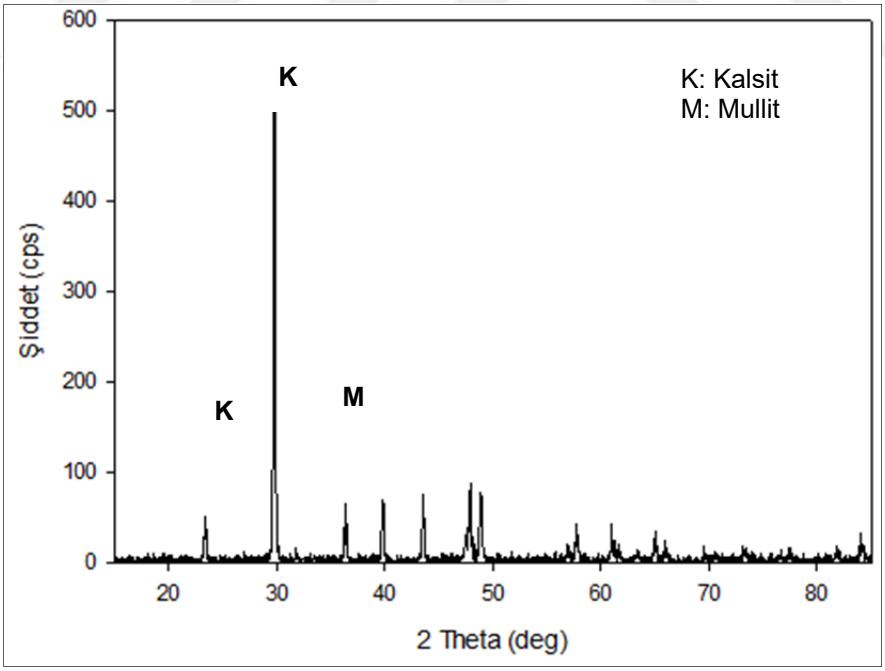
Şekil 4.5. Kireçtaşı için XRD Kırınım Analizi

Killi Kireçtaşı: Kayaçların bol fosilli, mikrit ve spari kalsitten ve silikat (kil) minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Fosiller bol miktarda bryozoalar, bentik, foraminifer, ekinit plakası ve ekinit dikeni pelecypod kavkı parçaları ve bol miktarda mercan parçaları görülmüştür. Tane içi boşluklar mikrit ve spari kalsitlerle doldurulmuştur. Taneler ise kalsit ve kil çimentosuyla bağlanmıştır (Şekil 4.6).

Kayaç; Folk, 1962'ye göre biyomikrit ve biyosporit, Dunham, 1962'ye göre istiftaşı ve vake taşı olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.7 verilen X-ışını kırınım analizi (XRD) incelendiğinde; numunenin iki esas olarak kalsit ($CaCO_3$) ve mullit ($Al_6O_5(SiO_4)_2$ minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir.

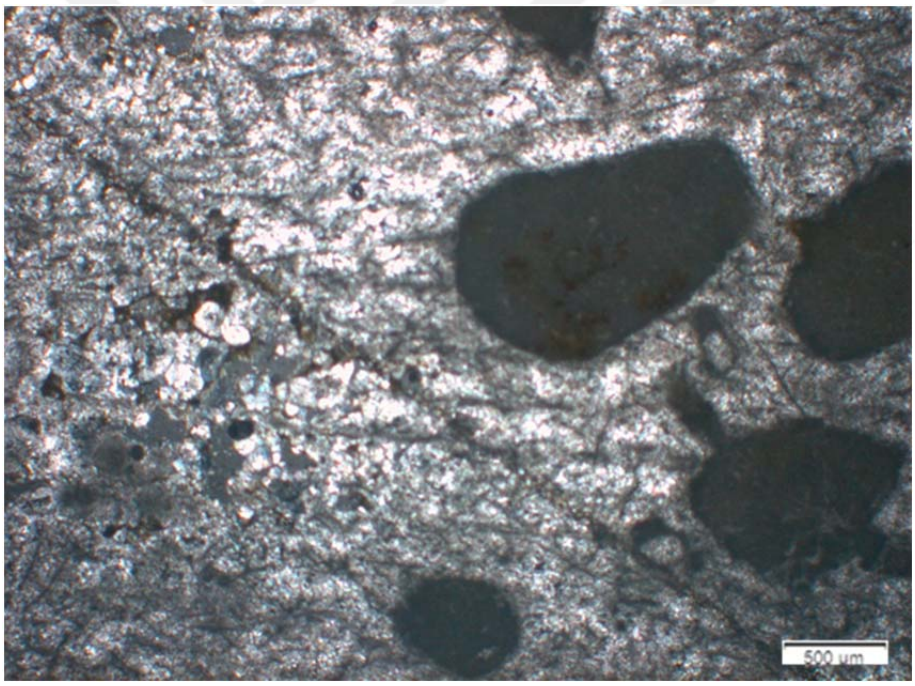


Şekil 4.6. Killi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü



Şekil 4.7. Killi Kireçtaşı için XRD Kırınım Analizi

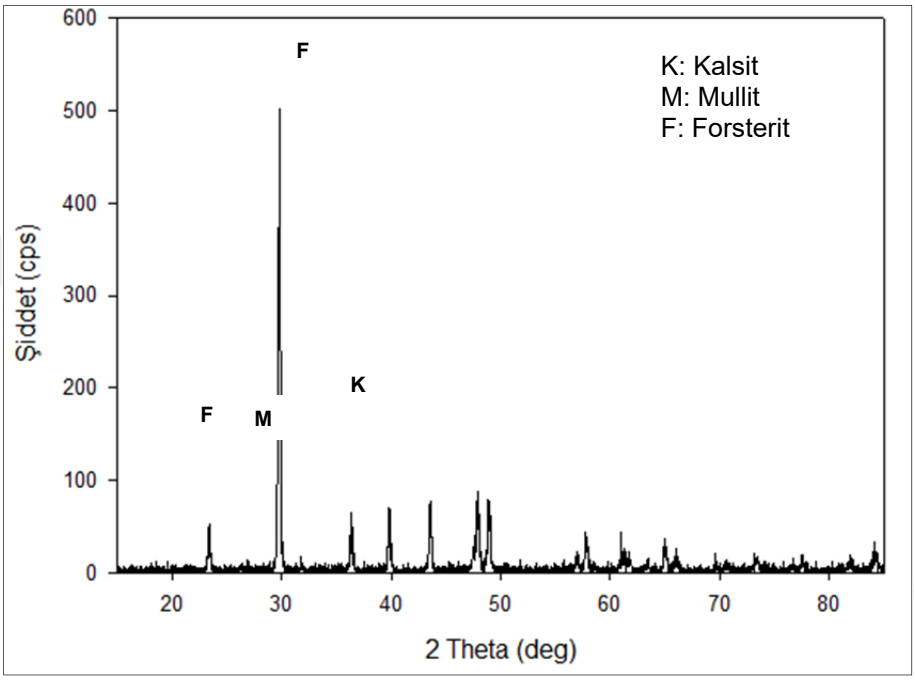
Marn: Sedimantasyon sonucu oluşmuş kil (% 30-50) ve kalker (% 50-70) karışımı bir hammaddedir. Yaygın olarak çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Sarı-yeşil ve mavi-gri-siyah renk tonlarında değişim göstermektedir. Petrografik analizlerde, kayaç silikat ve kireçtaşı parçalarından oluşmuştur. Bu mineraller yer yer mikritik, yer yer sparitik çimentoyla bağlanmıştır. Bol miktarda fosil kavkıları içermektedir. İnce kristalli kuvars mineral içerikli, hamur maddesi mikrokristalin kalsit ve kilden oluşan kayaç marn bileşimlidir. İkincil olarak demir boyamaları çatlak ve kırıklar içerisinde görülmüştür. Petrografik analiz sonuçları kayacın Folk 1962'ye göre ekstraklastlı biyomikrit ve Dunham 1962'ye göre vake taşı olarak sınıflandırılmıştır. Kayacın mikroskobik görünümleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Marnın Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

Şekil 4.9 verilen X-ışını kırınım analizi (XRD) incelendiğinde; numunenin esas olarak kalsit ($CaCO_3$), Mullit ($Al_6O_5(SiO_4)_2$ ve Forsferit ($Mg_2(SiO_4)$)

minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir. XRD kırınım analizlerinde; Kalsit % 50-70 arasında değişen kireçtaşından, mullit ve forsterit ise % 30-50 oranında değişen kil minerallerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.9. Marn İçin XRD Kırınım Analizi

Sahada kiltaşı ve kumtaşı tabakaları da mevcut olup bu bölgelerde patlatma yapılmadığından dolayı XRD analizleri, mineralojik ve petrografik analizleri de değerlendirilmemiştir.

4.1.1.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası

Kalker ocağı Mersin İli, Tarsus İlçesi, Huzurkent Yerleşkesi, Karadiken Köyü Mevkiinde yer almaktadır. Mersin'den Adana istikametine giden duble yolun 20. km'sinde, Huzurkent kavşağından Organize Sanayi yönünden Karadiken istikametine devam edilerek 20. km'de sahaya ulaşılmaktadır. Mersin İli

kuzeydoğu yönünde 30 km uzaklıkta olan Karadiken köyünün 1,5 km kuzeyinde yer almaktadır. I.R. 7902 Ruhsat nolu alanı 329,3525 hektardır. Faaliyet alanında ocak içi yollar mevcuttur. Ulaşım için asfalt kaplama karayolu kullanılmaktadır (Şekil 4.10).



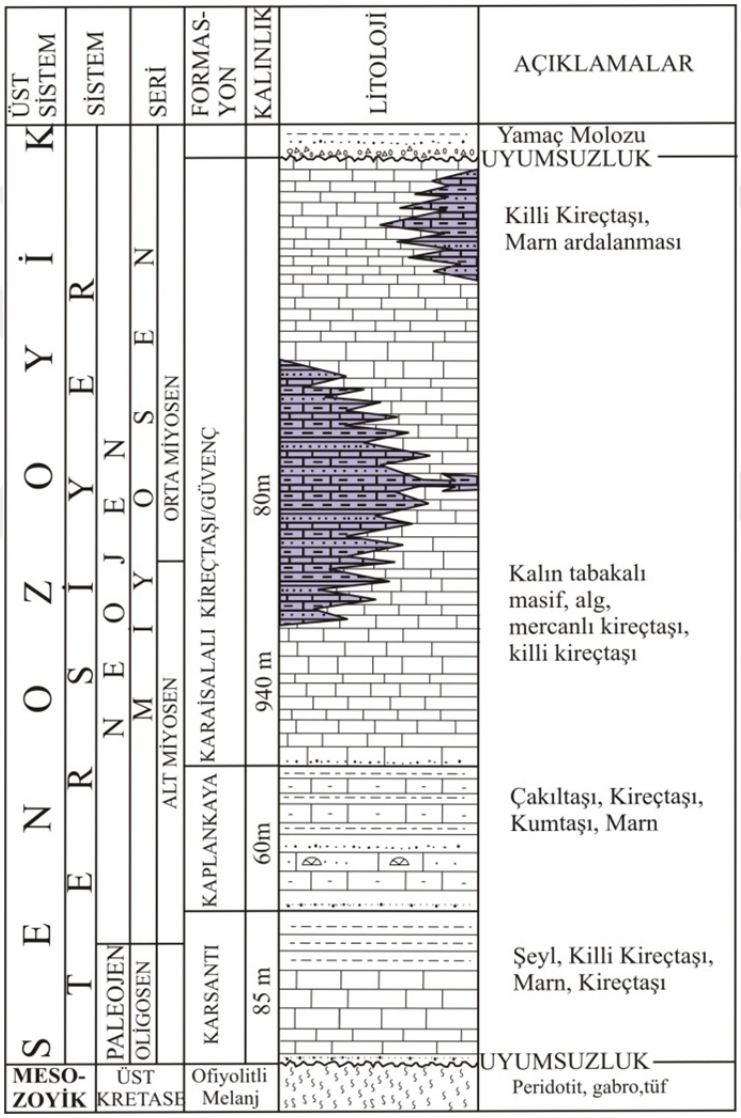
Şekil 4.10. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Yer Bulduru Haritası

4.1.1.2.(1). Bölgesel Jeoloji

Torosların Çukurova'ya bakan eteğinde Paleozoik ve Mesozoik yaşlı kayaçların oluşturduğu altı ayrı tektonostratigrafik birliğin yığışımından meydana gelmiştir (Şekil 4.11).

Toros dağları, stratigrafik ve kaya özellikleri bakımından birbirinden farklı havza koşullarında çökelmiş kayaç topluluklarının Alp Orojenezi sırasında tektonik olarak birbirleri üzerine yığışmasıyla oluşmuştur. Toros dağları, stratigrafik ve kaya özellikleri açısından birbirinden farklı havza koşullarında çökelmiş kayaç

topluluklarının Alp Orojenezi sırasında tektonik olarak birbirleri üzerine yığışmasıyla oluşmuştur. "Birlik" olarak da tanımlanan bu topluluklardan biri (Geyik Dağı Birliği) hariç diğer beşi (Aladağ, Alanya, Antalya, Bolkarlar ve Bozkır Birlikleri) allokton olarak mevcut yerlerine yerleşmişlerdir.



Şekil 4.11. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Civarının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Yetiş ve Demirkol, 1986)

4.1.1.2.(2). Çalışma Sahası Jeolojisi

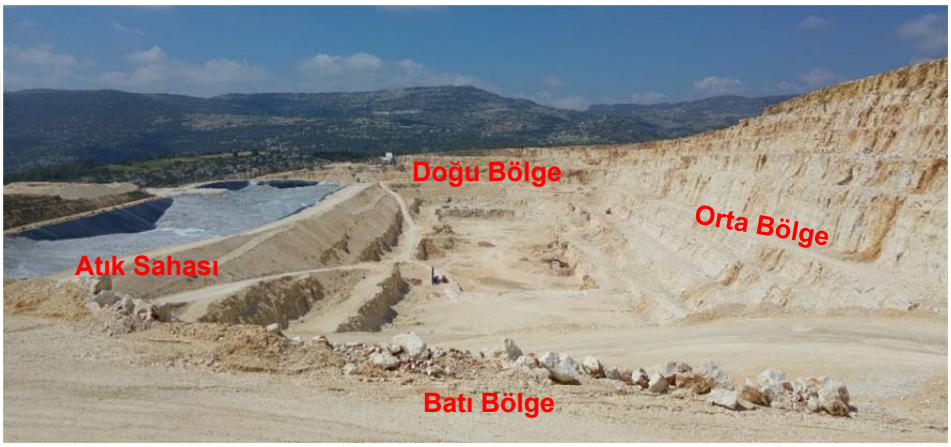
Çalışma sahası Orta Miyosen yaşlı kireçtaşı hakimdir. Karaisalı Formasyonu olarak da adlandırılan bu kireçtaşlarının altında yine Orta Miyosen yaşlı, çakıltaşı-kumtaşı birimlerinden oluşan Gildirli formasyonu; kiltaşı-marn kompozisyonuna sahip Kuzgun Formasyonu yer almaktadır. Sahanın kuzeybatı bölümlerinde Üst Kretase Karbonat çökelleri ile Mesozoik Ofiyolit Flişi kayaçlar Torosları oluşturan Birlik kayaçlarına mensup temel kayaçlarıdır.

Birliklerde yer alan kayaçlar Karbonifer'den Kretase'ye kadar yaş aralığını temsil etmektedirler. Toroslar'ın Mersin sınırları içinde kalan bölümünde bu altı birlikten üç tanesi (Aladağ, Bolkarlar ve Bozkır birlikleri) yer almaktadır. Dağoluş sürecinin (Alp Orojenezinin) tamamlanması ile birlikte Toroslar'ın su altında kalan bölümlerinde örtü birimleri adı verilen kayaçlar çökelmeye başlamıştır. Çukurova havzasında Oligosen'den Pliyosen sonlarına kadar devam eden bu döneme ait kayaçlar bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve genel olarak kabul gören beş formasyon adı altında toplanmıştır. Bunlar Handere, Kuzgun, Güvenç, Karaisalı ve Gildirli formasyonlarıdır. Bunlarında üzerinde Kuvaterner (güncel dâhil) döneminde devam eden alüvyon, delta, taraça, kumul vb gibi çökeller ile kaliçi oluşumları yer almaktadır (MTA, 2007). Bölge içerisinde gözlenen Gildirli Formasyonunun görünür kalınlığı 350 m, Karaisalı Formasyonunun görünür kalınlığı 5-500 m arasında, Güvenç Formasyonunun görünür kalınlığı 20-3230 m arasında, Kuzgun Formasyonunun görünür kalınlığı 200-1400 m arasında, Handere Formasyonunun görünür kalınlığı 600-700 m arasında olduğu belirlenmiştir. Proje alanından çıkarılarak işletilen Karaisalı formasyonuna ait kireçtaşının proje alanında görünür kalınlığı yaklaşık 90 m'dir (MTA, 2007).

4.1.1.2.(3). Çalışma Sahasının Mineralojik ve Petrografik Analizi

Çalışma sahası üretimin planlaması açısından yapısal olarak çok büyük farklılıklar göstermemesine rağmen doğu, batı ve orta olmak üzere üç gruba

ayrılmıştır (Şekil 4.12). Çalışma sahası jeolojik birimleri, bu birimlerin mineralojik ve petrografik özellikleri makroskobik, mikroskobik ve XRD analizleri ile Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. XRD analizleri Rigaku Flex II X-ray Diffractometer kullanılarak yapılmıştır. Taramalar $5^{o}<2\Theta<90^{o}$ aralığında 0,05 derece steple ve dakikada 1 derecelik hızla kaydedilmiştir.

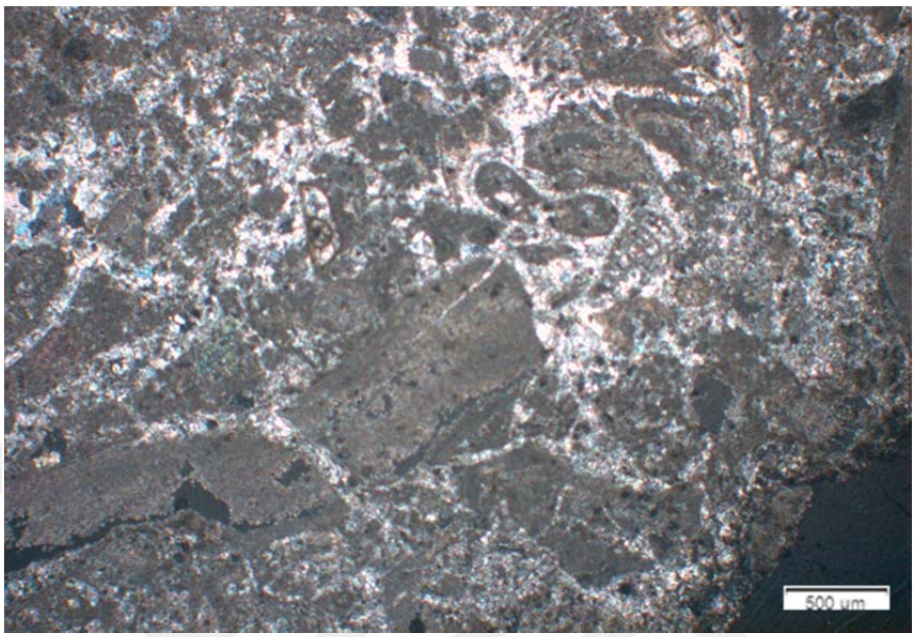


Şekil 4.12. Çalışma Sahası Genel Görüntüsü

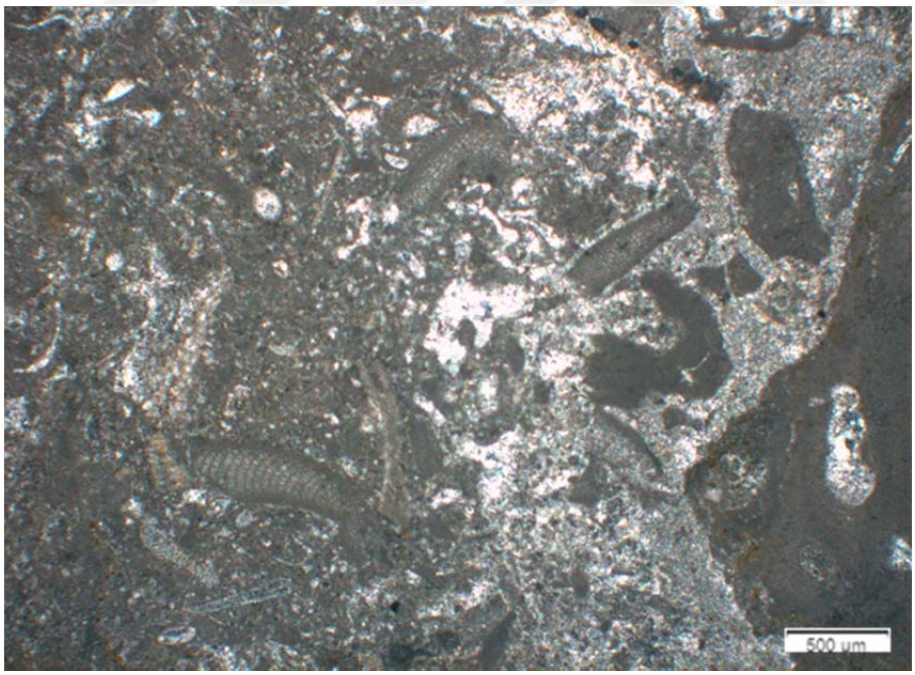
Doğu Bölgesi: Kalsitler matrislerin içerisinde iyice tutturulmuştur ve rekristalize olmuştur. Bol fosilli ve fosiller ileri derecede kalsitleşmiştir. Hamur maddesi mikritik kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Demir oranı oldukça düşüktür (Şekil 4.13).

Petrografik analiz sonuçları kayacın Folk 1962'ye göre introbiyosiparit ve Dunham 1962'ye göre tane taşı (fosil ile birlikte intraklastlar) olarak sınıflandırılmıştır.

Batı Bölgesi: Bol fosilli mikritik kireçtaşı, biyomikritik kireçtaşı olarak isimlendirilebilinir (Şekil 4.14). Petrografik analiz sonuçları kayacın Folk 1962'ye göre biyosiparit ve Dunham 1962'ye göre tane taşı (tane fosil bağlayıcılı sparit) olarak sınıflandırılmıştır.



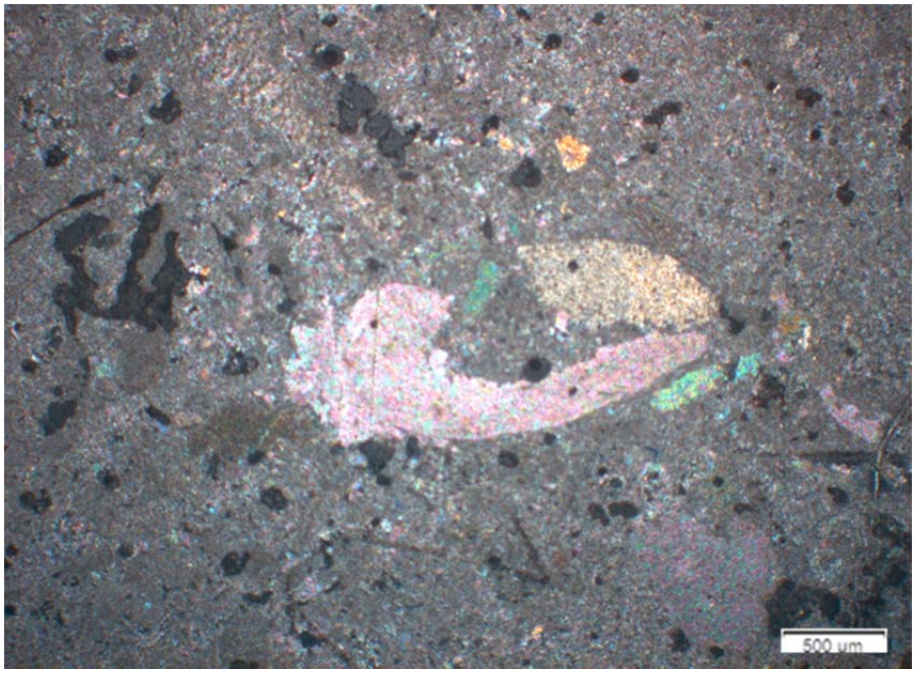
Şekil 4.13. Doğu Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü



Şekil 4.14. Batı Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

Orta Bölgesi: Mikritik kireçtaşı, fosil kavkıları kalsitleşmiştir. Kalsit kristalleri hamur maddesi olarak bulunmaktadır (Şekil 4.15).

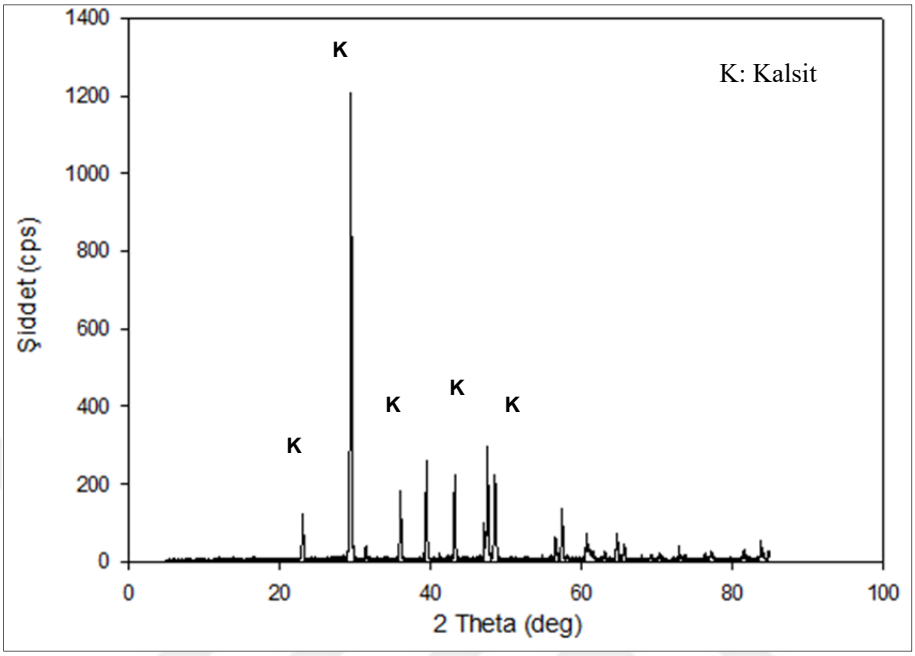
Petrografik analiz sonuçları kayacın Folk 1962'ye göre intrasparit ve Dunham 1962'ye göre vake taşı (intraklast) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.15. Orta Bölgesi Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

Çalışma sahasında incelenen bölgelerde formasyon farklılığı olmadığı görülmüştür. Saha içerisinde kayaç özellikleri ve çatlak kırık sistemleri değişim göstermiş olsada saha aynı oluşuma sahiptir.

Doğu, Batı ve Orta bölgelerin her üçüde XRD analizine tabi tutulmuş, sahada temel kayaç kalsiyum karbonat olduğundan üç bölgeninde XRD paterninin aynı olduğu gözlenmiştir. "Doğu", "Batı" ve "Orta" bölgeye ait numunelerin XRD paterni incelendiğinde; ana kayaç minerelinin kalsit olduğu görülmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Doğu-Orta-Batı bölgelerine ait XRD Kırınım Analizi

4.1.2. Görüntü İşleme Programı

Tez kapsamında kullanılan WipFrag programı Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm envanterinde bulunmaktadır. Program vasıtası ile hem blok hem de yığının parça boyut dağılımı belirlenebilmektedir.

4.1.2.1. WipJoint Yazılımı ile Blok Analizi

WipJoint yazılımı kayaç yüzeylerinde bulunan süreksizliklerin ve blok boyutunun modellenmesinde kullanılmaktadır. Patlatma öncesi patlatma aynasında bulunan çatlak yönelimleri belirlenmektedir. Süreksizlikler ve çatlaklar parçalanmada en önemli parametrelerdendir. Yerinde çatlak kırık sisteminin ve süreksizlik düzlemlerinin belirlenmesi oldukça zaman alan, emek ve tecrübe gerektiren işlemlerdir. Fakat görüntü işleme yöntemleri kullanılarak bu işlemi daha kısa sürede ve daha az iş gücü ile gerçekleştirmek mümkündür.

WipJoint yazılımının algoritması WipFrag yazılımının algoritmasından farklıdır. Görüntüler program içerisine kaydedilebilir ve tekrar tekrar kullanılabilir. Yazılım kullanılarak öncelikle görüntü içerisindeki ölçek boyutlandırılır. Daha sonra kenar oluşturma ve poligon yaratma işlemleri uygulanarak kenarların çatlak kırık sistemi tespit edilir ve poligonlar ile blok boyutunu belirlenmektedir. Kullanıcı isterse poligonlara ve kenarlara müdahale eder ve düzenlemeler yapabilir (WipFrag 2.7, 2010).

4.1.2.2. WipFrag Yazılımı

Günümüzde parçalamanın değerlendirilmesinde en etkin yöntem kayaç yığınlarından dijital görüntülerinin elde edilmesi ve bu görüntülerin dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlenmesidir. Patlatma sonrası parçalamanın kontrolü ve oluşan yığının parça boyut dağılımının hesaplanması için tek pratik metod budur. Maerz ve arkadaşları tarafından 1996 yılında kurulan WipWare Anonim Şirketi bünyesinde geliştirilen WipFrag yazılımı dijital dosyalar, videolar ve fotoğraflar üzerinden çalışabilmektedir (Maerz 1996 a,b).

Patlatmanın veriminin değerlendirilmesinde parça boyut dağılımın belirlenmesine yönelik kullanılan programlar gün geçtikçe gelişmeye devam etmekte ve kullanımları yaygınlaşmaktadır. Yazılımlarda çekilen fotoğraflar programa yüklendikten sonra otomatik bir algoritma yoluyla parçaların sınırları belirlenmekte ve bir parça boyut örüntüsü oluşturmaktadır. Oluşturulan örüntünün hata payını azaltmak için elle müdahale edilerek program içerisinde hatalı olan sınırlar düzeltilebilmektedir. Bu iki boyutlu parça ağını kullanan yazılım, geometrik olasılıkları ve stereoloji bilimini kullanarak üç boyutlu parça boyutuna geçmektedir. Burada parçaların iki boyutu kullanılarak, üç boyutlu gerçek boyutu tahmin edilmektedir (Maerz, 1996a).

Stereoloji bilimi; katı cisimlerin iki boyutlu kesitlerini kullanarak, bu cisimlere ait üçüncü boyutu araştırmaktadır.

Steorolojinin dayandığı temel parametreler şunlardır:

- Hacim içindeki parçaların dağılımı rastlantısal olarak gerçekleşmiştir.
- Eğer parçalar düzenli bir şekle sahip değillerse (küresel değillerse) rastgele olarak şekillenmişlerdir.
- Parçalar dışbükey olarak şekillenmiştir.

Buna ek olarak parçaların şekli konusunda en yakın şekil çözümü temel bir kabul olarak ortaya konmaktadır. Parçaların şekilleri küre, küp gibi temel şekillerle tanımlanır. Bir basitleştirme yapılarak hangi parçanın ona en benzer olan temel şekille tanımlanacağı kararlaştırılır. Parçaların büyük bölümü genel olarak küre şekliyle tanımlanmaktadır. Bugün birçok görüntü işleme programı parça boyutunu eşdeğer kürenin çapıyla vermektedir (Maerz, 1996a).

WipFrag programı iki boyutlu yüzey ölçümlerini matematik açılım fonksiyonları kullanarak hacme ve ağırlığa dönüştürmekte ve bu şekilde malzemeyi boyuta göre sınıflamaktadır. Bu hesaplama sırasında üç önemli problem belirli ölçüde program algoritmaları tarafından çözülmektedir. Bunlar parçaların üst üste gelmesi durumu, ince malzeme sorunu ve şekil etkisidir. Ölçümden sonra Rosin-Rammler (1933) veya Swebrec fonksiyonlarına bağlı olarak düzeltme yapılabilir. Program Rosin-Rammler (1933) düzeltmesi için Fn ve Fxc olarak iki düzeltme faktörü tanımlamaktadır. Görüntü işleme ile elde edilen ham verinin ‘n’ (üniformite katsayısı) ve ‘xc’ (karakteristik boyut) değerleri Fn ve Fxc parametreleriyle çarpılarak düzeltme yapılmaktadır. (Maerz ve Zhou, 1998). 0,5 ten 3’e kadar değişen üniformite değerleri için farklı düzeltme katsayıları kullanılmaktadır (Çizelge 4.1). Üniformite indeksi ve karakteristik boyut düzeltmesi ile yazılım düzeltilmiş eğriyi çizmektedir (Maerz ve Zhou, 2000 a,b).

Çizelge 4.1’deki b, X_{max} ve X_{50} Swebrec fonksiyonu ile ilgili düzeltmelerdir. Bilindiği gibi Swebrec (İsveç Patlatma Araştırmaları Merkezi)

Rosin-Rammler (1933) eğrisinin parçalanmayı doğru bir şekilde tanımlamadığını öne sürerek yeni bir eğri tanımlamıştır. Buna Swebrec Fonksiyonu adı verilmektedir (Ouchterlony, 2005a,b).

WipFrag yazılımı bu fonksiyona bağlı olarak da düzeltme yapabilir. X_{max} maksimum parça boyutunu, X_{50} ortalama parça boyutunu, b ise Swebrec eğrisi için şekil katsayısını vermektedir (Hüdaverdi, 2010). Tez kapsamında Rosin-Rammler (1933) eğrisi kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Wipfrag Yazılımı Düzeltme Katsayıları (WipFrag 2.7, 2010)

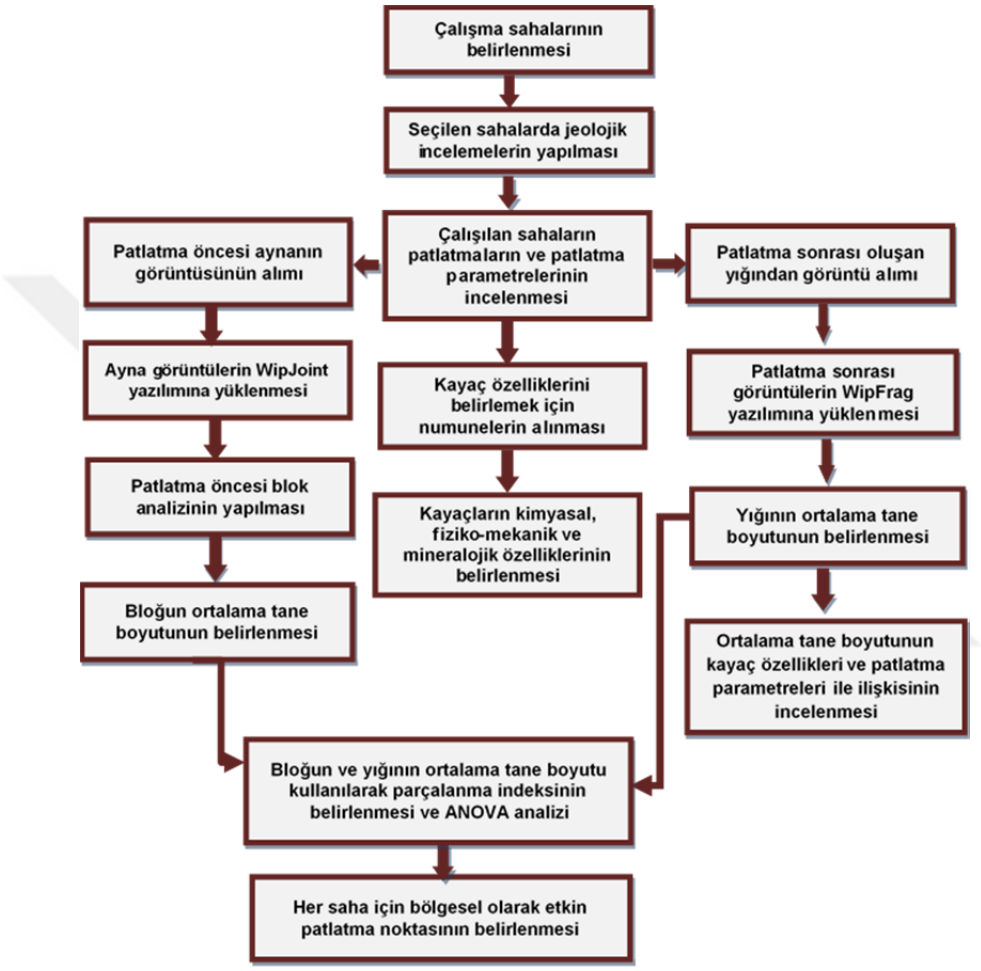
n	Fn düz.	Fxc düz.	b düz	Xmax düz.	x50 düz.
0,5	0,30	0,50	1,75	0,75	0,75
0,75	0,45	0,90	2,00	0,75	1,00
1	0,48	1,00	2,15	0,75	1,25
1,25	0,60	1,00	2,30	1,00	0,75
1,5	0,65	1,00	2,45	1,00	1,00
2	0,78	1,00	2,60	1,00	1,25
3	1,15	1,00	2,75	1,25	0,75
3	1,15	1,00	2,90	1,25	1,00
3	1,15	1,00	3,25	1,25	1,25

4.2. Metod

Tez çalışmasında kayaç özelliklerinin ve patlatma parametrelerinin ortalama parça boyutuna etkisi araştırılmış ve atımların parçalanma indeksi belirlenerek sahalardaki etkin patlatma noktaları belirlenmiştir. Tez kapsamında uygulanan işlem aşamaları Şekil 4.17'de verilmiştir.

Patlatma öncesi aynadan ve patlatma sonrası yığından fotoğraflar alınmış ve fotoğraflar WipFrag yazılımı ile analiz edilerek parça boyut dağılımları değerlendirilmiştir. Her patlatmada numuneler alınmış ve numuneler üzerinde mekanik, fiziksel, kimyasal, mineralojik ve petrografik analizler

gerçekleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.



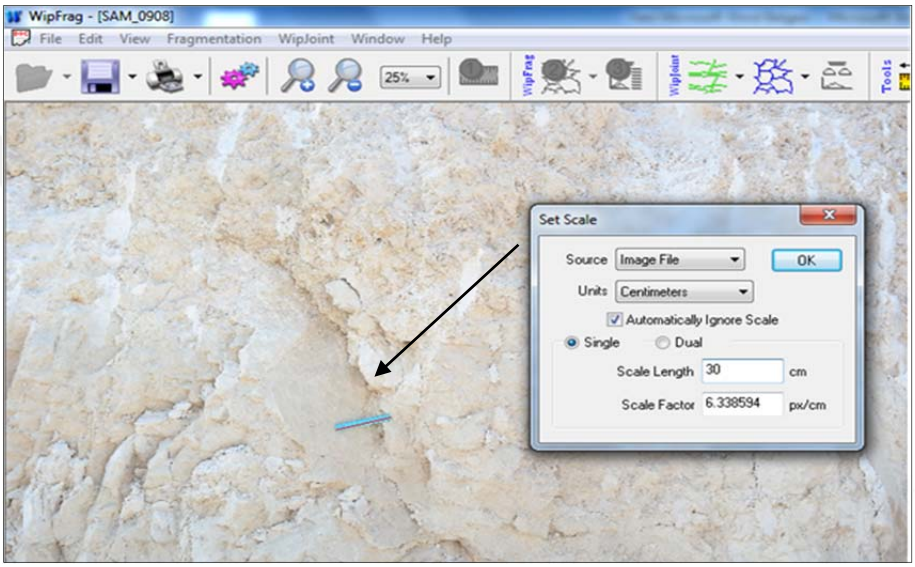
Şekil 4.17. Çalışmanın Akım Şeması

4.2.1. WipJoint Yazılımı ile Blok Analizi

Tez kapsamında yerinde blok boyut dağılımını belirlemek amacıyla WipJoint yazılımı kullanılmıştır. WipJoint yazılımında gerçekleştirilen blok analizi, parça boyut dağılımı ve çatlakların durumu belirlenirken gerçekleştirilen işlem aşamaları aşağıdaki alt başlıklarda verilmişitr (WipFrag 2.7, 2010).

4.2.1.1. Fotoğrafların veya Videoların Çekilmesi

Resimler veya videolar normal, dijital veya profesyonel fotoğraf makineleriyle çekilebilmektedir. Fotoğraflar patlatma yapılacak aynayı kapsamalı ve ölçekli olmalıdır. Ayrıca görüntü içerisindeki ölçek programdan boyutlandırılmalıdır (Şekil 4.18).

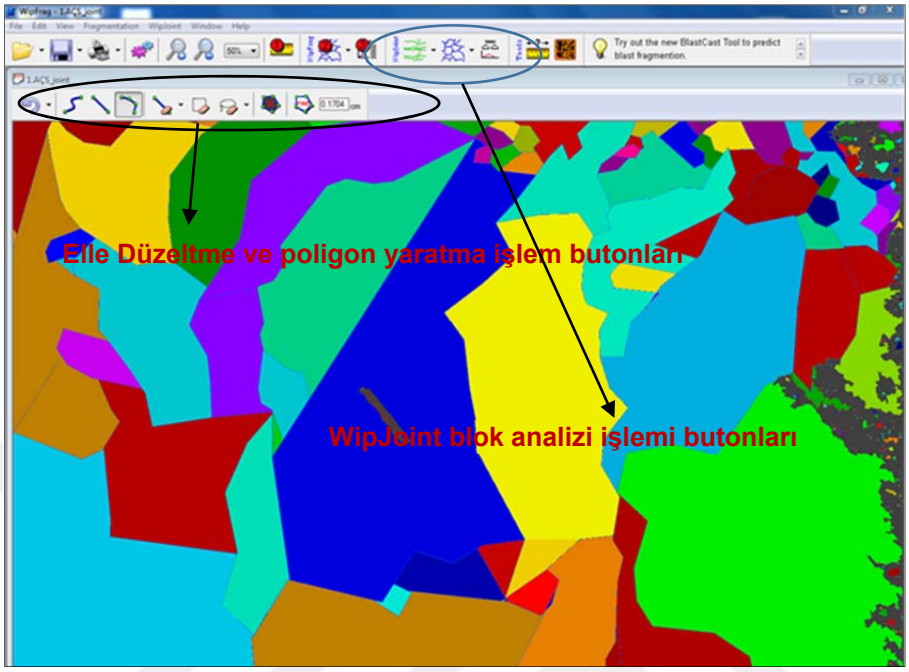


Şekil 4.18. WipJoint Blok Analizi için Çekilmiş Görüntü ve Ölçeklendirme İşlemi

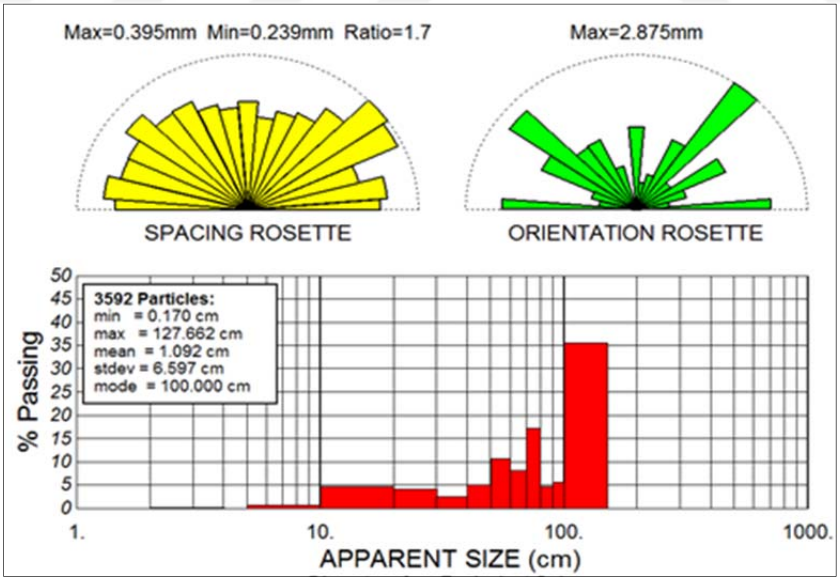
4.2.1.2. Blokların ve Çatlakların Analiz Edilmesi ve Program Çıktısı

Programa yüklenen görüntüler WipJoint yazılımı içerisinde açıldıktan sonra ölçek boyutlandırılır ve Şekil 4.19'da gösterilen işlem aşamalarından geçirilmektedir. Ayrıca sorunlu algılanan kenarlara istenirse elle müdahale edilebilmektedir (WipFrag 2.7, 2010).

Kenarlar bize çatlakları ve oluşturulan poligonlar ise blok boyutlarını oluşturmakta ve farklı renklerde blokları görselleştirmektedir. Son olarak analiz butonuna basılınca program arka planda istatistiksel analiz yaparak Şekil 4.20'de verilen grafik elde edilmektedir.



Şekil 4.19. WipJoint Yazılımda Blokların Oluşturulması ve Farklı Renklerde Gösterimi



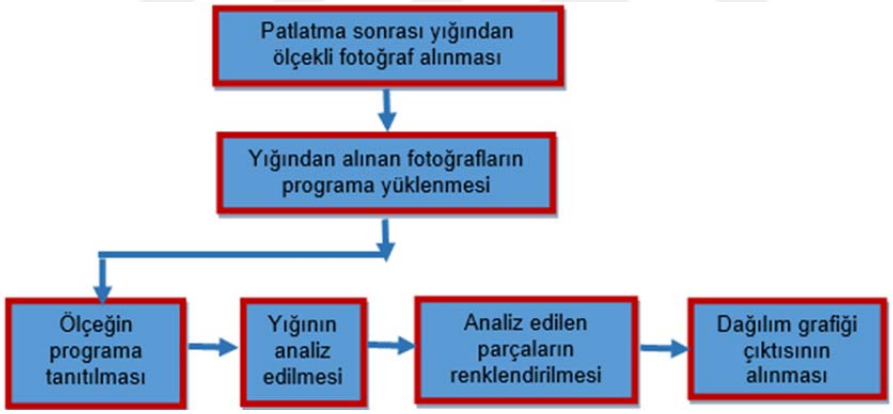
Şekil 4.20. WipJoint Programı Sonucunda Program Çıktısı

Elde edilen çıktı sonucunda en büyük ve en küçük blok boyutu ve blok dağılım grafiği görülmektedir. Ayrıca gül diyagramları şeklinde de bir sonuç gösterilmektedir. WipJoint yazılımı sonucunda elde edilen diyagramda;

- ***'Spacing Rosette'*** kavramı; yönlere göre çatlaklar arası mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca çatlaklar arasındaki en büyük, en küçük mesafe ve çatlak oranıda gül diyagramında görülmektedir.
- ***'Orientation Rosette'*** kavramı ise; çatlak yönelimlerini ifade etmektedir.

4.2.2. WipFrag Proğramı ile Parça Boyut Analizinin Aşamaları

WipFrag ile patlatma sonrası yığının parça boyut analizinin aşamaları Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. WipFrag Programının Analiz Aşamaları

4.2.2.1. Fotoğrafların veya Videoların Çekilmesi

Resimler veya videolar; normal, dijital, veya profesyonel fotoğraf makineleriyle çekilebilmektedir. Fotoğraflar yığına dik veya ölçekli olabilir. Eğer fotoğraf yığına dik değil ise fotoğraflama işlemi için iki ölçek kullanılmalıdır. Ölçekler yığının farklı bölgelerinde ve fotoğraf çekilen noktaya farklı uzaklıklarda

olmalıdır. WipFrag yazılımının otomatik eğim düzeltme özelliği kullanılarak analiz gerçekleştirilir. Şekil 4.22'de bir yığın fotoğraf örneği verilmiştir.

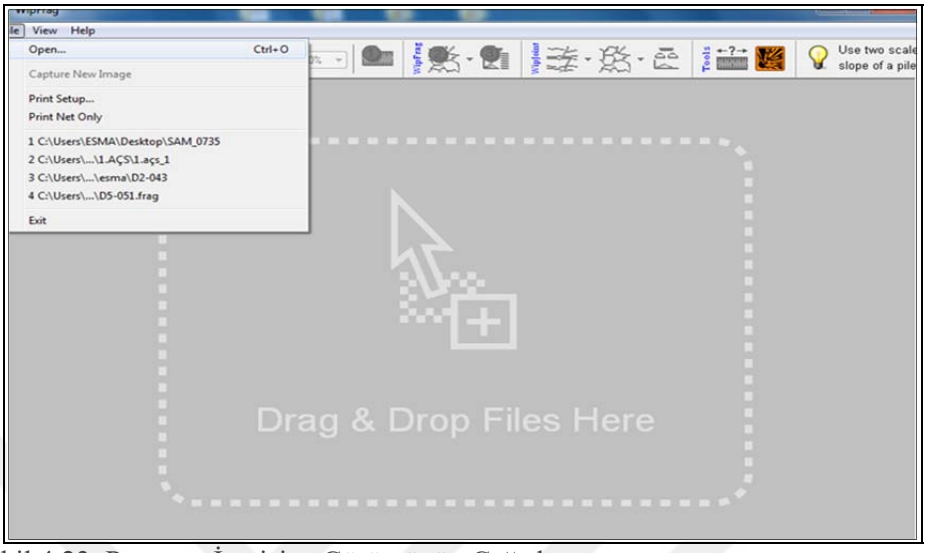


Şekil 4.22. Yığın Fotoğraf Örneği

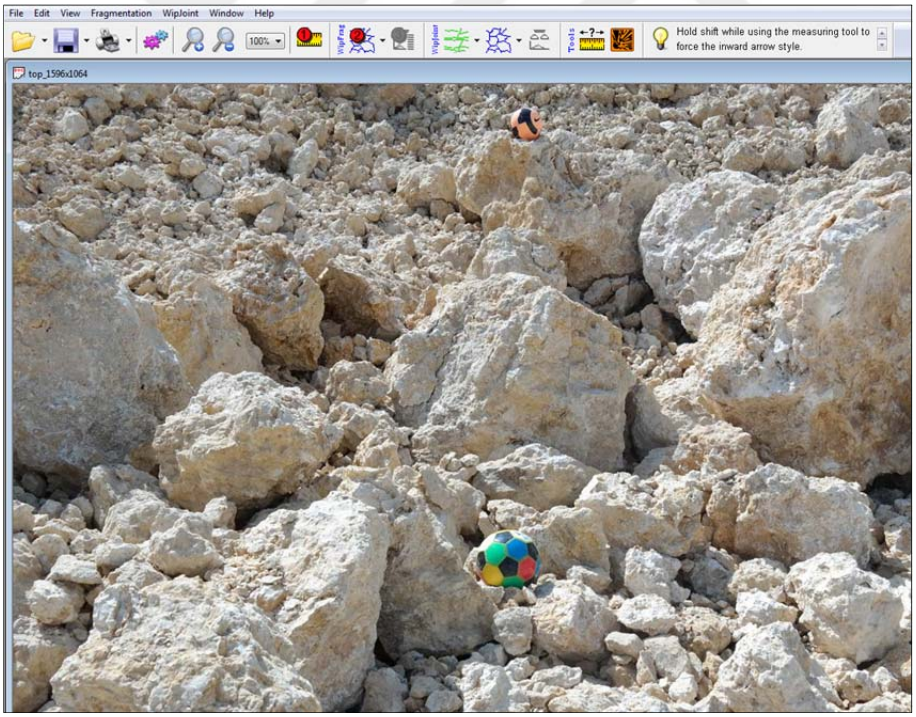
Görüntü alınacak yığın tek fotoğrafa sığmayacak kadar büyük olabilir. Böyle durumlarda yığını temsil edecek fotoğraflar alınması gerekmektedir. Yani yığın fotoğrafı bölünerek alınmalıdır. Bölünerek alınan fotoğraflar WipFrag yazılımında bulunan çoklu görüntü analizi (Merged) yapabilme yeteneği sayesinde analiz edilmektedir. Alınan fotoğraflar tek tek analiz edilmekte ve çoklu görüntü analizi sayesinde birleştirilebilmektedir. Böylelikle yığının tamamının parça boyut dağılımı belirlenmiş olacaktır.

4.2.2.2. Fotoğrafın Programa Aktarılması

Çekilen fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarılarak dosyalanır. Daha sonra WipFrag yazılı açılır ve Şekil 4.23'de göründüğü gibi 'File' menüsünden görüntü çağrılmaktadır. Program içerisine aktarılmış görüntü Şekil 4.24'de görülmektedir.



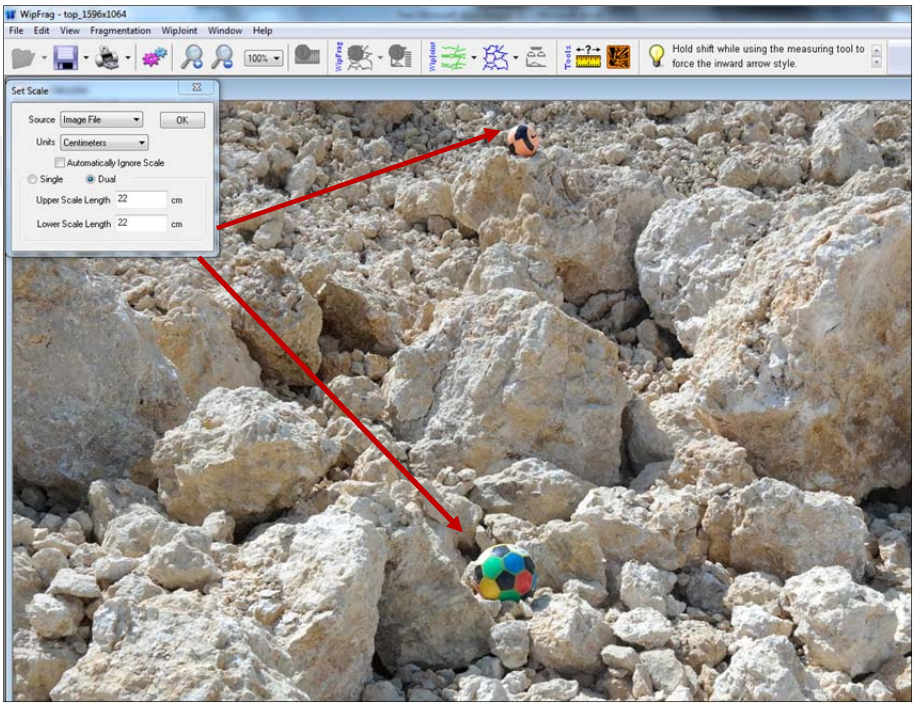
Şekil 4.23. Program İçerisine Görüntünün Çağrılması



Şekil 4.24. Fotoğrafın Program İçerinde Açılması

4.2.2.3. Fotoğrafların Ölçeklendirilmesi

Çekilen görüntüler eğimli ise çift ölçek, dik ise tek ölçek kullanılarak fotoğraflar çekilmelidir. Ölçek boyutları bilinmeli ve fotoğraflar yığını tamamen temsil edebilmelidir. Şekil 4.25'de ölçeklendirme penceresi görülmektedir. Çıkan pencerede 'Dual' ve 'Single' olmak üzere iki seçenek vardır.



Şekil 4.25. Ölçeklendirme Penceresi

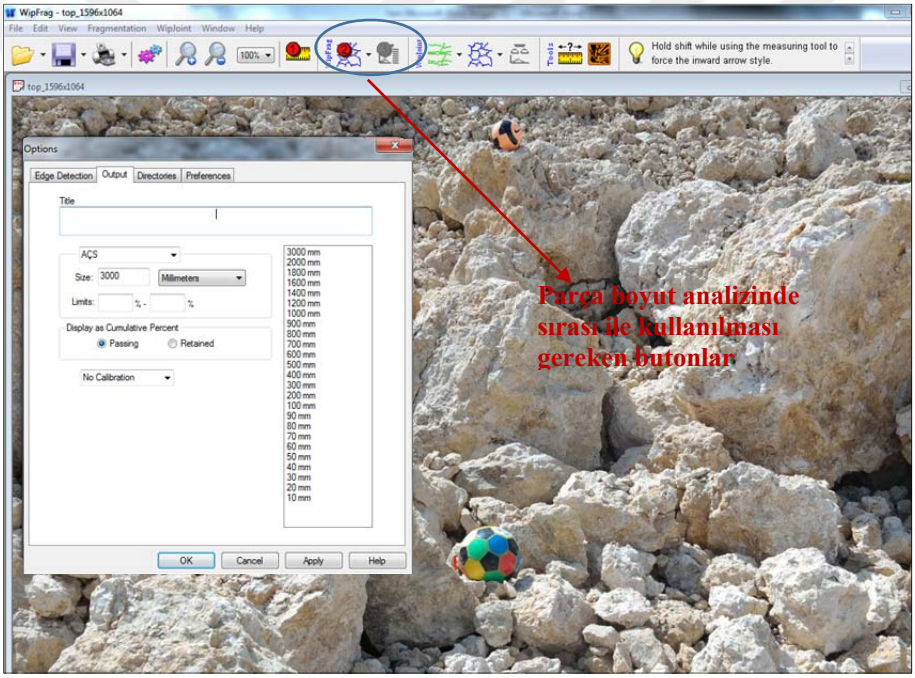
Single: Eğer boyutu belli malzememiz resimde bir tane ise bu seçenek kullanılır. Ancak fotoğraf yığınla malzeme yukardan dik olacak şekilde çekilmelidir

Dual: Boyutu belli malzememiz iki tane ise kullanılır. Fotoğrafın nereden çekildiğinin pek bir önemi yoktur. Çünkü burada kullanılan iki malzeme hem ölçeklendirme hem de uzaklık farkını işin içine sokar. Program otomatik eğim düzeltme faktörünü kullanır. İki seçenekten uygun olan seçilmelidir ve ölçeklendirme çubuğu yardımı ile ölçeğin boyutları girilmelidir.

Programda kullanılan ölçekler boyutlandırıldıktan sonra bu ölçeklerin yığın dağılımına dahil olmaması için "Automatically Ignore Scalas" seçeneği işaretlenmelidir. Böylece ölçekler yığın analizine dahil edilmeyecek ve parçalar analiz edilirken koyu gri olarak gözlemlenecektir.

4.2.2.4. Parçaların Analiz Edilmesi ve Program Çıktısı

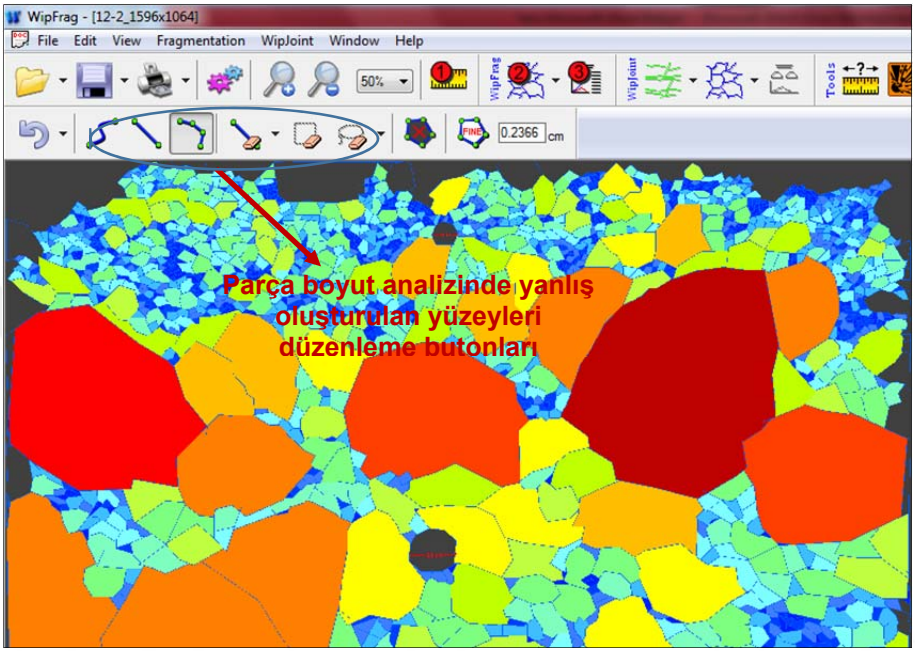
Görüntü programa yüklendikten sonra dağılım için istenilen parça boyut aralığının tanımlanması gerekmektedir (Şekil 4.26).



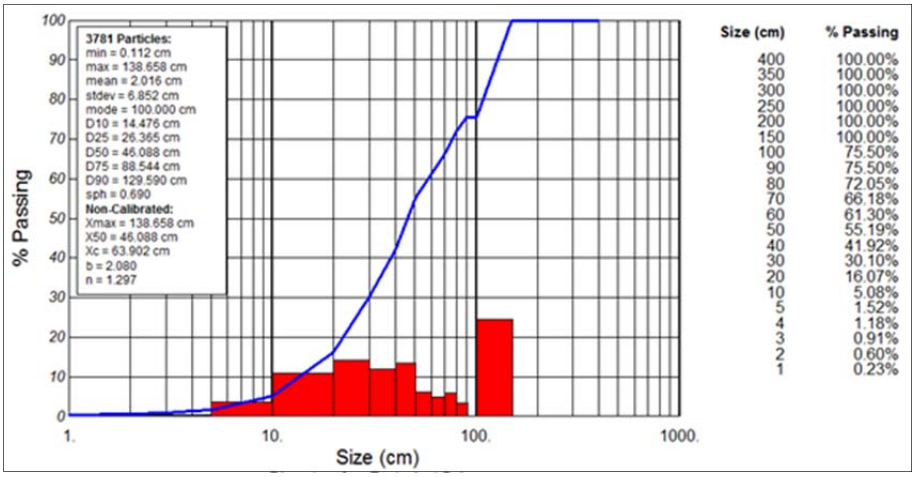
Şekil 4.26. Parça Boyut Aralığının Oluşturulması

Şekil 4.27'de gösterilen seçenekler sırası ile kullanılarak parça boyut analizi yapılmaktadır. Parça Boyut dağılım analizi sonunda yanlış oluşturulan parçalara elle müdahale edilebilmektedir. Kullanıcı tarafından analize müdahale edilebilmesi için silme, yeniden boyutlandırmak için çizme ve poligon oluşturma seçenekleri mevcuttur. Boyut dağılımına göre aynı tane boyutu aralığındaki

parçalar aynı renkte ve farklı tane aralığındaki parçalar farklı renkte oluşmakta ve program parça boyut dağılım eğrisi oluşturmaktadır (Şekil 4.28).



Şekil 4.27. Dağılım için Parça Yüzeylerinin Oluşturulması ve Renklendirilmesi



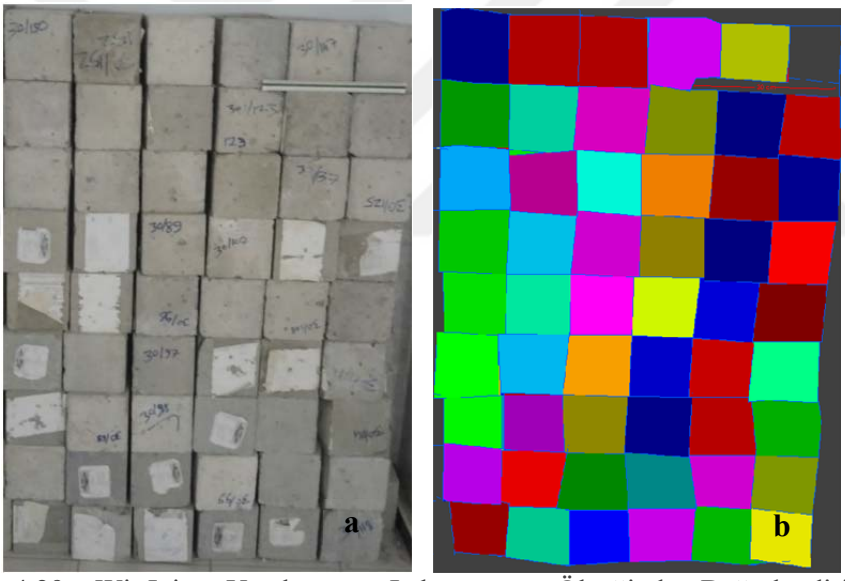
Şekil 4.28. Görüntüden Elde Edilen Parça Boyut Dağılım Grafiği

Elde edilen grafik program çıktısı olarak jpeg, pdf, tiff gibi istenilen formatta kaydedilebilmektedir. Ayrıca boyut analizi parça boyut verileri kopyalanarak kullanılabilmektedir.

4.2.3. Programın Laboratuvar Ölçeğinde Test Edilmesi

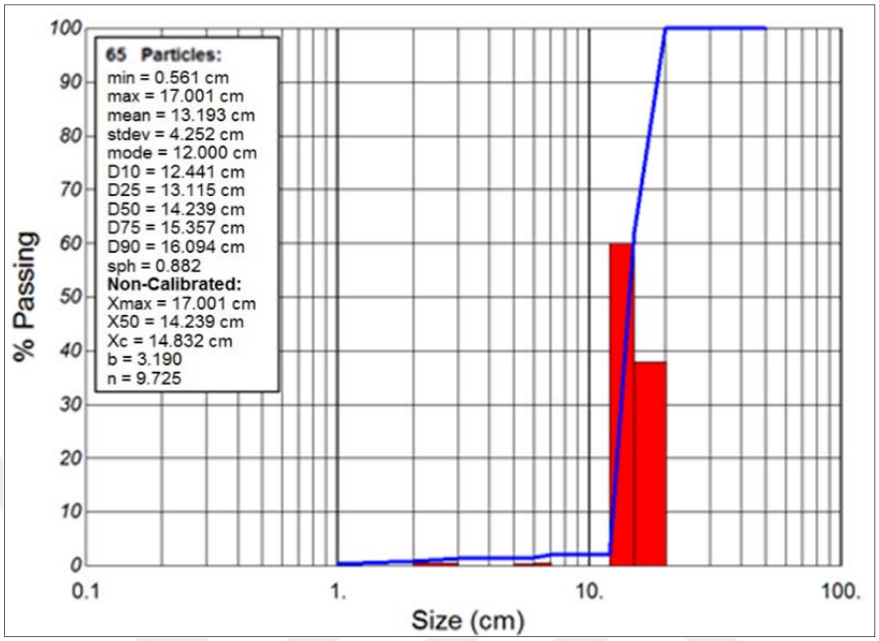
4.2.3.1. WipJoint Programının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi

Yazılımın güvenirliğini tespit etmek açısında bölüm laboratuvarlarımızda bulunan boyutları belli (15x15cm) beton bloklar üst üste konularak bir patlatma aynası gibi düşünülmüş ve değerlendirme yapılmıştır. Programa yüklenen resim ve program tarafından renklendirilen çıktı Şekil 4.29'da verilmiştir.

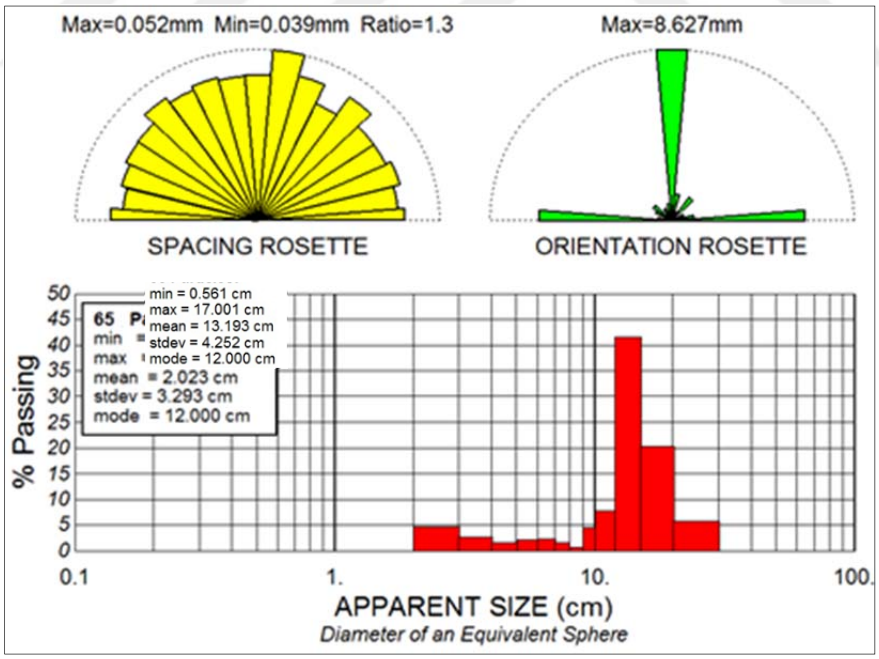


Şekil 4.29. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi (a) Kullanılan Görüntü ve (b) Yazılımda İşlenmiş Görüntü

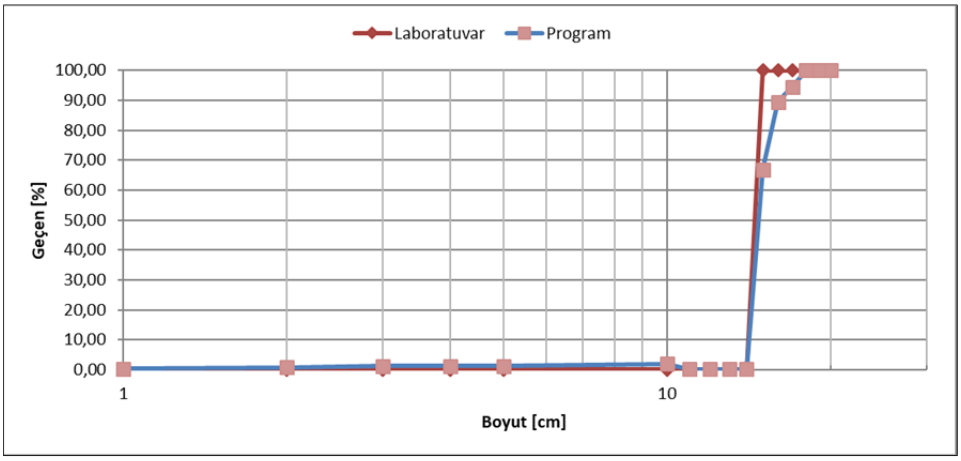
Programdan WipJoint analizi ile alınan görüntü laboratuvarda gerçekleştirilen blok analizi karşılaştırılmıştır. Program sonucu elde edilen dağılım grafiği Şekil 4.30'da, ayna analiz diyagramı Şekil 4.31'de ve karşılaştırma sonucu elde edilen grafik Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.30. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeği ile Karşılaştırılması



Şekil 4.31. WipJoint Yazılımının Diyagram Çıktısı



Şekil 4.32. WipJoint Yazılımının Laboratuvar Ölçeği ile Karşılaştırılması

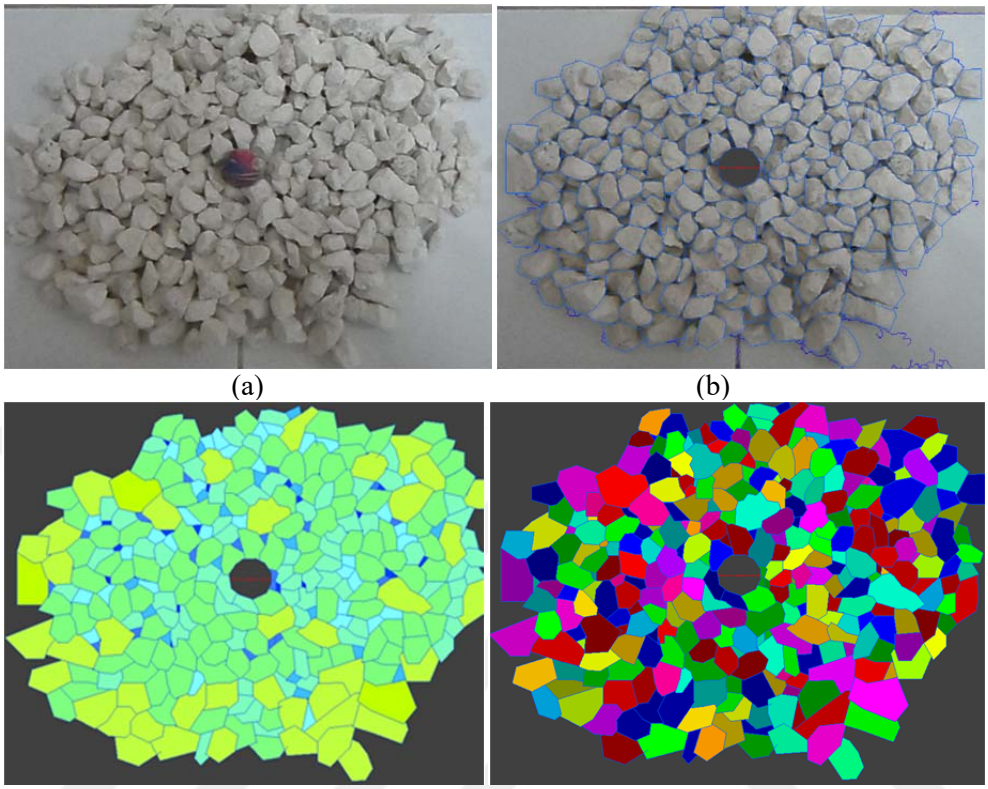
Alınan görüntüde ortalama tane boyutu sabit olup 15 cm'dir. Programdan elde edilen analiz sonucunda elde edilen dağılım eğrisi de çok yakın benzerlik göstermiştir. Program tarafından yapılan analizde ortalama tane boyutunun 14,239 cm olduğu görülmüştür. Fakat betonların üzerinde bulunan küçük boşluklar da analize tabi tutulduğundan çok az da olsa sapmaya sebep olmuştur.

4.2.3.2. WipFrag Programının Laboratuvar Ölçeğinde Değerlendirilmesi

WipFrag yazılımın doğruluğunu belirlemek amacıyla Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kırma eleme laboratuvarında laboratuvar ölçekli test yapılmıştır. Bir miktar numunenin öncelikle ölçekli fotografı alınarak programda parça boyut dağılımı belirlenmiştir (Şekil 4.33).

WipFrag analiz sonucu Şekil 4.34'de verilmiştir. Aynı numune üzerinde elek analizi yapılarak iki sonuç birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.35). Böylelikle elek analizi ile Wipfrag analizi arasındaki sapma bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Sapmalara bakıldığında yazılımın iyi bir sonuç verdiği ve sapmaların %5'den düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum programın doğruluğunun yüksek olduğuna işaret etmektedir.



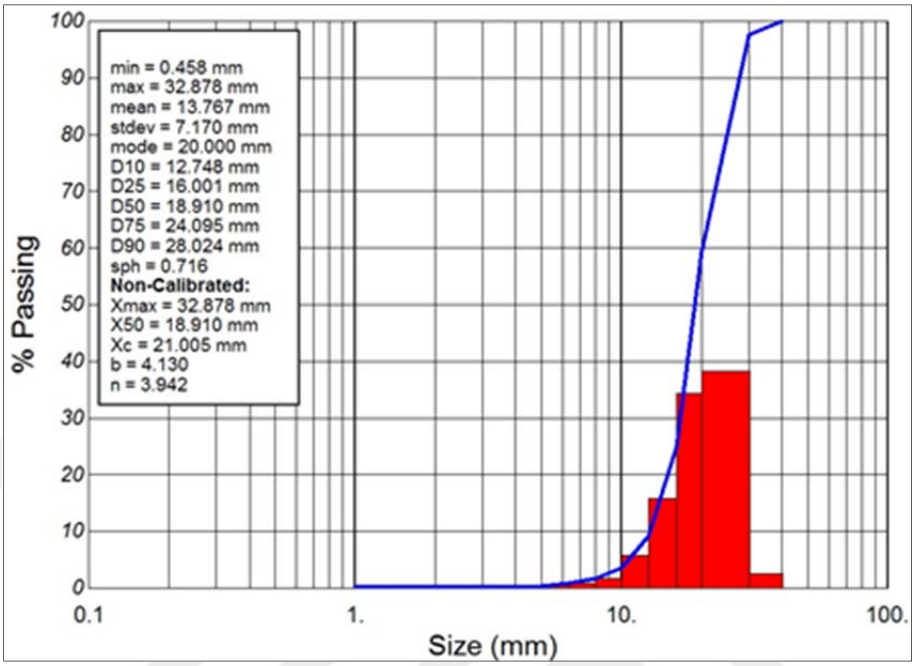
(a) (b)

(c) (d)

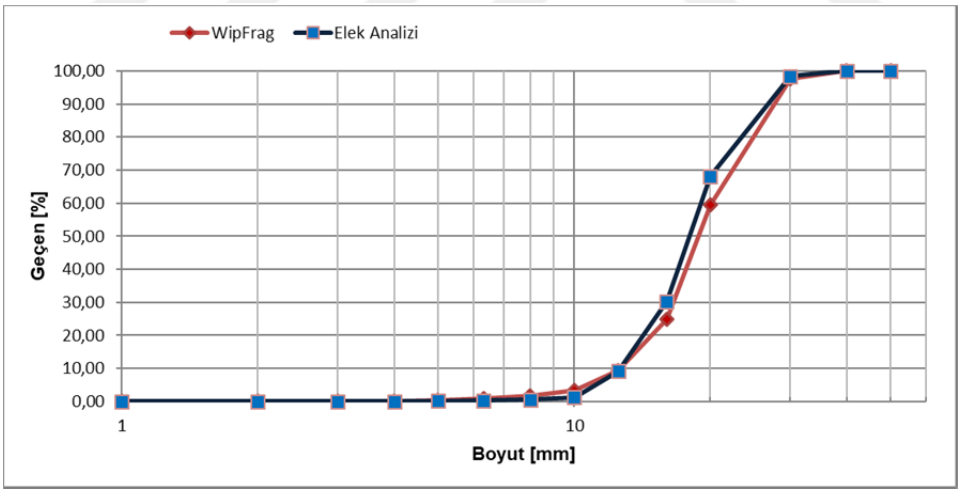
Şekil 4.33. Laboratuvar Ölçekli WipFrag Analizi (a) Ölçekli Görüntü, (b) Kenar Sınırlarının Belirlenmesi, (c) Boyutlarına göre Parçaların Renklendirilmesi, (d) Parçaların Rastgele Renklendirilmesi

Çizelge 4.2. Elek Analizi ile Wipfrag Analizi Dağılımlarının Sapması

D_{10} (mm)	WipFrag	12,748	Fark	% Sapma
	Elek	12,512	0,239	1,88
D_{25} (mm)	WipFrag	16,001	Fark	% Sapma
	Elek	15,458	0,543	3,51
D_{50} (mm)	WipFrag	18,910	Fark	% Sapma
	Elek	18,640	0,27	1,44
D_{75} (mm)	WipFrag	24,095	Fark	% Sapma
	Elek	23,010	1,85	4,71
D_{90} (mm)	WipFrag	28,024	Fark	% Sapma
	Elek	27,840	0,184	0,66



Şekil 4.34. Laboratuvar Ölçeğinde Yapılan Deneyin WipFrag Analiz Sonucu



Şekil 4.35. Elek Analizi ile WipFrag Analizinin Karşılaştırılması

4.2.4. Uygulanacak Deneyler

Tez kapsamında kayaç numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik, kimyasal ve minarolojik deneyler uygulanacaktır.

4.2.4.1. Fiziksel Deneyler

4.2.4.1.(1). Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık tayini kayaç örneğini bağıl yoğunluğunun ölçümü ile ilgilidir ve TS 699'a uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Çalışma sahasının farklı bölgelerinden yaklaşık 2 kg temsili numune alınır kırıcıdan geçirilir ve konileme-dörtleme ile azaltılır. 0,2 mm açıklığındaki elekten elenerek agat havanda öğütülür. Sabit tartıma gelinceye kadar 105±5°C sıcaklıkta etüvde kurutularak, oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde soğutulur.

Deney esnasında; piknometre, cam plaka, pipet**, e**tüv, terazi ve desikatör kullanılmaktadır. Konileme-dörtleme yöntemiyle azaltılmış numuneden yaklaşık 50-150 gr numune alınır. Kuru piknometre 0,01 g duyarlılıkta tartılır (W_1). Desikatörde soğutulmuş numuneden bir miktar piknometre içerisine konularak tartılır (W_2). Oda sıcaklığından en çok ±2°C farklı olan saf su, piknometrenin yarısı dolana kadar doldurulur ve içindeki hava kabarcıklarının çıkarılması amacıyla iyice karıştırılır. Sonrasında piknometredeki suyun üstündeki köpüğün konik kesimin altına takılıp kalmamasına özen göstererek, kapağın tepesine kadar suyla doldurulur ve kapak kapatılırak piknometre dış yüzeyi iyice kurulandıktan sonra, 0,01 g hassasiyette tartılır (W_3). Tartım alındıktan sonra piknometre boşaltılır, iyice temizlenir ve vidalı kapağın tepesine kadar oda sıcaklığındaki saf suyla doldurulur ve piknometre dış yüzeyi yeniden kurutulduktan sonra 0,01 gr hassasiyette tartılır (W_4). Deneyin güvenilirliği için işlem bir kez daha tekrarlanır ve Eşitlik 4.1 ile hesaplanır (Gündüz, 1996).

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (4.1)$$

Burada;

Gs: Özgül ağırlık (Bağıl yoğunluk),

W_1: Piknometre ağırlığı (g),

W_2: (Piknometre+deney numunesi) ağırlığı (g),

W_3: (Piknometre+deney numunesi+su) ağırlığı (g),

W_4: (Piknometre+su) ağırlığı (g)'dır.

4.2.4.1.(2). Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık, kaya karot, küp veya dikdörtgenler prizması şeklinde örneklerin kütlesel ağırlığının (boşluklar dahil) tayini amacıyla yapılmıştır (TS EN 1097/6, 2013).

Deney esnasında kumpas (0,1 mm hassasiyetli), terazi (0,1 g hassasiyetli) ve etüv (105±5°C) kullanılmaktadır. Çalışma sahasından alınan örneklerden karot, küp veya düzgün prizmatik numuneler hazırlanmalı ve numunelerin yüzeyinin pürüzsüz olmasına dikkat edilmelidir. Hazırlanan numunelerin boyutları hacim hesaplamak amacı ile ölçülmelidir. Numunenin kuru birim hacim ağırlığı belirlenecek ise 105±5°C etüvde 12 saat kurutulur ve tartımları alınır. Doygun birim hacim ağırlığı belirlemek için ise numunelerin yüzeyi tamamen kapanacak şekilde su doldurulur ve 24 saat suda bekletilir. 24 saat suda bekleyen numunenin yüzeyindeki su havlu peçete yardımıyla kurulanır ve tekrar tartımı alınır. Eşitlik 4.2 yardımıyla kuru ve doygun birim hacim ağırlıkları hesaplanır.

$$\rho = \frac{W}{V} \tag{4.2}$$

Burada;

ρ: Birim hacim ağırlık (g/cm^3),

W: Örnek ağırlığı (g),

V: Örnek hacmi (cm^3)'dir.

4.2.4.1.(3). Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme

Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi kayaç örneklerinin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşlukların alabileceği su miktarının saptanması amacıyla yapılır. Deney esnasında kumpas (0,1 mm. hassasiyetle), saf su (450 ml), terazi (0,1 g hassasiyetle) ve etüv (105±5°C kapasiteli) kullanılmaktadır (TS EN 1097/6, 2013).

Kayaç örneğinin hacimlerinin hesaplanabilmesi için yüzeyleri kumpas yardımı ile ölçülür ve hacimleri hesaplanmalıdır. Örnekler saf su içerisinde tüm yüzeyleri su ile kaplanacak şekilde en az 12 saat bekletilmelidir. 12 saat sonunda örnekler saf su içerisinden çıkarılarak, suya doygun yüzeyler kağıt havlu ile hafifçe kurulandıktan sonra ıslak ağırlıkları hassas terazide tartılır. Örnekler, sıcaklığı 105°C'ye ayarlanan etüvde en az 12 saat kurutulduktan sonra hassas terazide tartılır. Daha sonra ağırlıkça ve hacimce su emme oranları Eşitlik 4.3 ile hesaplanır.

$$A_w = \frac{(W_d - W_k)}{W_k} \times 100 \quad (4.3)$$

Burada;

W_d: Suda doyurulmuş örnek ağırlığı (g),

W_k: Kuru örnek ağırlığı (g),

A_w: Ağırlıkça su emme oranı (%)'dır.

4.2.4.1.(4). Porozite ve Boşluk Oranı

Düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin (porozitesinin) ve boşluk oranının saptanması amacıyla yapılmaktadır. Deney esnasında cam beher, ölçüm kumpas aleti (0,1 mm hassasiyetle), saf su (beheri dolduracak miktarda), kâğıt havlu, desikatör, terazi (0,1 g hassasiyetle) etüv (105 ± 5^{0}C) kullanılmaktadır. Deney öncesi silindirik veya prizmatik kayaç örneğinin yüzeyleri ölçülmelidir. Örnekler, sıcaklığı 105^{0}C'ye ayarlanmış fırında en az 12

saat kurutulduktan sonra havadan nem almadan soğuması için 30 dakika desikatörde tutulduktan sonra hassas terazide tartılarak kuru ağırlığı belirlenmelidir. Numune su dolu beherin içinde 48 saat bekletilmeli veya en az 1 saat süreyle 800 Pa'dan düşük bir vakum altında suya doygun hale getirilmelidir. Daha sonra kâğıt havlu ile yüzey, kurulanıp hassas terazide tartılarak doygun ağırlığı belirlenmelidir (Bu aşamanın gözeneklere giren suyun buharlaşmasına engel olmak için mümkün olduğunca hızlı yapılması zorunludur.) Aşağıdaki Eşitlik 4.4 yardımıyla porozite hesaplanır.

$$n=\frac{V_p}{V_t} \tag{4.4}$$

Burada;

n: Porozite,

V_p: Kayanın boşluk hacmi,

V_t: Kayanın toplam hacmidir.

4.2.4.2. Mekanik Deneyler

4.2.4.2.(1). Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, belirli bir yüke karşı kayaçların kırılmadan önceki maksimum dayanabilme yeteneği olarak tanımlanabilmektedir. Deney numunesi düzgün geometrik şekilli küp, prizma veya karot şeklinde olabilmektedir. Karot numunelerinde boy/çap oranının 2-2,5 arası olması istenmektedir. Deney esnasında hidrolik pres (Şekil 4.36), kumpas (0.1 mm hassasiyetle) ve etüv (105 ± 5^0C) kullanılmaktadır (TS 699, 2009).

Hidrolik pres numune üzerine düşey olarak yük uygulayabilecek ve uygulanan yükü ölçerek gösterebilecek bir sistemden oluşmaktadır. Deney numunesinin alanını belirlemek için yük uygulanacak alanın ölçümleri kumpas yardımıyla yapılmalıdır.



Şekil 4.36. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Cihazı

Hidrolik basınç ünitesinin ortasına yerleştirilen numuneye yük uygulanmaya başlanır ve kırılma yükü kaydedilerek Eşitlik 4.5 yardımı ile tek eksenli basınç dayanımı değeri bulunur.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \tag{4.5}$$

Burada;

σ_b: Kayacın basınç mukavemeti (kgf/cm^2),

P: Kırılmaya sebep olan en büyük yük (kgf),

A: Kayacın yük uygulanan yüzünün alanı (cm^2)'dır.

4.2.4.2.(2). Brazilian Deney Yöntemiyle Dolaylı Çekme

Kayaç numunesinin dolaylı çekme gerilmesinin bulunması amacı ile yapılmaktadır. Deney esnasında hidrolik pres (yükleme hızı ayarlanabilen tipte), kumpas (0,1 mm hassasiyetle), etüv (105±5^{0}C) ve çekme dayanımı aparatı (Şekil 4.37) kullanılmaktadır.

Numune hidrolik aleti tarafından büyük basınca maruz kalmaktadır ve numunenin yenilme değeri kaydedilerek Eşitlik 4.6 yardımıyla malzemenin teorik olarak dolaylı çekme dayanımı hesaplanmaktadır (Teymen, 2005).

$$\sigma_{ç}=\frac{2P}{\pi \times D \times L} \tag{4.6}$$

Burada;

$\sigma_{ç}$: Numunenin Brazilian çekme dayanımı (kg/cm^2),

P: Numunenin yarılma yük değeri (kg),

D: Numunenin çapı (cm),

L: Numunenin kalınlığı (cm)'dır.



Şekil 4.37. Brazilian Dolaylı Çekme Aparatı

Teorik olarak hesaplanan Brazilian çekme dayanımı değeri her zaman malzemenin gerçek çekme dayanım değerinden büyük çıkmaktadır. Literatürdeki neticelere göre bu ifade ile elde edilen çekme direnci malzemenin gerçek çekme direncinden daha büyüktür. Bu yüzden aşağıda uygulanan yöntem ile malzemenin çekme dayanımını saptamak daha güvenilir olacaktır.

Deney için yükleme çeneleri, ölçüm kumpası (0,1 mm. hassasiyetinde), yükleme presi (yükleme hızı ayarlanabilen tipte), tercihen küresel yükleme başlığı kullanılır. Deneyde kalınlık/çap oranı 0,5-1,0 arasında olacak şekilde (tercihen bu oran 1'e yakın olmalıdır), sağlam ve çatlaksız karot örneğinden kesilerek disk şeklinde deney örnekleri hazırlanır. Örneğin kalınlığı ve çapı kumpas kullanılarak birbirine dik ve iki farklı yönde ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınır. Yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde, örnek yükleme başlığının altına konan çenelerin arasına yerleştirilir. Numune üzerine düşey yük devamlı ve sabit bir yükleme hızıyla uygulanır. Yükleme hızının; 0,2 kN/saniye (20,4 kgf/sn) olarak, zayıf kayaları 15–30 saniyede kıracak şekilde uygulanması önerilmektedir. Örneğin, yenildiği andaki yük (P) presin göstergesinden okunur. Kayacın çekme dayanımı Eşitlik 4.7 yardımıyla hesaplanır (Teymen, 2005).

$$\sigma ç = ((0{,}636 \times P)/Dt) \times 10^{-3} \quad (4.7)$$

Burada;

$\sigma_ç$: Numunenin çekme dayanımı (kg/cm^2),

P: Numunenin yenildiği andaki yük değeri (kg),

D_t: Numunenin çapı (cm)'dır.

4.2.4.2.(3). Nokta Yük Dayanımı

Kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yük dayanım indeksinin saptanması amacıyla yapılır. Nokta yük dayanım indeksi tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde de kullanılır. Nokta yük dayanım cihazı Şekil 4.38'de verilmiştir. Bu deney;

- Çapsal deney (Karot eksenine dik yönde yapılan yükleme),
- Eksenel deney (Karot eksenine paralel yönde yapılan yükleme),

- Blok, düzensiz ve anizotropik örneklerde yapılan deneyler olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir.



Şekil 4.38. Nokta Yük Dayanım Cihazı

Bu yüzden hem silindirik hem de blok ve düzensiz şekilli örnekler kullanılabilmektedir. Deney TS 699'a uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu aşağıdaki Eşitlik 4.8 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$I_s = P/D_e^2 \quad (4.8)$$

Burada;

P: Yenilme yükü (kN)

D_e: Eşdeğer karot çapı olup aşağıda verilen yöntemlerle hesaplanır.

- Çapsal deneyde: $D_e^2 = D^2$

- Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise: De=4A/π [A=W.D] (Konik başlıkların temas noktaları boyunca örnek en küçük kesit alanı).

Boyut düzeltmesinde Is değeri, çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise De'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle Is değeri eşdeğer bir karot çapına (D:50 mm.) göre düzeltilmiştir. Bu maksatla düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ve boyut düzeltme faktörü aşağıdaki Eşitlik 4.9 ve Eşitlik 4.10 yardımı ile hesaplanır.

$$Is_{50} = F \times Is \tag{4.9}$$

Boyut düzeltme faktörü (F);

$$F= (D_e/50)^{0.45} \tag{4.10}$$

4.2.4.2.(4). Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı; standart boyutlardaki kayaçların belirli bir doğrultuda, darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Kayacın darbe dayanımlarının belirlenmesi için numune boyutları 40x40x40 mm boyutlarında hazırlanmalıdır (TS 699). Darbe dayanım deney düzeneği kullanılarak yapılmaktadır. Darbe dayanımı deney düzeneğine numune yerleştirilir ve bunun üzerine çelik plaka yerleştirilir. Deney tokmağının düşürüleceği yükseklik aşağıda verilen Eşitlik 4.11 yardımıyla hesaplanır ve hesaplanan yükseklikten düşürülür. Şekil 4.39'da darbe dayanım cihazı görülmektedir.

Kayacın darbe dayanımı ise Eşitlik 4.12 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H = 0{,}04 \times V \tag{4.11}$$

$$D_n = n \times (n+1) \tag{4.12}$$

Burada;

H: Tokmağın düşme yüksekliği (cm),

V: Deney numunesinin hacmi (cm^3),

D_n: Numunenin darbe dayanımı (Nmm/mm^3),

n: Kırılmaya sebep olan darbe sayısıdır.



Şekil 4.39. Darbe Dayanım Cihazı

Birinci darbeden sonraki takip eden her darbede düşme yüksekliği, bir evvelki yüksekliğin, ilk düşme yüksekliği (H) kadar arttırılmasıyla elde edilir. Deney numunesi kırılıncaya kadar bu işleme devam edilir ve darbe sayısı tespit edilir. Düşme yüksekliğinin arttırılmasına rağmen geri sıçrama miktarı artmaz veya azalmazsa; kırılma, çatlama veya pullanma olursa deney numunesi kırılmış sayılır. Bu son darbe, darbe sayısının (n) hesaplanmasında dikkate alınmaz.

4.2.4.2.(5). Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı; kiriş şeklindeki numunelerin eğilme gerilmelerine karşı gösterdiği dirençtir. Doğal yapı taşlarının kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda plakalar şeklinde olduğundan eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü, plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe kayacın eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir. Numuneler tabakalaşma yönü dikkate alınarak 50x100x200 mm boyutlarında en az 5 adet hazırlanmaktadır. Plaka şeklinde numuneler deney düzeneğindeki gibi numuneler arası açıklık 180 mm olacak şekilde deney presi tablaları arasına, yükleme ortadan uygulanabilecek biçimde yerleştirilir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Eğilme Dayanım Cihazı

Deney numunesi üzerine yaklaşık 5 kg'lık bir yük verilerek mesnetlerin tam yerleşmesi ve oturması sağlanır. Sonrasında yük artışı dakikada 450 kg'ı geçmeyecek şekilde artırılarak, kırılma anındaki yük değeri kaydedilir ve yükleme yüzeyi ile plaka kalınlığı çizgisinin oluştuğu noktada ölçülür. Bulunan sonuçlar aşağıdaki Eşitlik 4.13'te yerine konarak eğilme dayanım değeri hesaplanır.

$$\sigma_{eg} = (3 \times P \times L)/(2 \times b \times h^2) \quad (4.13)$$

Burada;

$\sigma_{eğ}$: Kayacın eğilme dayanımı (kg/cm^2),

P: Kırılmaya neden olan en büyük yük (kg),

L: Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi (cm),

b: Deney numunesinin genişliği (cm),

h: Deney numunesinin kalınlığı (cm)'dır.

4.2.4.2.(6). Çift Makaslama Dayanımı

Kayaçların dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden biri de makaslama dayanımıdır. Bu dayanım; kayacın makaslama gerilmeleri karşısındaki direncidir. Deneyin amacı; kaya numunelerinin en yüksek ve kalıcı direk makaslama dayanım değerlerinin makaslama düzlemine dik olarak etki eden gerilmelerinin fonksiyonu olarak belirlemektir. Ayrıca bu deney ile kayaçların kohezyon ve içsel sürtünme açıları da kayacın kesme dayanımı üzerinde etkili olmaktadır. Çift makaslama dayanım deneyi, çift makaslama kutusu ve tek eksenli basınç dayanımının yapıldığı hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 4.41).

Numune makaslama kutusu içerisindeki numune kanalına yerleştir ve kayaç üzerine numune kırılıncaya kadar baskı uygulanır. Kırıldığı an maksimum yük kaydedilerek Eşitlik 4.14 ile kayaç için geçerli olan makaslama dayanım değerleri hesaplanır.

$$\tau = \frac{P}{2 \times A} = \frac{2 \times P}{\pi \times D^2} \quad (4.14)$$

Burada;

τ: Sağlam kayacın makaslama dayanımı (MPa),

P: örneğe uygulanan en yüksek makaslama yükü (kN),

A: Silindirik örneğin dairesel kesit alanı (mm^2),

D: Örneğin çapı (mm)'dır.



Şekil 4.41. Çift Makaslama Deney Aparatı

Her bir kayaç için, 42 mm çapında ve 70 mm uzunluğundaki, en az beş adet numune kullanılarak ISRM (1981)'de belirtildiği şekilde deneyler yapılmaktadır.

4.2.4.2.(7). Schmidt Sertliği

Betonun mukavemetinin ölçülmesi için tasarlanmış olan Schmidt Çekici kayaçlar için de uyarlanmıştır (Bilgin, 1989). Schmidt çekici hem laboratuarda hem de arazide kullanılan bir sertlik deneyi aleti olup, kayaçların kazılabilirliği hakkında hızlı bir şekilde bilgi vermektedir. Laboratuar örnekleri 152x76 mm boyutunda olmalıdır. Deney aleti kapalı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır (Şekil 4.42). Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekiç üzerindeki göstergeden okunur ve Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Schmidt Çekici deneyi hesaplamalarında farklı uygulamalar olup bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- Bir noktada 10 vuruş yapılır ve en yükseği alınır.
- Birbirine yakın 5 noktada 1'er vuruş yapılır ve en yüksek 3 değerin ortalaması alınır.
- 25 mm'den yakın olmamak şartıyla bir alanda 15 ayrı vuruş yapılır ve en yüksek 10 değerin ortalaması alınır.
- 100 m^2 alanda 10 ayrı vuruş yapılır ve ortalamadan ±5 sapan değerler atıldıktan sonra kalan değerlerin ortalaması alınır.
- 9 ile 25 arasında yapılan vuruşların ortalaması alınır.
- Bir nokta üzerinde üst üste 5 vuruş yapılır ve en yüksek değer alınarak yapılmaktadır (Bilgin, 1989).



Şekil 4.42. Schmidt Sertliği Çekici

4.2.4.2.(8). Aşınma (Los Angeles) Dayanımı

Deneyde kullanılan numune -14+12,5 mm aralığındadır ve kütlesi 5000±5 g'dır. İç çapı (711±5 mm) ve iç uzunluğu (508±5 mm) olan tambur şeklindeki Los Angeles deney makinesi kullanılmaktadır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Los Angeles Deneyi Cihazı

Tambur içerisine önce bilyeler, sonra deney numunesi konulur, kapak kapatılır ve makine 31-33 dev/dak arasında sabit hızda 500 devir döndürülür. Los Angeles katsayısı (LA) Eşitlik 4.15'den hesaplanmaktadır (TS EN 1097-2/D1, 2016).

$$LA= (5000-m)/50 \quad (4.15)$$

Burada;

LA: Los Angeles katsayısı,

m: 1,6 mm'lik elek üzerinde kalan fraksiyon (g)'dur.

4.2.4.2.(9). Sonik Hız Deneyi

Bu deney, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuarlardaki tespitinde kullanılır. Deney silindirik ve/veya kübik olarak

hazırlanan deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca deney numunelerinin deneye tabi tutulacak yüzeyinin pürüzsüz olarak düzeltilmesi gerekmektedir. Hazırlanan numunenin kumpas yardımı ile hassas bir şekilde boyu ölçülür ve kaydedilir. Alt ve üst yüzeyleri hassas şekilde düzeltilmiş örneklerin bu yüzeylerine gres yağı sürülerek sismik analizatörü iki transdüser (alıcı-verici) arasına verici yerleştirilerek aletinin kalibrasyonu yapılır (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Sonik Hız Ölçüm Cihazı

Sonrasında deney numuneleri her iki transdüser uçları arasına yerleştirilerek, P ve S dalga hızlarının örneği bir uçtan diğer uca geçmesi için gerekli net süreler belirlenerek kaydedilir. Eşitlik 4.16 yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılmaktadır.

$$Vp = L/T \quad (4.16)$$

Burada,

V_p: P Dalgasının yayılma hızı (m/sn),

L: Deney örneğinin boyutu (mm),

T: Dalganın etkin ilerleme zamanı (ms)'dır.

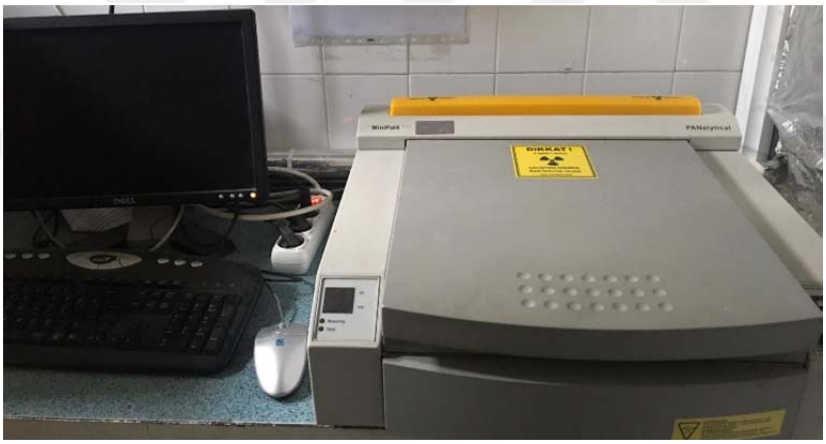
Ultra sonik hız deneyi sonucunda kayaçların P (boyuna dalga boyu) ve S (enine dalga boyu) dalga hızları belirlenerek, dinamik elastisite modülü, rijitlik modülü, bulk modülü ve poisson oranı da çeşitli eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir (Gündüz ve ark., 1996).

4.2.4.3. Kimyasal Analizler

Kimyasal analizler X Işını Floresans Spektrometresi (XRF), yaş analiz ve atomik absorpsiyon cihazı yardımıyla tespit edilebilmektedir.

4.2.4.3.(1). X Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

X-ışınları Floresans (XRF) spektrometresi elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biridir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Cihazı

XRF Spektrometresi ‘Si, Al, Ti, Mn, Mg …’ gibi ana elementleri ‘Rb, Ba, Sr …’ gibi eser elementleri, ‘Cr, Ni, Co, Cu, Zn’ gibi geçiş elementlerini, ‘La, Ce, Pr, Nd …’ gibi nadir toprak elementlerini oksit olarak ağırlıkça yüzde (%) cinsinden analiz edebilmektedir. Atom numarası 9 ile 92 arasında olan elementlerin kantitatif analizini yapar. Atom numarası 9’un altında olan elementleri inceleyemez**.** Kimyasal bağ derecesinde yeterince hassas değildir. Bundan dolayı

net sonuç vermeyebilirler. Daha net sonuçlar için gravimetrik (yaş) yöntemler uygulanmalıdır. Cihaz ana ünite ve bilgisayardan oluşmaktadır ve XRF genelde 50kV ve 50mA'da çalışmaktadır.

4.2.4.3.(2). Gravimetrik (Yaş) Analiz

Numune farklı çözücü asit karışımları (Kral suyu gibi) ile çözeltiye alınmaktadır ve her element için farklı titrasyon işlemleri ile içeriği belirlenebilmektedir. Ayrıca az miktarda bulunan elementlerin tayini de aynı çözeltilerin atomik absorpsiyon (AAS) cihazında aranılan elementin standartı kullanılarak belirlenebilmektedir. Yaş analiz ile daha hassas sonuçlar elde edilmektedir.

4.2.4.4. Petrografik ve Mineralojik Analizler

Kayaçların çeşitli içyapı ve özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan petrografik ve mineralojik analiz, kayaçların karakterizasyonu hakkında önemli bilgiler vermektedir. Kayaçların sertlik, kırılganlık, kesilebilme, kazılabilme gibi pek çok parametrelerinin bilinmesine ışık tutmaktadır. Analizler gözle, büyüteç yardımı ile mikroskopla yapılabilmektedir. Ayrıca daha gelişmiş olarak X-Ray Diffraction (XRD) ile de mineralojik analiz yapılabilmektedir.

4.2.4.4.(1). X Işını Difraktometresi (XRD)

X Işını Difraktometresi (XRD) X-ışını denilen ultraviyole ışından daha kuvvetli fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. Çalışma prensibi olarak örneğe X ışını göndererek kırılma ve dağılma verilerini toplaması şeklindedir (Şekil 4.46). Optik mikroskobik yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte incelenecek olan numune ideal tane boyutuna gelene kadar öğütülerek toz hale getirilmekte ve XRD analiz cihazları ile mineraller analiz yapılmaktadır.



Şekil 4.46. X Işını Difraktometresi (XRD) Cihazı

4.2.4.4.(2). Mikroskopla İnceleme

Kayaçların mikroskop ile mineralojik ve petrografik analizleri metalik örnekler için parlak kesitler ve metalik olmayan numuneler için ince kesitler hazırlanmalıdır. Hazırlanan kesitler binoküler ve polorizan mikroskop altında incelenmekte ve kayaç içeriği, yapısı ve dokusu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

- **Binoküler Mikroskop ile İnceleme:** Kayacın parlatılmış yüzeyinde binoküler ile inceleme yapılmaktadır. Ocaktan alınan örnek, kayacın litolojik yapısına göre iki yönlü olarak kesilip parlatılmaktadır. Kesit binoküler mikroskop altında incelenmeli, mineral cinsleri, boyutları, mineraller arasındaki ilişkiler, boşluk, çatlak özellikleri ve boyutları ile iyi parlamayan kısımların dağılımı saptanmaya çalışılmaktadır. Renk oluşumları ve homojenliği incelenmektedir.

- **Polarizan Mikroskobuyla İnceleme:** Kayaçta mevcut şeffaf minerallerin incelenmesi için petrografi mikroskobu kullanılmaktadır. Kayaçtan,

petrografik inceleme için hazırlanmış ince kesit petrografi mikroskobunda içinden geçen ışının kazandığı özelliklerin saptanmasıyla tanımlanmaktadır. Burada kayacı oluşturan minerallerin cinsleri, kristal boyutları, mineraller arasındaki dokusal ilişkiler, gözeneklilik, kılcal çatlakların varlığı, çatlak ve damar dolgu tip ve karakterleri ile mineral çatlak ve damar yönlenmeleri, bozunma ürünleri ve dağılımları saptanmaktadır (Bozkurt, 1989).

4.3. İstatistiksel Analiz Yöntemleri

4.3.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Yani değişkenlerden birisi belirli bir birim değiştiğinde diğerinin nasıl bir değişim gösterdiğini incelemektedir. Regresyon analizi ile:

- Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki var mıdır?
- Eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin gücü nedir?
- Değişkenler arasında ne tür bir ilişki vardır?
- Bağımlı değişkene ait ileriye dönük değerleri tahmin etmek mümkün müdür? Nasıl tahmin edilmelidir?
- Belirli koşulların kontrol edilmesi durumunda özel bir değişken veya değişkenler grubunun diğer değişken veya değişkenler üzerindeki etkisi nedir ve nasıl değişir? gibi sorulara cevap aranmaya çalışılır (Anonim, 2013).

Bağımlı Değişken (y): Bağımlı değişken, regresyon modelinde açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır (Anonim, 2013).

Bağımsız Değişken (x): Bağımsız değişken, regresyon modelinde açıklayıcı değişken olup, bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılır (Anonim, 2013).

4.3.1.1. Basit Regresyon Analizi

Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X) arasındaki bağıntıyı inceleyen yönteme basit regresyon adı verilmektedir. Y = a+bX biçiminde ifade edilen modele basit doğrusal regresyon adı verilir. Basit doğrusal regresyon modelinde bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki fonksiyonel bağıntısı Eşitlik 4.17 ile gösterilir (Biçkici, 2007).

$$Y = X\beta+\varepsilon \qquad 4.17$$

Bu modelde;

Y: (n×1) boyutlu bağımlı değişken gözlem vektörü,

X: (n×(p+1)) boyutlu bağımsız değişken gözlem matrisi,

β: ((p+1)×1) boyutlu katsayılar vektörü,

ε: (n1) boyutlu hata vektörüdür.

4.3.1.2. Çok Değişkenli Regresyon Analizi

Bir bağımlı değişkeni etkileyen iki veya daha fazla bağımsız değişken bulunduğu, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerini doğrusal bir modelle açıklanmaya çalışıldığı ve bu bağımsız değişkenlerin etki düzeylerini belirlemek için yararlanılan yöntemdir (Özdamar, 2004).

Çoklu doğrusal regresyon modeli; basit doğrusal regresyon modelinde bir bağımlı bir bağımsız değişken yer almakta iken, çoklu regresyon modelinde ise; bir bağımlı ve bağımlı değişkeni etkileyen birden fazla bağımsız değişken yer almaktadır. Örneğin, bir bağımlı değişkeni etkileyen üç bağımsız değişken söz konusu olduğu zaman kestirimlerde kullanılacak regresyon denklemi Eşitlik 4.18'de verilmiştir (Biçkici, 2007).

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\varepsilon \quad 4.18$$

Bu modelde,

Y: Bağımlı değişken,

X: Bağımsız değişken,

ε: Hata terimi olarak tanımlanır.

Modelde β'lar bilinmeyen parametrelerdir. Örneklem regresyon denklemiyle kestirimler elde edilir. β_0 ise sabit terimdir.

4.3.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konur. Varyans analizinde amaç incelenen faktörlerin kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe neden olduklarını ortaya koyabilmektir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir (Çetin, 2010). Varyans analizinin yapılabilmesi için bir takım varsayımlar gerekmektedir (Winer, 1971). Bu varsayımların homojenlik, normallik ve toplanabilirlik gibi parametrik öğeler olduğu bilinmektedir (Ferguson, 1981). İncelenen gruplararası farkın olduğu durumlarda, farklılığın hangi gruptan kaynaklı olduğunu tespit eden istatistik Post-Hoc olarak bilinmektedir (Köklü ve ark., 2006; Roscoe, 1975). Araştırmada gruplar içerisinde farklılık yaratan grup ya da grupları tespit etmek üzere birçok Post-Hoc istatistiği bulunmakla birlikte, bunların doğru bir şekilde seçimi bazı varsayımlar gerektirmektedir. Post-Hoc'lara ait istatistik türlerinin seçiminde önemli unsurlardan olan gruplararası varyansın eşit olup-olmama ve örneklem sayılarının eşit olup-olmama durumu önem arz etmektedir (Ramig, 1983).

Çoklu aralık testleri, grup ortalamalarına ilişkin homojen alt setler oluşturarak, gruplardan farklı olanları tespit etmeye çalışmaktadır. Çoklu karşılaştırma testleri ise her grubu sırasıyla diğer gruplarla teker teker kıyaslar ve

bir karşılaştırma matrisi elde etmektedir (Kayri, 2009). Varyansların eşit olmaması durumunda seçilebilecek post-hoc testleri Çizelge 4.3'de ve varyansların eşit olması durumunda seçilebilecek Post-Hoc testleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Varyansların Eşit Olmaması Durumunda Seçilebilecek Post-Hoc İstatistikleri (Kayri, 2009)

Post-Hoc	Örneklem Eşit	Örneklem Eşit Değil
Games–Howell	X	X
Tamhane's T2	X	X
Tamhane's T3	X	X
Dunnet's C	X	X
Dunnet's T3	X	X

Çizelge 4.4. Varyansların Eşit Olması Durumunda Seçilebilecek Post-Hoc İstatistikleri (Kayri, 2009)

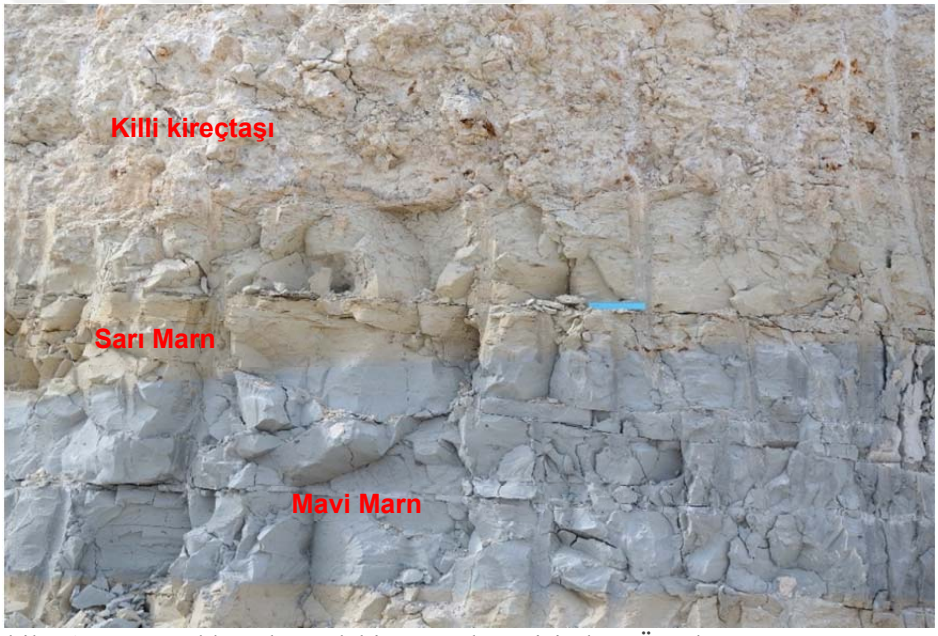
Test Türü	Post-hoc	Örneklem Eşit	Örneklem Eşit Değil
Çoklu Karşılaştırma Test İstatistikleri	LSD		X
	Sidak		X
	Bonferroni		X
	Tukey HSD	X	
	Hochberg's GT2	X	
	Gabriel		X
	Scheffe		X
Çoklu Aralık Test istatsitikleri	SNK	X	
	Tukey's B	X	
	Duncan		X
	R-E-G-W-F	X	
	R-E-G-W-Q	X	
	Waller Duncan		X
	Dunnet	X	

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Adana Çimento Sanayi Çaldağı Hammadde Sahasındaki Çalışmalar

5.1.1. Arazi Gözlemleri

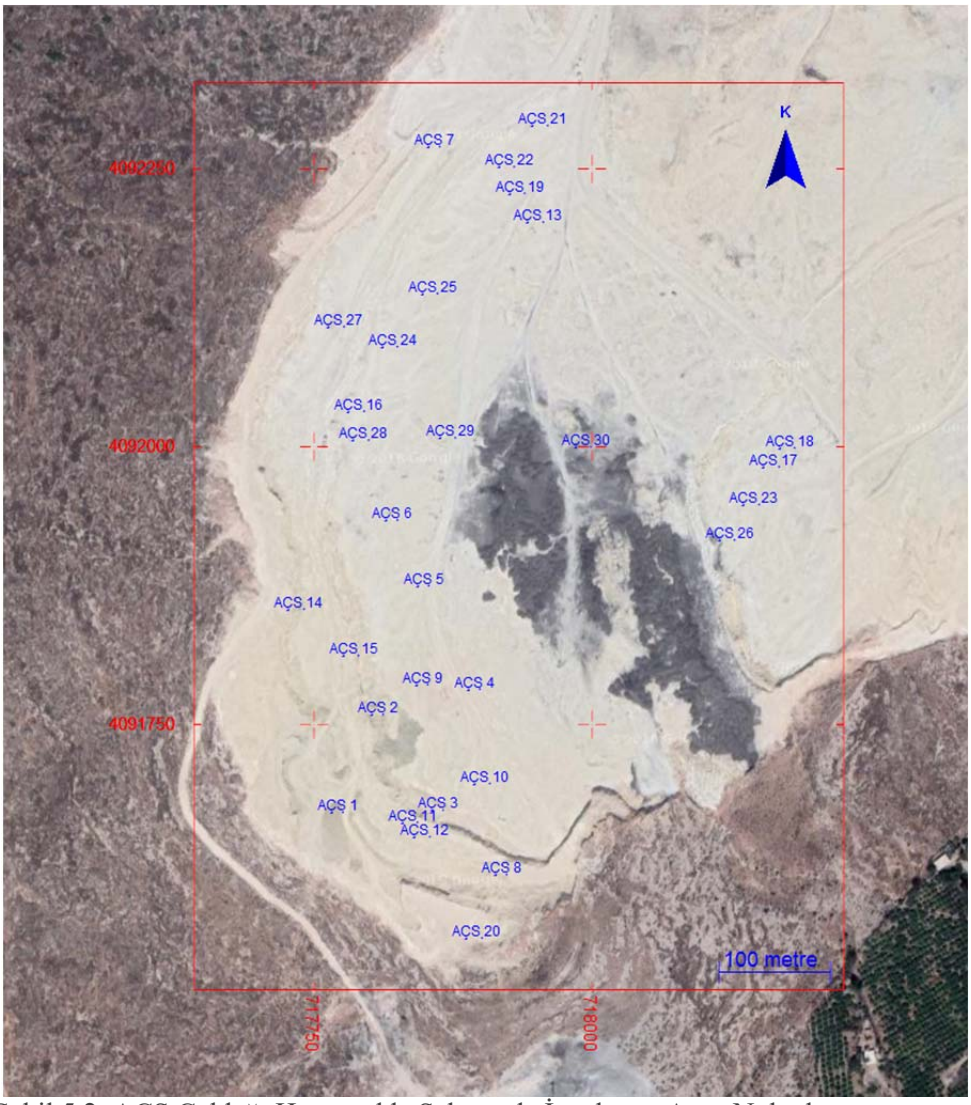
Adana Çimento Sanayi (AÇS) Çaldağı hammadde sahasında otuz (30) atım izlenmiştir. Saha oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve kil ardalanmaları mevcut olup bazı aynalarda bu ardalanma çok iyi gözlemlenebilmektedir (Şekil 5.1). Bu durum hem arazi çalışmalarında hem de laboratuvar çalışmalarında zorluklara sebep olmuştur.



Şekil 5.1. Hammadde Sahasındaki Yapısal Değişimlere Örnek

Çalışma sahasının farklı bölgelerinde izelenen 30 atımın patlatma parametreleri genel olarak standarttır. Her patlatma bölgesinin GPS ile koordinatları alınmış ve Netcad GIS 7.6 kullanılarak patlatma noktaları harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.2). Delik düzeni tüm atımlarda şeşbeş düzende iken, delik çapı 89 mm (Sadece 4. ve 13. atımlarda 102 mm)'dir. Delik eğimi 90^0

basamak eğimi 85^0'dir. Sahada delik taban payı (dip delgi boyu=U)'da 0,5 m olarak sabittir. Diğer tasarım parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Patlatmalarda kullanılan patlayıcılar ve patlatma ekipmanları Yavaşçalar Patlayıcı A.Ş.'den sağlanmakta ve 25 ms gecikmeli kapsül kullanılmaktadır.



Şekil 5.2. AÇS Çaldağı Hammadde Sahasında İncelenen Atım Noktaları

Çizelge 5.1. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Atımlarının Patlatma Parametreleri

Bölge Adı	Delik Sayısı	H (m)	S (m)	AN-FO kg/delik	Dinamit kg/delik	(Q) kg/delik	K (m)	B (m)	h_o (m)	q kg/cm^3
AÇS 1	50	7,5	3	35	0,5	35,5	7	3,5	2	0,48
AÇS 2	52	9,5	3	33	0,5	33,5	9	3,5	2	0,35
AÇS 3	54	9	3	34	0,5	34,5	8,5	3,5	2,2	0,39
AÇS 4	50	6	3	25	0,5	25,5	9	3,5	1,5	0,27
AÇS 5	71	11	3	45	0,5	45,5	10,5	3,5	2	0,41
AÇS 6	68	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 7	83	6,5	3	25	0,5	25,5	6	3,5	2	0,40
AÇS 8	45	9,5	3	40	0,5	40,5	9	3,5	2	0,43
AÇS 9	32	8,5	3	35	0,5	35,5	8	3,5	2	0,42
AÇS 10	60	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 11	27	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 12	27	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 13	64	6	3	23	0,5	23,5	5,5	3,5	2	0,41
AÇS 14	40	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 15	40	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 16	55	9	3	35	0,5	35,5	8,5	3,5	2	0,40
AÇS 17	105	7,5	4	15	0,25	15,25	7	2	3	0,27
AÇS 18	102	7,5	4	15	0,25	15,25	7	2	3	0,27
AÇS 19	102	9,5	4	25	0,25	25,25	9	2	3,5	0,35
AÇS 20	150	6,5	3	15	0,25	15,25	6	1,5	2,5	0,56
AÇS 21	70	6,5	4	15	0,25	15,25	6	2	2,5	0,32
AÇS 22	72	6,5	3,5	12,5	0,25	12,75	6	2	3,5	0,30
AÇS 23	80	7	4	15	0,25	15,25	6,5	2	3	0,29
AÇS 24	80	8,5	3	30	0,5	30,5	8	3,5	3	0,36
AÇS 25	80	6,5	3	16,5	0,16	16,66	6	3,5	3	0,26
AÇS 26	120	6,5	3	16,5	0,16	16,66	6	3,5	3	0,26
AÇS 27	90	9,5	3	30	0,5	30,5	9	3,5	3	0,32
AÇS 28	67	9,5	3	30	0,5	30,5	9	3,5	3	0,32
AÇS 29	50	9,5	3	30	0,5	30,5	9	3,5	3	0,32
AÇS 30	57	9,5	3	30	0,5	30,5	9	3,5	3	0,32

5.1.2. Uygulanan Deneyler ve Sonuçları

5.1.2.1. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları

Deney kapsamında araziden getirilen numuneler TS 699 standardına uygun olarak hazırlanmış ve hazırlanan numuneler üzerinde özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranı ve porozite değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5.2). Şekil 5.3'de hazırlanan deney numunesi örnekleri görülmektedir.



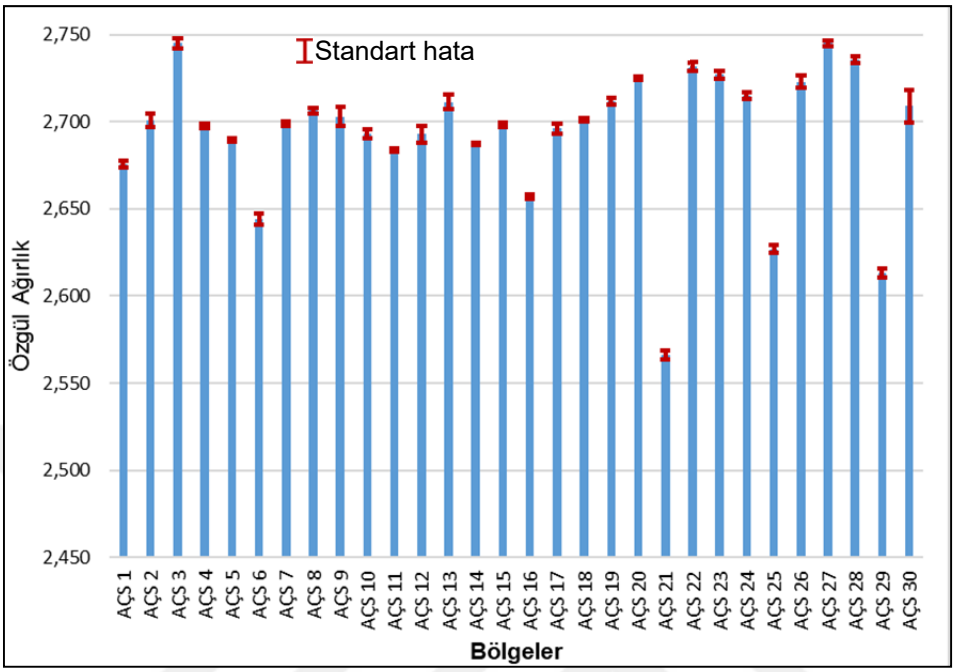
Şekil 5.3. Fiziksel Deneylerde Kullanılan Deney Numunesi Örnekleri

Atım bölgelerinde kireçtaşı ile kil ve/veya marn içerikli yapılar birlikte gözlendiğinde özellikle ağırlıkça su emme, porozite ve birim hacim ağırlığı deneylerinde suda dağılmalar olacağındna kireçtaşı bölgelerinden alınan numuneler analize tabi tutulabilmiştir. Numuneler laboratuvarda deney standartına göre hazırlanırken killi kireçtaşı numunelerinin karot ve blok alma veriminin düşük olduğu görülmüştür. Deney sonuçları incelendiğinde sahadaki kayaçların fiziksel özelliklerinin oldukça fazla değişim gösterdiği görülmektedir. Formasyon yapısındaki değişimin etkisi deney sonuçları ile doğrulanmıştır.

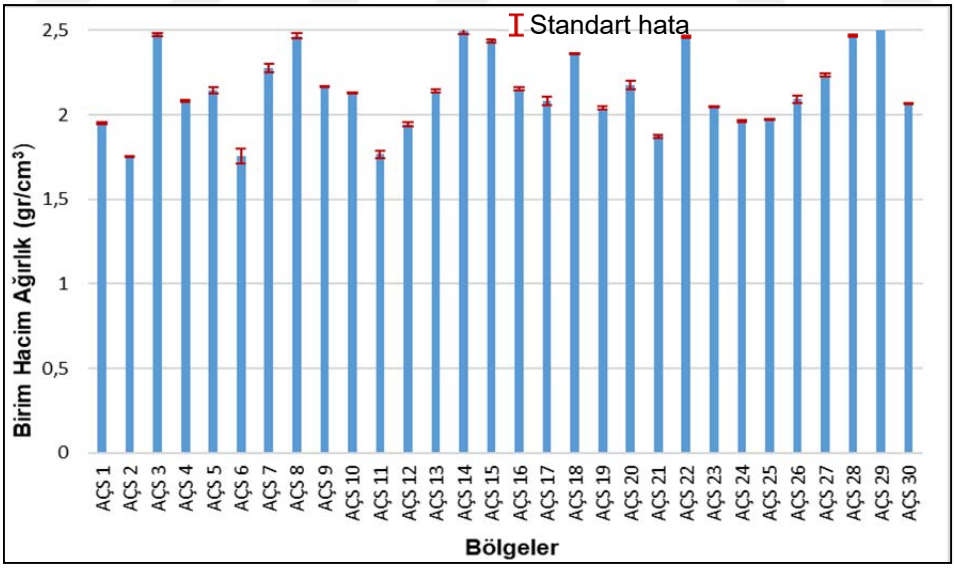
Çalışma sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan fiziksel deneyler sonucunda özgül ağırlık (G_s), birim hacim ağırlığı (ρ), ağırlıkça su emme oranı (A_w) ve porozite (n) deney sonuçlarındaki değişimler ve standart hatalar grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 5.4-Şekil 5.7).

Çizelge 5.2. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları

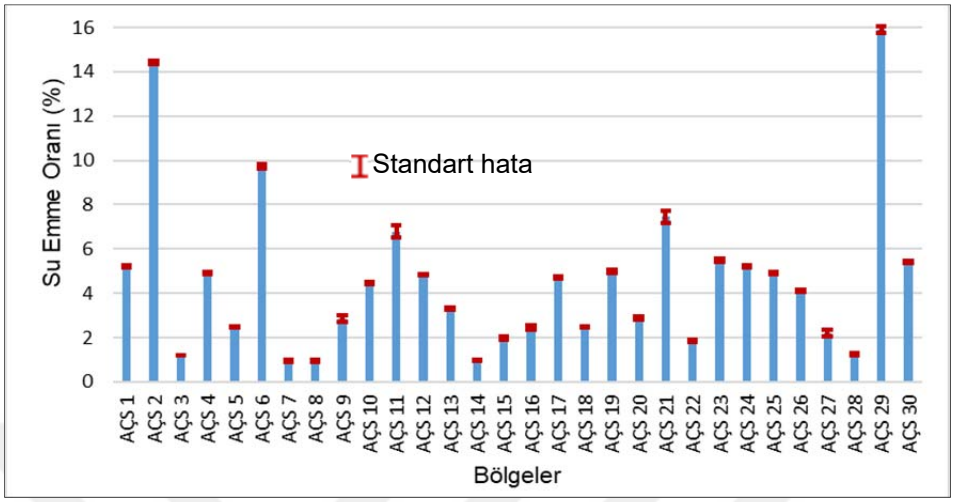
Bölge Adı	G_s	ρ (gr/cm^3)	A_w (%)	n (%)
AÇS 1	2,675	1,949	5,22	10,42
AÇS 2	2,701	1,752	14,42	20,08
AÇS 3	2,701	2,476	1,19	2,40
AÇS 4	2,698	2,082	4,92	8,85
AÇS 5	2,689	2,145	2,45	6,23
AÇS 6	2,696	1,756	9,75	14,72
AÇS 7	2,644	2,277	0,95	4,01
AÇS 8	2,706	2,466	0,93	2,54
AÇS 9	2,693	2,167	2,86	5,38
AÇS 10	2,703	2,128	4,44	7,35
AÇS 11	2,684	1,765	6,77	13,12
AÇS 12	2,693	1,944	4,84	11,29
AÇS 13	2,711	2,140	3,32	7,19
AÇS 14	2,687	2,493	0,95	2,37
AÇS 15	2,698	2,438	1,97	3,94
AÇS 16	2,657	2,154	2,43	5,52
AÇS 17	2,724	2,081	4,69	9,16
AÇS 18	2,745	2,363	2,48	3,95
AÇS 19	2,712	2,041	4,98	9,87
AÇS 20	2,627	2,176	2,86	5,38
AÇS 21	2,566	1,872	7,45	12,76
AÇS 22	2,696	2,465	1,86	2,95
AÇS 23	2,732	2,044	5,47	9,84
AÇS 24	2,723	1,960	5,20	10,38
AÇS 25	2,715	1,972	4,90	10,14
AÇS 26	2,613	2,092	4,11	8,59
AÇS 27	2,727	2,234	2,19	4,54
AÇS 28	2,736	2,469	1,26	2,49
AÇS 29	2,709	2,586	15,90	18,00
AÇS 30	2,745	2,064	5,42	9,58



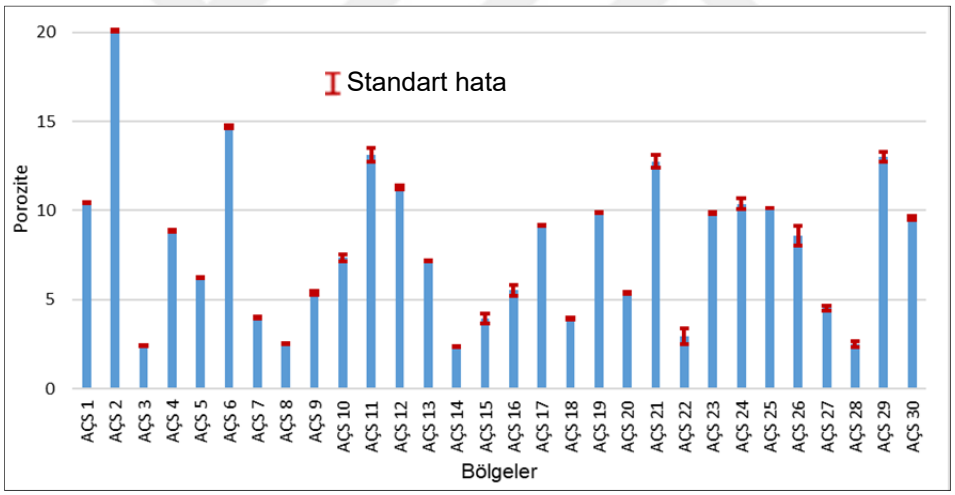
Şekil 5.4. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Özgül Ağırlık Deney Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.5. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Birim Hacim Ağırlık Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.6. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Ağırlıkça Su Emme Oranı Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.7. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Porozite Deney Sonuçlarının Değişimi

5.1.2.2. AÇS Çaldağ Hammadde Sahasının Mekanik Deney Sonuçları

Atım bölgelerinde kireçtaşı ile kil ve/veya marn içerikli yapılar birlikte gözlendiğinde numunelerin kesilip hazırlanmasında sulu kesim yapıldığından ve killi bölgeler dayanımı azaltacağından killi kireçtaşı veya kireçtaşı bölgelerinden alınan numuneler analize tabi tutulabilmiştir.

Deney kapsamında araziden getirilen numuneler TS 699 standardına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 5.8-Şekil 5.9). Hazırlanan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), Brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$), eğilme dayanımı (σ_{eg}), çift makaslama dayanımı (τ), nokta yük dayanımı (Is_{50}) ve darbe dayanımı (D_n) özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 5.3).



Şekil 5.8. Mekanik Deneylerde Kullanılan Bazı Deney Numunesi Örnekleri



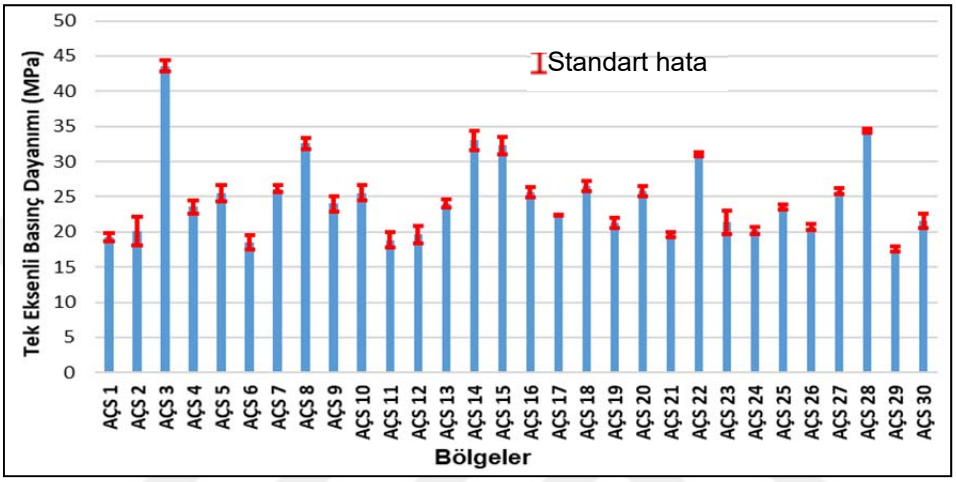
Şekil 5.9. Eğilme Dayanımı Deneylerinde Kullanılan Deney Numunesi Örnekleri

İlgili standartlara göre; tek eksenli basınç dayanımı için küp veya boy/çap oranı 2-2,5 arasında olan silindirik karot numuneleri kullanılabilmektedir. Brazilian dolaylı çekme ve çift makaslama dayanımarı için ise sadece silindirik karot örnekleri kullnılmaktadır. Darbe dayanımı için sadece 4x4x4 cm boyutlatında küp ve eğilme dayanımında ise sadece prizmatik numuneler üzerinde yapılabilmektedir.

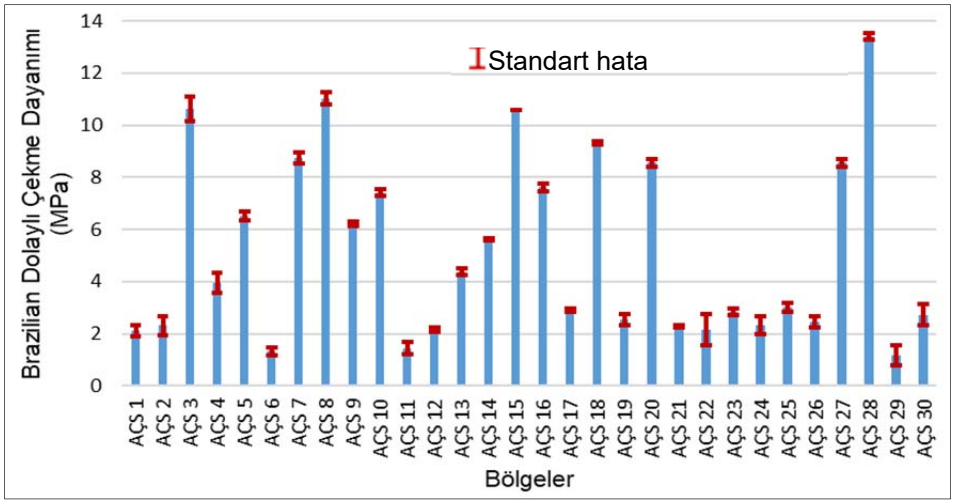
Çizelge 5.3. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Mekanik Deney Sonuçları

Bölge Adı	σ_b MPa	$\sigma_ç$ MPa	Is_{50} MPa	σ_{eg} MPa	τ MPa	D_n Nmm/mm^3
AÇS 1	19,20	2,10	7,48	2,10	3,56	2
AÇS 2	20,10	2,31	8,11	1,46	4,12	3,6
AÇS 3	43,59	10,61	9,77	7,35	13,55	2
AÇS 4	23,56	3,94	9,35	3,92	5,24	8,4
AÇS 5	25,51	6,52	10,43	3,68	9,64	2,8
AÇS 6	18,53	1,33	6,76	1,09	3,37	5,2
AÇS 7	26,14	8,73	11,37	5,78	10,91	2
AÇS 8	32,57	11,02	12,40	6,92	11,89	4,4
AÇS 9	23,98	6,22	10,55	3,86	7,36	2,8
AÇS 10	25,56	7,42	10,75	4,13	10,46	2
AÇS 11	18,86	1,44	6,82	1,90	3,31	4,4
AÇS 12	19,64	2,15	7,28	1,45	3,44	5,2
AÇS 13	24,08	4,38	10,19	3,74	5,45	2
AÇS 14	33,00	5,62	11,02	3,60	5,45	6
AÇS 15	32,29	10,58	12,23	2,24	10,64	2
AÇS 16	25,66	7,61	10,78	4,52	11,63	2
AÇS 17	22,36	2,89	9,50	2,64	4,43	4,4
AÇS 18	26,48	9,33	11,88	5,66	11,03	5,2
AÇS 19	21,27	2,55	8,70	3,17	4,53	6
AÇS 20	25,76	8,55	10,79	4,72	10,66	2
AÇS 21	19,61	2,28	7,05	1,73	4,19	2
AÇS 22	31,01	2,15	11,79	5,02	11,43	3,6
AÇS 23	21,40	2,85	8,90	2,70	3,87	3,6
AÇS 24	20,24	2,34	8,54	2,38	4,44	5,2
AÇS 25	23,57	3,02	8,14	3,61	5,16	3,6
AÇS 26	20,72	2,47	9,66	2,73	4,35	3,6
AÇS 27	25,80	8,55	12,38	4,94	10,89	5,2
AÇS 28	34,34	13,40	13,52	7,32	15,72	6
AÇS 29	17,57	1,19	6,51	0,82	4,45	5,2
AÇS 30	21,57	2,72	9,00	2,17	3,05	5,2

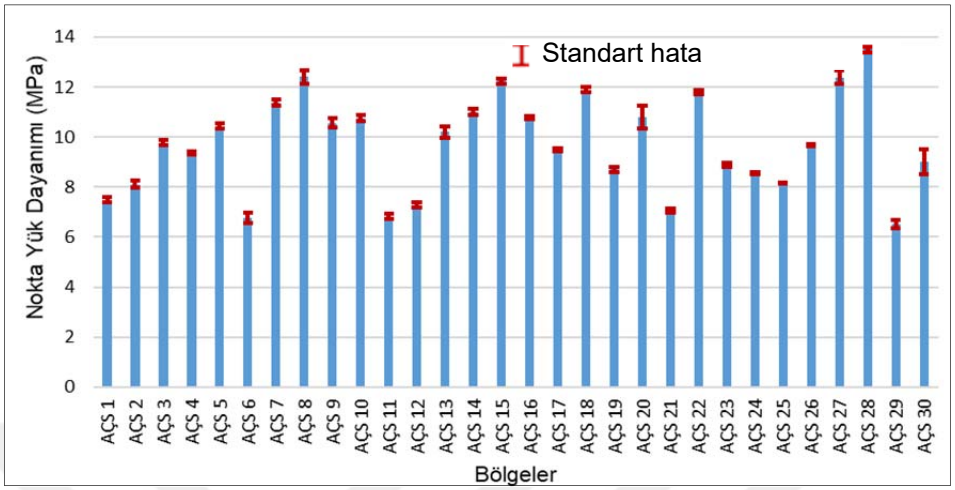
Kayaçlardan elde edilen karot veya küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin sonuçlarındaki değişim ve sonuçlara ait standart sapmalar grafiklerle verilmiştir (Şekil 5.10-Şekil 5.15).



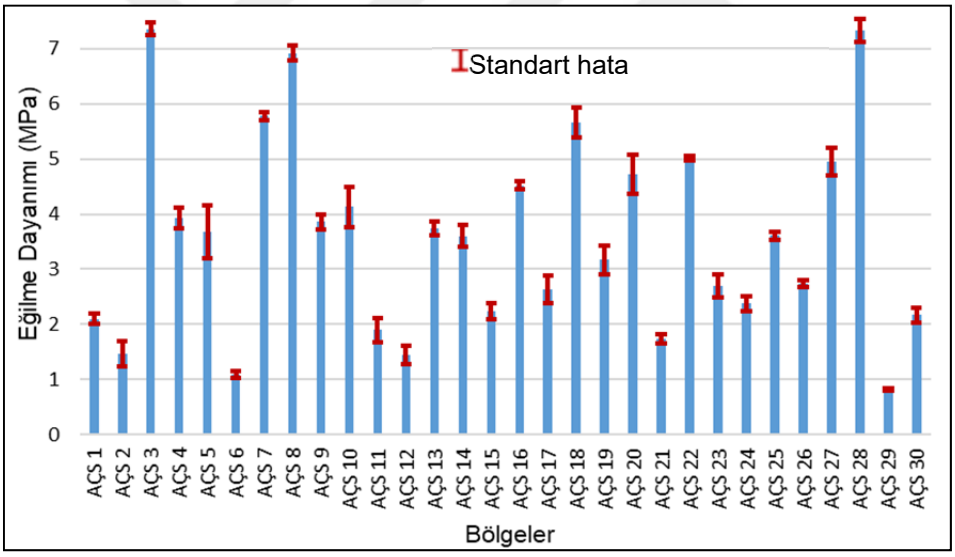
Şekil 5.10. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.11. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

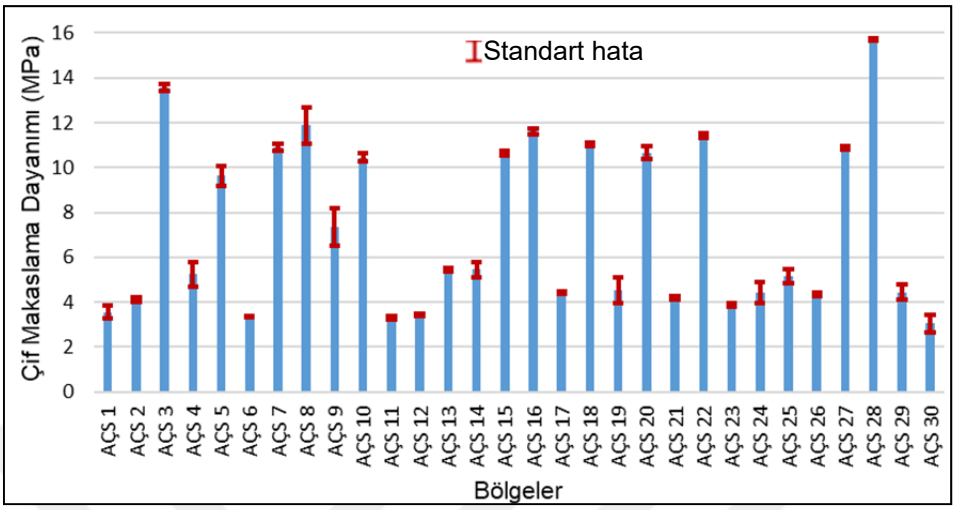


Şekil 5.12. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Nokta Yük Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

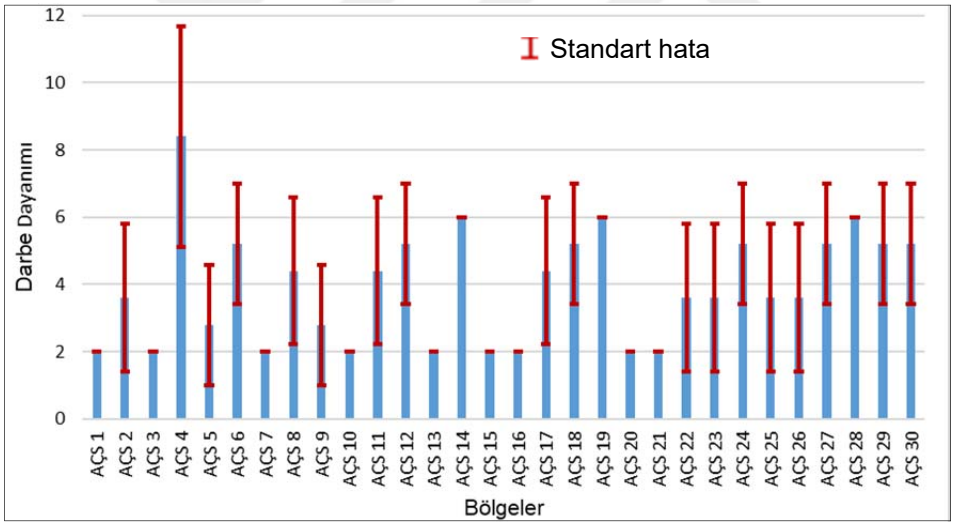


Şekil 5.13. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

Sonuçlar incelendiğinde; tek eksenli basınç dayanımı 17,57-43,59 MPa, Brazilian dolaylı çekme dayanımı 1,50-14,00 MPa, nokta yük dayanımı 6,50-13,50 MPa, eğilme dayanımı 0,80-7,50 MPa, darbe dayanım değeri ise 2-8,4 Nmm/mm^3 arasındadır.



Şekil 5.14. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Çift Makaslama Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

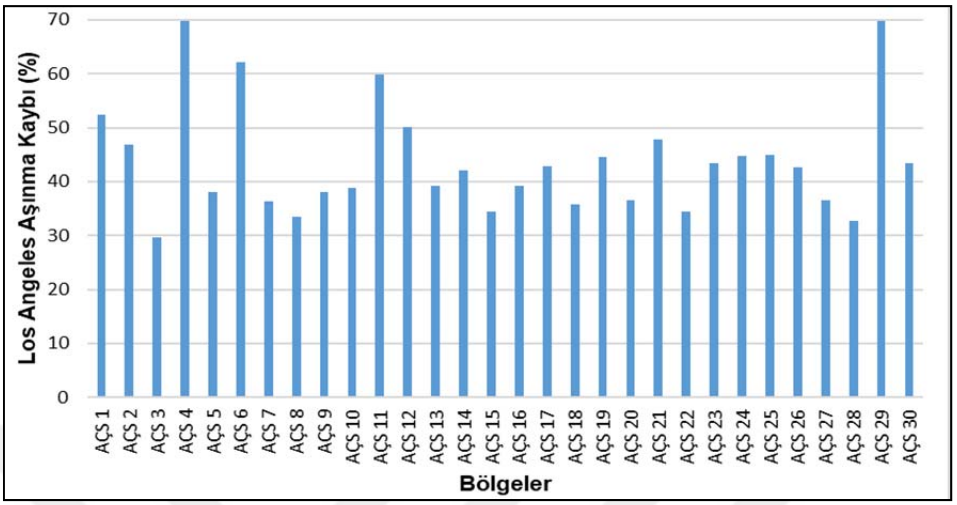


Şekil 5.15. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Darbe Dayanım Sonuçlarının Değişimi

Çalışma sahasından getirilen numunelerin diğer mekanik özelliklerinden Los Angeles aşınma kaybı (LA), Schmidt sertliği (SCH) ve P dalga hızı (V_p) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.4'de verilmiştir. Şekil 5.16'da Los Angeles aşınma kaybındaki değişim görülmüştür.

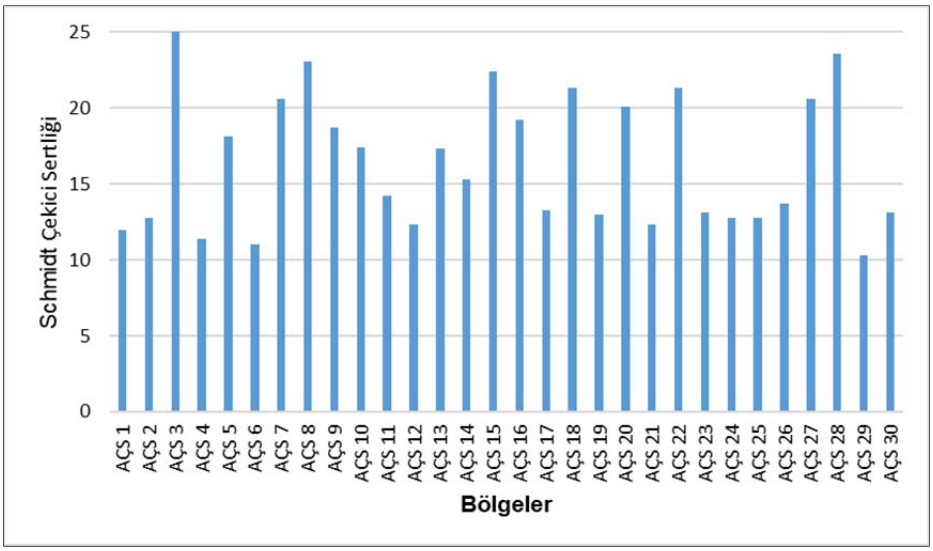
Çizelge 5.4. AÇS Çaldağı Hammadde Sahasının Diğer Mekanik Özellikleri Deney Sonuçları

Bölge Adı	LA (%)	SCH	V_p (km/sn)
AÇS 1	52,40	11,95	3,10
AÇS 2	46,84	12,80	3,26
AÇS 3	29,65	25,05	5,77
AÇS 4	69,84	11,40	4,61
AÇS 5	38,16	18,10	4,44
AÇS 6	62,12	11,05	2,56
AÇS 7	36,32	20,60	4,80
AÇS 8	33,48	23,05	5,55
AÇS 9	38,16	18,75	4,69
AÇS 10	38,82	17,40	4,14
AÇS 11	59,76	14,20	2,94
AÇS 12	50,04	12,30	3,00
AÇS 13	39,20	17,30	4,38
AÇS 14	42,12	15,30	5,94
AÇS 15	34,42	22,40	4,93
AÇS 16	39,20	19,25	4,44
AÇS 17	42,88	13,30	3,82
AÇS 18	35,8	21,30	4,84
AÇS 19	44,60	13,00	3,74
AÇS 20	36,48	20,10	4,77
AÇS 21	47,88	12,30	3,19
AÇS 22	34,52	21,30	4,85
AÇS 23	43,44	13,15	3,85
AÇS 24	44,80	12,80	3,53
AÇS 25	44,88	12,80	3,50
AÇS 26	42,60	13,68	4,13
AÇS 27	36,48	20,60	4,78
AÇS 28	32,68	23,60	5,56
AÇS 29	69,84	10,30	2,40
AÇS 30	43,44	13,15	3,74

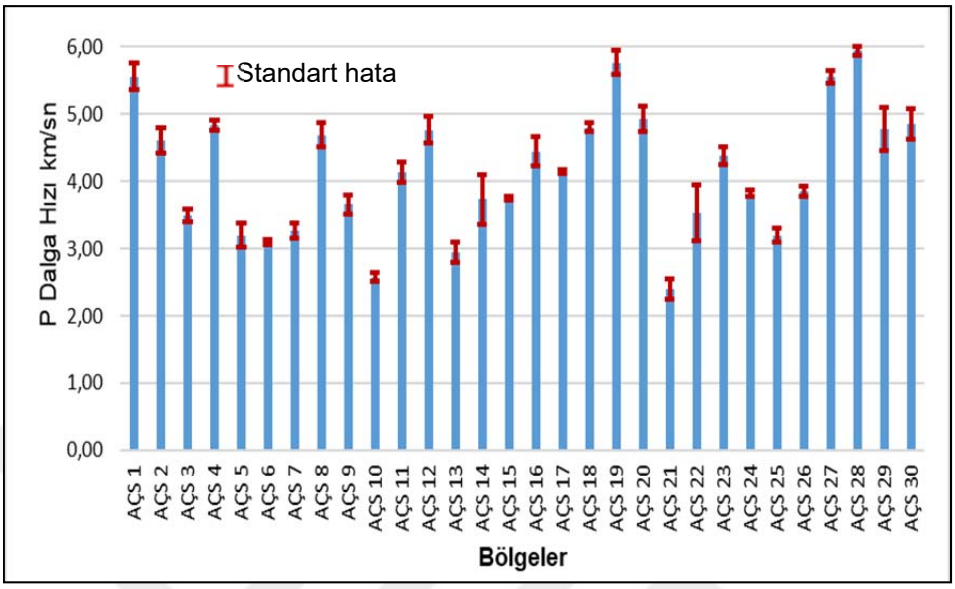


Şekil 5.16. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Los Angeles Aşınma Kaybı Sonuçlarının Değişimi

Şekil 5.17'de Schmidt sertlik değeri ve Şekil 5.18'de P dalga hızı deney sonuçlarındaki değişim görülmüştür. Deney sonuçlarının aralığındaki farklılıklar sahadaki formasyon özelliklerinden dolayı değişkenlik göstermektedir.



Şekil 5.17. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Schmidt Sertliği Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.18. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası P Dalga Hızı Sonuçlarının Değişimi

Deney sonuçları incelendiğinde Los Angeles aşınma kaybının %30 ile %70 arasında, Schmidt sertlik değerlerinin 10,30 ile 25,05 arasında ve P dalga hızı değerlerinin ise 2,56 ile 5,84 km/sn arasında değiştiği gözlenmiştir.

5.1.2.3. AÇS Çaldağ Hammadde Sahası Kimyasal Analiz Sonuçları

Numuneler Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında elektronik ağat havan ile -125 mikron boyutunda öğütülmüş ve Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm envanterinde bulunan Panalytical Minipal 4 marka XRF cihazı ile kimyasal içerikleri ve tüm numuneler kül fırınında yakılarak kızdırma kaybı (KK) değerleri de belirlenmiştir.

Sahada bazı bölgelerde kireçtaşı, killi kireçtaşı, man ve kil oluşumları mevcuttur. Ardalanma gösteren bölgelerden ayrı ayı numunalar alınmıştır bu bölgelerde marn (M) ve kil (K) tabakalarından da örnekler alınmış ve içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

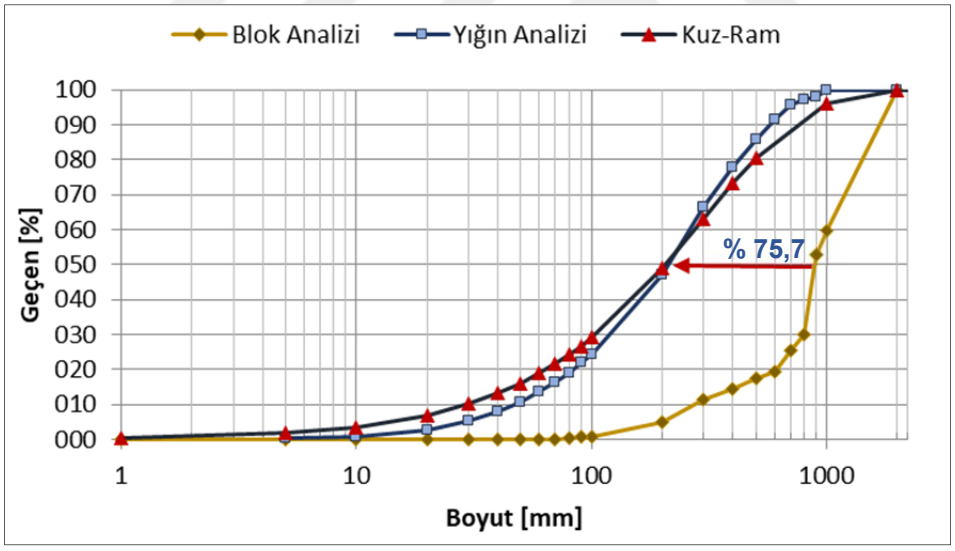
Çizelge 5.5. AÇS Çaldağı Hammadde Sahası Kimyasal Analiz (XRF) Sonuçları

%	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	Diğer	KK
AÇS 1	46,60	3,80	1,29	0,89	1,50	0,02	0,34	5,61	39,95
AÇS 2	43,38	6,86	1,77	1,14	2,27	0,17	0,48	4,7	39,23
AÇS 2 M	34,59	15,85	3,60	2,27	3,38	0,31	0,98	5,98	33,04
AÇS 2 K	21,94	33,43	9,74	4,87	3,66	0,21	1,53	3,36	21,26
AÇS 3	49,97	1,78	0,61	0,35	0,79	0	0,02	4,55	41,93
AÇS 4	50,24	2,18	0,66	0,36	0,52	0,00	0,05	4,56	41,43
AÇS 5	50,83	2,2	0,84	0,52	0,42	0,01	0,05	3,27	41,86
AÇS 6	49,97	3,91	1,22	1,02	2,14	0,50	0,20	1,37	39,67
AÇS 7	45,16	10,28	2,85	1,85	1,26	0,24	0,47	1,28	36,61
AÇS 8	51,14	3,64	1,17	1,14	0,63	0,04	0,19	1,32	40,73
AÇS 8 M	24,26	34,51	5,73	2,87	3,35	0,45	1,30	4,02	23,51
AÇS 8 K	21,84	34,43	9,84	4,85	3,56	0,31	1,73	2,28	21,16
AÇS 9	51,32	4,07	1,13	0,77	0,68	0,01	0,19	1,39	40,44
AÇS 9 M	21,51	32,04	8,51	5,03	4,76	0,45	1,68	4,13	21,89
AÇS 9 K	34,87	17,78	5,18	2,62	1,39	0,11	0,94	1,32	35,79
AÇS 10	52,15	3,14	1,06	0,97	0,73	0,01	0,19	1,11	40,64
AÇS 11	53,53	2,10	0,74	0,54	0,49	0,01	0,11	0,64	41,84
AÇS 12	48,97	7,00	1,62	1,06	1,00	0,01	0,31	1,39	38,64
AÇS 13	47,58	4,68	1,71	0,86	1,10	0,03	0,42	4,05	39,57
AÇS 14	50,46	4,65	1,41	0,84	0,90	0,02	0,23	1,18	40,31
AÇS 15	51,82	1,69	0,68	0,66	0,63	0,27	0,10	1,77	42,38
AÇS 16	47,93	5,81	1,77	1,20	1,44	0,25	0,32	1,1	40,18
AÇS 17	50,64	3,44	1,05	0,79	1,64	0,22	0,18	1,2	40,84
AÇS 18	48,65	6,53	1,91	1,36	1,07	0,34	0,32	1,02	38,80
AÇS 19	49,14	5,25	1,61	1,19	1,74	0,05	0,27	1,67	39,08
AÇS 20	54,10	1,39	0,57	0,55	0,40	0,01	0,08	1,6	41,30
AÇS 21	35,03	23,30	2,60	1,46	1,27	0,18	0,67	5,62	29,87
AÇS 22	48,49	3,29	1,09	0,60	0,48	0,01	0,16	5,89	39,99
AÇS 23	46,14	5,94	1,55	1,04	1,02	0,01	0,38	4,72	39,20
AÇS 24	48,24	3,32	1,00	0,74	0,87	0,01	0,24	5,43	40,15
AÇS 25	43,38	6,86	1,77	1,14	2,27	0,17	0,48	4,7	39,23
AÇS 26	48,84	3,72	1,15	0,64	0,77	0,07	0,64	3,32	40,85
AÇS 27	45,28	0,45	1,44	0,79	1,71	0,02	0,36	10,99	38,96
AÇS 28	48,11	3,68	1,11	0,76	1,05	0,01	0,24	4,82	40,22
AÇS 29	49,59	2,35	0,79	0,55	0,87	0,00	0,14	4,53	41,18
AÇS 30	49,06	2,67	0,88	0,49	0,75	0,00	0,17	5,15	40,83

5.1.3. Parça Boyut Dağılımlarının İncelenmesi

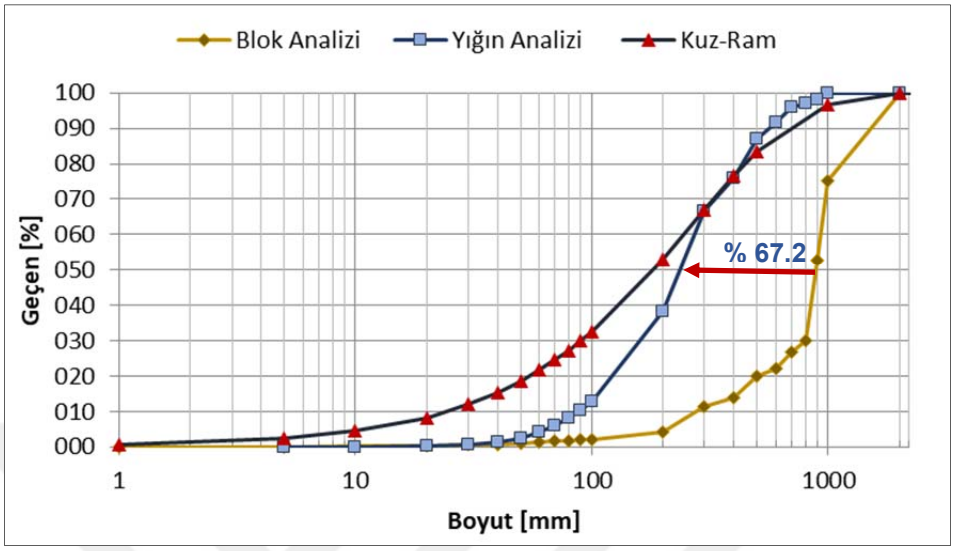
İncelenen patlatmalardan alınan yığın ve ayna fotoğrafları herbir atım için WipFrag ve WipJoint yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Atımlar AÇS 1'den AÇS 30'a kadar kodlanmış ve program çıktıları ile Kuz-Ram modeli aynı grafiklerde gösterilmiştir. Ayrıca blok parça boyut dağılımı ile yığın parça boyut dağılımınlarının D_{50} değerlerine göre boyut küçültme oranlarıda yüzdesel olarak grafikler üzerinde gösterilmiştir.

AÇS 1 ve AÇS 2'nin parça boyut dağılım grafikleri incelendiğinde; her iki atımda da patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımları Kuz-Ram tahmin modeli ile benzerlik göstermiştir. Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımılarının D_{50} değerlerine göre; AÇS 1 atımı % 75,7 ve AÇS 2 atımı ise % 67,2 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır (Şekil 5.19, Şekil 5.20).

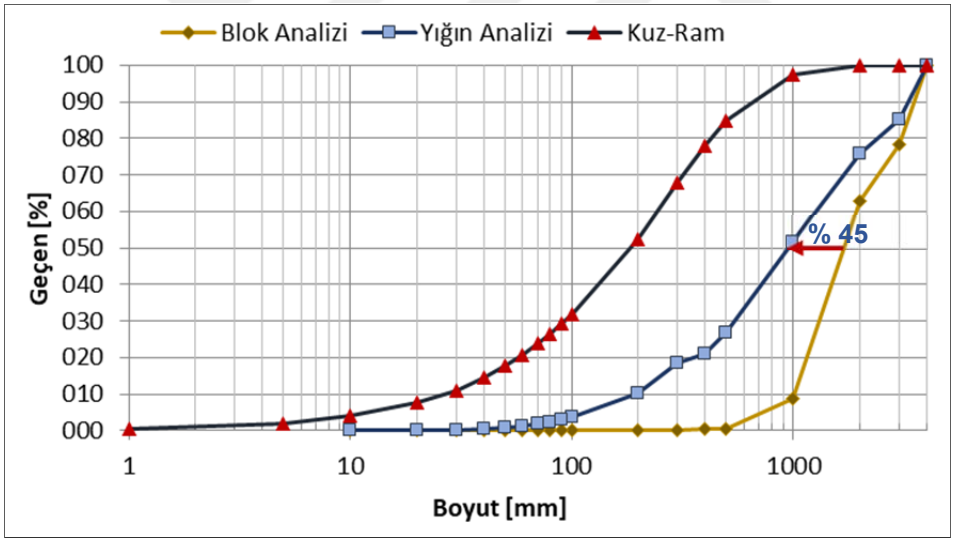


Şekil 5. 19. AÇS 1 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 3 ve AÇS 4 atımlarında yığının parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli ile oluşturulan parça boyut dağılımından daha büyük bir dağılım gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.21, Şekil 5.22).

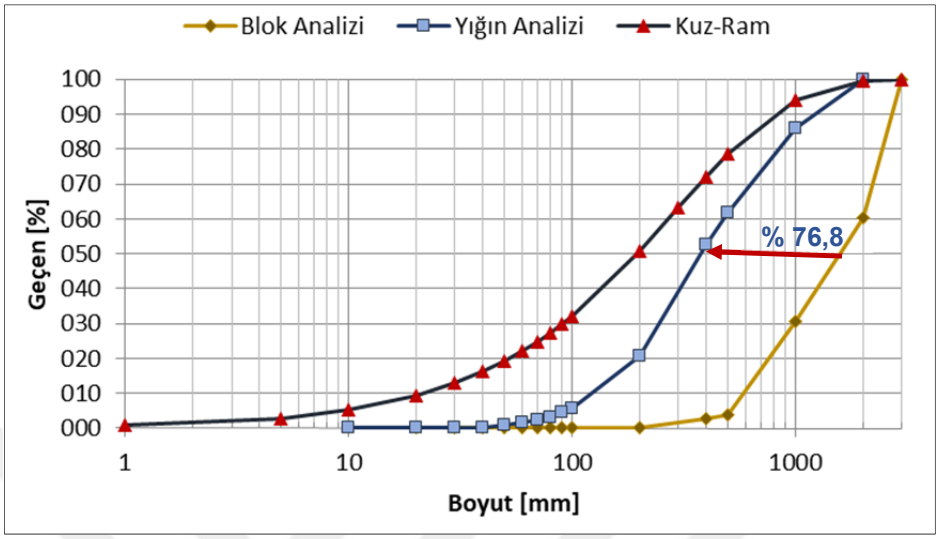


Şekil 5.20. AÇS 2 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri



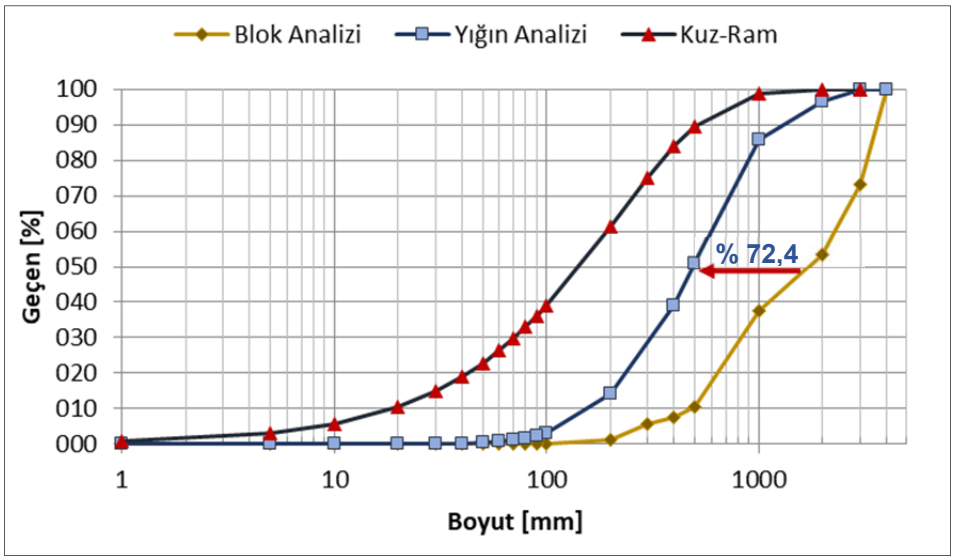
Şekil 5.21. AÇS 3 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D50 değerlerine göre; AÇS 3 atımı % 45 ve AÇS 4 atımı ise % 76,8 boyut küçülme oranı sağlanmıştır.



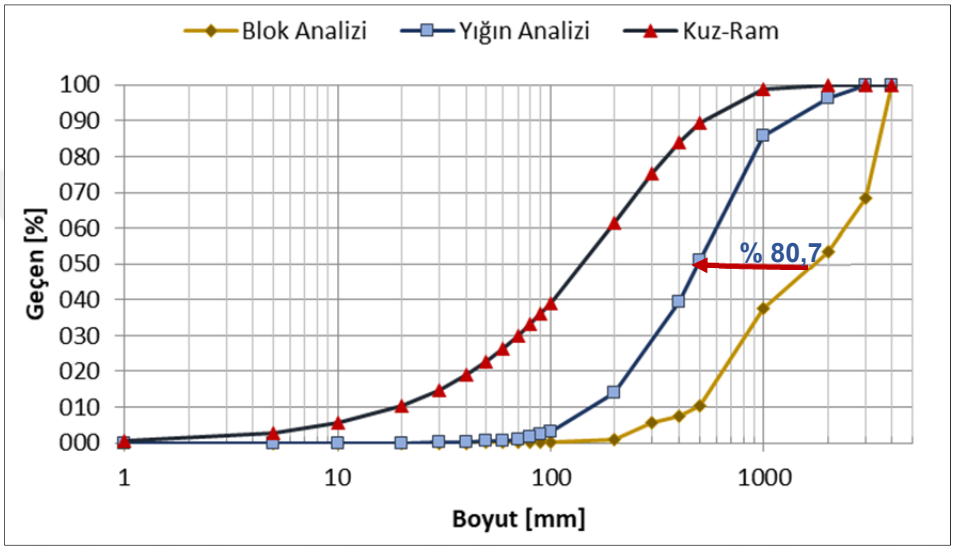
Şekil 5.22. AÇS 4 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 5 atımında patlatma sonrası yığın boyut dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli boyut dağılımının farklı olduğu ve yığın ile bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre % 72,4 boyut küçülme oranı sağlamıştır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. AÇS 5 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

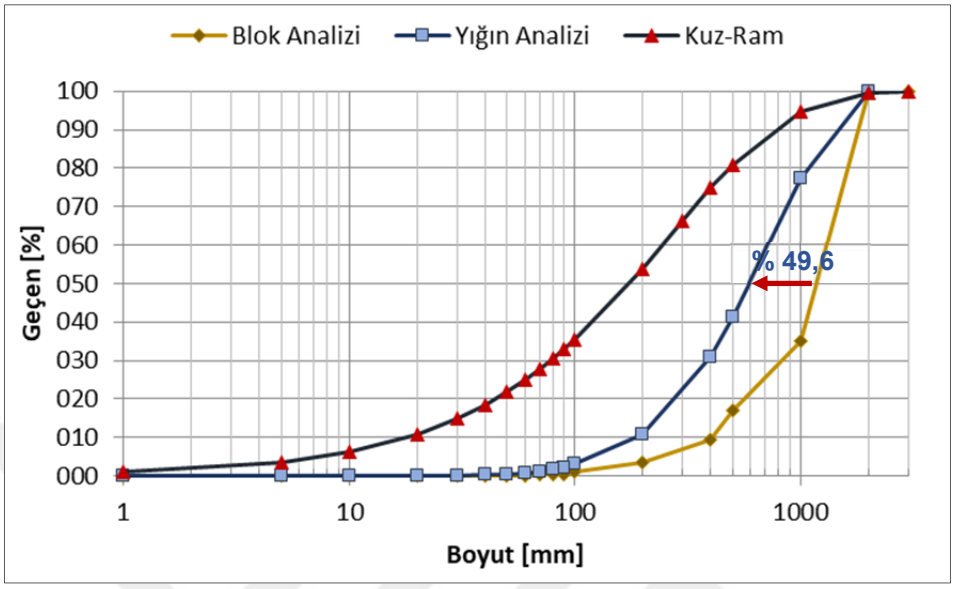
AÇS 6 atımında patlatma sonrası yığın boyut dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli boyut dağılımının farklı olduğu ve atım sonucunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımının D_{50} değerlerine göre; % 80,7 boyut küçülmesi oranı sağladığı görülmüştür (Şekil 5.24).



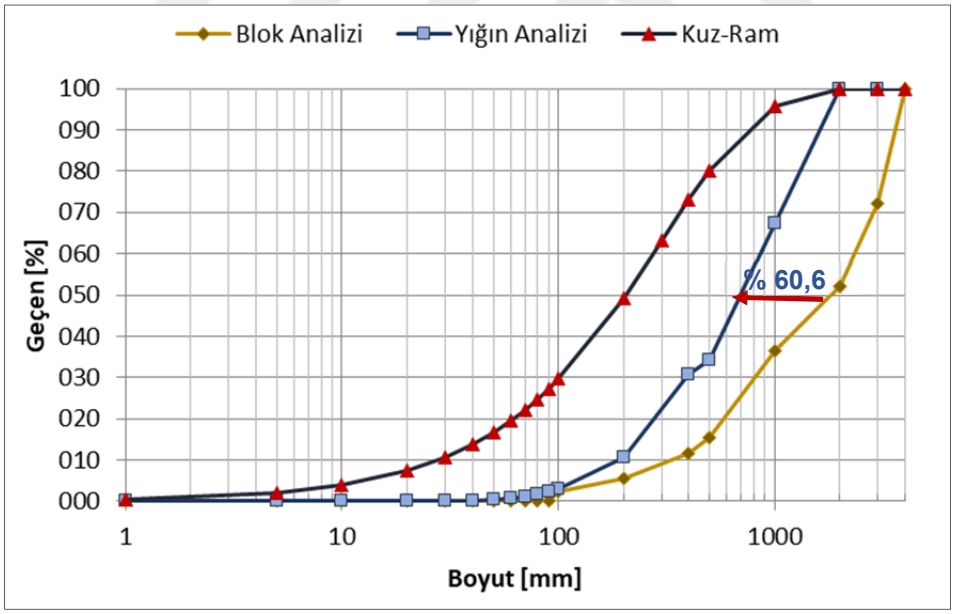
Şekil 5.24. AÇS 6 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 7 ve AÇS 8'in grafikleri incelendiğinde patlatma sonrası yığın parça boyutu dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımı arasında farklılıklar vardır. Atım sonucunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; AÇS 7 atımının % 49,6 ve AÇS 8 atımının ise % 60,6 boyut küçülme oranı sağladığı görülmüştür (Şekil 5.25, Şekil 5.26).

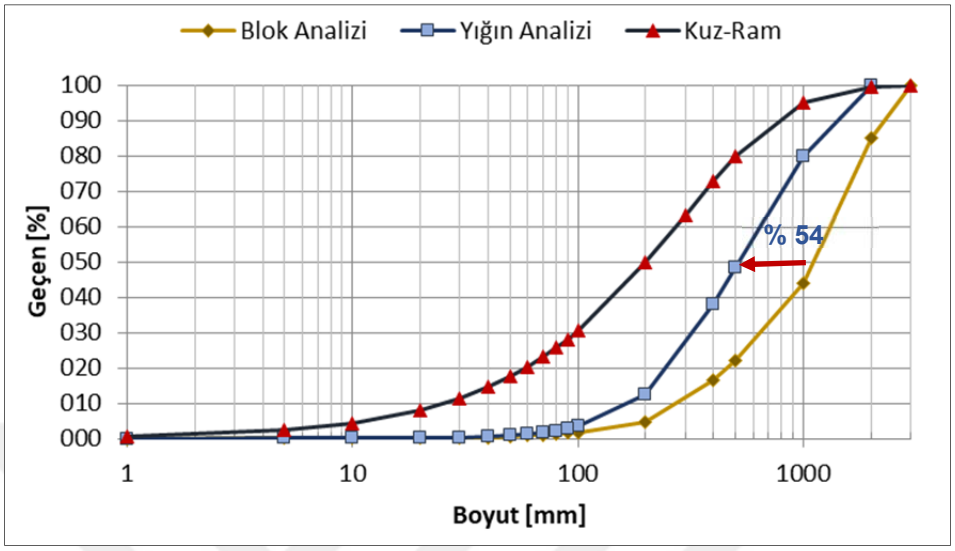
AÇS 9 ve AÇS 10'nun grafikleri incelendiğinde patlatma sonrası yığın parça boyutu dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımı arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Atım sonucunda yığının ve bloğun D_{50} değerlerine göre; AÇS 9 atımı % 54 ve AÇS 10 atımı ise % 81,4 boyut küçülme oranı sağlamıştır (Şekil 5.27, Şekil 5.28).



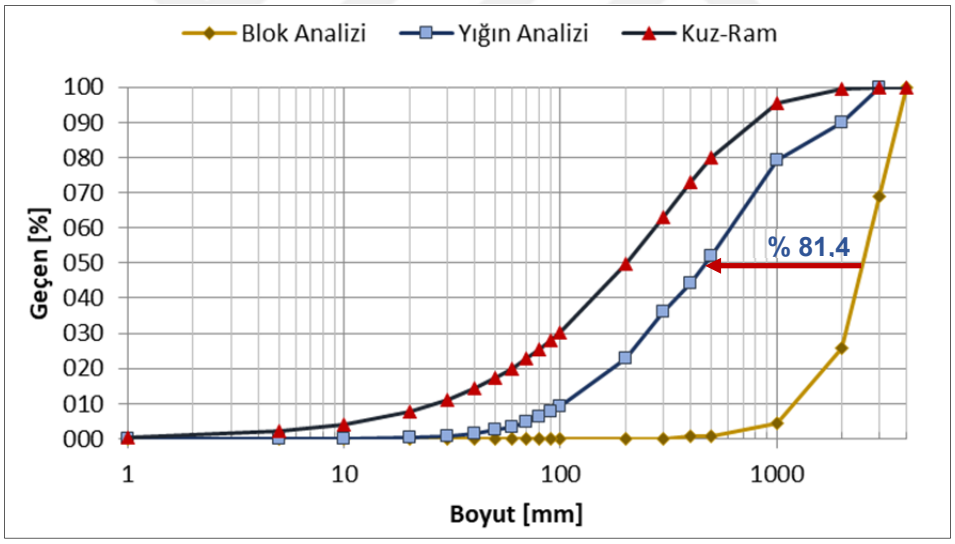
Şekil 5.25. AÇS 7 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri



Şekil 5.26. AÇS 8 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

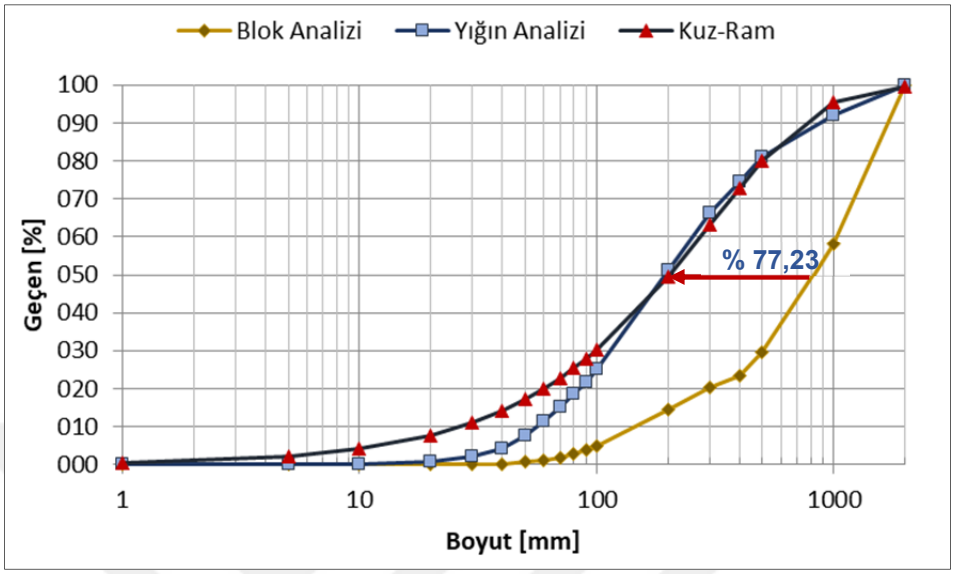


Şekil 5.27. AÇS 9 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

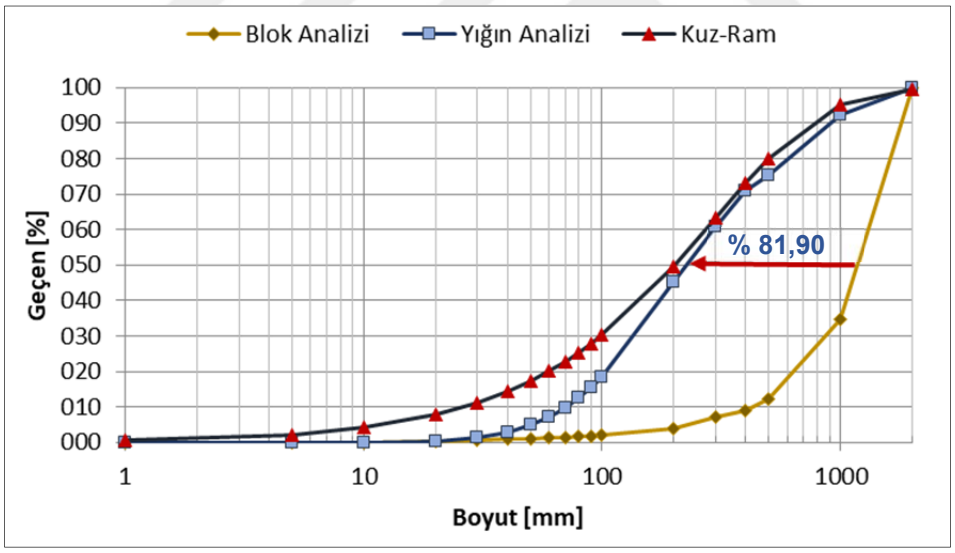


Şekil 5.28. AÇS 10 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 11 ve AÇS 12'in grafikleri incelendiğinde yığın parça boyut dağılımı ile Kuz-Ram parça boyut dağılımı arasında büyük benzerlik vardır (Şekil 5.29, Şekil 5.30). Yığın ile bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 11 atımı % 77,23 ve AÇS 12 atımı % 81,9 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

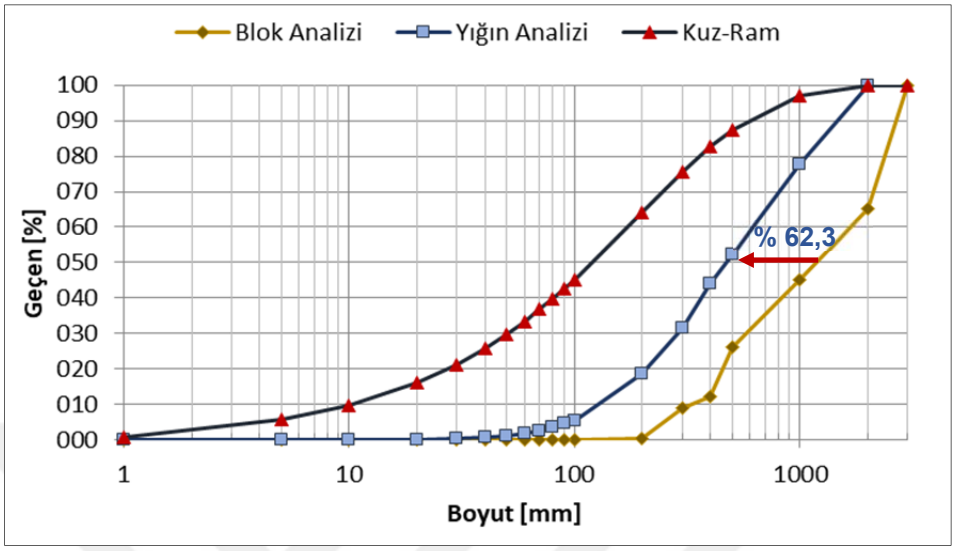


Şekil 5.29. AÇS 11 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

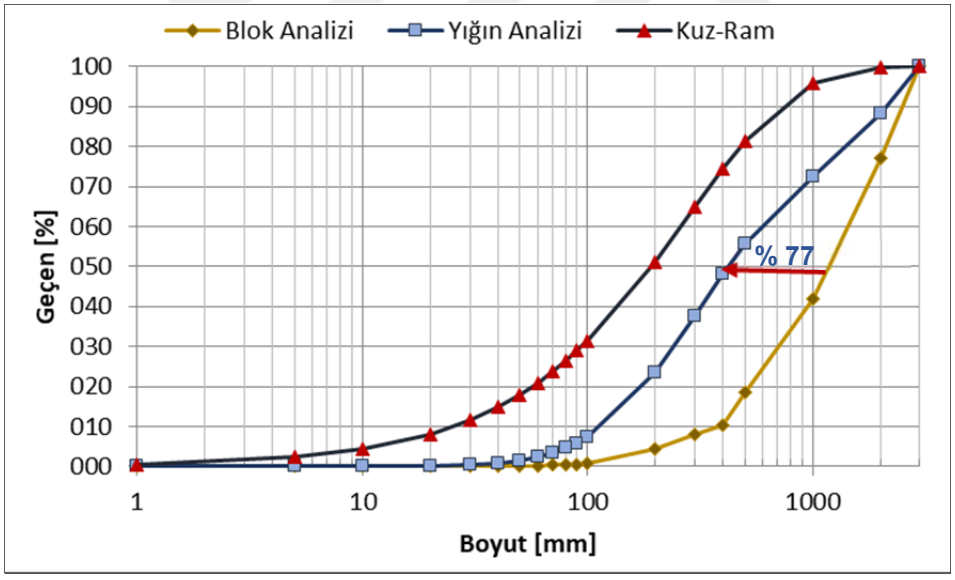


Şekil 5.30. AÇS 12 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 13 ve AÇS 14'ün grafikleri incelendiğinde patlatma sonrası yığın boyutu dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımı arasında farklılık olduğu görülmüştür (Şekil 5.31, Şekil 5.32).



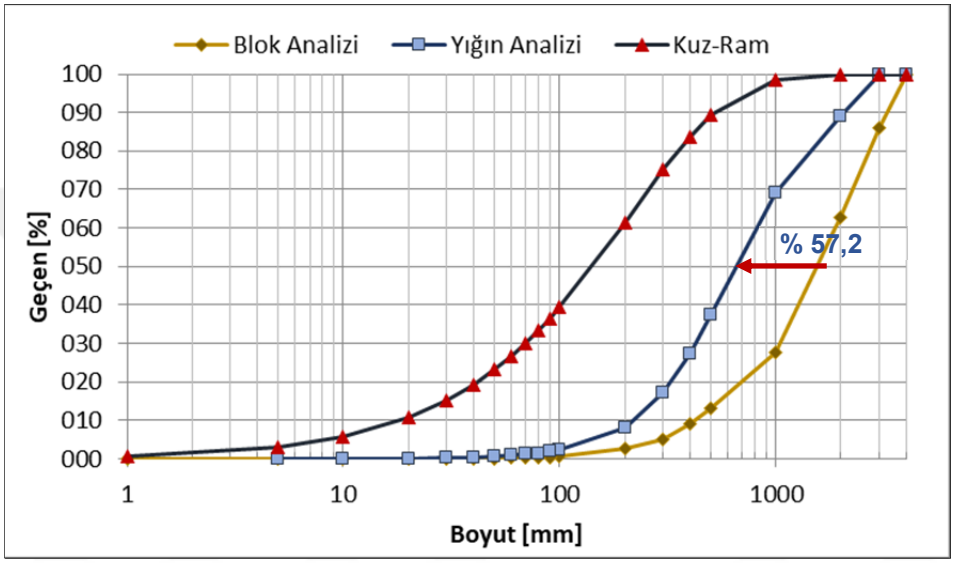
Şekil 5.31. AÇS 13 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri



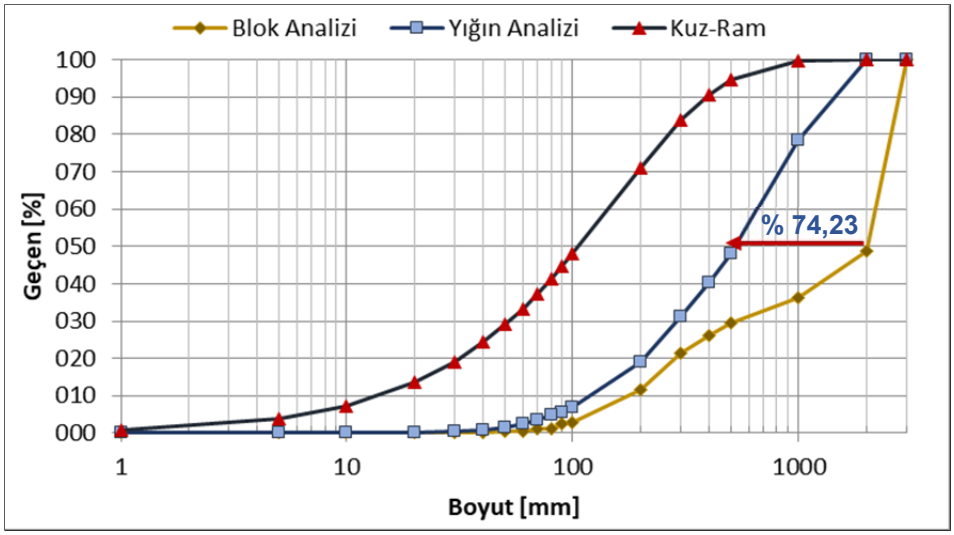
Şekil 5.32. AÇS 14 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımının D_{50} değerlerine göre; AÇS 13 atımı % 62,3 ve AÇS 14 atımı % 77 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

AÇS 15 ve AÇS 16'nın grafikleri incelendiğinde atım sonrası yığın ile Kuz-Ram tahmini parça boyut dağılımında farklılık vardır (Şekil 5.33-Şekil 5.34). Yığının ve bloğun boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 15 atımı % 57,2 ve AÇS 16 atımı % 74,23 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

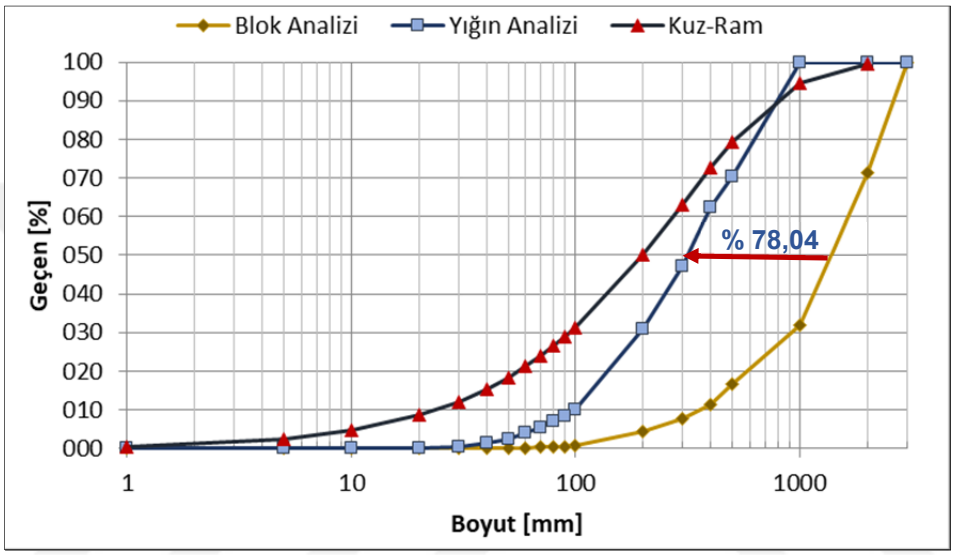


Şekil 5.33. AÇS 15 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

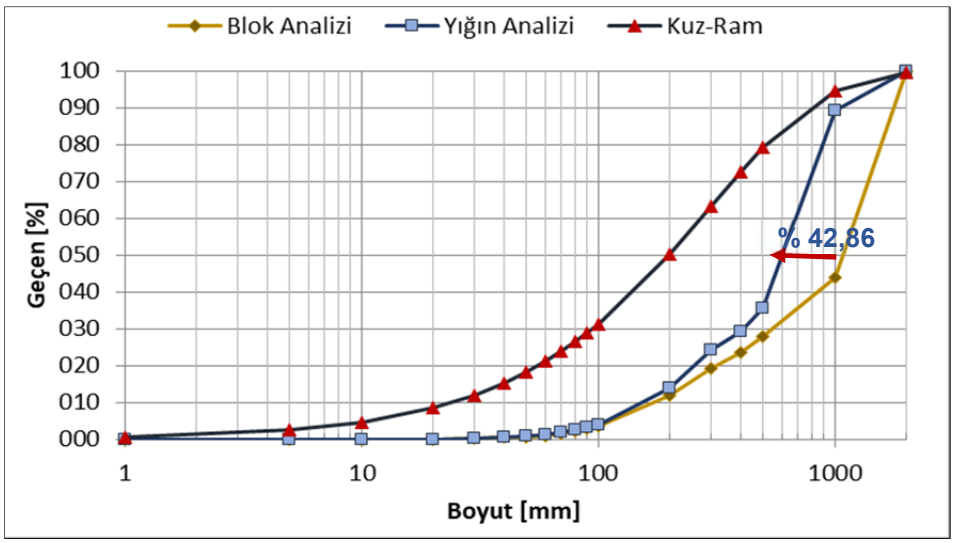


Şekil 5.34. AÇS 16 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 17 ve AÇS 18'in grafikleri incelendiğinde atım sonrası yığın ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımında farklıdır (Şekil 5.35, Şekil 5.36). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 17 atımı % 78,04 ve AÇS 18 atımı % 42,86 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

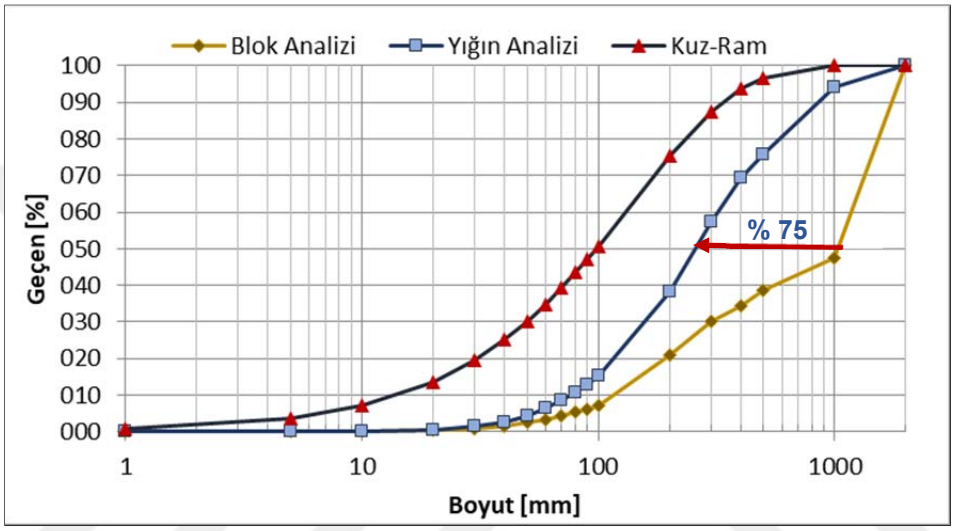


Şekil 5.35. AÇS 17 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

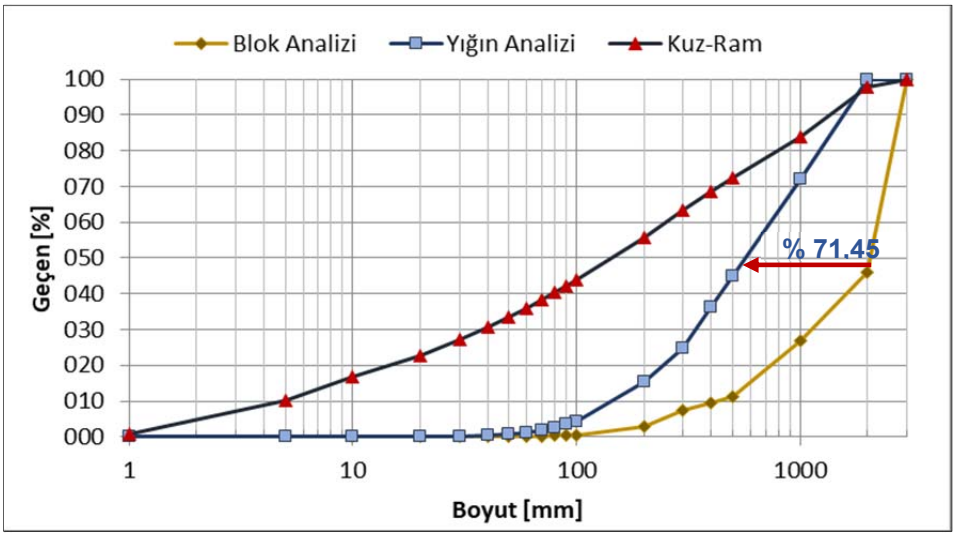


Şekil 5.36. AÇS 18 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 19 ve AÇS 20'nin grafikleri incelendiğinde yığın parça boyut dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımı arasında farklılık olduğu, yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 19 atımı % 75 ve AÇS 20 atımı % 71,45 boyut küçülme oranı sağlamıştır (Şekil 5.37, Şekil 5.38).

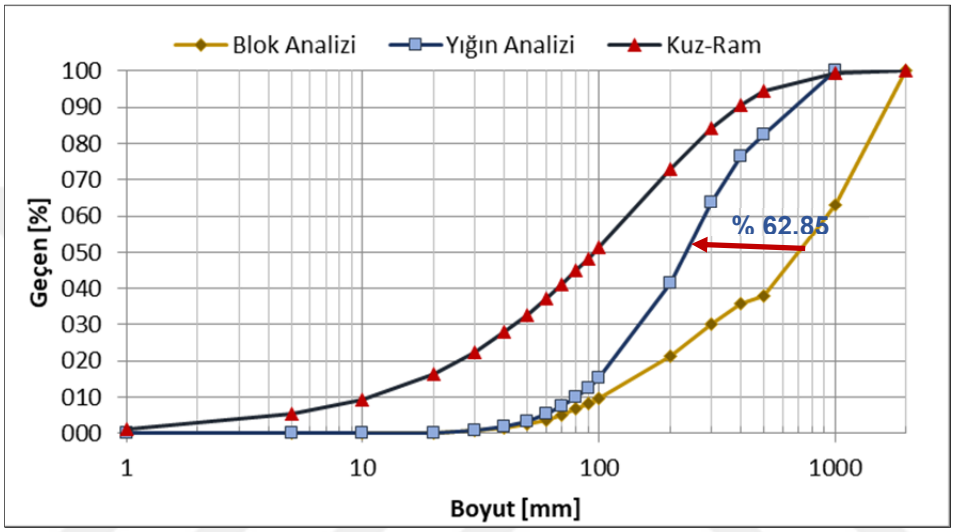


Şekil 5.37. AÇS 19 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

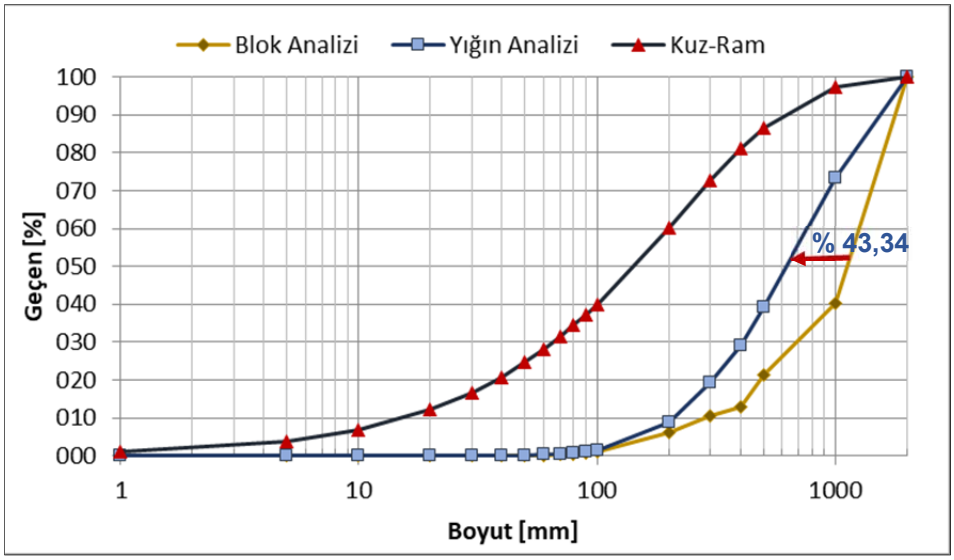


Şekil 5.38. AÇS 20 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 21 ve AÇS 22'in yığın parça boyut dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımı arasında farklılık vardır (Şekil 5.39, Şekil 5.40). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 21 atımı % 62,85 ve AÇS 22 atımı % 43,34 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

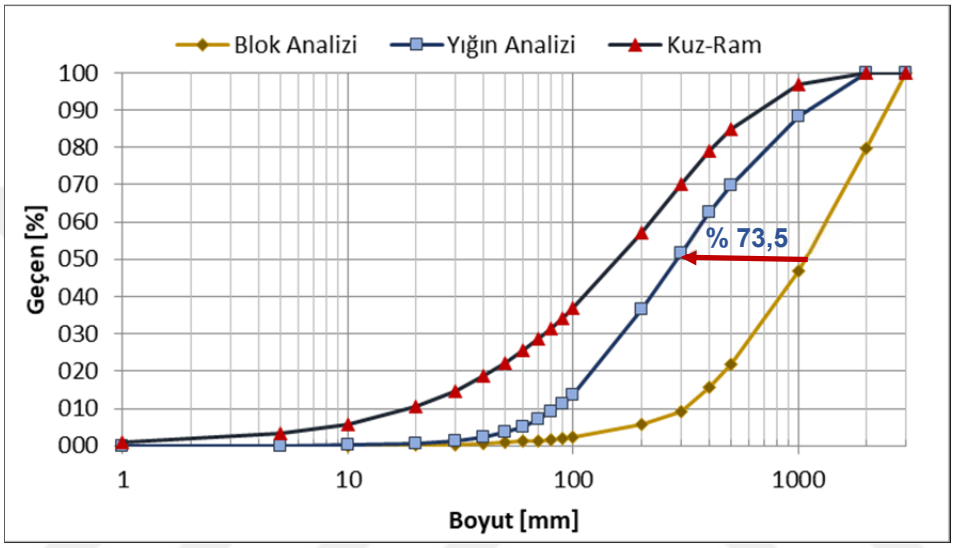


Şekil 5.39. AÇS 21 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

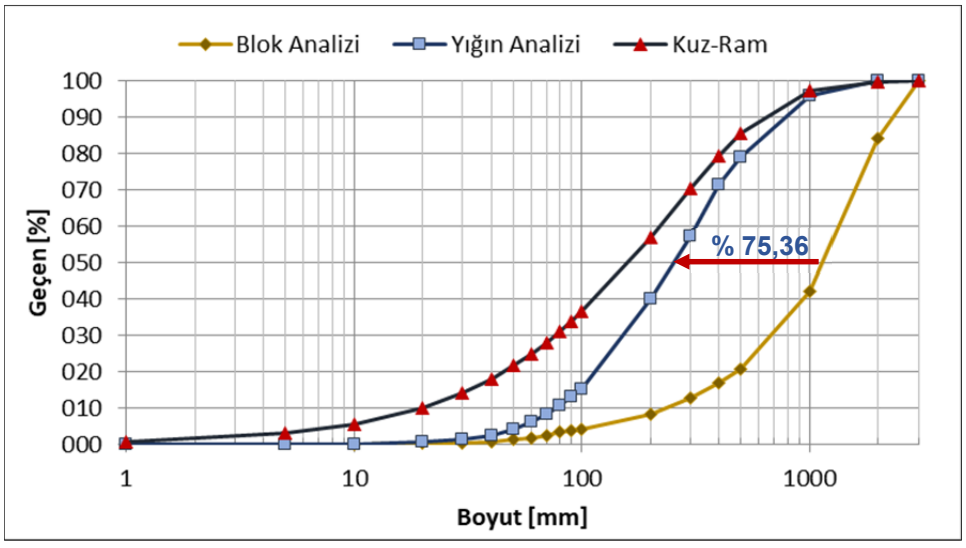


Şekil 5.40. AÇS 22 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 23 ve AÇS 24 atımlarında patlatma sonrası yığın boyutu dağılımı ile Kuz-Ram tahmin modeli boyut dağılımında farklıdır (Şekil 5.41, Şekil 5.42). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 23 atımı % 73,50 ve AÇS 24 atımı % 75,36 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

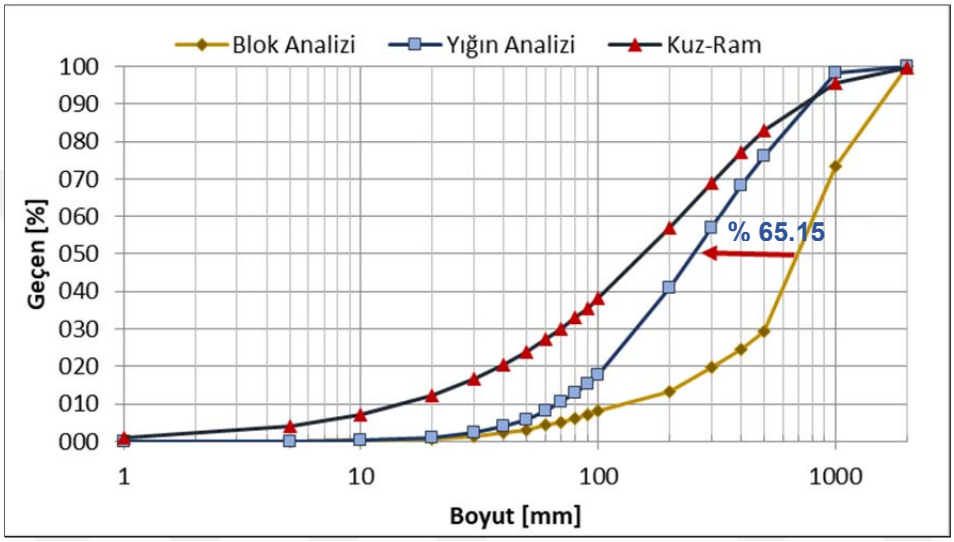


Şekil 5.41. AÇS 23 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

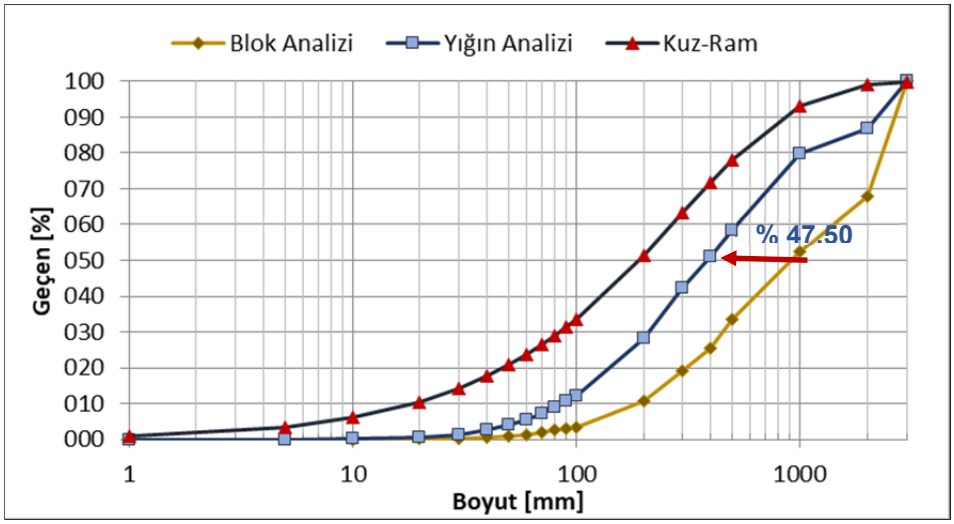


Şekil 5.42. AÇS 24 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 25 ve AÇS 26 atımlarında patlatma sonrası yığın ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyutu dağılımı arasında farklıdır (Şekil 5.43-Şekil 5.44). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 25 atımı % 65,15 ve AÇS 26 atımı % 47,50 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

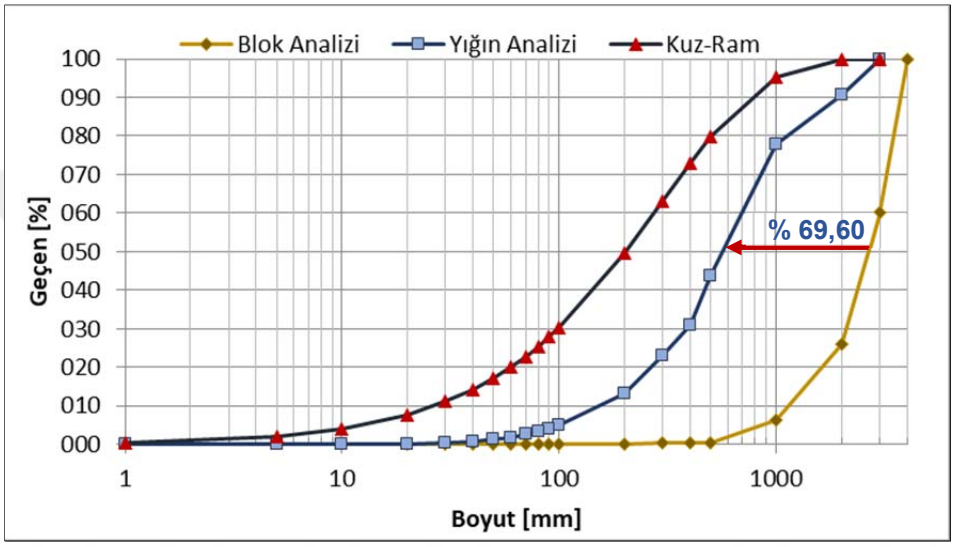


Şekil 5.43. AÇS 25 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

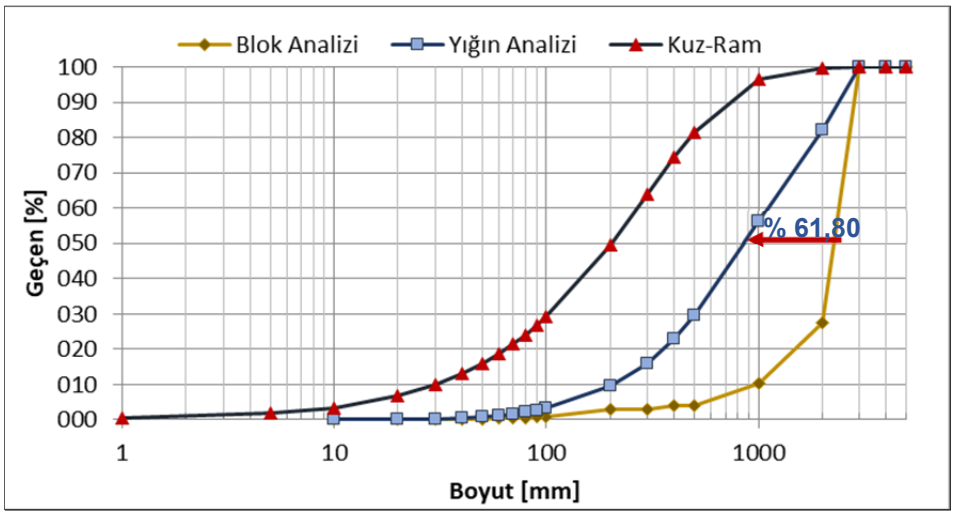


Şekil 5.44. AÇS 26 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 27 ve AÇS 28 atımlarında patlatma sonrası yığın ile Kuz-Ram tahmin modeli parça boyutu dağılımı arasında farklıdır (Şekil 5.45-Şekil 5.46). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 27 atımı % 69,60 ve AÇS 28 atımı % 61,80 boyut küçülme oranı sağlamıştır.

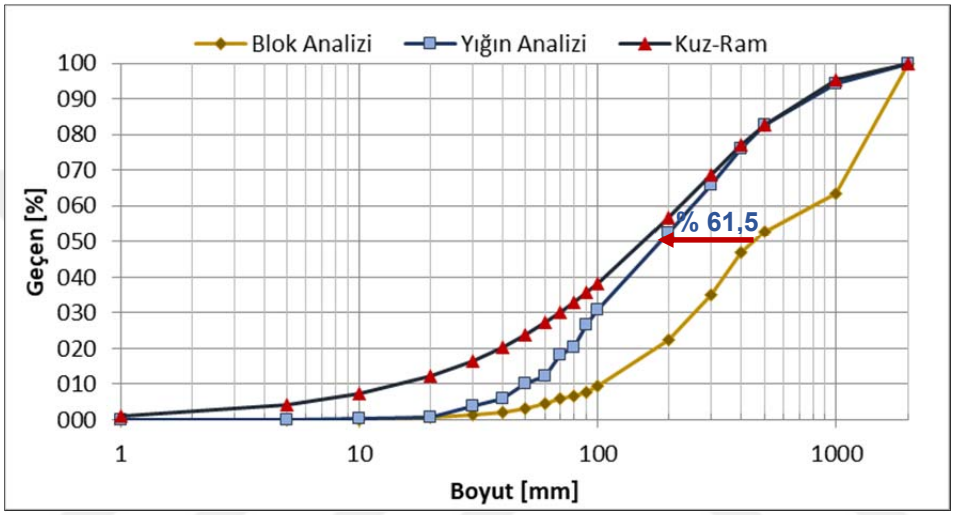


Şekil 5.45. AÇS 27 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

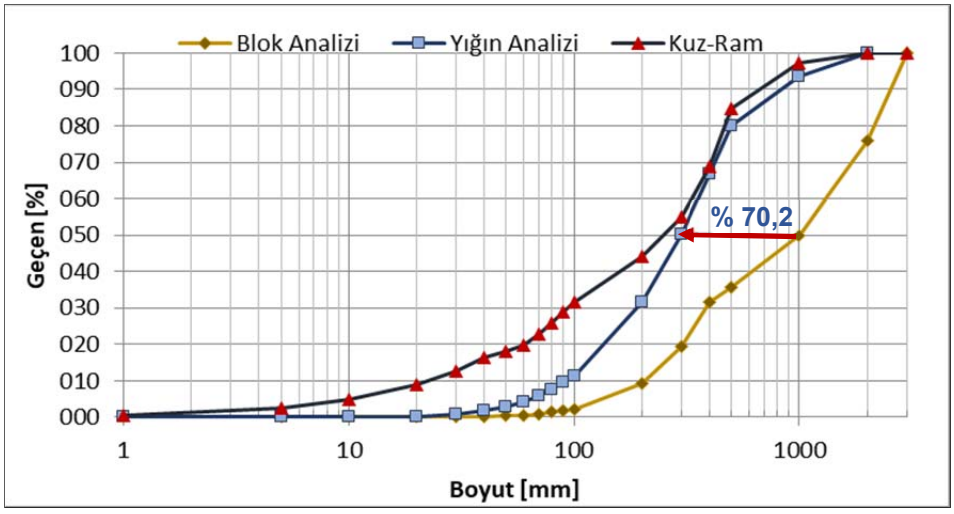


Şekil 5.46. AÇS 28 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

AÇS 29 ve AÇS 30 atımlarında patlatma sonrası yığın ile Kuz-Ram tahmin modeli boyut dağılımı arasında benzerlik vardır (Şekil 5.47, Şekil 5.48). Atım sonunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre; AÇS 29 atımı % 61,50 ve AÇS 30 atımı % 70,20 boyut küçülme oranı sağlamıştır.



Şekil 5.47. AÇS 29 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri



Şekil 5.48. AÇS 30 Atımının Parça Boyut Dağılım Grafikleri

Tüm patlatmaların D_{10}, D_{25}, D_{50}, D_{75} ve D_{90} değerleri ve yerinde ortalama blok boyutu ile ortalama yığın boyutunun oranı olarak ifade edilen, patlatma verimliliği hakkında yorum yapmamıza yarıyan parçalanma indeksi (FI_{50}) değerleride hesaplanmıştır (Çizelge 5.6). Parçalanma indeksinin saha formasyon değişimlerinden dolayı 1,81 ile 5,82 arasında değiştiği gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirdiğimizde 5'den büyük parçalanma indeksine sahip atımların iyi derecede parçalanma gösterdiğini söylemek mümkündür.

Çizelge 5.6. Patlatmaların Dağılım Oranları ve Parçalanma Indeksi Değerleri

Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI_{50}
AÇS 1	Yerinde Blok	277,5	590,4	886,5	1381,4	1752,4	4,11
	Yığın	47,1	102,1	215,3	374,4	659,3	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 2	Yerinde Blok	335,6	545,8	771,9	997,9	1596,3	3,68
	Yığın	86,6	148,0	252,8	394,5	616,7	
	Kuz-Ram	25,0	70,0	180,0	350,0	700,0	
AÇS 3	Yerinde Blok	1090,5	3018,0	3345,3	3672,6	3869,0	3,44
	Yığın	197,4	471,4	970,6	3325,5	3730,2	
	Kuz-Ram	25,0	70,0	180,0	350,0	700,0	
AÇS 4	Yerinde Blok	613,1	896,1	1651,9	2368,5	2747,4	3,99
	Yığın	128,4	224,1	382,9	774,6	1290,7	
	Kuz-Ram	20,0	65,0	200,0	450,0	800,0	
AÇS 5	Yerinde Blok	497,68	797,06	1788,0	3456,6	3782,6	3,63
	Yığın	163,10	285,09	492,2	845,6	1396,1	
	Kuz-Ram	20,00	55,00	150,0	300,0	500,0	
AÇS 6	Yerinde Blok	304,29	499,17	965,96	1481,0	1792,4	5,18
	Yığın	65,61	109,83	186,44	319,8	605,3	
	Kuz-Ram	20,00	55,00	150,00	300,0	500,0	
AÇS 7	Yerinde Blok	406,9	670,1	1130,9	1615,4	1846,1	1,82
	Yığın	191,0	343,2	620,6	996,8	1557,7	
	Kuz-Ram	17,0	60,0	180,0	400,0	800,0	

Çizelge 5.6'nın devamı

Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI_{50}
AÇS 8	Yerinde Blok	373,3	806,1	1870,7	3106,0	3642,4	2,53
	Yığın	233,2	390,8	737,3	1289,8	1864,4	
	Kuz-Ram	18,00	80,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 9	Yerinde Blok	279,8	566,6	1146,1	1752,2	2323,4	2,17
	Yığın	173,7	300,9	527,0	923,5	1504,4	
	Kuz-Ram	15,0	70,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 10	Yerinde Blok	1265,6	1956,7	2560,5	3197,0	3678,8	5,37
	Yığın	105,6	217,1	476,2	922,5	2012,5	
	Kuz-Ram	18,00	80,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 11	Yerinde Blok	153,6	425,5	859,9	1404,7	1761,9	4,39
	Yığın	56,8	99,6	195,8	409,0	903,3	
	Kuz-Ram	15,0	70,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 12	Yerinde Blok	488,5	853,1	1274,6	1637,3	1854,9	5,51
	Yığın	69,0	124,9	231,0	494,7	934,0	
	Kuz-Ram	15,0	70,0	200,0	400,0	800,0	
AÇS 13	Yerinde Blok	527,15	922,2	1254,8	1627,4	1850,9	2,65
	Yığın	135,32	250,0	473,3	950,0	1554,8	
	Kuz-Ram	10,00	40,0	120,0	300,0	600,0	
AÇS 14	Yerinde Blok	408,36	756,32	1844,7	3263,7	3705,5	4,33
	Yığın	117,05	211,44	425,2	1155,6	2148,5	
	Kuz-Ram	25,00	70,00	200,0	400,0	800,0	
AÇS 15	Yerinde Blok	424,39	905,08	1635,8	2529,5	3290,9	2,33
	Yığın	221,05	377,32	699,6	1294,6	2087,6	
	Kuz-Ram	20,00	60,00	140,0	300,0	500,0	
AÇS 16	Yerinde Blok	1167,7	1511,4	2068,4	2534,2	2813,6	3,88
	Yığın	126,7	249,1	532,9	944,3	1537,3	
	Kuz-Ram	5,00	40,0	110,0	250,0	400,0	

Çizelge 5.6'nın devamı

Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI_{50}
AÇS 17	Yerinde Blok	362,7	772,6	1454,8	2122,8	2649,1	4,45
	Yığın	98,52	171,8	319,4	576,9	830,7	
	Kuz-Ram	23,0	70,0	200,0	450,0	800,0	
AÇS 18	Yerinde Blok	176,8	432,1	1108,6	1554,3	1821,7	1,75
	Yığın	160,3	317,0	633,4	866,3	1062,0	
	Kuz-Ram	23,0	70,0	200,0	450,0	800,0	
AÇS 19	Yerinde Blok	121,4	244,4	1048,2	1524,1	1809,6	4,01
	Yığın	75,6	142,1	261,3	489,0	887,3	
	Kuz-Ram	23,0	70,0	200,0	450,0	800,0	
AÇS 20	Yerinde Blok	430,1	884,8	2074,6	2537,3	2814,9	3,50
	Yığın	151,6	300,4	592,1	1103,6	1641,4	
	Kuz-Ram	10,0	25,0	110,0	550,0	1500,0	
AÇS 21	Yerinde Blok	101,4	241,8	741,6	1326,7	1730,7	3,11
	Yığın	77,1	136,8	238,4	389,5	716,2	
	Kuz-Ram	10,0	35,0	100,0	250,0	400,0	
AÇS 22	Yerinde Blok	336,2	595,7	1161,8	1580,9	1832,3	1,76
	Yığın	209,3	356,8	658,2	1057,5	1623,0	
	Kuz-Ram	15,0	50,0	150,0	350,0	600,0	
AÇS 23	Yerinde Blok	312,5	564,5	1097,68	1856,6	2506,8	3,78
	Yığın	82,1	149,9	290,113	641,201	1153,9	
	Kuz-Ram	15,0	50,0	150,00	350,00	600,00	
AÇS 24	Yerinde Blok	193,0	536,0	1047,44	1744,69	2368,9	4,05
	Yığın	76,654	139,31	258,00	447,668	828,1	
	Kuz-Ram	20,00	60,00	150,00	350,00	750,0	
AÇS 25	Yerinde Blok	136,48	410,9	735,1	1059,8	1623,9	2,87
	Yığın	67,46	131,4	256,1	487,0	812,3	
	Kuz-Ram	20,00	60,0	150,0	350,0	750,0	

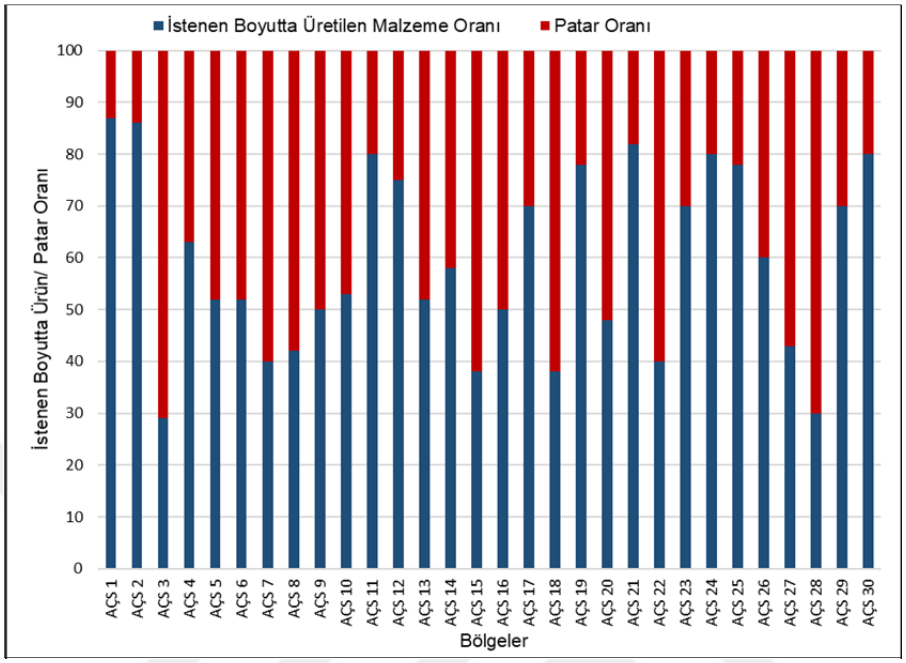
Çizelge 5.6'nın devamı

Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI_{50}
AÇS 26	Yerinde Blok	188,1	391,2	739,8	2224,4	2689,7	1,90
	Yığın	86,0	178,9	388,4	885,6	2251,0	
	Kuz-Ram	10,0	60,0	200,0	450,0	900,0	
AÇS 27	Yerinde Blok	1101,6	1417,9	1945,1	2472,5	2789,0	3,29
	Yığın	161,8	324,2	591,1	958,7	1951,5	
	Kuz-Ram	25,0	80,0	200,0	450,0	800,0	
AÇS 28	Yerinde Blok	1253,4	1892,1	2311,3	2655,6	2862,2	2,61
	Yığın	204,9	432,5	883,2	1727,1	2811,7	
	Kuz-Ram	20,0	80,0	200,0	400,0	700,0	
AÇS 29	Yerinde Blok	105,6	219,7	418,6	895,6	1544,8	2,59
	Yığın	43,7	77,8	161,4	352,6	745,5	
	Kuz-Ram	15,0	55,0	160,0	370,0	700,0	
AÇS 30	Yerinde Blok	206,4	345,7	1003,6	1966,7	2585,6	3,36
	Yığın	91,3	167,5	298,5	461,5	870,7	
	Kuz-Ram	22,0	70,0	180,0	400,0	700,0	

5.1.4. Kırıcı Performansı Açısından Patlatma Veriminin İncelenmesi

Çalışma sahasında patlatma sonrası oluşan yığından elde edilen malzemenin kırıcıya beslenebilmesi için kırıcı çene açıklığı 50 cm olduğundan 50x50 cm boyutundan küçük olması istenmektedir. Sahada hammadde üretimini yapan firma ile Adana Çimento Türk A.Ş.'nin taşeron sözleşmesi gereği bu boyuttan büyük malzemeler patar sayılmakta ve daha küçük boyutlara indirilmeden kırıcı sistemine gönderilmemektedir. Bu durum patlatma sonrası ek maliyete sebep olmaktadır.

İzlenen 30 atımın patlatma sonrası WipFrag ile yapılan yığın analizleri incelenerek 50 cm'den küçük olan malzeme yüzdesi belirlenmiş ve sahanın kırıcı performansı açısından patlatma verimi değerlendirilmiştir (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. Kırıcı Performansı Açısından İstenilen Boyutta Ürün ve Patar Oranları

Patlatmalar parçalanma açısından değerlendirildiğinde verimli olduğu görünmektedir fakat kırıcı performansı açısından değerlendirildiğinde Adana Çimento Türk A.Ş.'nin çimento hammaddesi ürettiği için hammaddenin kırıcıdan 30 mm altına kırılması istenmektedir. Bu yüzden malzeme ne kadar ufalanmış olursa üretim prosesindeki kırma ve öğütme işlemlerinin maliyeti o kadar azalacaktır. Üretim prosesi açısından değerlendirilmesi gereken bu durum göz önünde bulundurulduğunda AÇS 3, AÇS 27 ve AÇS 28 gibi bazı patlatmaların patar miktarının fazla olduğu yani kırıcı performansı açısından patlatmanın verimsiz olduğu görülmüştür. Bu durumun saha içerisindeki formasyon özelliklerindeki değişimden kaynaklandığı ve patlatma sonrası ek maliyete sebep olacağı açıkça görülmektedir. Patar oranının azaltılması sahada formasyon özelliklerindeki değişimlerin belirlenerek patlatma parametrelerinde değişimler yapmakla mümkündür. Özellikle delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı yeniden değerlendirilmelidir.

5.1.5. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahasında Ortalama Tane Boyutu ile Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişkiler

5.1.5.1. Ortalama Tane Boyutu (X_{50}) ile Kayaçların Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Adana Çimento Çaldağ hammadde sahasında izlenen her atımdan alınan örneklere uygulanan özgül ağırlık (G_s), birim hacim ağırlık (ρ), ağırlıkça su emme oranı (A_w) ve porozite (n) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modelleri tek tek uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Uygulanan her model için hata kareler ortalaması (HKO) ve R^2 değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir. Oluşturulan tüm modellerin varyans analizi tablo değerleri incelenmiş ve p değerlerinin α=0,05'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durum modellerimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.7 incelendiğinde; bazı modellerde R^2 değerlerinin daha büyük olmasına rağmen hata kareleri ortalaması yüksek olduğundan o modeller seçilmemiştir.

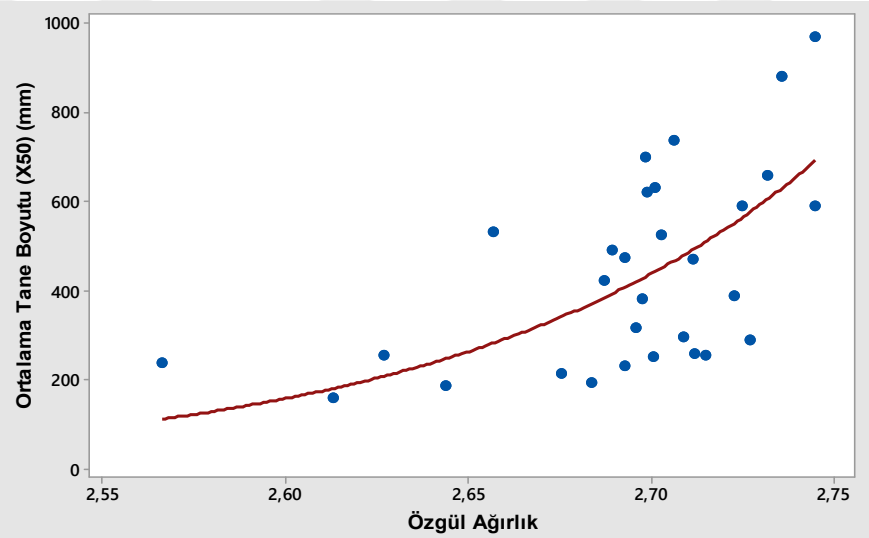
Çizelge 5.7. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri

Bağımsız Değişken		**G_s**	**ρ (g/cm^3)**	**A_w (%)**	**n (%)**
Doğrusal Model	HKO	33966	23726	23980	13693
	%R^2	29,70	50,90	50,30	71,60
Logaritmik	HKO	34119	***23259***	14221	***9174***
	%R^2	29,40	***51,80***	70,60	***81,00***
Üssel	HKO	**31904**	26474	***12923***	26474
	%R^2	***33,40***	46,00	***60,90***	77,20
Güç	HKO	43800	25306	15864	10739
	%R^2	33,20	48,20	74,80	80,60
Seçilen Model		Üssel	Logaritmik	Üssel	Logaritmik

5.1.5.1.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık İlişkisi

Özgül ağırlık (G_s) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (31904) olan üssel model seçilmiştir (Şekil 5.50). Bağımsız değişken özgül ağırlığın, bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı olan R^2=0,334 olarak bulunmuştur. Özgül ağırlık kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.1'de verilmiştir.

$$X_{50} = 22{,}61 \times e^{1{,}01528 \times G_s} \quad (5.1)$$

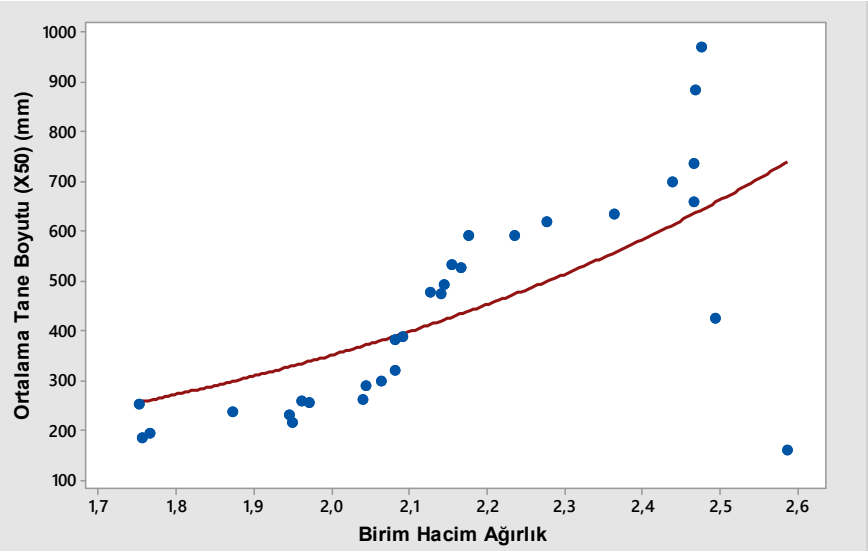


Şekil 5.50. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık Arasındaki İlişkisi

5.1.5.1.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

Birim hacim ağırlık (ρ) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (23259) olan logaritmik model seçilmiştir (Şekil 5.51). Bağımsız değişken birim hacim ağırlığın (ρ), bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,518'dir. Birim hacim ağırlık kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.2'de verilmiştir.

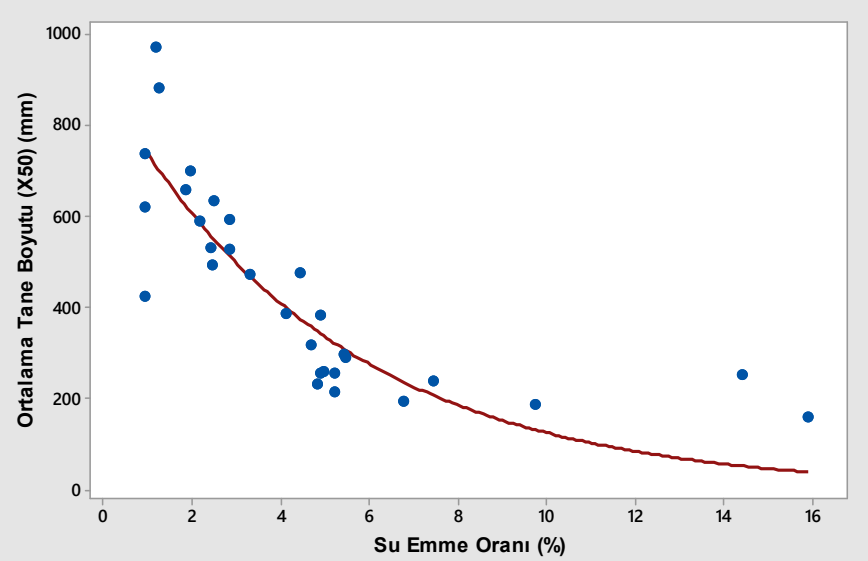
$$X_{50} = 1419{,}3 \ln(\rho) - 637{,}938 \quad (5.2)$$



Şekil 5.51. Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

5.1.5.1.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Ağırlıkça Su Emme Oranı İlişkisi

Ağırlıkça su emme oranı (A_w) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) ilişkisinde hata kareler ortalaması en küçük (12923) olan üssel model seçilmiştir (Şekil 5.52).



Şekil 5.52. Ortalama Tane Boyutu ile Ağılıkça Su Emme Oranı İlişkisi

Bağımsız değişken su emme oranının (A_w) bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,609 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça su emme oranı kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.3'de verilmiştir.

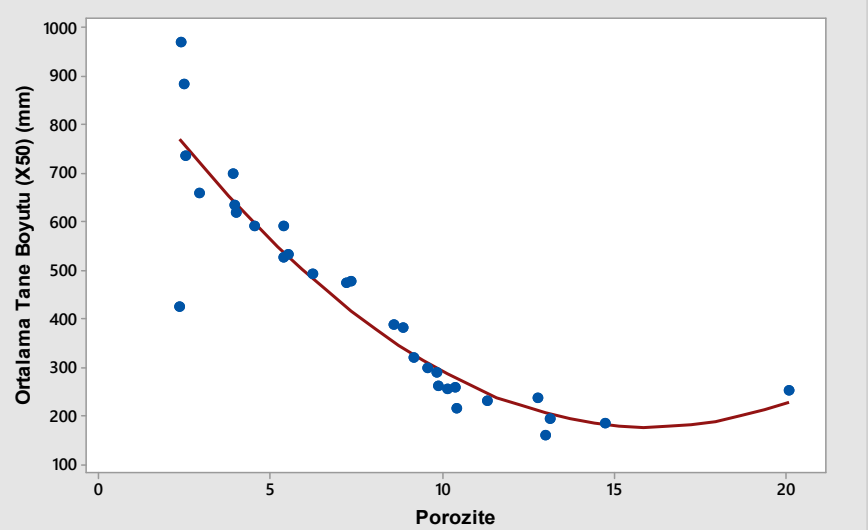
$$X_{50} = 898{,}941 \times e^{-0{,}196 \times A_w} \quad (5.3)$$

5.1.5.1.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Porozite İlişkisi

Porozite (n) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (9174) logaritmik model seçilmiştir (Şekil 5.53).

Bağımsız değişken porozitenin (n) bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,810 olarak bulunmuştur. Porozite kullanarak ortalama tane boyutunun tahmin eşitliği Eşitlik 5.4'de verilmiştir.

$$X_{50} = -323{,}65 \ln(n) + 1060{,}72 \quad (5.4)$$



Şekil 5.53. Ortalama Tane Boyutu ile Porozite Arasındaki İlişkisi

Porozite ile kuvvetli bir ilişki olması gaz ve basınç iletimini hızlandırarak; tane boyutu ile negatif bir ilişki sergilemesinden kaynaklanmaktadır.

5.1.5.1.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi

Kayaçların ortalama tane boyutuna etki eden fiziksel parametreler (birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranı, porozite) kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda tüm parametrelerin modele katkı sağlamadığından her parametre ayrı ayrı modele dahil edilerek değerlendirilmiştir. Modele katkı sağlayan değişkenlerin; özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve su emme oranı olduğu ($p<0,05$) ve porozitenin ($p>0,05$) modele katkısının olmadığı yapılan istatistiksel analizler ile belirlenmiştir.

Porozite bagımsız değişkeninin bağımlı değişken ile basit regresyon analizinde katkı sağlamış olması aynı katkıyı çoklu regresyon analizinde de sağlayacağı anlamına gelmemektedir. Benzer şekilde özgül ağırlık bağımsız değişkeninin de basit regresyon analizinde bağımlı değişkeni açıklama oranının çok düşük olduğu gözlensede çoklu regresyon analizinde modele anlamlı bir katkı sağladığı görülmüştür. Porozite değişkeninin modelden çıkarılması ile yapılan çoklu regresyon analizi tahmin eşitliği Eşitlik 5.5'de verilmiştir.

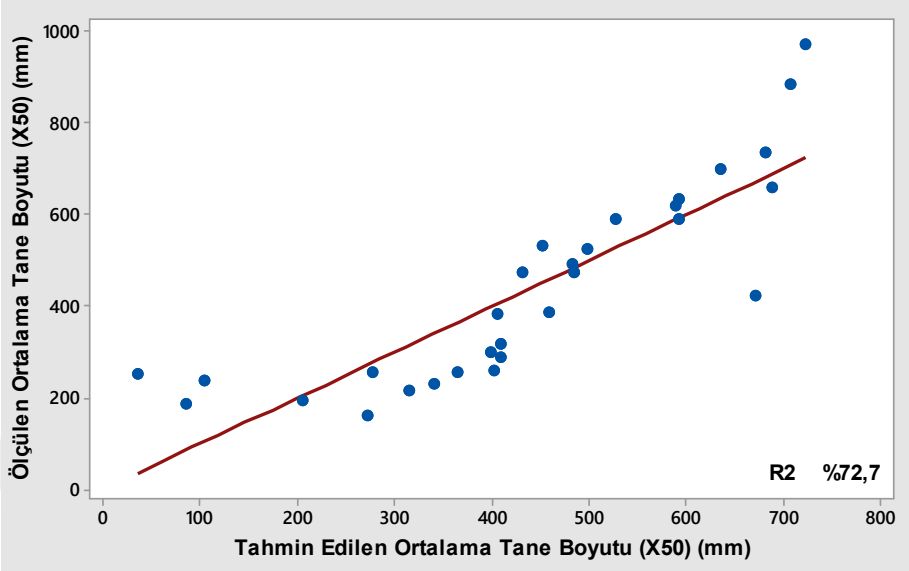
$$X_{50} = -3442 + 445\rho + 1127G_s - 23{,}85A_w \qquad (5.5)$$

Eşitlik 5.5 kullanılarak ortalama tane boyutu tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile WipFrag yardımıyla belirlenen ortalama tane boyutu ve artık değerler Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile birim hacim ağırlık, su emme ve özgül ağırlık bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerininde 0,727 olduğu görülmüştür (Şekil 5.54). Bu durum sahanın fiziksel özelliklerinden porozite değişkeni dışındaki değişkenler kullanılarak sahada gerçekleştirilen patlatmalar sonrasındaki yığının ortalama tane boyutunun tahmin edilebileceğini göztermektedir.

Çizelge 5.8. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ve Artık Değerler

Bölge	Ölçülen X_{50} (mm)	Tahmin Edilen X_{50} (mm)	Artık
AÇS 1	215,309	314,688	-99,379
AÇS 2	252,866	36,433	216,433
AÇS 3	970,632	723,593	247,039
AÇS 4	382,942	406,076	-23,134
AÇS 5	492,297	483,614	8,683
AÇS 6	186,446	85,737	100,709
AÇS 7	620,687	588,939	31,748
AÇS 8	737,348	681,764	55,584
AÇS 9	527,071	498,760	28,311
AÇS 10	476,259	432,470	43,789
AÇS 11	195,824	205,609	-9,785
AÇS 12	231,081	341,310	-110,229
AÇS 13	473,380	485,481	-12,101
AÇS 14	425,295	671,804	-246,509
AÇS 15	699,686	635,682	64,004
AÇS 16	532,961	451,547	81,414
AÇS 17	319,423	409,356	-89,933
AÇS 18	633,409	592,839	40,570
AÇS 19	261,327	402,321	-140,994
AÇS 20	592,185	527,732	64,453
AÇS 21	238,400	104,052	134,348
AÇS 22	658,270	688,028	-29,758
AÇS 23	290,113	409,175	-119,062
AÇS 24	258,004	364,801	-106,797
AÇS 25	256,128	277,925	-21,797
AÇS 26	388,453	458,356	-69,903
AÇS 27	591,182	592,201	-1,019
AÇS 28	883,258	708,134	175,124
AÇS 29	161,412	272,745	-111,333
AÇS 30	298,518	398,992	-100,474



Şekil 5.54. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki

5.1.5.2. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), Brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$), nokta yük dayanımı (Is_{50}), Eğilme Dayanımı (σ_{eg}), çift makaslama dayanımı (τ) ve darbe dayanımı (D_n) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modeller tek tek uygulanmıştır. Uygulanan her model için hata kareler ortalaması (HKO) ve R^2 değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Çizelge incelendiğinde bazı değişkenlere ait R^2 değerlerinin daha büyük olmasına ragmen HKO'sı daha büyük olduğundan seçilmemiştir.

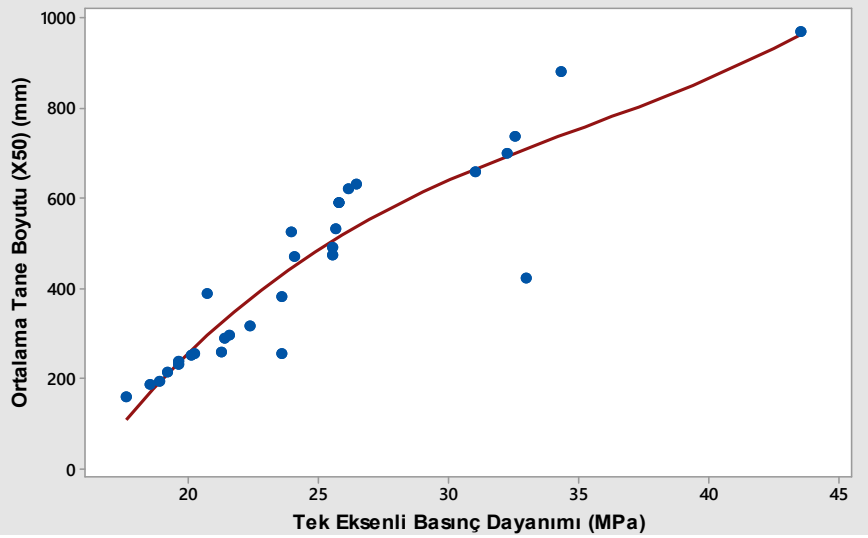
Oluşturulan tüm modellerin varyans analizi tablo değerleri incelendiğinde p değerlerinin α=0,05'den küçük olduğu, bu durum seçilen modellerimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.9. Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri

Bağımsız Değişken		σ_b (MPa)	$\sigma_ç$ (MPa)	Is_{50} (MPa)	σ_{eg} (MPa)	τ (MPa)	Dn (Nmm/mm^3)
Doğrusal	**HKO**	8682	**9150**	13058	9996	**6256**	47722
	% R^2	82,00	**81,10**	73,0	79,30	**87,00**	1,20
Logaritmik	**HKO**	**7804**	11704	13909	15105	7696	48075
	% R^2	**84,90**	75,8	71,20	80,20	84,20	0,50
Üssel	**HKO**	13745	9862	13590	**9886**	6839	47735
	% R^2	73,80	78,10	84,6	**77,40**	82,10	2,3
Güç	**HKO**	10413	9570	**12560**	10331	6326	48103
	% R^2	81,10	82,00	**85,20**	76,70	83,60	1,1
Seçilen Model		Log.	Doğrusal	Güç	Üssel	Doğrusal	-

5.1.5.2.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi

Tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) ilişkisinde hata kareler ortalaması en küçük logaritmik model (7804) seçilmiştir (Şekil 5.55).



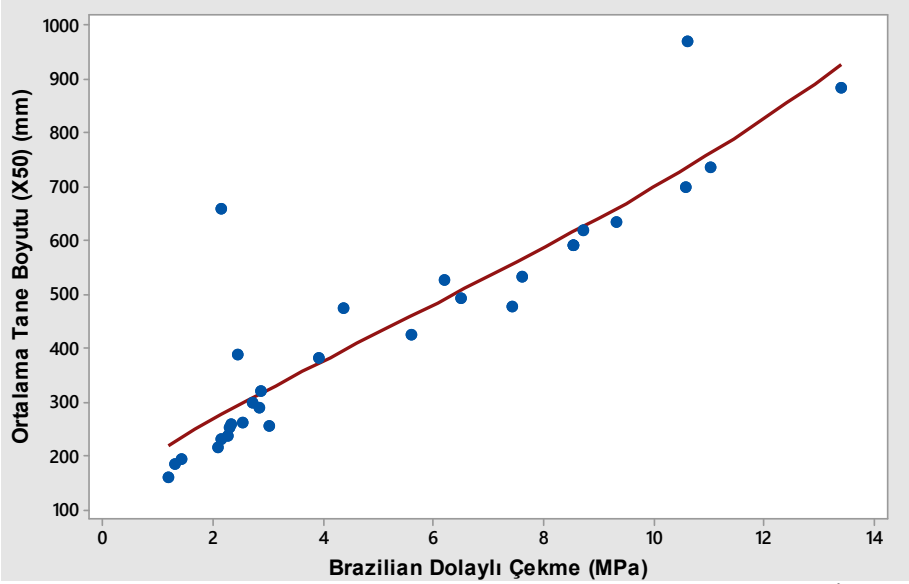
Şekil 5.55. Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi

Bağımsız değişken tek eksenli basınç dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,849 olarak bulunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşitliği Eşitlik 5.6'da görülmektedir.

$$X_{50} = 922{,}139 \ln(\sigma_b) - 2497{,}254 \quad (5.6)$$

5.1.5.2.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi

Brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (9150) modelin doğrusal model olduğu görülmüştür (Şekil 5.56).



Şekil 5.56. Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi

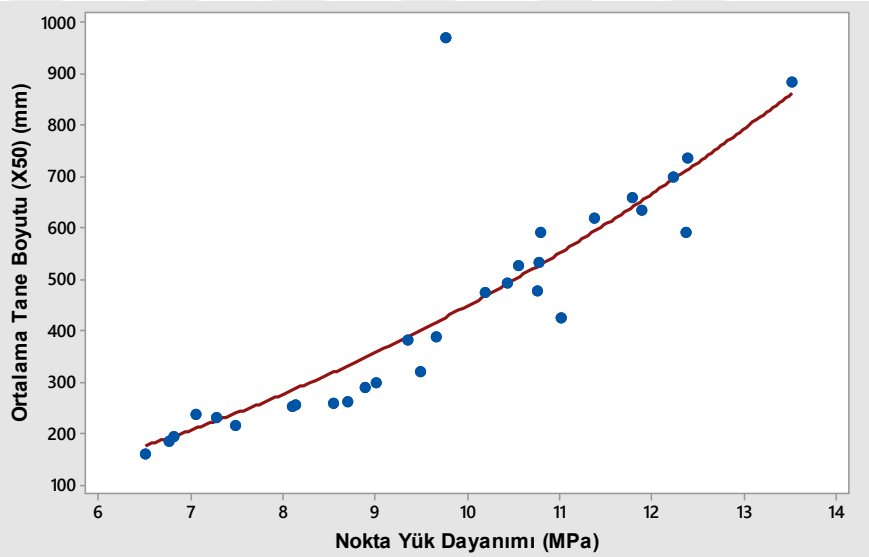
Bağımsız değişken Brazilian dolaylı çekme dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,811 olarak bulunmuştur. Brazilian dolaylı çekme dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği Eşitlik 5.7'de görülmektedir.

$$X_{50} = 155 + 55{,}03\sigma_{ç} \quad (5.7)$$

Ortalama tane boyutu ile Brazilian dolaylı çekme dayanımı arasında dogrusal bir ilişki olduğu ve Brazilian dolaylı çekme dayanımındaki bir birimlik artış ortalama tane boyutunda 155 birimlik artışa sebep olamaktadır.

5.1.5.2.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi

Nokta Yük Dayanımı (Is_{50}) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) ilişkisi incelenmiş hata kareler ortalaması en küçük (12560) güç model seçilmiştir (Şekil 5.57).



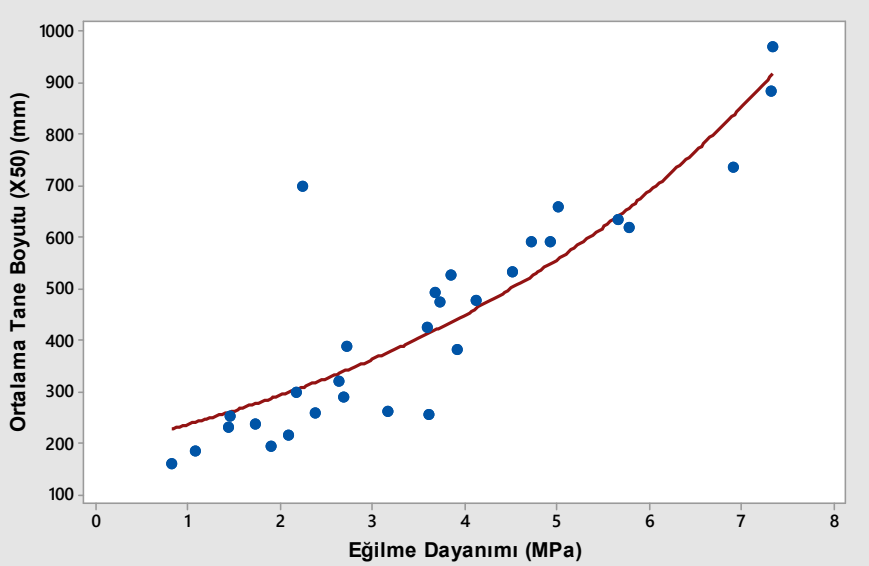
Şekil 5.57. Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi

Bağımsız değişken nokta yük dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,852 olarak bulunmuştur. Nokta yük dayanımı ile tane boyutunun tahmin eşiliği Eşitlik 5.8'de görülmektedir.

$$X_{50} = 3{,}053 \times {Is_{50}}^{2{,}166} \quad (5.8)$$

5.1.5.2.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi

Eğilme dayanımı (σ_{eg}) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) ilişkinde hata kareler ortalaması (9886) en küçük modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.58).



Şekil 5.58. Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi

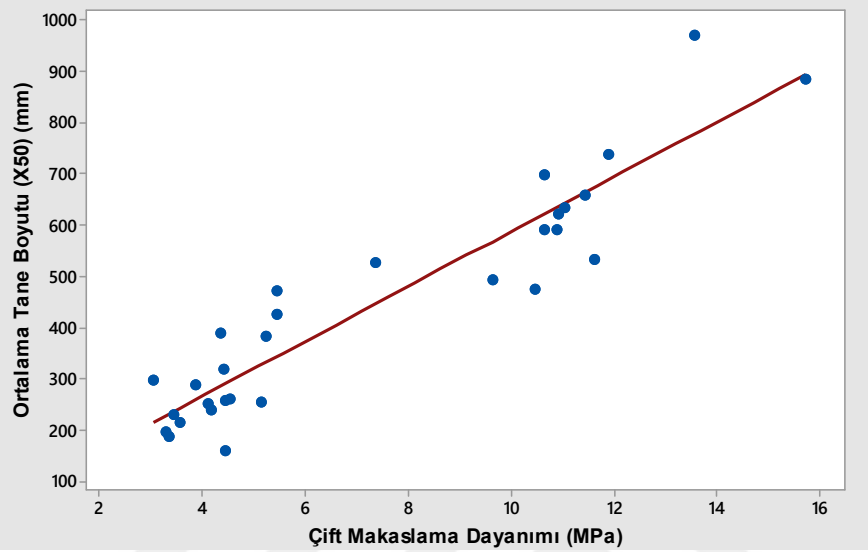
Bağımsız değişken eğilme dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,774 olarak bulunmuştur. Eğilme dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.9'da görülmektedir.

$$X_{50} = 191{,}284 \times e^{0{,}213\sigma eg} \quad (5.9)$$

5.1.5.2.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile çift makaslama dayanımı (τ) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması en küçük (6256) modelin doğrusal model seçilmiştir (Şekil 5.59). Bağımsız değişken çift makaslama dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,87'dir. Çift makaslama dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.10'da görülmektedir.

$$X_{50} = 52{,}40 + 53{,}52\,\tau \quad (5.10)$$



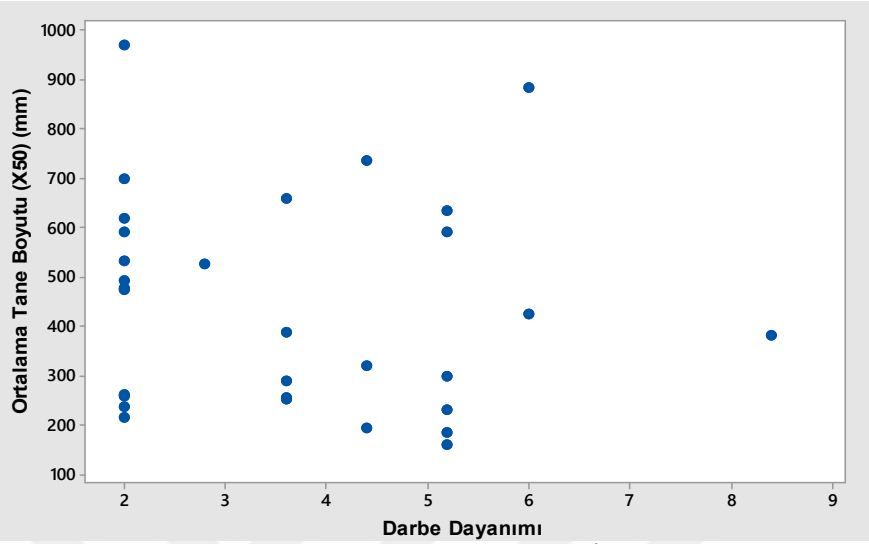
Şekil 5.59. Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi

Çift makaslama dayanımı ile ortalama tane boyutu arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve çift makaslama dayanımındaki bir birimlik değişim ortalama tane boyutunda 52,40 birimlik bir değişime sebep olmaktadır.

5.1.5.2.(6). Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi

Ortalama Tane Boyutu (X_{50}) ile darbe dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemek için yapılan analizlerde iki değişken arasında bir ilişkinin varlığı gözlenmemiştir (Şekil 5.60).

Doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modellerin hepsinde R2 değeri oldukça küçük çıkmıştır. Bu durum bağımsız değişken olan darbe dayanımı ile bağımlı değişken olan ortalama tane boyutu arasındaki ilişkinin kuvvetli olmadığına işeret etmektedir. İlişki olmadığı için darbe dayanımı için amprik bir formül geliştirilmemiştir.



Şekil 5.60. Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi

Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasındaki numunelerin Los Angeles aşınma kaybı (LA), Schmidt sertliği (SCH) ve P dalga hızları (V_p) belirlenmiş ve bu özelliklerinin patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek için basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik üssel ve güç modeller tek tek uygulanmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10. Diğer Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 Değerleri

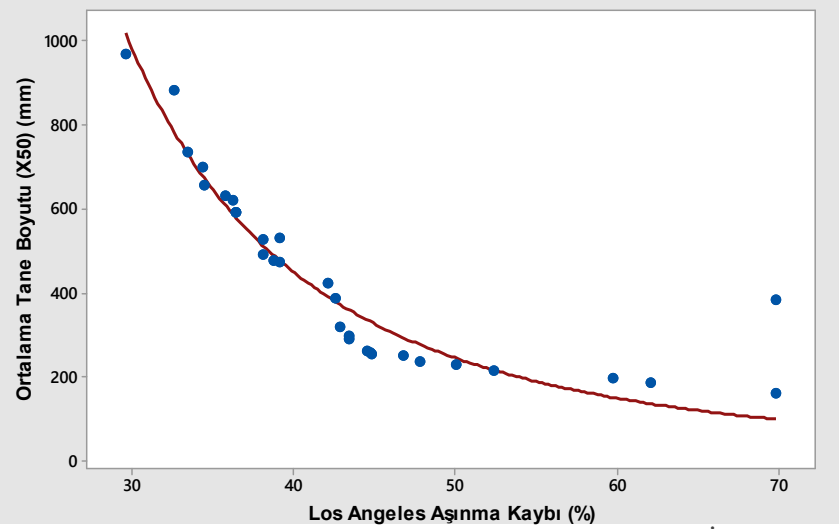
Bağımsız Değişken		**LA (%)**	**SCH**	**V_P (km/sn)**
Doğrusal Model	**HKO**	20504	3419	**10668**
	R^2 (%)	57,5	92,9	**77,9**
Logaritmik	**HKO**	14960	4985	12016
	R^2 (%)	69,00	89,7	75,10
Üssel	**HKO**	6438	6437	12522
	R^2 (%)	64,6	89,3	85,4
Güç	**HKO**	**5028**	**2709**	10841
	R^2 (%)	**74,1**	**89,6**	86,3
Seçilen Model		Güç	Güç	Doğrusal

Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Oluşturulan modellerin varyans analizi tablo değerleri incelendiğinde p değerlerinin α=0,05'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durum modellerimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

5.1.5.2.(7). Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile Los Angeles Aşınma Dayanımı (LA) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (5028) en küçük modelin güç model olduğu görülmüştür (Şekil 5.61). Bağımsız değişken Los Angeles aşınma kaybının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,741 olarak bulunmuştur. Los Angeles aşınma kaybı kullanarak tane boyutu tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.11'de görülmektedir.

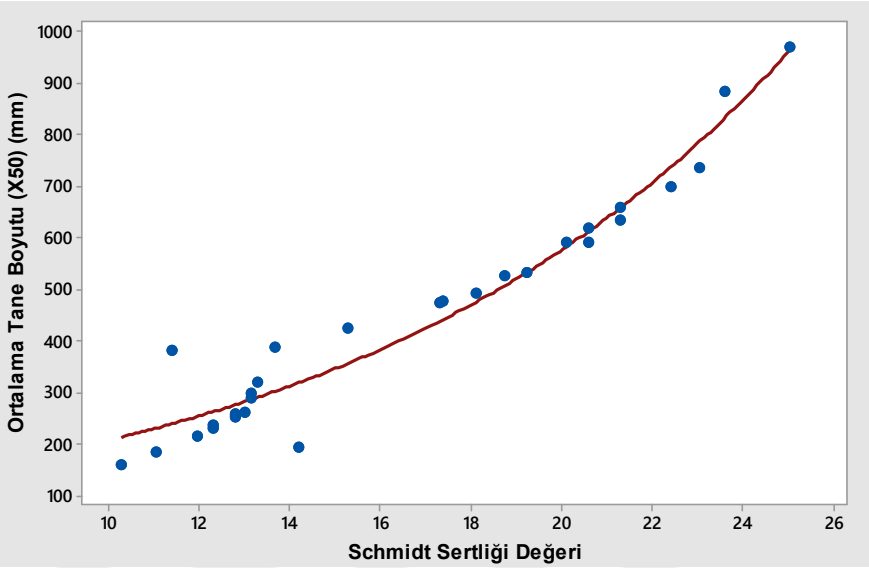
$$X_{50} = 10382740 \times LA^{-272287} \quad (5.11)$$



Şekil 5.61. Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi

5.1.5.2.(8). Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile Schmidt sertliği (SCH) ilişkinde hata kareler ortalaması (2709) en küçük olan güç model seçilmiştir (Şekil 5.62).



Şekil 5.62. Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi

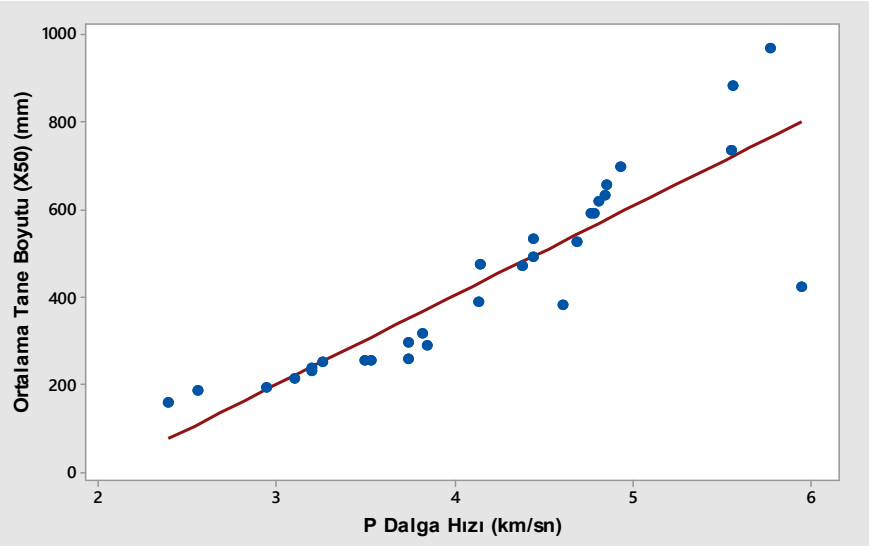
Bağımsız değişken olan Schmidt sertliğinin bağımlı değişken ortalama tane boyutu arasındaki değişimi açıklama oranı yani R^2=0,896 olarak bulunmuştur. Schmidt sertliği kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.12'de görülmektedir.

$$X_{50} = 2{,}63079 \times SCH^{1{,}81247} \tag{5.12}$$

5.1.5.2.(9). Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile P dalga hızı arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (10668) en küçük olan modelin doğrusal model olduğu görülmüştür (Şekil 5.63). Bağımsız değişken P dalga hızı ile bağımlı değişken ortalama tane boyutu arasındaki değişimi açıklama oranı yani R^2=0,779 olarak bulunmuştur. P dalga hızı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.13'de görülmektedir.

$$X_{50} = -410{,}30 + 203{,}7\, V_p \tag{5.13}$$



Şekil 5.63. Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi

5.1.5.2.(10). Ortalama Tane Boyutu ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi

Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin ortalama tane boyutu ile ilişkisini belirlemek amacıyla ayrıca çoklu regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda tüm parametrelerin modele katkı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle her parametre ayrı ayrı modele dahil edilerek değerlendirilmiştir.

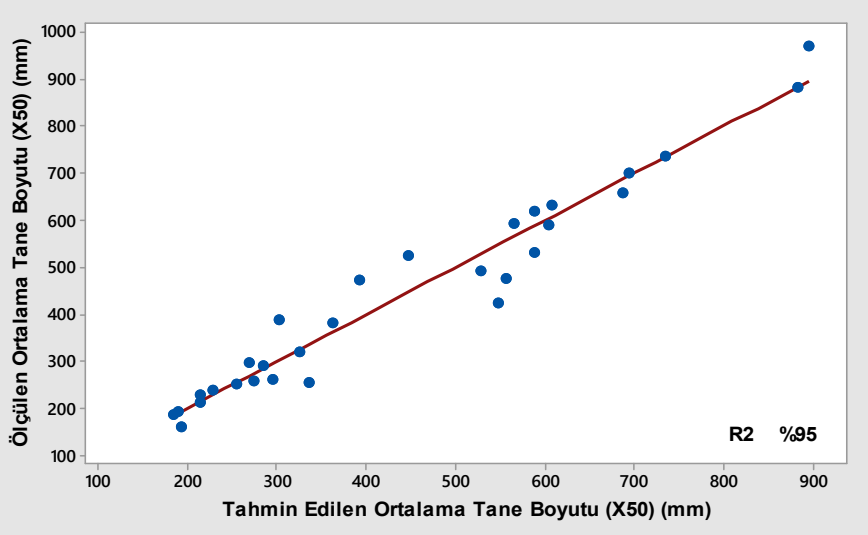
İlk Aşamada dayanım özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Modele katkı sağlayan değişkenlerin; tek eksenli basınç dayanımı, çift makaslama dayanımı ve nokta yük dayanımı olduğu ($p<0,05$) ve Brazilian dolaylı çekme dayanımı, darbe dayanımını ve Los Angeles aşınma kaybı ($p>0,05$) modele katkısının olmadığı yapılan istatistiksel analizler ile belirlenmiştir. Brazilian dolaylı çekme dayanımı ve darbe dayanımı değişkenlerinin modelden çıkarılması ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır Modelden elde edilen tahmin eşitliği Eşitlik 5.14'de verilmiştir ve eşitlik kullanılarak ortalama tane boyutu tahmin edilmiştir (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.11. Mekanik Özellikler ile Kurulan Çoklu Regresyon Modelinde Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler

Bölge	Ölçülen X_{50} (mm)	Tahmin Edilen X_{50}(mm)	Artık
AÇS 1	215,309	214,257	1,052
AÇS 2	252,866	255,250	-2,384
AÇS 3	970,632	895,159	75,473
AÇS 4	382,942	362,674	20,268
AÇS 5	492,297	527,860	-35,563
AÇS 6	186,446	184,594	1,852
AÇS 7	620,687	589,237	31,450
AÇS 8	737,348	734,581	2,767
AÇS 9	527,071	447,831	79,240
AÇS 10	476,259	556,180	-79,921
AÇS 11	195,824	189,379	6,445
AÇS 12	231,081	214,066	17,015
AÇS 13	473,380	393,054	80,326
AÇS 14	425,295	547,720	-122,425
AÇS 15	699,686	694,659	5,027
AÇS 16	532,961	588,446	-55,485
AÇS 17	319,423	326,164	-6,741
AÇS 18	633,409	607,863	25,546
AÇS 19	261,327	295,912	-34,585
AÇS 20	592,185	565,305	26,880
AÇS 21	238,400	228,230	10,170
AÇS 22	658,270	686,476	-28,206
AÇS 23	290,113	284,816	5,297
AÇS 24	258,004	274,371	-16,367
AÇS 25	256,128	336,361	-80,233
AÇS 26	388,453	301,911	86,542
AÇS 27	591,182	603,596	-12,414
AÇS 28	883,258	883,136	0,122
AÇS 29	161,412	192,538	-31,126
AÇS 30	298,518	268,539	29,979

$$X_{50} = -325 + 1549\sigma_b + 25{,}74\tau + 20{,}09\, Is_{50} \quad (5.14)$$

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve çekme dayanımı bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerininde 0,95 olduğu görülmüştür (Şekil 5.64).



Şekil 5.64. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki

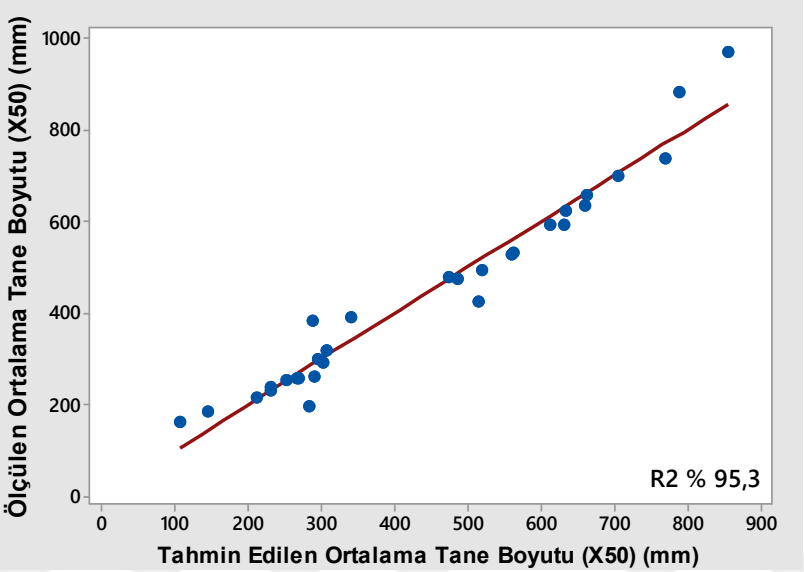
Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen tahribatsız deney yöntemleri olarak bilinen Schmidt çekici sertliği ve P dalga hızının ortalama tane boyutu ile ilişkisini incelemek için çoklu regresyon analizi yapılmış ve istatistiksel analizler iki parametreninde modele katkı sağladığı ($p<0{,}05$) göstermiştir. Çoklu regresyon analizinden elde edilen tahmin modeli eşitliği Eşitlik 5.15'de verilmiştir. Ayrıca tahmin edilen ortalama tane boyutu, hesaplanan ortalama tane boyutu ve artık değerler Çizelge 5.12'de verilmiştir.

$$X_{50} = -419{,}1 + 64{,}2\, V_p + 36{,}09\, SCH \quad (5.15)$$

Çizelge 5.12. Tahribatsız Deney Sonuçları ile Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler

Bölge	Ölçülen Ortalama Tane Boyutu (mm)	Tahmin Edilen Ortalama Tane Boyutu (mm)	Artık
AÇS 1	215,309	211,255	4,054
AÇS 2	252,866	252,210	0,656
AÇS 3	970,632	855,486	115,146
AÇS 4	382,942	288,128	94,814
AÇS 5	492,297	519,283	-26,986
AÇS 6	186,446	144,091	42,355
AÇS 7	620,687	632,952	-12,265
AÇS 8	737,348	769,329	-31,981
AÇS 9	527,071	558,556	-31,485
AÇS 10	476,259	474,683	1,576
AÇS 11	195,824	282,404	-86,580
AÇS 12	231,081	230,297	0,784
AÇS 13	473,380	486,510	-13,130
AÇS 14	425,295	514,698	-89,403
AÇS 15	699,686	705,976	-6,290
AÇS 16	532,961	561,063	-28,102
AÇS 17	319,423	306,048	13,375
AÇS 18	633,409	660,468	-27,059
AÇS 19	261,327	290,013	-28,686
AÇS 20	592,185	612,542	-20,357
AÇS 21	238,400	229,925	8,475
AÇS 22	658,270	661,252	-2,982
AÇS 23	290,113	302,606	-12,493
AÇS 24	258,004	269,577	-11,573
AÇS 25	256,128	267,367	-11,239
AÇS 26	388,453	340,111	48,342
AÇS 27	591,182	631,248	-40,066
AÇS 28	883,258	789,722	93,536
AÇS 29	161,412	106,483	54,929
AÇS 30	298,518	295,881	2,637

Eşitlik 5.15 kullanılarak ortalama tane boyutu tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile WipFrag yardımıyla belirlenen ortalama tane boyutu arasındaki değişimi gösteren grafik Şekil 5.65'de verilmiştir.



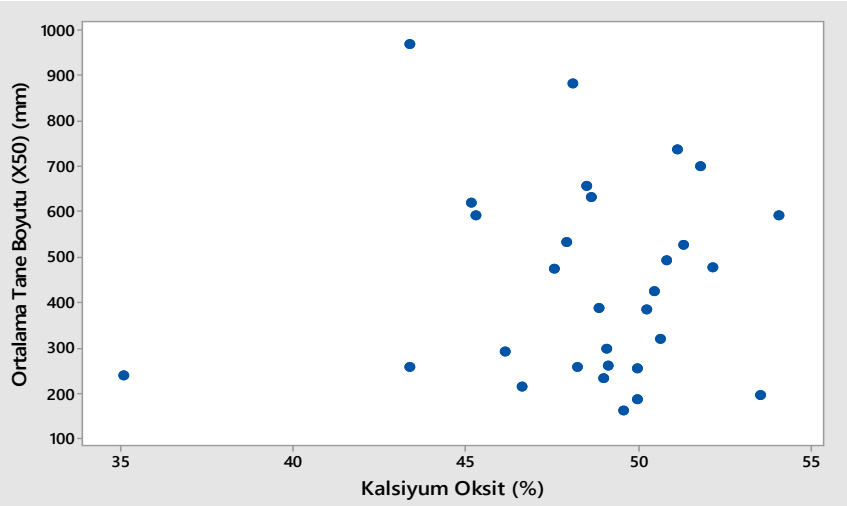
Şekil 5.65. Tahribatsız Deney Sonuçları ile Yapılan Çoklu Reğresyon Analizinde Tahmin Edilen Değerler ile Hesaplanan Degerler Arasındaki İlişki

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile Schmidt sertliği ve P dalga hızı bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerininde 0,953 olduğu görülmüştür. Tahribatsız yöntemler olarak bilinen Schmidt sertliği ve P dalga hızının bağımlı değişken ortalama tane boyutunu iyi bir oranda açıkladığı görülmektedir.

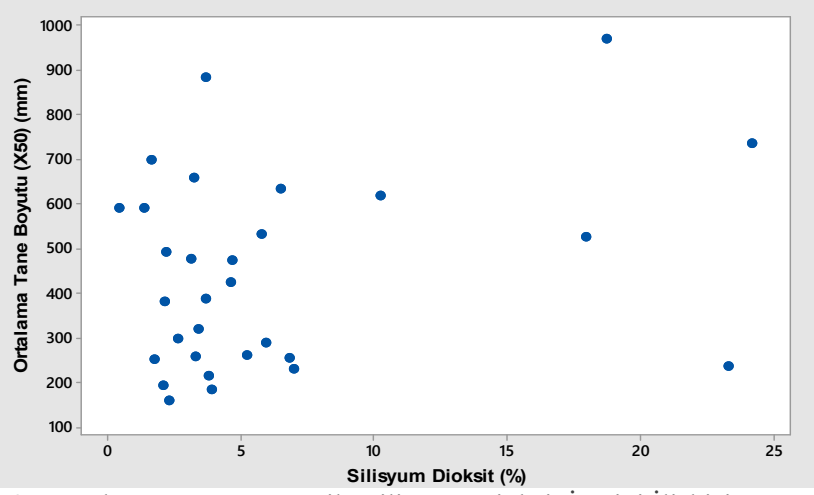
5.1.5.3. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişki

Adana Çimento Çaldağ hammadde sahasında izlenen her atımdan alınan örneklere uygulanan kimyasal analiz sonucunda elde edilen kalsiyum oksit (CaO) ve silisyum oksit (SiO_2) içerikleri ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizinde doğrusal,

logaritmik, üssel ve güç modelleri tek tek uygulanmıştır. “Kil”, “Marn” ve “Kireçtaşı” ardalanmalı olan bölgelerde kalsiyum oksit ve silisyum dioksit değerlerinin ortalaması alınmıştır. İncelen regresyon modellerinin p değerlerinin α=0,05 değerlerinden oldukça büyük olduğu ve hiçbir modelde anlamlı bir ilişki kurulmadığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmada; değişkenler arasında anlamlı bir ilişki görülmemiştir (Şekil 5.66, Şekil 5.67).



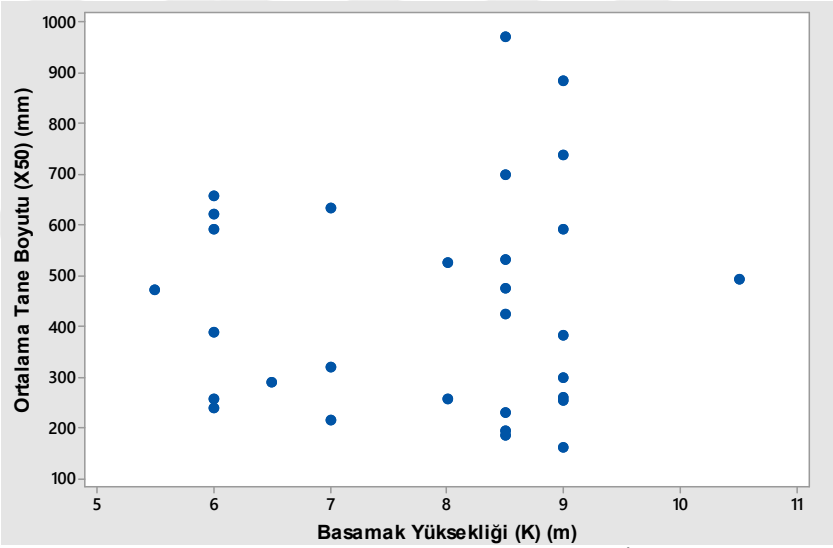
Şekil 5.66. Ortalama Tane Boyutu ile Kalsiyum Oksit İçeriği İlişkisi



Şekil 5.67. Ortalama Tane Boyutu ile Silisyum Dioksit İçeriği İlişkisi

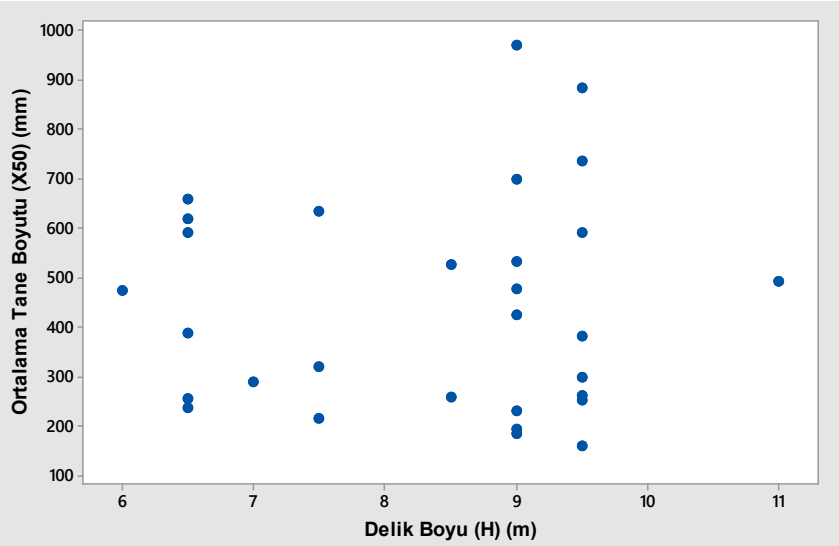
5.1.6. Ortalama Tane Boyutu ile Adana Çimento Hammadde Sahasında Uygulanan Patlatma Tasarım Parametreleri Arasındaki İlişkiler

Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasında incelenen atımlarda patlatma parametrelerinden değişim gösteren basamak yüksekliği (K), delik boyu (H), sıkılama mesafesi (h_o), delikler arası mesafe (S) dilim kalınlığı (B) ve özgül şarj (q) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modelleri tek tek uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmeye çalışılmıştır ancak bir ilişki kurulamamıştır (Şekil 5.68-Şekil 5.73).



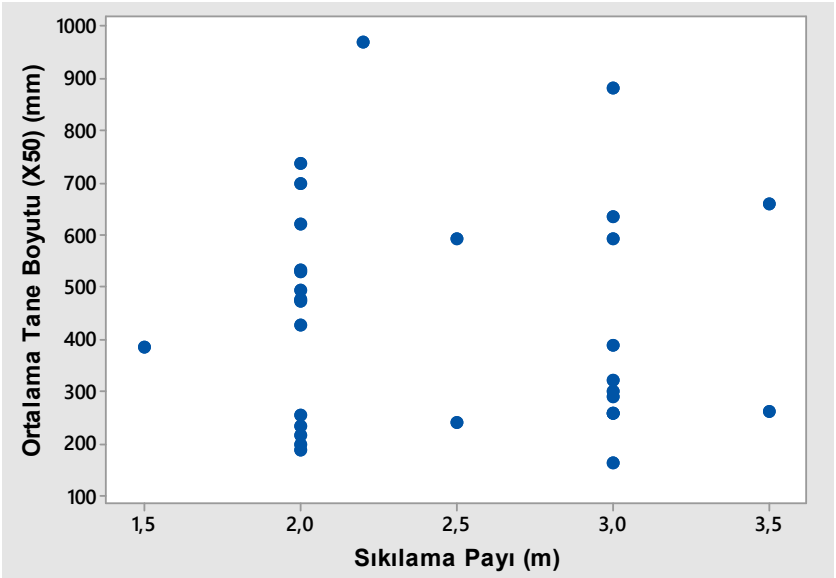
Şekil 5.68. Ortalama Tane Boyutu ile Basamak Yüksekliği İlişkisi

İncelen regresyon modellerinin p değerlerinin α=0,05 değerlerinden oldukça büyük olduğu ve hiçbir modelle değişkenlerin anlamlı bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Tahmin modellerindeki uyumsuzluğun sahada formasyon değişimleri olmasına ragmen uygulanan patlatma tasarım parametrelerinde önemli değişimlerin yapılmamasından kaynaklanmaktadır.



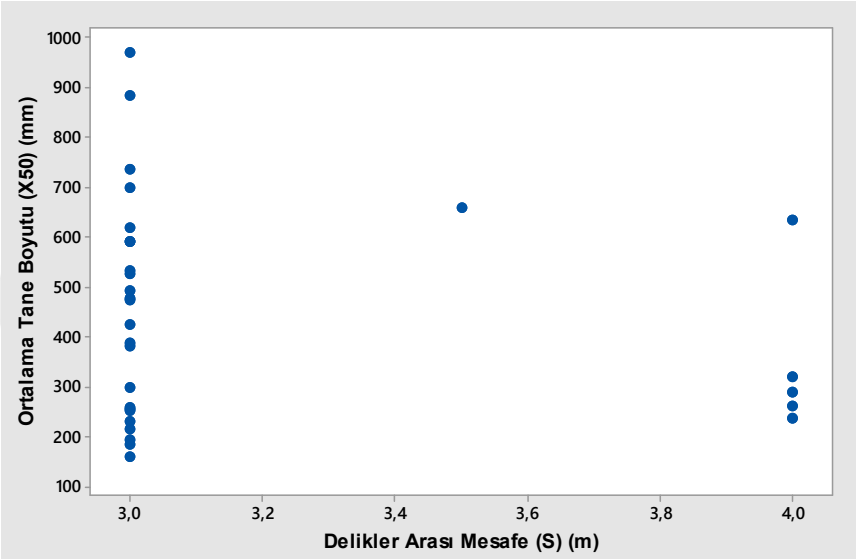
Şekil 5.69. Ortalama Tane Boyutu ile Delik Boyu İlişkisi

Saha içerisinde basamak boyu değişimi çok fazla gözlenmemektedir. Bu durumdan dolayı delik boyunda da değişim mevcut değildir. Ayrıca sıkılama payında da aynı durumdan söz etmek mümkündür.

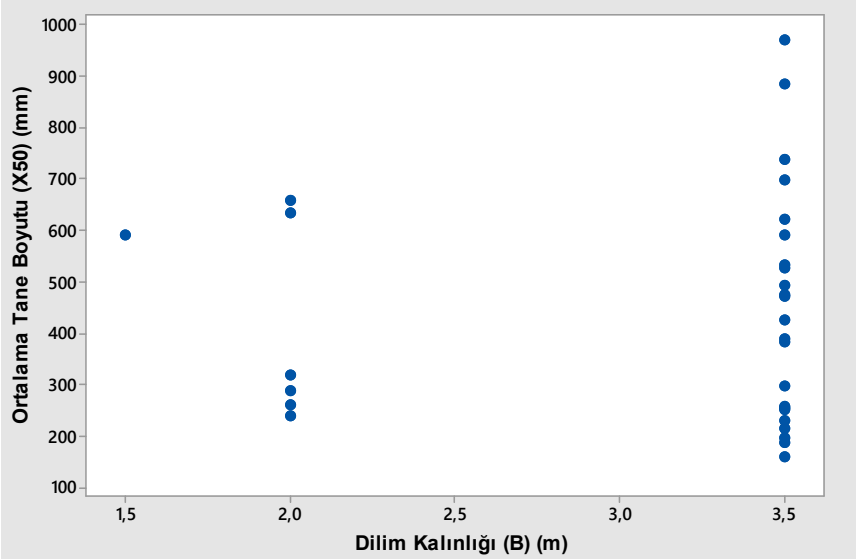


Şekil 5.70. Ortalama Tane Boyutu ile Sıkılama Payı Arasındaki İlişkisi

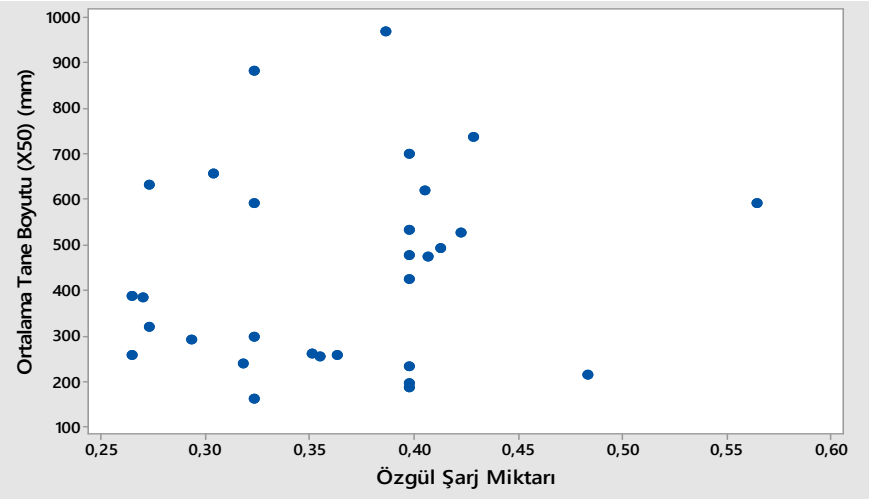
Saha içerisinde bölgesel olarak kayaç özellikleri çok büyük farklılıklar göstermektedir. Uygulanan tüm fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik değişimler de bu durumu desteklemektedir.



Şekil 5.71. Ortalama Tane Boyutu ile Delikler Arası Mesafe Arasındaki İlişki



Şekil 5.72. Ortalama Tane Boyutu ile Dilim Kalınlığı İlişkisi



Şekil 5.73. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Şarj İlişkisi

Ortalama tane boyutuna özgül şarj, dilim kalınlığı ve delik çapının etkisini inceleyen önceki çalışmalarda araştırmacılar bazı ilişkiler kurmuşlardır. Fakat çalışma sahamızda formasyon değişimleri olmasına rağmen patlatma parametrelerinde değişim yapılmadığından çalışılan sahanın patlatma parametreleri ile ortalama tane boyutu ilişkisi kurulamamıştır.

5.1.7. Varyans (ANOVA) Analizi ile Sahanın Değerlendirilmesi

Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasında gerçekleştirilen 30 adet atımda patlatma noktalarının formasyon özelliklerinde farklılıklar vardır. Bölgeyi genel olarak formasyon özelliklerine göre 3 bölgeye ayrmak mümkündür. Bu bölgesel ayrım yapılırken sahadan alınan numunelerin petrografik ve mineralojik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur.

Bu bölgeler;

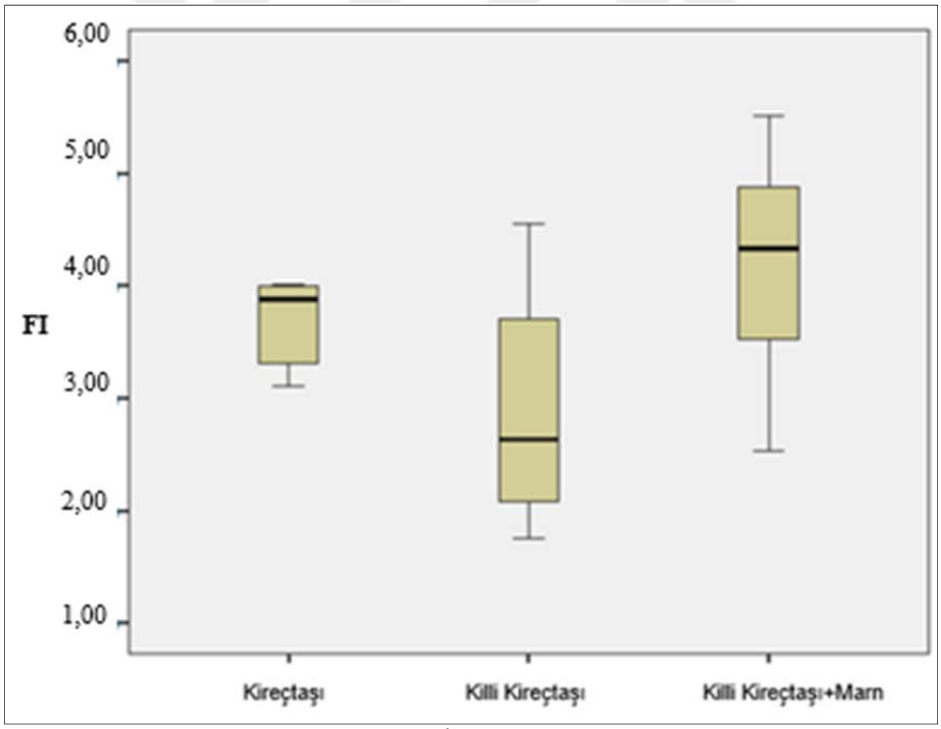
1. Kireçtaşı
2. Killi Kireçtaşı
3. Killi Kireçtaşı+ Marn olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13. Adana Çimento Çaldağı Hammadde Sahası ANOVA Analizi için Yapılan Sınıflama

Bölge	Formasyon Özelliği	Parçalanma İndeksi (FI)
AÇS 1	Killi Kireçtaşı	4,11
AÇS 2	Killi Kireçtaşı+Marn	3,68
AÇS 3	Kireçtaşı	3,44
AÇS 4	Killi Kireçtaşı	3,99
AÇS 5	Killi Kireçtaşı	3,63
AÇS 6	Kireçtaşı	5,18
AÇS 7	Killi Kireçtaşı	1,82
AÇS 8	Killi Kireçtaşı+Marn	2,53
AÇS 9	Killi Kireçtaşı	2,17
AÇS 10	Killi Kireçtaşı+Marn	5,37
AÇS 11	Killi Kireçtaşı+Marn	4,39
AÇS 12	Killi Kireçtaşı+Marn	5,51
AÇS 13	Killi Kireçtaşı	2,65
AÇS 14	Killi Kireçtaşı+Marn	4,33
AÇS 15	Killi Kireçtaşı	2,33
AÇS 16	Kireçtaşı	3,88
AÇS 17	Killi Kireçtaşı	4,55
AÇS 18	Killi Kireçtaşı	1,75
AÇS 19	Kireçtaşı	4,01
AÇS 20	Kireçtaşı	3,50
AÇS 21	Kireçtaşı	3,11
AÇS 22	Killi Kireçtaşı	1,76
AÇS 23	Killi Kireçtaşı	3,78
AÇS 24	Killi Kireçtaşı	4,05
AÇS 25	Killi Kireçtaşı	2,87
AÇS 26	Kireçtaşı	1,90
AÇS 27	Killi Kireçtaşı	3,29
AÇS 28	Killi Kireçtaşı	2,61
AÇS 29	Killi Kireçtaşı	2,59
AÇS 30	Killi Kireçtaşı+Marn	3,36

Her atım öncesinde aynadan alınan ölçekli fotoğraf ile WipJoint yazılımı kullanılarak aynanın blok analizi yapılmış ve ortalama blok boyutu belirlenmiştir. Sonrasında yığından alınan ölçekli fotoğraflar kullanılarak yığının parça boyut dağılımı ile ortalama tane boyutu belirlenmiştir. Ortalama blok boyutunun ortalama tane boyutuna oranı olarak bilinen parçalanma indeksi (FI) hesaplanmıştır. Tek yönlü varyans (ANOVA) analizi ile parçalanma indeksi (FI) kullanılarak en etkin patlatmanın hangi formasyonda olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi SPSS 22 programı ile yapılmıştır. ANOVA analizinin işlem aşamaları aşağıda verilmiştir.

İlk aşamada; verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için normallik testi yapılmış, veri dağılımlarının ağırlıkları değerlendirilmiş (Şekil 5.74) ve verilerin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 5.14).



Şekil 5.74. Bölgelere Göre Parçalanma İndeksi Veri Dağılım Ağırlıkları

Çizelge 5.14. Normallik Testi Sonuçları

	Bölgeler	Kolmogorov-Smirnov		
		İstatistik	Serbestlik Derecesi	p değeri
FI	Kireçtaşı	0,218	7	0,200
	Killi Kireçtaşı	0,157	16	0,200
	Killi Kireçtaşı+Marn	0,155	7	0,200

İkinci aşamada; varyansların eşitliği test edilmiştir. Levene testine göre (Çizelge 5.15) p=0,220>α=0,05 olduğu için "Bölgelerin varyansları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur." şeklindeki yokluk hipotezi kabul edilmiştir. Böylece, bölgelerin varyanslarının homojen olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.15. Varyansların Homejenlik Testi Sonuçları

Levene Statistic	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P değeri
1,540	2	98	0,220

Üçüncü aşamada; bölgelerin ortalamaları arasında anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) incelenmiş ve sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. ANOVA Analizi Sonuçları

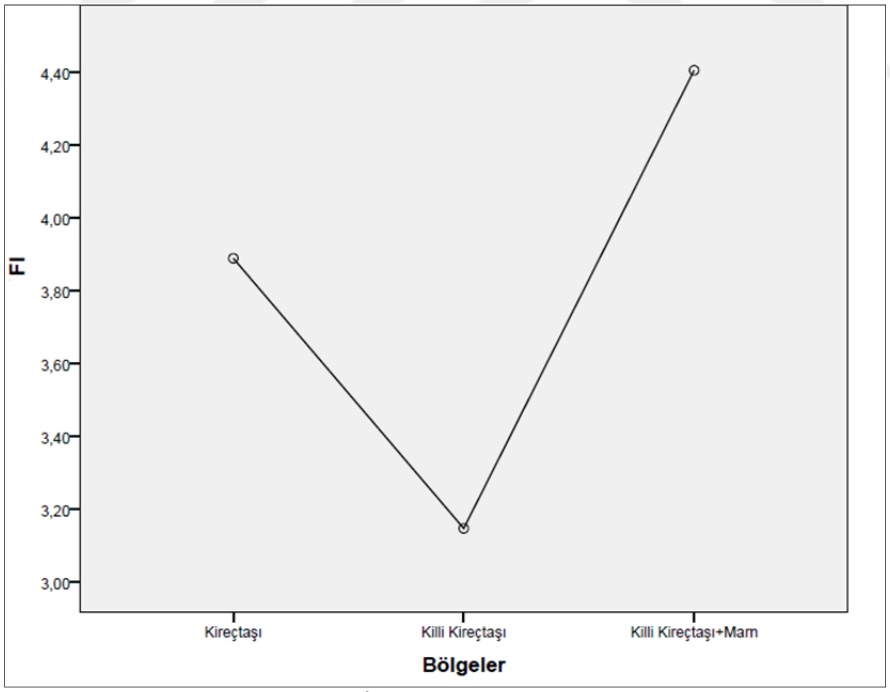
FI	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	P değeri
Gruplar arası	29,368	2	14,684	0,000
Grup içi	82,208	97	0,848	
Toplam	111,576	99		

Dördüncü aşamada; ANOVA test sonucuna p=0,000<α=0,05 olduğu için bölgelerin parçalanma indeksi (FI) arasında farklılık gösterdiği görülmüştür. Hangi

bölgeler arasında farklılık olduğunu belirlemek için varyanslar eşit fakat örneklem sayıları eşit olmadığından Post Hoc testleri içerisinden literatürde en çok kullanılan LSD yöntemi seçilmiştir (Çizelge 5.17). Şekil 5.75'de ise parçalanma indeksi açısından bölgelerin biribirleri arasında farklar olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.17. Post Hoc (LCD) Test Sonuçları

Bölgeler		Ortalamaların farkı	Standart hata	P değeri
Kireçtaşı	Killi Kireçtaşı	0,74071	0,22715	0,002
	Killi Kireçtaşı+Marn	-0,51541	0,24940	0,041
Killi Kireçtaşı	Kireçtaşı	-0,74071	0,22715	0,002
	Killi Kireçtaşı+Marn	-1,25612	0,21796	0,000
Killi Kireçtaşı+Marn	Kireçtaşı	0,51541	0,24940	0,041
	Killi Kireçtaşı	1,25612	0,21796	0,000



Şekil 5.75. Bölgelerin Parçalanma İndeksi Farkları

Sonuç olarak; Post Hoc LSD yöntemi test sonuçları incelendiğinde;

- **"Kireçtaşı"** bölgelerindeki parçalanma indeksi ile **"Killi Kireçtaşı"** ve **"Killi Kireçtaşı+Marn"** bölgelerindeki parçalanma indeksleri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.
- **"Killi Kireçtaşı"** bölgelerindeki parçalanma indeksi ile **"Kireçtaşı"** ve **"Killi Kireçtaşı+Marn"** bölgelerindeki parçalanma indeksleri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.
- **"Killi Kireçtaşı+Marn"** bölgelerindeki parçalanma indeksi ile **"Kireçtaşı"** ve **"Killi Kireçtaşı"** bölgelerindeki parçalanma indeksleri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.

Şekil 5.75 incelendiğinde en büyük parçalanma indeksinin **"Killi Kireçtaşı+Marn"** bölgesinde olduğu görülmektedir. **"Killi Kireçtaşı"** bölgelerinin ise en küçük indekse sahiptir. Bunun sebebinin **"Killi Kireçtaşı"** bölgelerindeki yapı ve dokusal bozulmalardan dolayı ayna yüzeylerinden de açıkça gözlemlenen çatlak kırık sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Çatlak kırık sistemleri patlatmadan kaynaklı gaz enerjisinin kaya içerinde hapsolmadan dışarı çıkmasına neden olduğundan patlatma enerjisini etkin kullanmaya izin vermemektedir. Fakat **"Killi Kireçtaşı+Marn"** bölgelerinde marnın gaz çıkışını engellediği bu yüzden daha iyi parçalanma sağladığı görülmektedir. 30 atımın da patlatma öncesi blok analizi ile belirlenen parça boyut dağılım grafiği ve patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımlarını da inceler isek en fazla boyut küçültme yüzdesine sahip olan atımın (% 81,9) AÇS 12 atımı olduğu ve bu bölgenin de Killi Kireçtaşı+Marn formasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca AÇS 12 atımın kırıcı performansı açısından da daha az patar içerdiği görülmüştür. Tüm analizler ile Adana Çimento Türk A.Ş. Çaldağı hammadde sahasınındaki atımlar değerlendirildiğinde patlatma verimi en yüksek olan bölgenin "Killi Kireçtaşı+Marn" bölgesi olduğu belirlenmiştir.

5.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasındaki Çalışmalar

5.2.1. Arazi Gözlemleri

Çalışma sahası doğu, batı ve orta olmak üzere üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bölgede toplamda otuz dört (34) patlatma incelenmiştir.

Bölge temel olarak yer yer masif ve yer yer kırıklı ve çatlaklı yapıda kireçtaşlarından oluşmaktadır. Batı bölgesi az bozuşmuş ve az kırık ve çatlaklı (Şekil 5.76) iken orta bölge çok bozuşmuş ve çok çatlak kırıklıdır (Şekil 5.77).



Şekil 5.76. Batı Bölgesi Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği



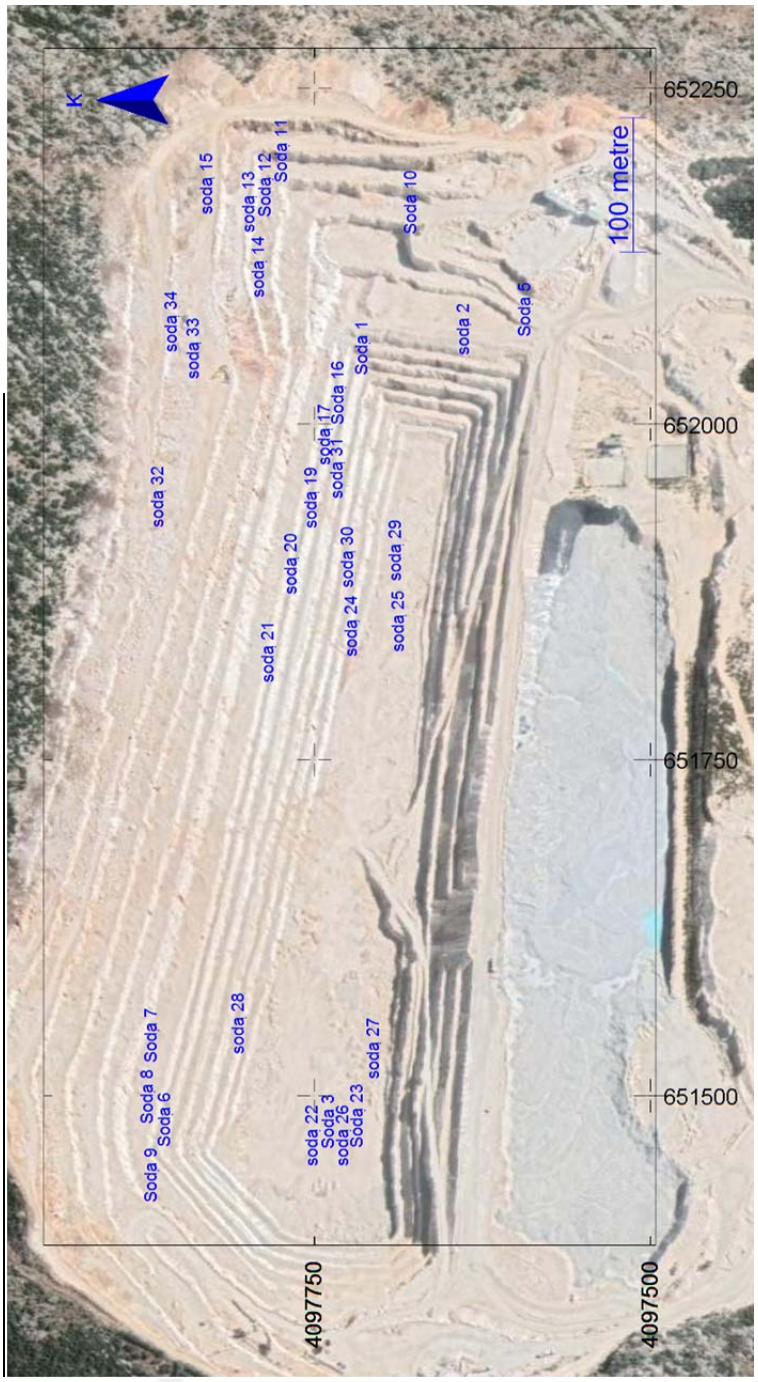
Şekil 5.77. Orta Bölgesi Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği

Doğu Bölgesi ise Orta bölgeden daha az bozuşmuştur (Şekil 5.78). Çalışma sahasında yapılan atımlar genel olarak standarttır. Delik düzeni genel olarak tek sıra (22., 23., 27., 28., 34. patlatmalar şeşbeş) düzende iken, delik çapı 89 mm'dir. Delik eğimi 80^0 basamak eğimi 85^0'dir. Sahada delik taban payı (U) basamak yüksekliğine göre değişmektedir. Gerçekleştirilen atımlarda Nitromak Dnx Kimya Sanayii A.Ş.'den sağlanan patlatıcı maddeler ve 25 ms gecikmeli kapsül kullanılmaktadır.



Şekil 5.78. Doğu Bölgesi Ayna Yüzeyi Görüntüsü Örneği

Çalışma yapılan sahada her atım noktasının GPS ile koordinatları alınmış ve koordinatlar Netcad GIS 7.6 kullanılarak harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 5.79). Değişim gösteren diğer tasarım parametrelerinden delik sayısı, delikler arası mesafe (S), basamak yüksekliği (K), delik ve basamak eğimleri, delik boyu (H), şarj miktarları, sıkılama payı (h_o), dilim kalınlığı (B) ve özgül şarj miktarı (q) Çizelge 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.79. Soda Sanayi Karadiken Hammdde Sahasında Atım Yapılan Noktalar

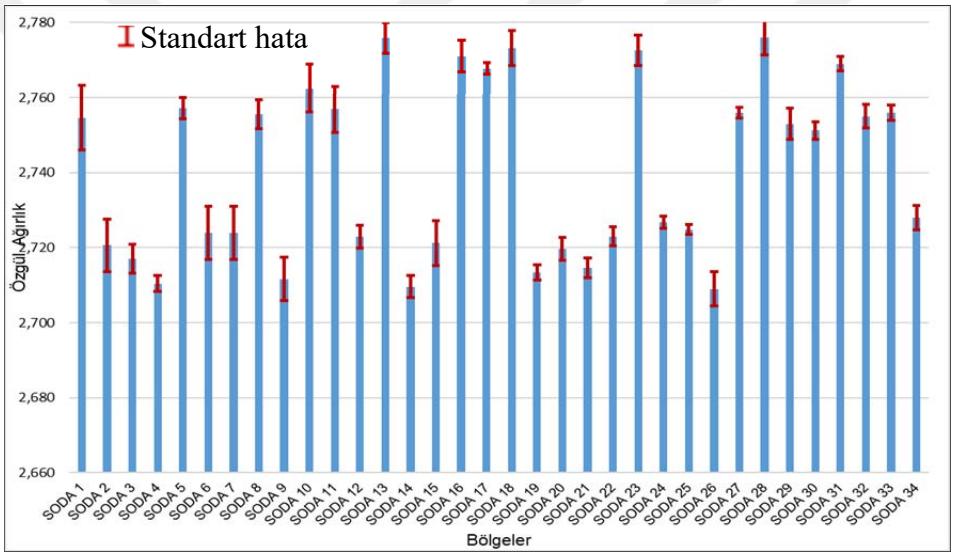
Çizelge 5.18. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Patlatma Parametreleri

Bölge Adı	Delik Sayısı	H (m)	S (m)	AN-FO kg/delik	Dinamit kg/delik	(Q) kg/delik	K (m)	B (m)	h_o (m)	q kg/cm^3
Soda 1	21	10,8	3,5	37,5	1,00	38,5	10	4	3,5	0,28
Soda 2	15	19,8	3,5	80,0	1,00	81,0	18	4	3	0,32
Soda 3	10	10,8	3,5	37,5	1,00	38,5	10	4	3	0,28
Soda 4	46	10,8	3,5	37,5	0,5	38,0	10	3,5	3,5	0,31
Soda 5	25	19,8	3,5	87,5	1,00	88,5	18	3,5	3,5	0,40
Soda 6	25	19,8	3,5	87,5	1,00	88,5	18	3,5	3,5	0,40
Soda 7	25	19,8	3,5	87,5	1,00	88,5	18	3,5	3,5	0,40
Soda 8	30	19,8	3,5	87,5	1,00	88,5	18	3,5	3,5	0,40
Soda 9	41	10,8	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 10	20	10,8	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 11	20	10,8	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 12	20	10,8	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 13	20	10,8	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 14	16	8,4	3,5	15,0	0,625	15,625	8	3,5	2,5	0,16
Soda 15	40	11	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 16	40	11	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 17	40	11	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 18	40	11	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 19	40	11	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 20	12	10,8	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 21	17	10,8	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 22	25	10,5	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 23	26	10,5	3,5	37,5	0,500	38,00	10	3,5	3,5	0,31
Soda 24	21	10,5	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 25	24	10,5	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 26	42	10,5	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 27	26	10,5	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 28	26	10,5	3,5	37,5	0,625	38,125	10	3,5	3,5	0,31
Soda 29	50	7,5	3,5	20,0	0,625	20,625	7	3,5	3,5	0,24
Soda 30	30	10,5	3,5	15,0	0,500	15,500	10	3,5	4	0,13
Soda 31	30	10,5	3,5	15,0	0,500	15,500	10	3,5	4	0,13
Soda 32	30	10,5	3,5	15,0	0,500	15,500	10	3,5	4	0,13
Soda 33	30	3	3,5	5,0	0,250	5,250	2,5	3,5	1,5	0,17
Soda 34	30	3,5	3,5	12,5	0,250	12,750	3	3,5	1,5	0,35

5.2.2. Uygulanan Deneyler ve Sonuçları

5.2.2.1. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları

Çalışma sahasından alınan 34 numune TS 699 standartına uygun olarak hazırlanmış ve her numuneden tüm fiziksel deneyler için beşer örnek hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen fiziksel deneyler sonucunda özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranları ve porozite deney sonuçları Çizelge 5.19'da verilmiştir. Deney sonuçlarındaki değişimler ve standart hatalar grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 5.80-Şekil 5.83).



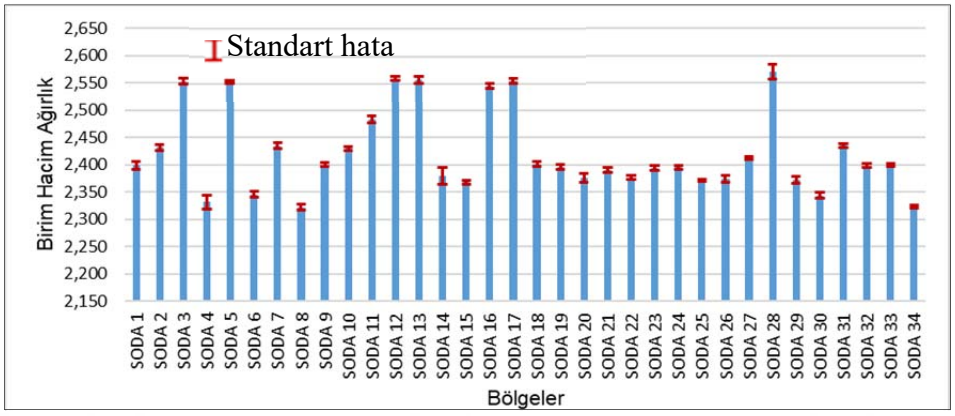
Şekil 5.80. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Özgül Ağırlık Sonuçlarının Değişimi

Sahadaki kayaçlar fiziksel özellikler bakımından doğu, batı ve orta bölgelerdeki farklılıklardan kaynaklanan değişimler gösterdiği görülmektedir.

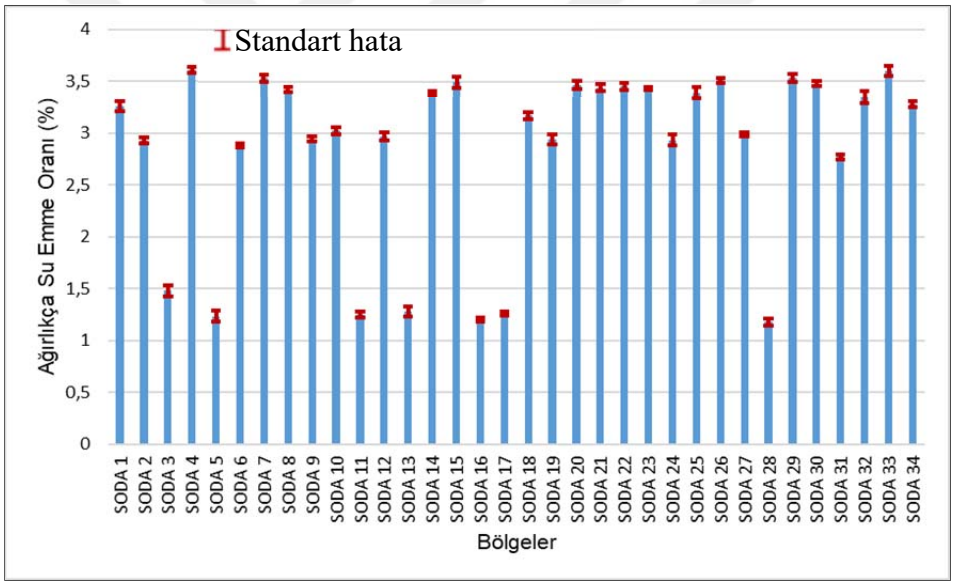
Çalışma sahasının özgül ağırlık değerleri incelendiğinde; 2,712 ile 2,776 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum sahadaki kayaç yapısındaki ve formasyondaki değişimden kaynaklanmaktadır. Bu değişim kayaçların birim hacim ağırlık değerlerinde de görülmektedir. Birim hacim ağırlık değerleri 2,321 ile 2,569 g/cm^3 arasında değişmektedir.

Çizelge 5.19. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Fiziksel Deney Sonuçları

Bölge Adı	G_s	ρ (gr/cm^3)	A_w (%)	n (%)
Soda 1	2,755	2,399	3,260	6,836
Soda 2	2,721	2,431	2,930	8,512
Soda 3	2,717	2,552	1,478	2,860
Soda 4	2,710	2,331	3,606	8,556
Soda 5	2,755	2,553	1,232	2,910
Soda 6	2,757	2,345	2,880	8,558
Soda 7	2,724	2,434	3,540	6,582
Soda 8	2,724	2,321	3,430	7,462
Soda 9	2,756	2,400	2,944	6,898
Soda 10	2,712	2,429	3,024	6,942
Soda 11	2,763	2,483	1,252	2,808
Soda 12	2,757	2,560	2,970	6,864
Soda 13	2,723	2,557	1,278	2,828
Soda 14	2,776	2,379	3,400	8,232
Soda 15	2,710	2,367	3,500	8,122
Soda 16	2,721	2,546	1,200	2,940
Soda 17	2,771	2,555	1,260	2,838
Soda 18	2,768	2,401	3,170	6,914
Soda 19	2,773	2,396	2,940	7,928
Soda 20	2,713	2,375	3,472	8,256
Soda 21	2,720	2,389	3,436	8,488
Soda 22	2,715	2,376	3,450	8,246
Soda 23	2,723	2,394	3,43	8,166
Soda 24	2,773	2,395	2,932	7,480
Soda 25	2,727	2,371	3,390	8,452
Soda 26	2,725	2,374	3,510	8,442
Soda 27	2,709	2,412	2,990	6,908
Soda 28	2,756	2,569	1,178	2,746
Soda 29	2,776	2,371	3,534	8,476
Soda 30	2,753	2,343	3,476	8,518
Soda 31	2,751	2,435	2,770	7,320
Soda 32	2,769	2,398	3,350	6,480
Soda 33	2,755	2,399	3,60	8,580
Soda 34	2,756	2,323	3,280	7,380

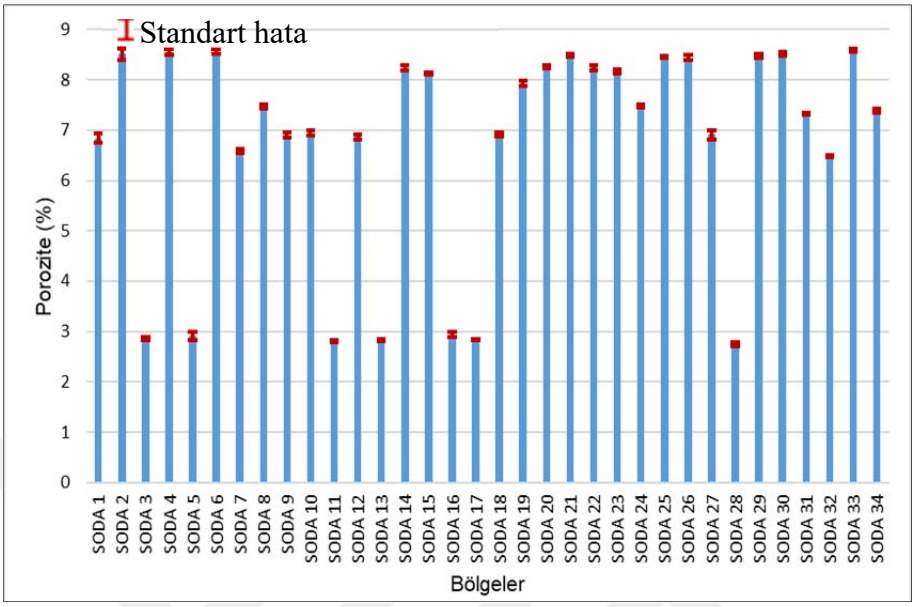


Şekil 5.81. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Birim Hacim Ağırlık Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.82. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Ağılıkça Su Emme Oranı Sonuçlarının Değişimi

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasından ait ağırlıkça su emme oranı değerlerinin % 3,60 ile % 1,17 arasında ve porozite oranı değerlerinin % 8,5 ile % 2,74 arasında değişim gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.83. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Porozite Sonuçlarının Değişimi

5.2.2.2. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Mekanik Deney Sonuçları

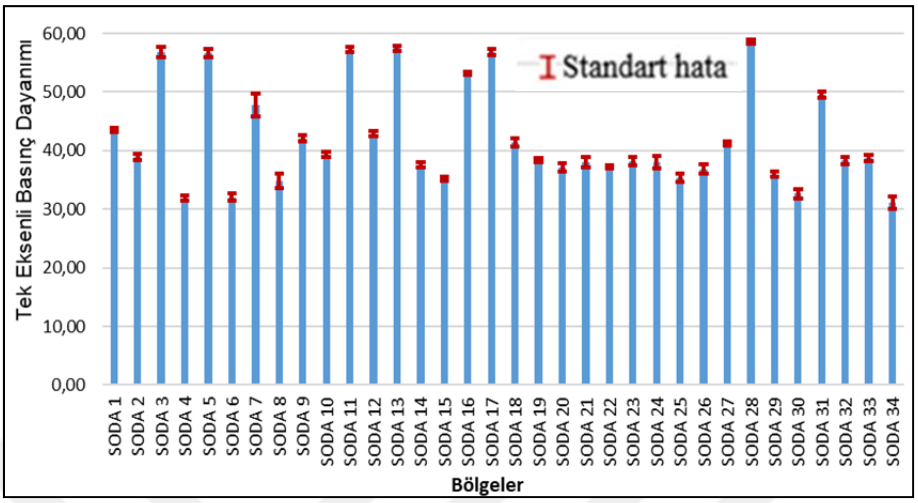
Deney kapsamında araziden getirilen numuneler TS 699 standardına uygun olarak hazırlanmış, hazırlanan numuneler üzerinde bazı mekanik özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 5.20).

Her deney grubu için en az beş numune hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$), nokta yük dayanımı (Is_{50}), eğilme dayanımı (σ_{eg}), çift makaslama dayanımı (τ) ve darbe dayanım (D_n) değerlerindeki değişim ve standart hatalar grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 5.84-Şekil 5.89).

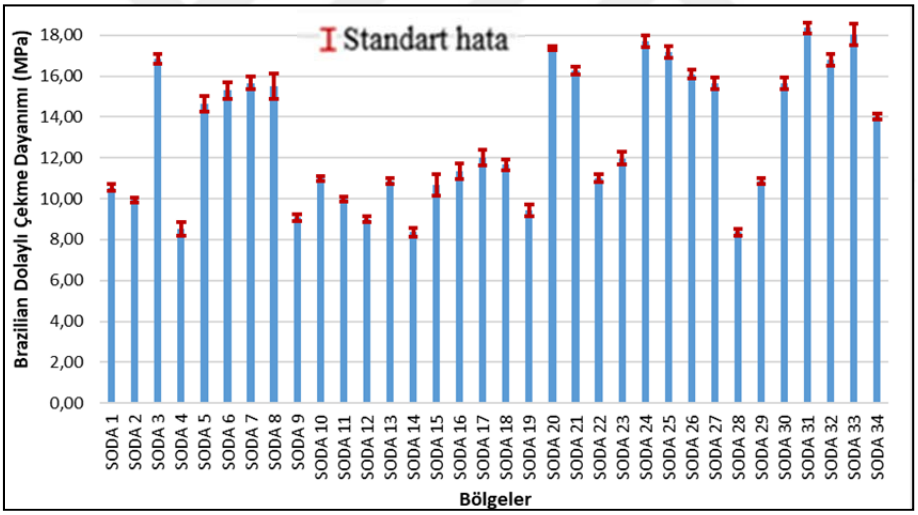
Saha içerisindeki oluşumun kireçtaşı olmasına rağmen "Doğu", "Batı" ve "Orta" bölgelerde mekanik açılardan farklılıklar olduğu yapılan dayanım testleri sonucunda gözlenmiştir. Bu durum bölgesel olarak çatlak kırık sistemlerindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.20. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Mekanik Deney Sonuçları

Bölge Adı	σ_b (MPa)	$\sigma_ç$ (MPa)	Is_{50} (MPa)	σ_{eg} MPa	τ MPa	D_n Nmm/mm^3
Soda 1	43,57	15,67	4,34	3,97	10,68	4,4
Soda 2	38,87	14,03	4,50	4,50	10,01	4,4
Soda 3	56,85	16,84	5,65	6,02	10,91	8,4
Soda 4	31,86	8,51	3,74	2,76	8,02	3,6
Soda 5	56,65	17,18	5,61	6,03	10,99	7,2
Soda 6	32,06	8,36	3,74	2,58	7,99	7,2
Soda 7	47,73	16,10	4,74	4,30	10,76	7,2
Soda 8	34,83	9,09	3,78	2,88	8,79	7,2
Soda 9	42,13	15,65	4,47	4,95	10,56	3,6
Soda 10	39,34	14,64	4,27	4,10	10,29	4,4
Soda 11	57,23	17,71	6,38	7,33	11,10	3,6
Soda 12	42,82	15,65	4,50	4,39	10,65	3,6
Soda 13	57,45	18,04	6,51	6,59	11,20	3,6
Soda 14	37,56	10,99	4,18	3,09	9,74	3,6
Soda 15	35,13	9,43	3,84	2,87	8,92	3,6
Soda 16	53,26	16,25	4,41	5,04	10,78	4,4
Soda 17	56,85	17,38	6,31	6,63	11,02	5,2
Soda 18	41,45	15,50	4,75	4,23	10,47	4,4
Soda 19	38,36	11,66	4,08	3,00	9,90	3,6
Soda 20	37,11	10,68	4,21	3,84	9,53	8,4
Soda 21	37,99	10,88	4,16	3,06	9,67	7,2
Soda 22	37,24	10,87	4,12	3,80	9,59	4,4
Soda 23	38,24	11,34	4,20	3,02	9,89	5,2
Soda 24	38,04	11,02	4,00	3,75	9,89	8,4
Soda 25	35,33	9,94	3,84	2,89	9,24	15,2
Soda 26	36,81	10,55	3,99	2,97	9,54	7,2
Soda 27	41,25	15,31	4,35	4,18	10,37	5,2
Soda 28	58,59	18,37	6,90	8,07	11,23	2,8
Soda 29	35,93	9,98	3,61	2,88	9,29	4,4
Soda 30	32,63	9,01	5,10	2,52	8,46	7,2
Soda 31	49,51	16,80	3,93	5,83	10,90	9,6
Soda 32	38,36	11,99	4,25	3,90	9,93	7,2
Soda 33	38,69	12,03	4,22	4,02	9,96	9,6
Soda 34	31,13	8,36	3,75	2,77	7,71	7,2

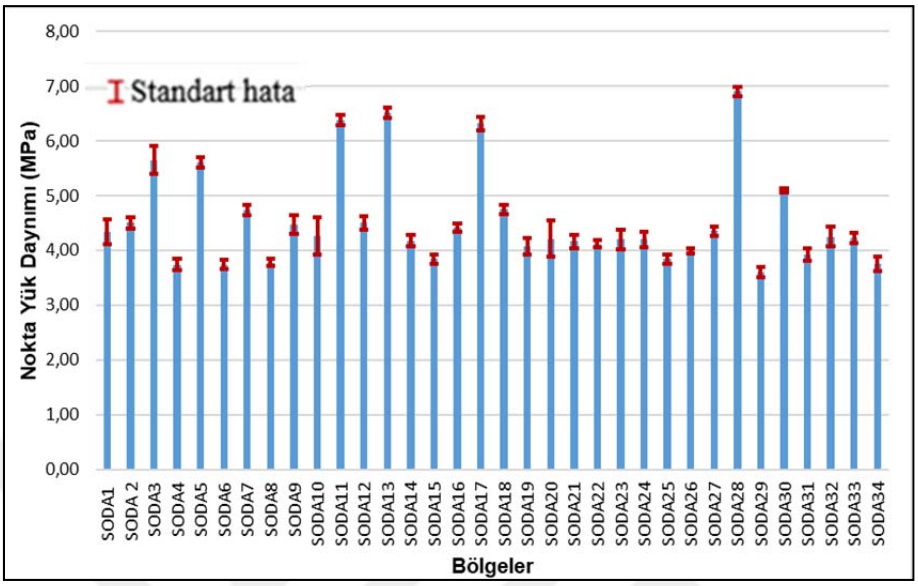


Şekil 5.84. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

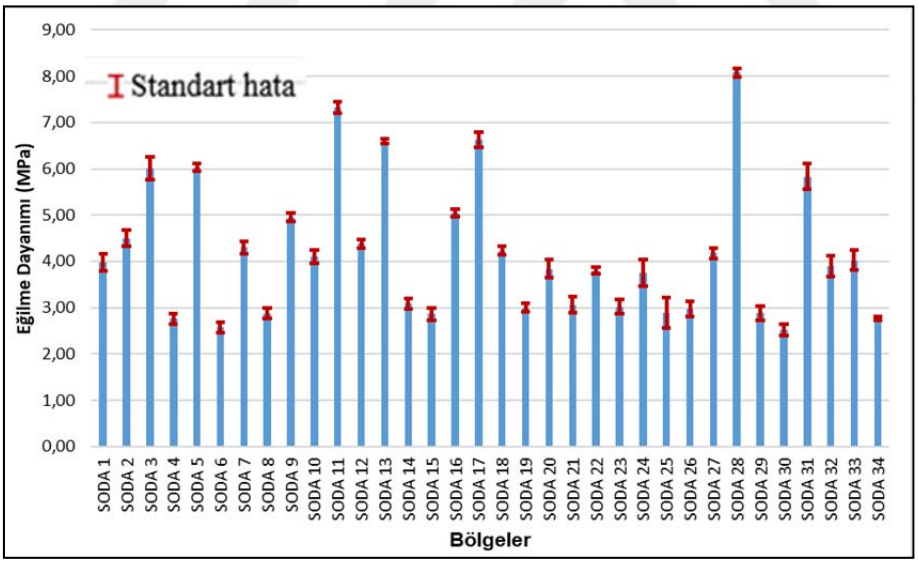


Şekil 5.85. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

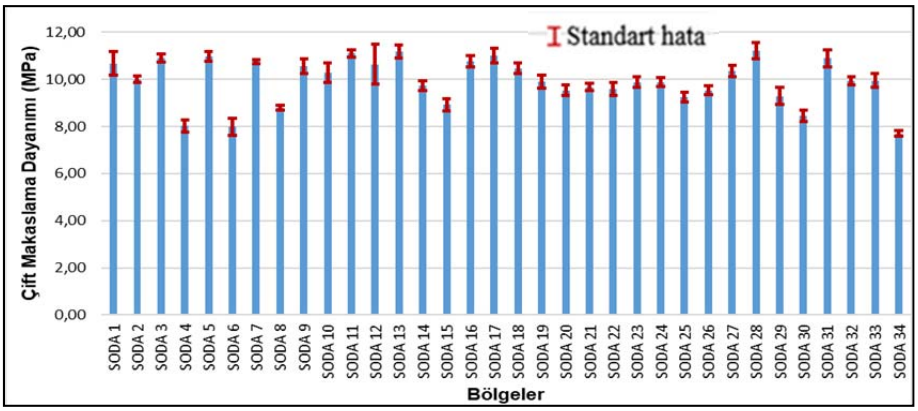
Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasından ait örneklerin mekanik deney sonuçları incelendiğinde; tek eksenli basınç dayanımının 31,12-58,59 MPa, Brazilian dolaylı çekme dayanımının 8,35-18,37 MPa arasında değişim gösterdiği görülmüştür.



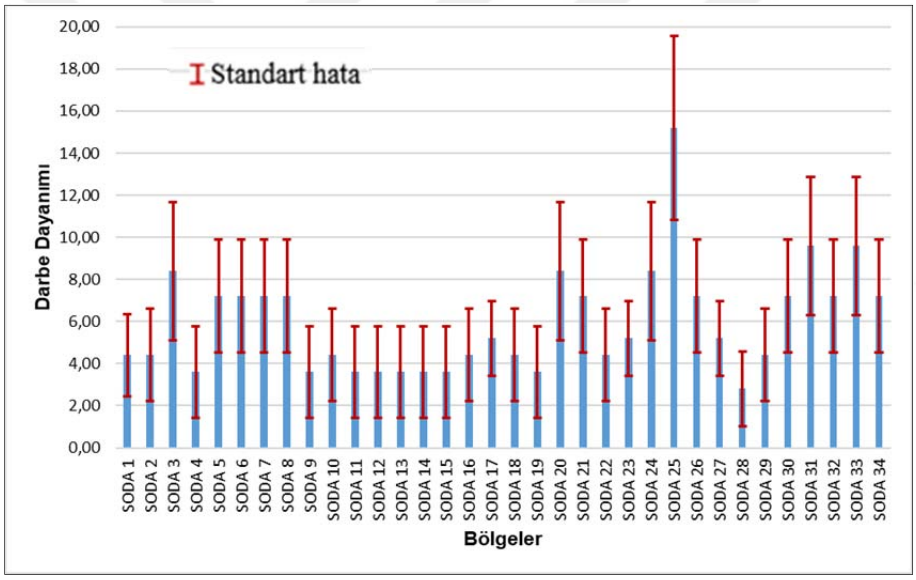
Şekil 5.86. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Nokta Yük Dayanımı Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.87. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Eğilme Dayanımı Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.88. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Çift Makaslama Dayanımı Sonuçlarının Değişimi

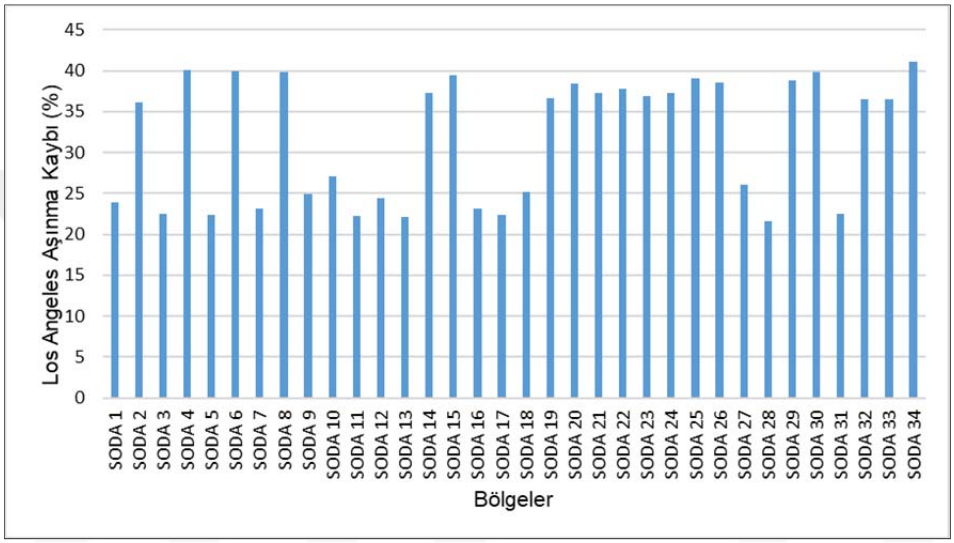


Şekil 5.89. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Darbe Dayanım Sonuçlarının Değişimi

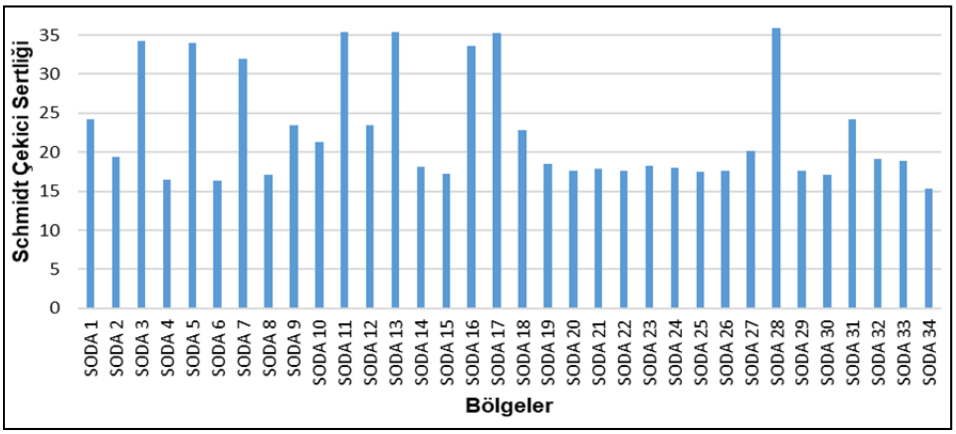
Nokta yük dayanımının 3,75-6,51 MPa, eğilme dayanımının 2,52-8.07 MPa, çift makaslama dayanımının 7,70-11,23 MPa, darbe dayanımının 2,8-15,2 Nmm/mm^3 arasında değişim göstermiştir. Çalışma sahasından elde edilen numunelerin diğer mekekanik özelliklerinden Los Angeles aşınma kaybı, P dalga hızı ve Schmidt çekici sertliği deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.21).

Los Angeles aşınma kaybı sonuçlarındaki değişim Şekil 5.90'da, Schmidt çekici sertliği Şekil 5.91'de ve P dalga hızı değişimi Şekil 5.92'de verilmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde; Los Angeles aşınma kaybının % 21,63 ile %39,83 arasında değişim gösterdiği görülmüştür.



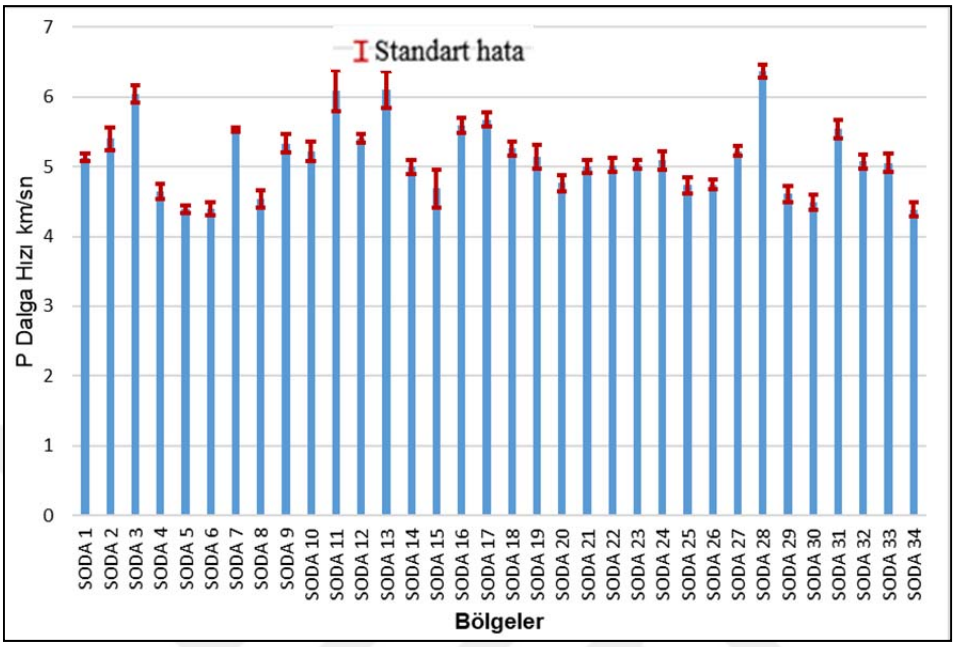
Şekil 5.90. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Los Angeles Aşınma Kaybı Sonuçlarının Değişimi



Şekil 5.91. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Schmidt Çekici Sertliği Sonuçlarının Değişimi

Çizelge 5.21. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası Diğer Mekanik Özelliklerinin Sonuçları

Bölge Adı	LA (%)	SCH	V_p (km/sn)
Soda 1	23,96	24,21	5,13
Soda 2	36,12	19,43	5,40
Soda 3	22,45	34,21	6,04
Soda 4	40,02	16,43	4,64
Soda 5	22,43	34,01	4,39
Soda 6	39,98	16,4	4,39
Soda 7	23,18	32,02	5,53
Soda 8	39,83	17,15	4,54
Soda 9	24,89	23,4	5,33
Soda 10	27,13	21,24	5,21
Soda 11	22,18	35,42	6,08
Soda 12	24,42	23,52	5,40
Soda 13	22,13	35,46	6,10
Soda 14	37,24	18,12	4,99
Soda 15	39,42	17,26	4,68
Soda 16	23,15	33,58	5,59
Soda 17	22,35	35,3	5,67
Soda 18	25,15	22,86	5,26
Soda 19	36,65	18,56	5,13
Soda 20	38,45	17,63	4,76
Soda 21	37,32	17,9	4,99
Soda 22	37,73	17,65	5,02
Soda 23	36,86	18,23	5,03
Soda 24	37,23	17,95	5,09
Soda 25	39,12	17,43	4,73
Soda 26	38,52	17,56	4,74
Soda 27	26,04	20,18	5,22
Soda 28	21,63	35,89	6,37
Soda 29	38,85	17,59	4,60
Soda 30	39,83	17,08	4,48
Soda 31	22,52	24,23	5,53
Soda 32	36,51	19,12	5,07
Soda 33	36,48	18,89	5,05
Soda 34	41,12	15,3	4,38



Şekil 5.92. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası P Dalga Hızı Sonuçlarının Değişimi

Schmidt sertliğinin 15,3 ile 24,23 arasında ve P dalga hızının ise 4,39 ile 6,37 km/sn arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Deney sonuçlarının da gösterdiği gibi atım noktalarının kayaç özelliklerinde değişimler görülmüştür.

5.2.2.3. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasına Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

Numuneler Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında -125 mikron boyutunda öğütülmüş ve Panaltical Minipal 4 marka X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı kullanılarak kimyasal analiz sonuçları belirlenmiştir (Çizelge 5.22).

Çalışma sahasında genel olarak kalsiyum oksit (CaO) değerinde değişim görülmektedir. Kayaçların yapısında silisyum dioksit (SiO_2) içeriği oldukça azdır. Saha içerisinde jeolojik değişimler oldukça az gözlemlenmiş ve genel olarak homojen bir yapı göstermektedir.

Çizelge 5.22. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası XRF Sonuçları

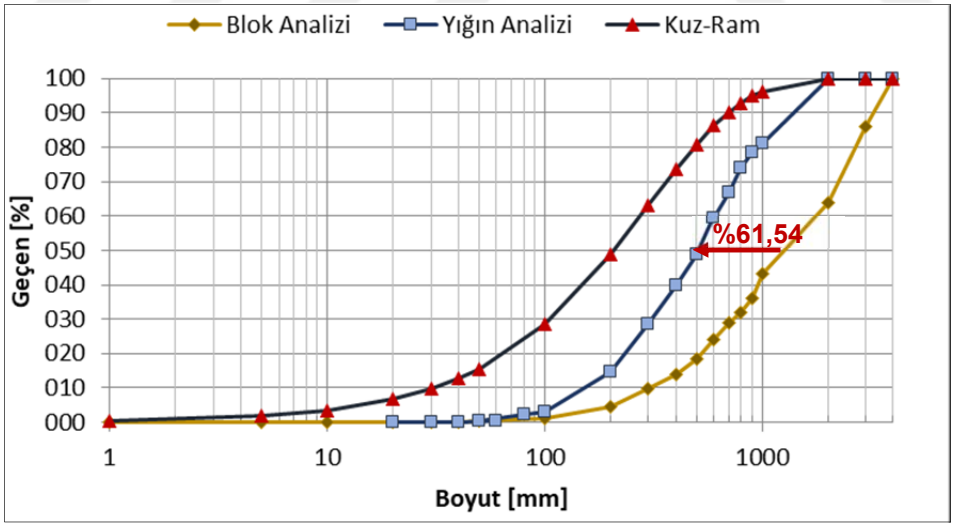
%	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Diğer	KK
Soda 1	55,39	0,11	0,25	0,14	0,3	0,37	43,40
Soda 2	54,69	0,16	0,23	0,21	0,4	1,21	43,1
Soda 3	53,99	0,22	0,62	0,45	0,42	1,08	43,22
Soda 4	54,32	0,18	0,42	1,18	0,56	0,8	42,54
Soda 5	55,42	0,21	0,23	0,19	0,28	0,18	43,49
Soda 6	53,46	0,89	0,46	0,21	0,56	2,19	42,23
Soda 7	52,36	1,21	0,96	0,65	0,52	2,74	41,56
Soda 8	53,88	1,18	0,52	0,14	0,4	0,86	43,02
Soda 9	52,96	1,42	0,42	0,76	0,42	1,56	42,46
Soda 10	54,32	0,21	0,28	0,45	0,56	1,22	42,96
Soda 11	55,42	0,15	0,16	0,36	0,28	0,11	43,52
Soda 12	54,12	0,18	0,35	0,19	0,52	1,52	43,12
Soda 13	53,18	0,86	0,52	0,61	0,48	2,07	42,28
Soda 14	55,26	1,02	0,38	0,25	0,4	0,23	42,46
Soda 15	52,86	0,42	0,37	0,14	1,12	2,71	42,38
Soda 16	55,39	0,21	0,15	0,11	0,42	0,16	43,56
Soda 17	54,69	0,32	0,38	0,25	0,28	0,82	43,26
Soda 18	53,99	0,56	0,44	0,62	0,46	0,72	43,21
Soda 19	54,36	0,48	0,63	0,19	0,28	0,38	43,68
Soda 20	55,48	0,25	0,38	0,21	0,21	0,45	43,02
Soda 21	53,52	0,53	0,68	0,52	0,36	2,14	42,25
Soda 22	52,86	1,16	0,56	0,14	0,72	2,28	42,28
Soda 23	53,68	0,89	0,52	0,21	0,62	1,15	42,93
Soda 24	52,82	1,26	0,35	0,45	0,56	2,2	42,36
Soda 25	54,61	0,28	0,26	1,18	0,18	0,37	43,12
Soda 26	55,36	0,13	0,32	0,19	0,21	0,25	43,54
Soda 27	53,42	1,2	0,62	0,21	0,48	1,89	42,18
Soda 28	52,69	1,32	0,48	0,52	0,58	2,1	42,31
Soda 29	55,12	0,45	0,34	0,14	0,28	0,25	43,42
Soda 30	53,19	0,76	0,71	0,21	0,62	2,49	42,02
Soda 31	54,08	0,72	0,56	0,45	0,36	1,27	42,56
Soda 32	53,26	0,86	0,58	1,18	0,48	1,52	42,12
Soda 33	55,12	0,25	0,56	0,19	0,32	0,35	43,21
Soda 34	53,86	0,96	0,52	0,21	0,61	0,66	43,18

5.2.3. Parça Boyut Dağılımlarının İncelenmesi

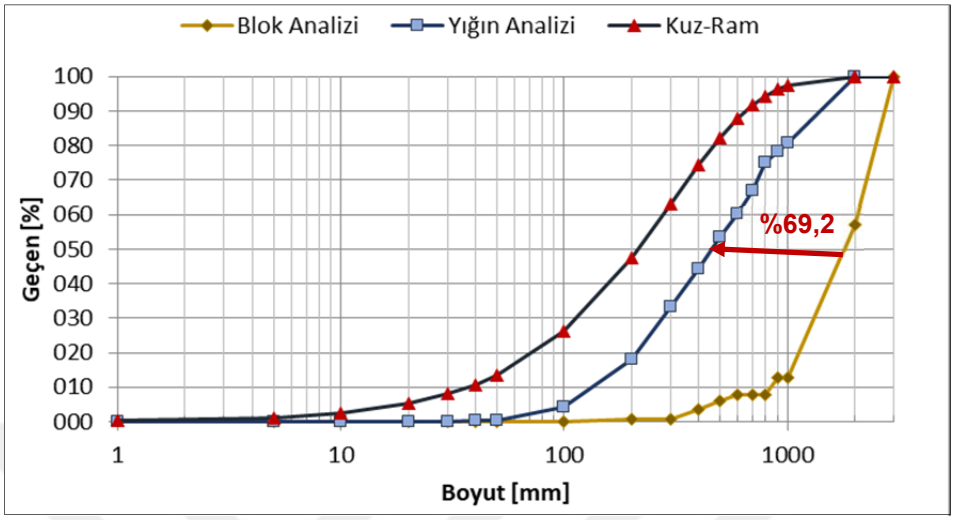
Sahada gerçekleştirilen 34 atımın ayna fotoğrafları kullanılarak WipJoint yazılımı ile blok, yığın fotoğrafları kullanılarak WipFrag yazılımı ile yığın parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Atımlar Soda 1'den Soda 34'a kadar kodlanmıştır. Yığın, blok ve Kuz-Ram tahmin modeli aynı grafikte gösterimiştir. Ayrıca patlatma verimini değerlendirmede yani ortalama yerinde blok boyutunun ortalama yığın boyutuna oranı olan parçalanma indeksi (FI)'da hesaplanmıştır. Blok ve yığının D_{50} değerlerine göre belirlenen boyut küçülmesi oranları da herbir atımın grafiği üzerinde verilmiştir.

Soda 1 ve Soda 2 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri incelendiğinde; her iki atımda da patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımları Kuz-Ram tahmin modelinden farklı olduğu gözlenmiştir.

Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 1 atımı % 61,54 ve Soda 2 atımı ise % 69,2 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır (Şekil 5.93, Şekil 5.94).

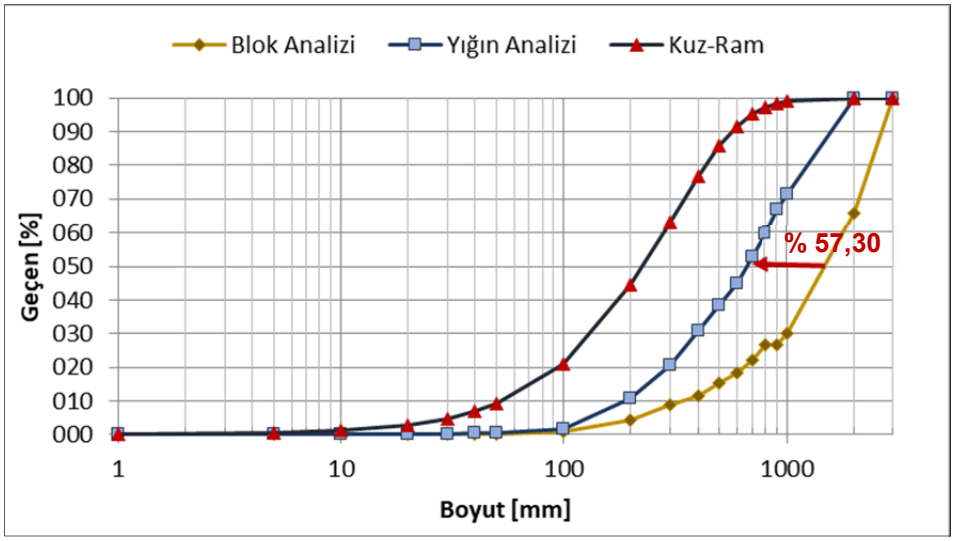


Şekil 5.93. Soda 1 Atımının Dağılım Grafikleri

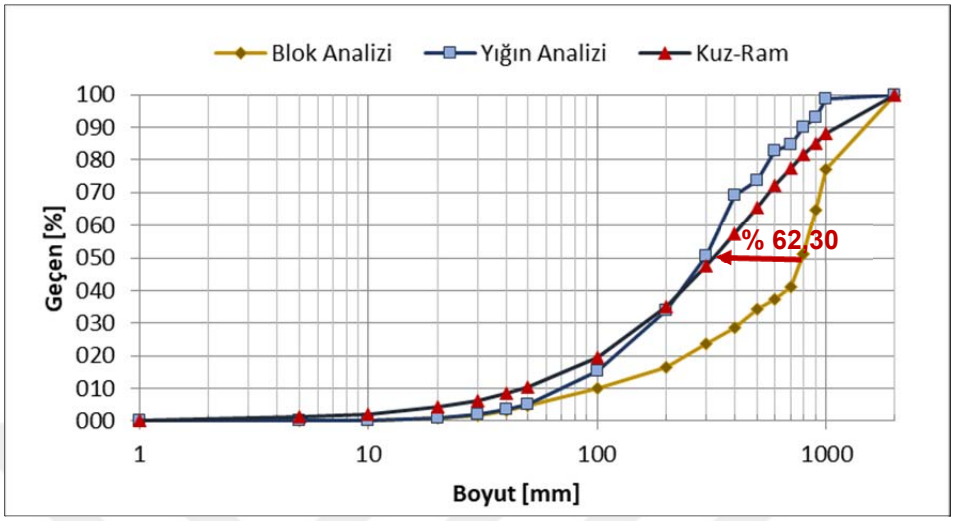


Şekil 5.94. Soda 2 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 3 atımının patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modelinden farklı olduğu, Soda 4 atımının ise Kuz-Ram tahmin modeline benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.95, Şekil 5.96). Atım sonucunda yığın ve blok parça boyut dağılımları D_{50} değerlerine göre; Soda 3 atımı % 57,30 ve Soda 4 atımı ise % 62,30 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

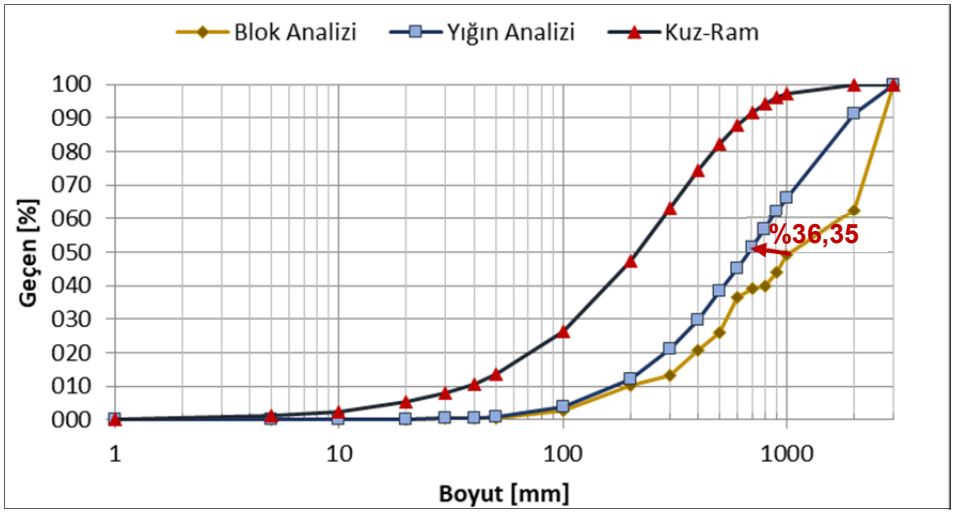


Şekil 5.95. Soda 3 Atımının Dağılım Grafikleri

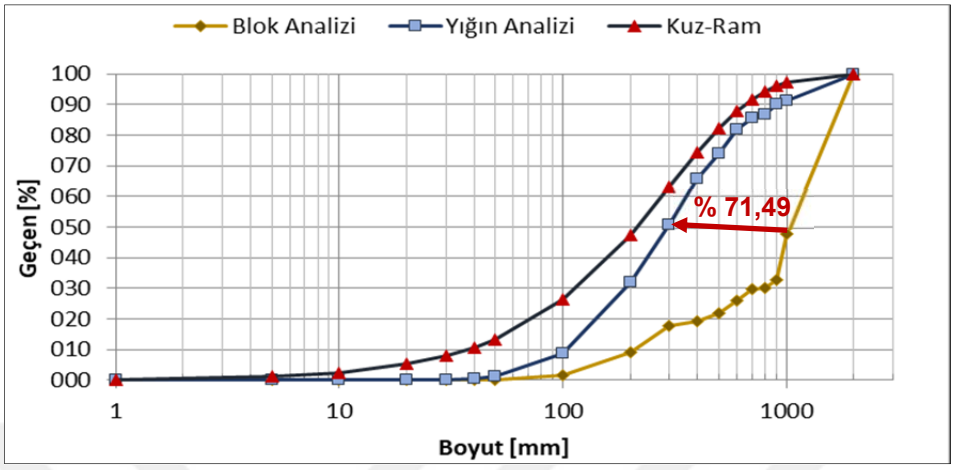


Şekil 5.96. Soda 4 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 5 ve Soda 6 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; Soda 5 atımının farklı olduğu, Soda 6 atımının ise benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.97, Şekil 5.98). Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 5 atımı % 36,35 ve Soda 6 atımı ise % 71,49 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

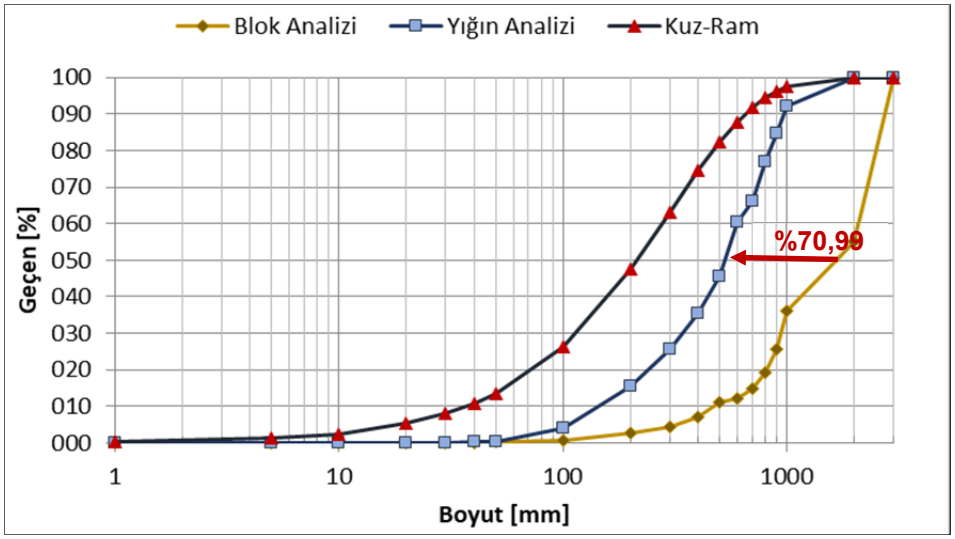


Şekil 5.97. Soda 5 Atımının Dağılım Grafikleri

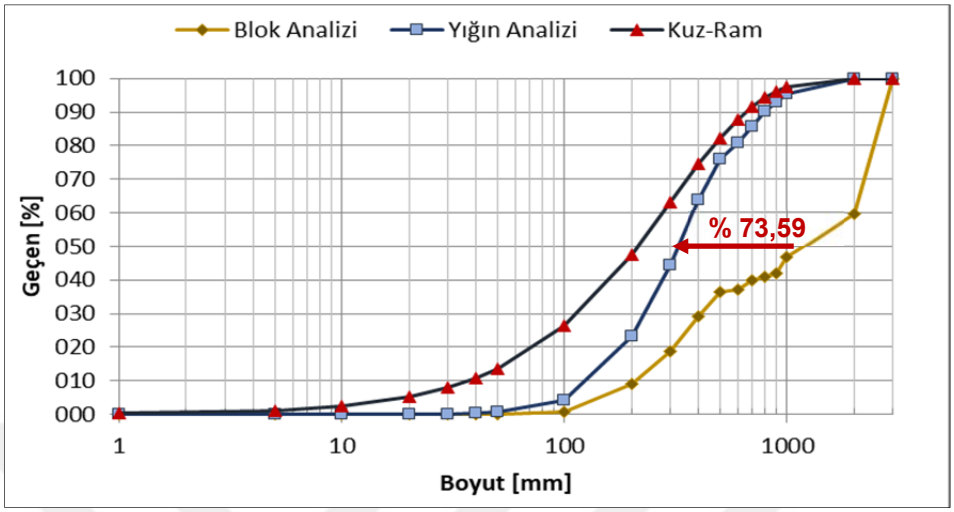


Şekil 5.98. Soda 6 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 7 ve Soda 8 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; Soda 7 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu, Soda 8 atımının ise benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.99, Şekil 5.100). Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 7 atımı % 70,99 ve Soda 8 atımı ise % 73,59 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

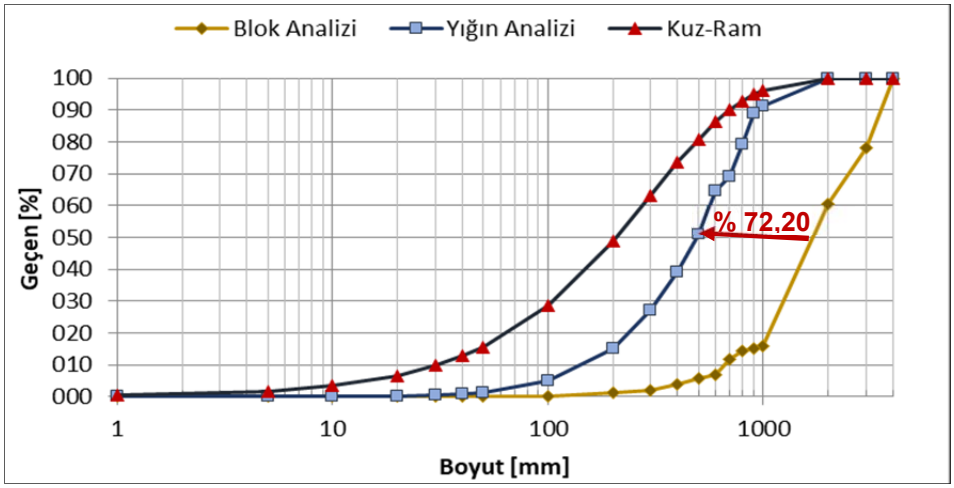


Şekil 5.99. Soda 7 Atımının Dağılım Grafikleri

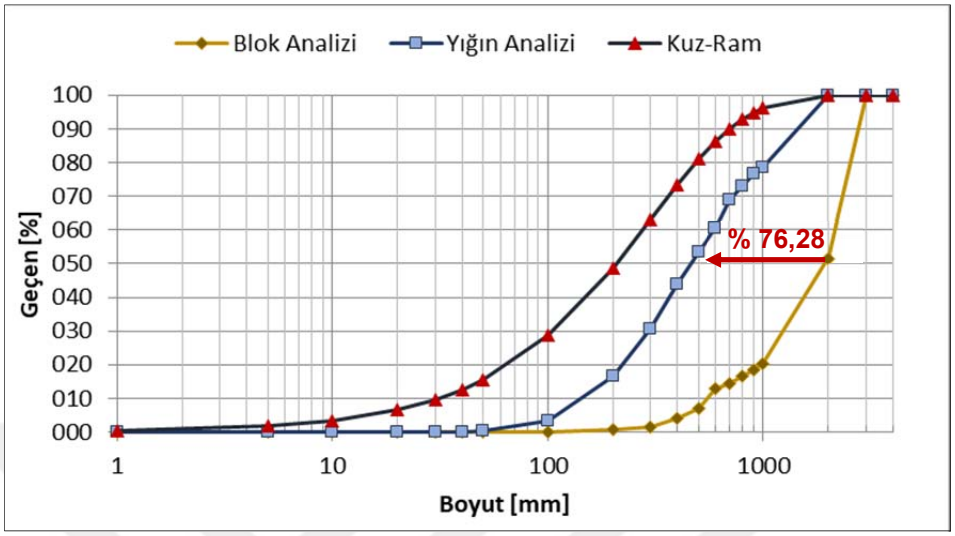


Şekil 5.100. Soda 8 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 9 ve Soda 10 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; Soda 9 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli parça boyut dağılımından farklı olduğu, Soda 10 atımının ise benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.101, Şekil 5.102). Atım sonunda yığın ve bloğun parça boyut dağılımılarının D_{50} değerlerine göre; Soda 9 atımı % 72,20 ve Soda 10 atımı ise % 76,28 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

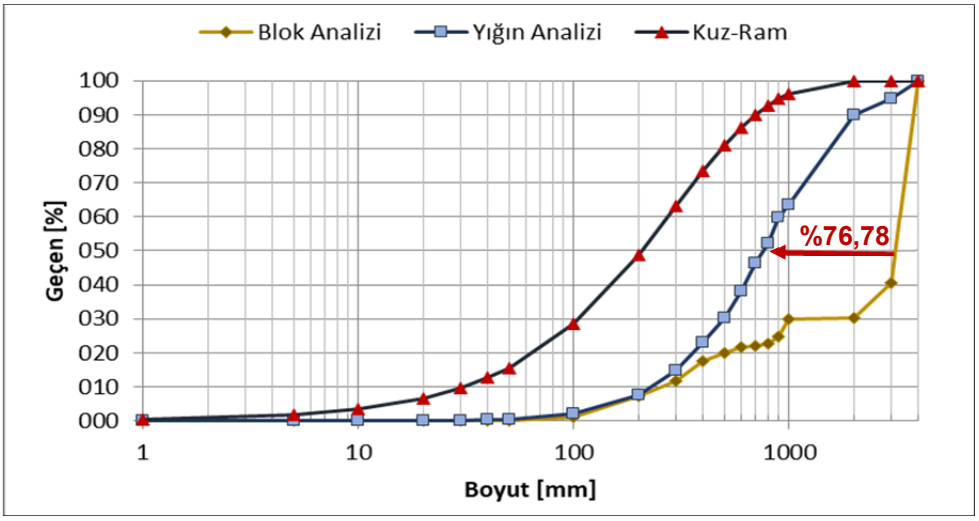


Şekil 5.101. Soda 9 Atımının Dağılım Grafikleri



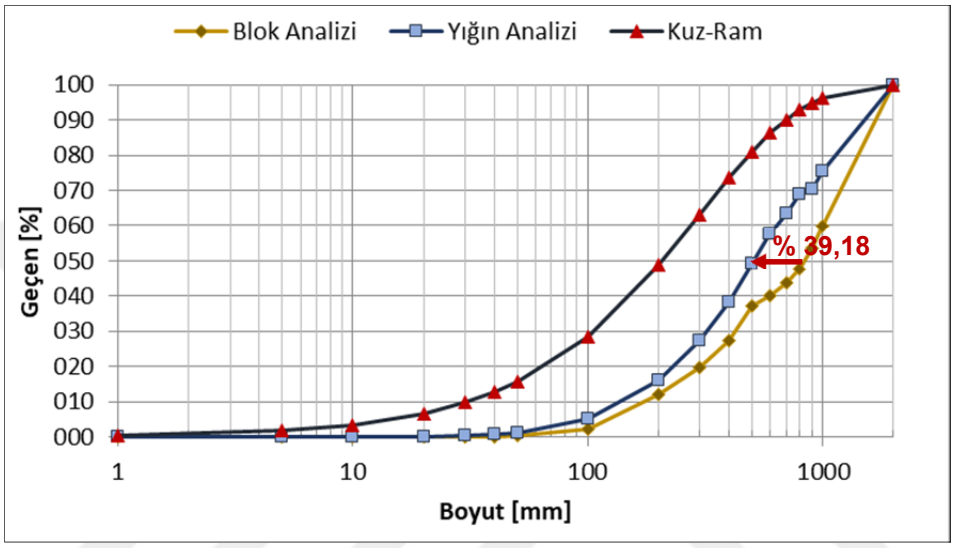
Şekil 5.102. Soda 10 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 11 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri incelendiğinde; yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram dağılımından farklı olduğu görülmüştür ve D_{50} değerine göre % 76,78 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır (Şekil 5.103).

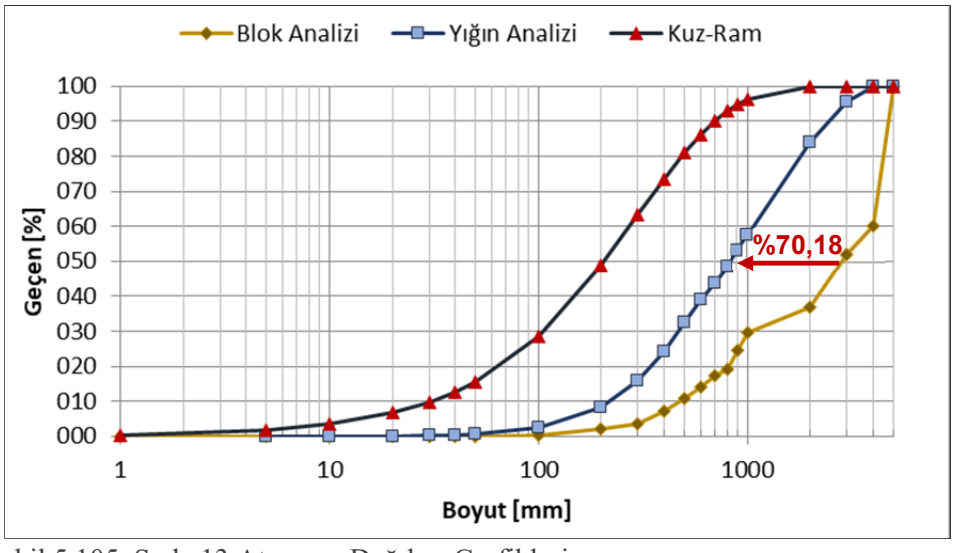


Şekil 5.103. Soda 11 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 12 ve Soda 13 atımları yığın parça boyut dağılımları Kuz-Ram tahmin modeli ile karşılaştırıldığında; iki atımında yığın parça boyutu ve Kuz-Ram tahmin modeli dağılımlarının farklı olduğu görülmüştür (Şekil 5.104, Şekil 5.105).



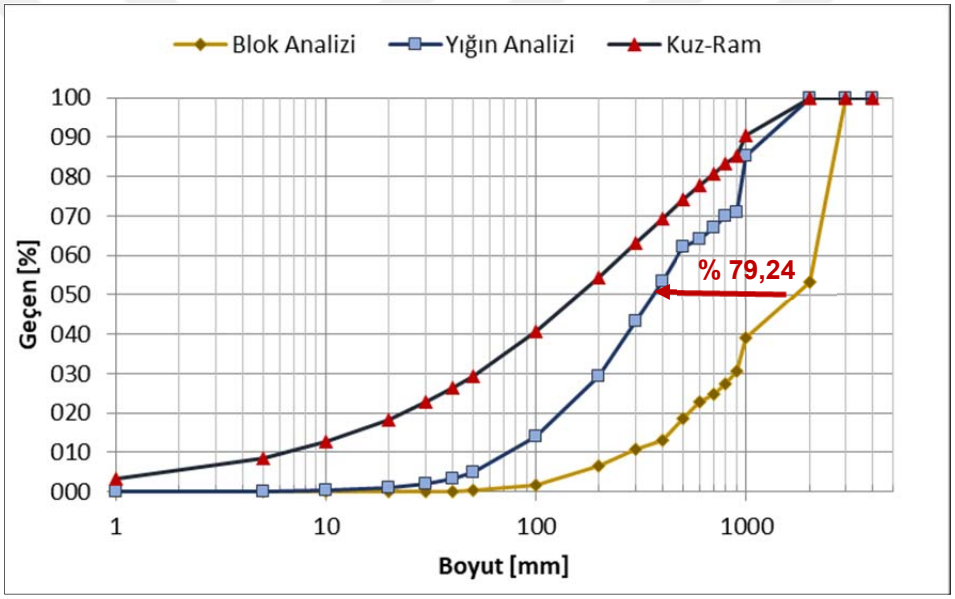
Şekil 5.104. Soda 12 Atımının Dağılım Grafikleri



Şekil 5.105. Soda 13 Atımının Dağılım Grafikleri

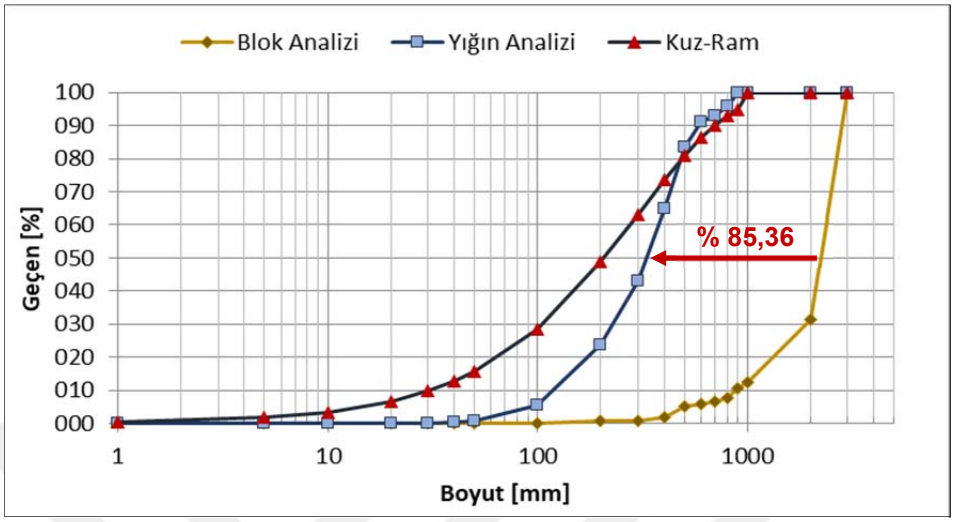
Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımılarının D_{50} değerlerine göre; Soda 12 atımı % 39,18 ve Soda 13 atımı ise % 70,18 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

Soda 14 atımının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.106). Atım sonucunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre % 79,24 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

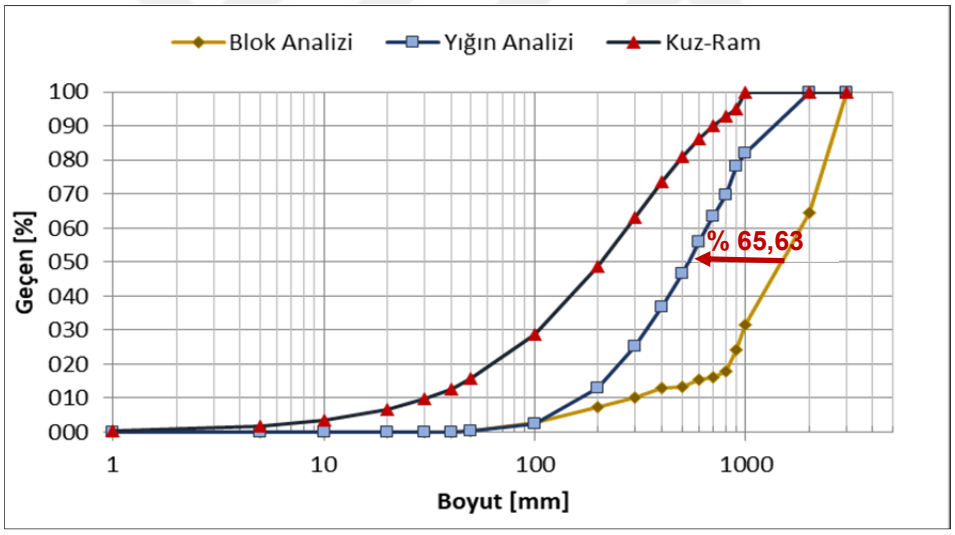


Şekil 5.106. Soda 14 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 15 ve Soda 16 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; her iki atımın da yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.107, Şekil 5.108). Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 15 atımı % 85,36 ve Soda 16 atımı ise % 65,63 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

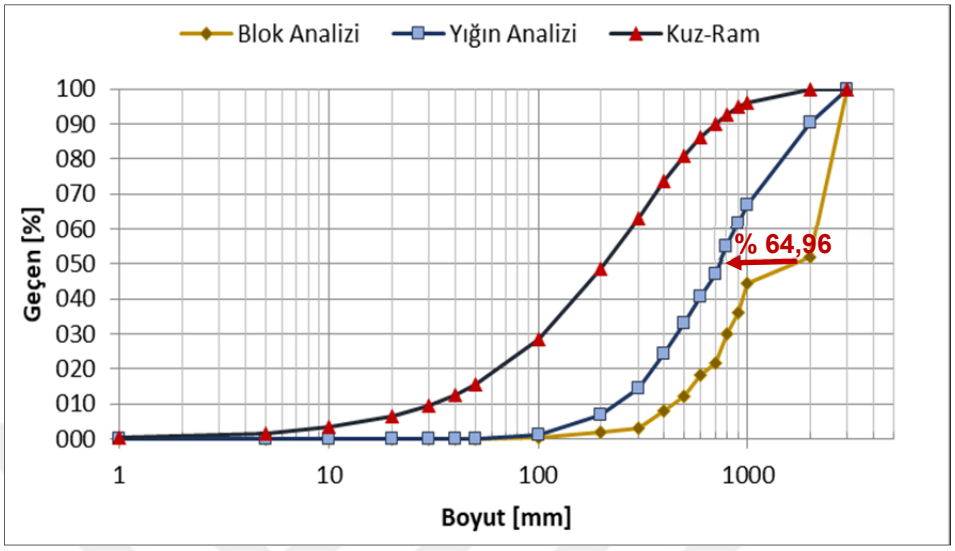


Şekil 5.107. Soda 15 Atımının Dağılım Grafikleri

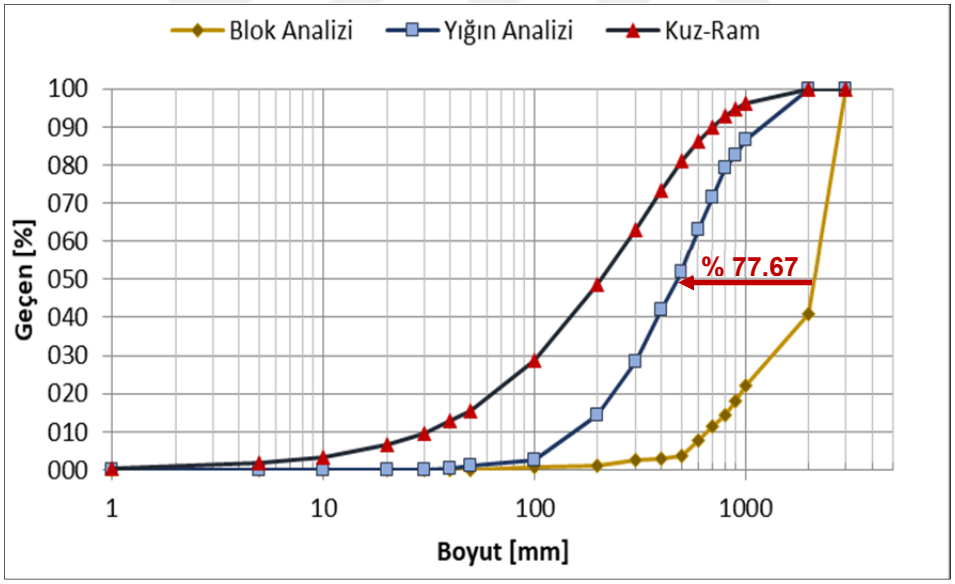


Şekil 5.108. Soda 16 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 17 ve Soda 18 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; her iki atımın yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu (Şekil 5.109, Şekil 5.110), yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 17 atımı % 64,96 ve Soda 18 atımı ise % 77,67 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.



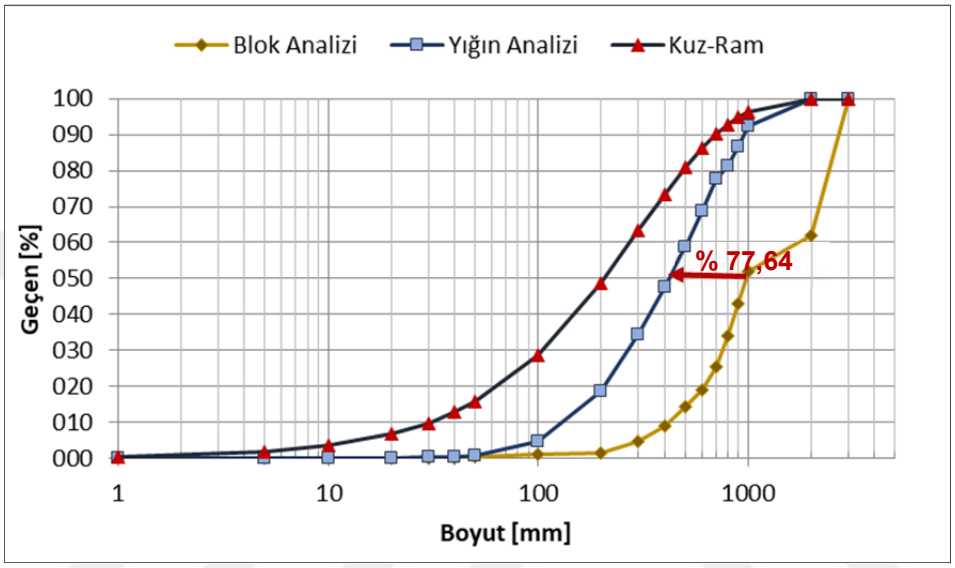
Şekil 5.109. Soda 17 Atımının Dağılım Grafikleri



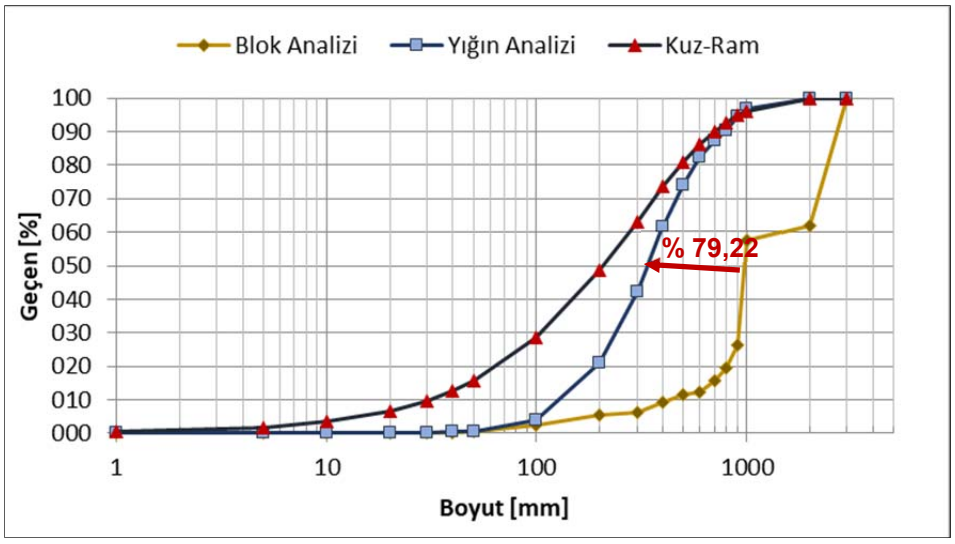
Şekil 5.110. Soda 18 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 19 ve Soda 20 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; her iki atımın yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram dağılımından farklılık gözlenmiştir (Şekil 5.111, Şekil

5.112). Atım sonucunda yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 19 atımı % 77,64 ve Soda 20 atımı ise % 79,22 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

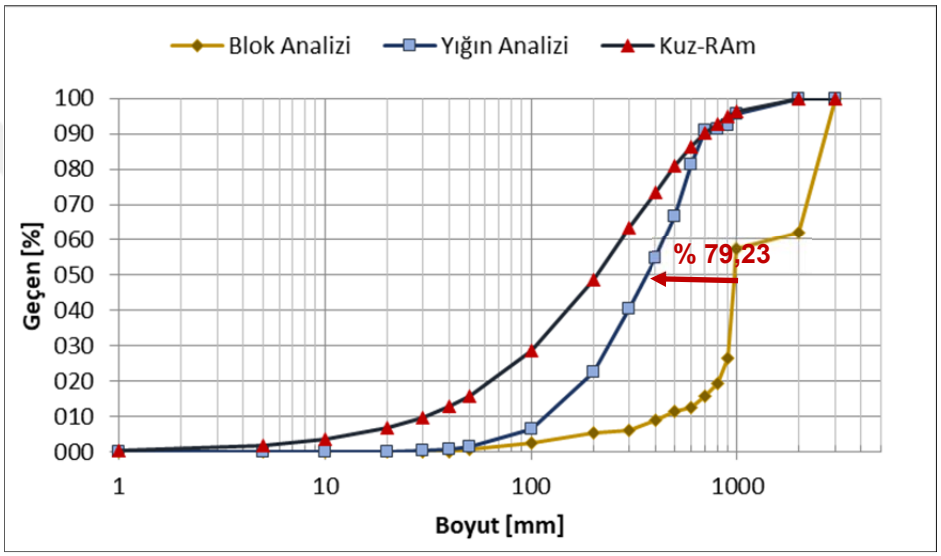


Şekil 5.111. Soda 19 Atımının Dağılım Grafikleri



Şekil 5.112. Soda 20 Atımının Dağılım Grafikleri

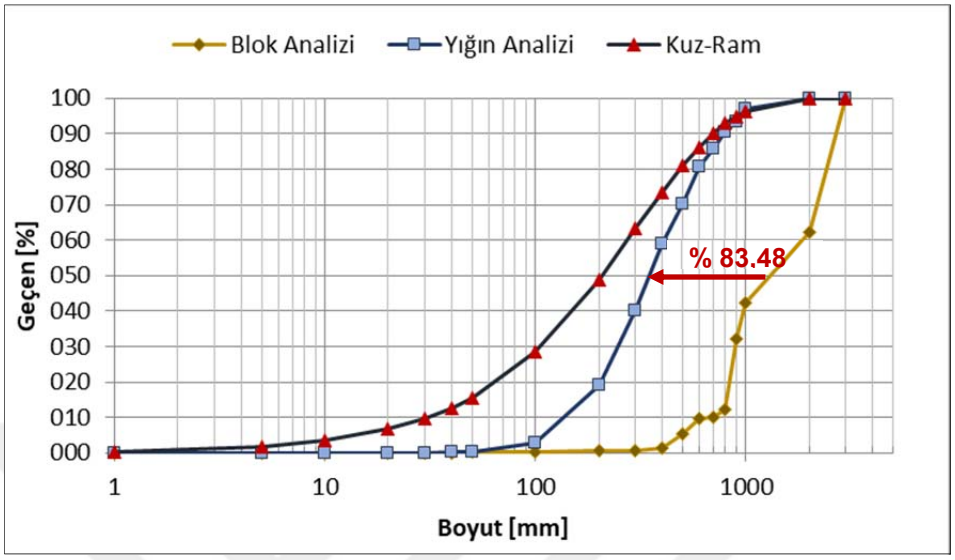
Soda 21 atımının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu, atım sonucunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre % 79,23 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır (Şekil 5.113).



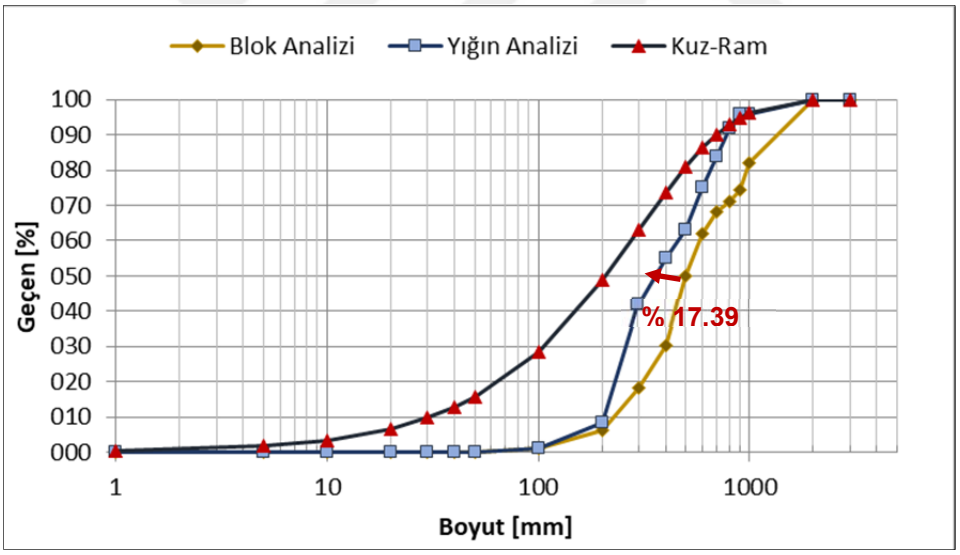
Şekil 5. 113. Soda 21 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 22 ve Soda 23 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; her iki atımın da yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu (Şekil 5.114, Şekil 5.115), yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 22 atımı % 83,48 ve Soda 23 atımı ise % 17,39 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

Soda 24 ve Soda 25 atımları parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırılmış; iki atımın da yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeline yakın olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.116, Şekil 5.117). Sahada çatlak kırık sistemlerinin az olduğu bölgelerde Kuz-Ram tahmşn modellerine yakın bir parça boyut dağılımı gösterdiği görülmektedir.

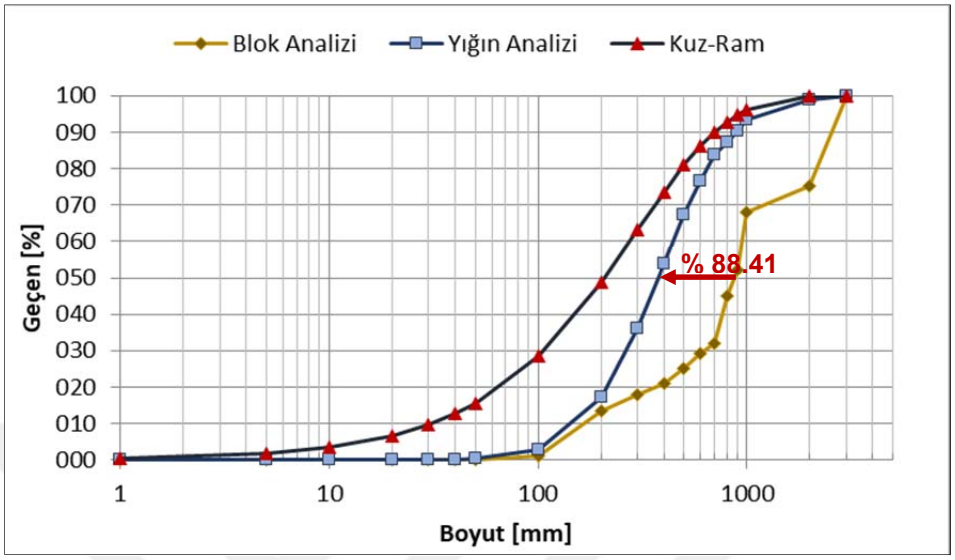


Şekil 5.114. Soda 22 Atımının Dağılım Grafikleri

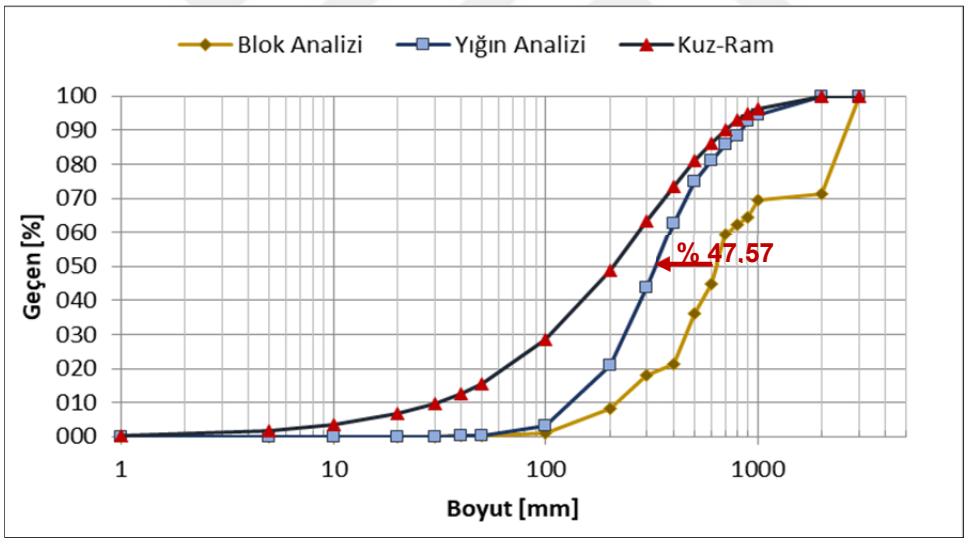


Şekil 5.115. Soda 23 Atımının Dağılım Grafikleri

Atım sonucunda yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre Soda 24'ün %88,41 ve Soda 25'in % 47,57 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır.

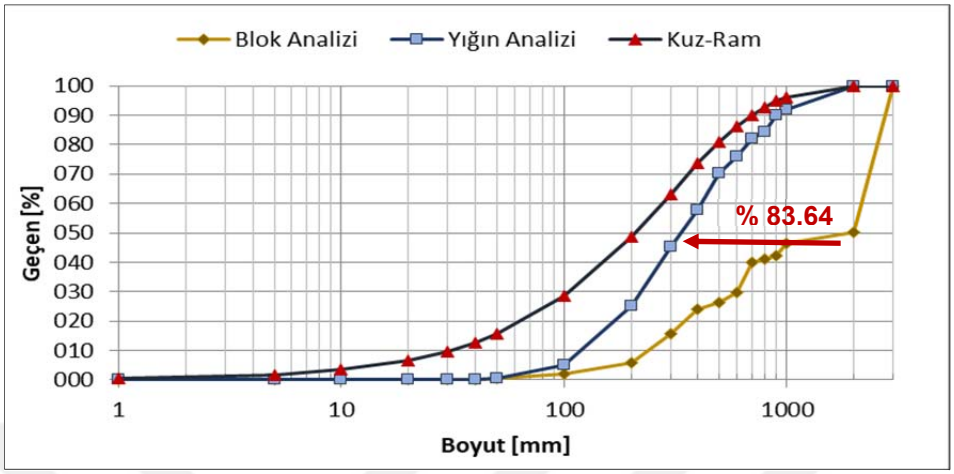


Şekil 5.116. Soda 24 Atımının Dağılım Grafikleri



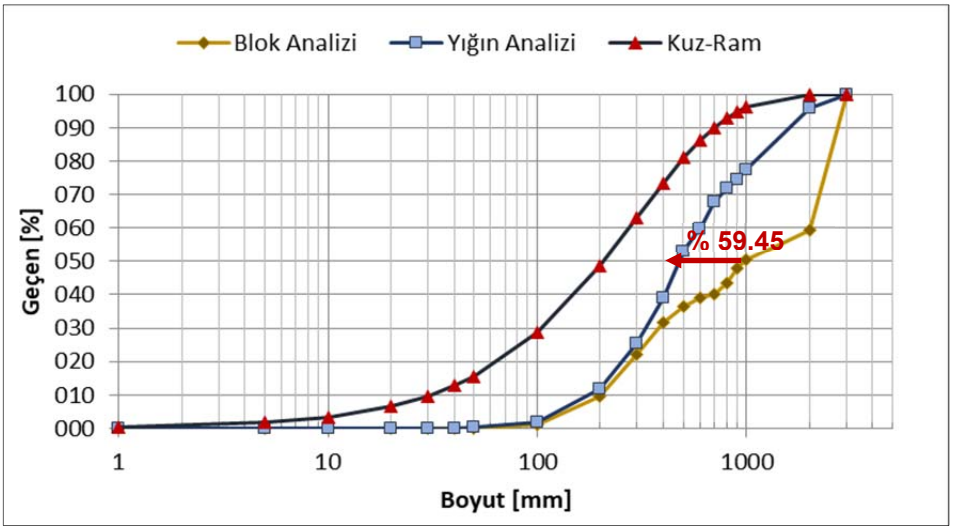
Şekil 5.117. Soda 25 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 26 atımının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeline yakın olduğu (Şekil 5.118), yığının ve bloğun parça boyut dağılımı D_{50} değerlerine göre % 83,64 boyut küçülmesi oranı sağladığı görülmüştür.

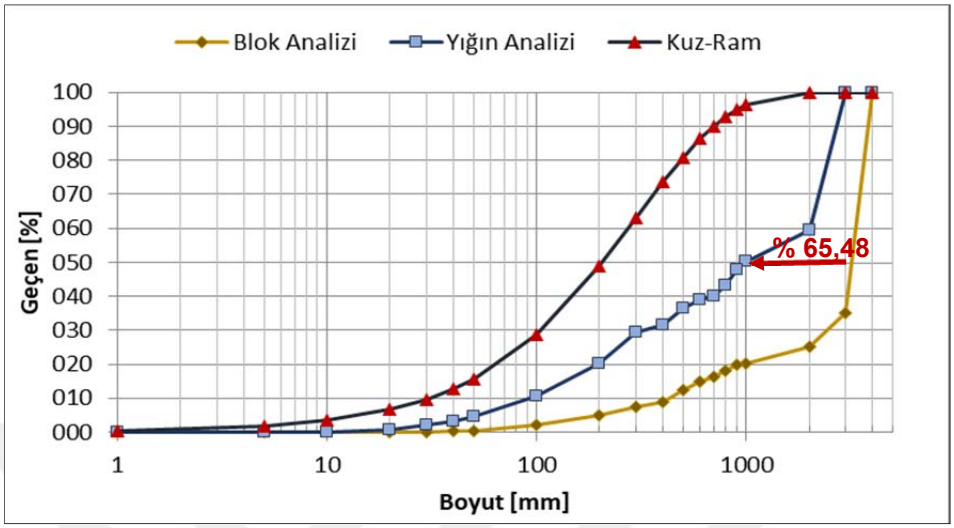


Şekil 5.118. Soda 26 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 27 ve Soda 28 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; her iki atımın da yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımına benzer olduğu, yığınların ve bloğun parça boyut dağılımları D_{50} değerlerine göre; Soda 27 atımı % 59,45 ve Soda 28 atımı ise % 65,48 boyut küçülmesi oranı sağlanmıştır (Şekil 5.119, Şekil 5.120).

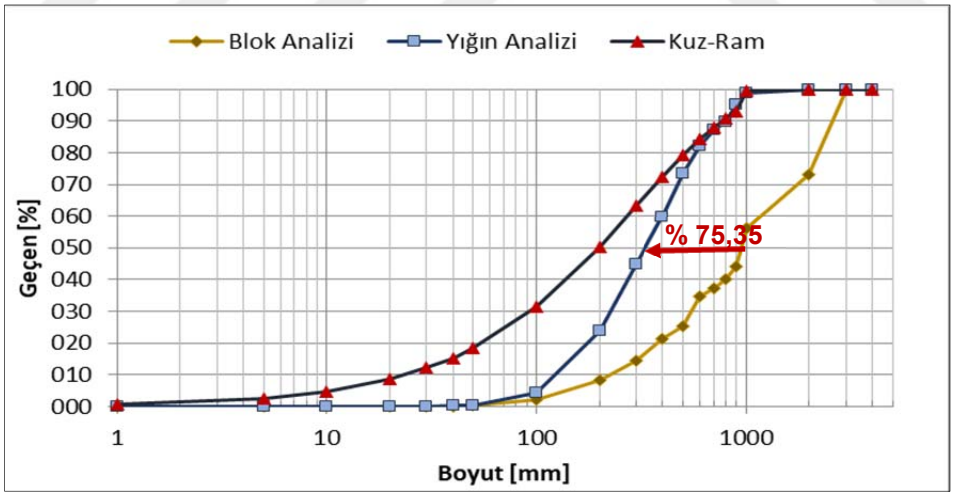


Şekil 5.119. Soda 27 Atımının Dağılım Grafikleri



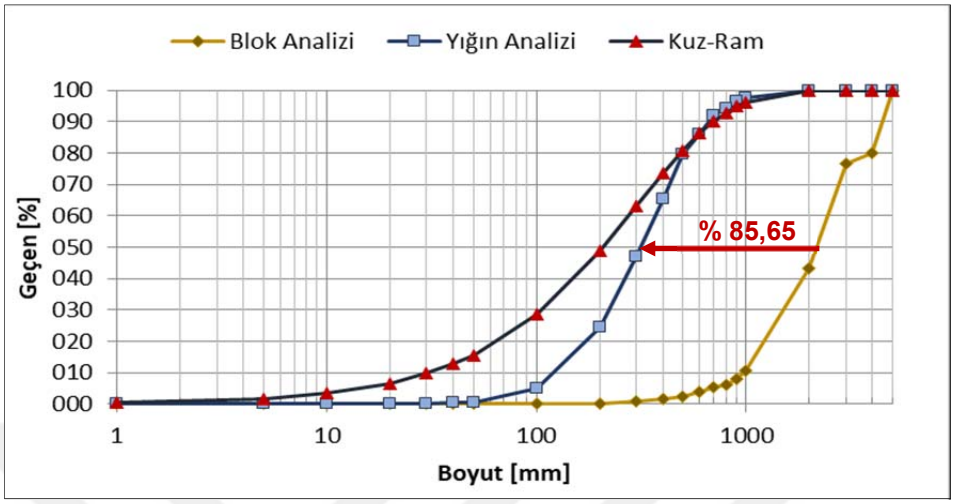
Şekil 5.120. Soda 28 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 29 ve Soda 30 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırılmış; iki atımın da yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeline benzer olduğu görülmüştür (Şekil 5.121, Şekil 5.122).



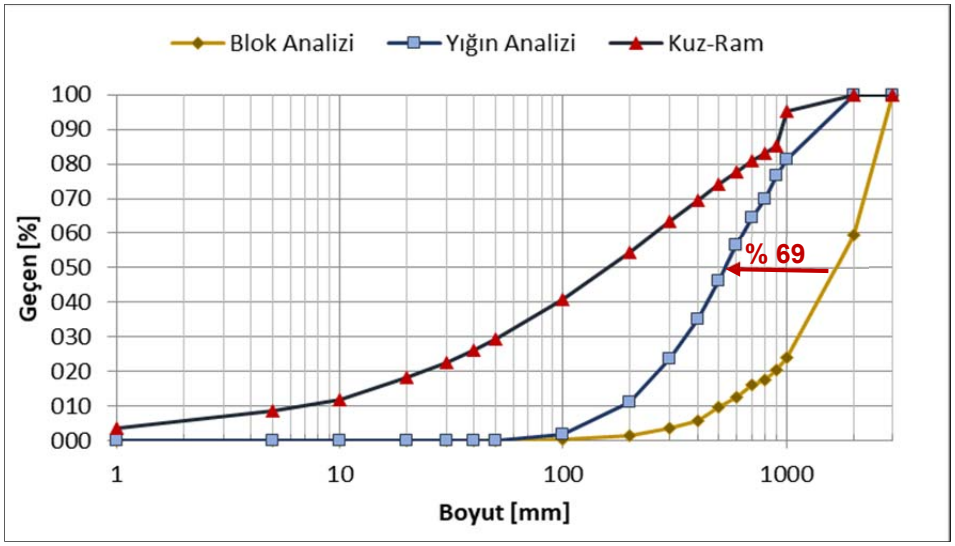
Şekil 5.121. Soda 29 Atımının Dağılım Grafikleri

Yığın ve blok parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 29 % 75,35 ve Soda 30 atımının % 85,65 boyut küçülmesi oranı sağlamıştır.

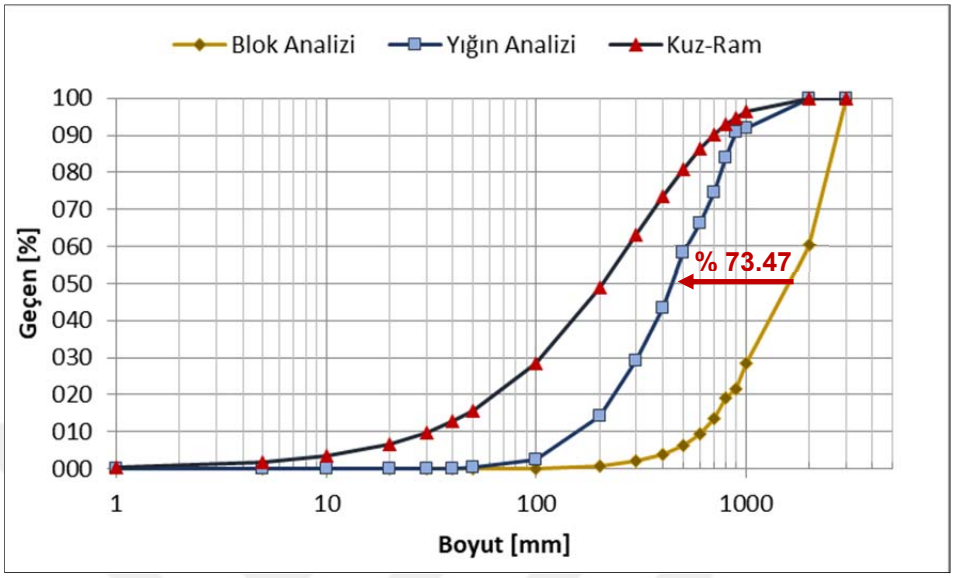


Şekil 5.122. Soda 30 Atımının Dağılım Grafikleri

Soda 31 ve Soda 32 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; Soda 31 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı, Soda 32 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımına benzer olduğu görülmüştür (Şekil 5.123, Şekil 5.124).



Şekil 5.123. Soda 31 Atımının Dağılım Grafikleri

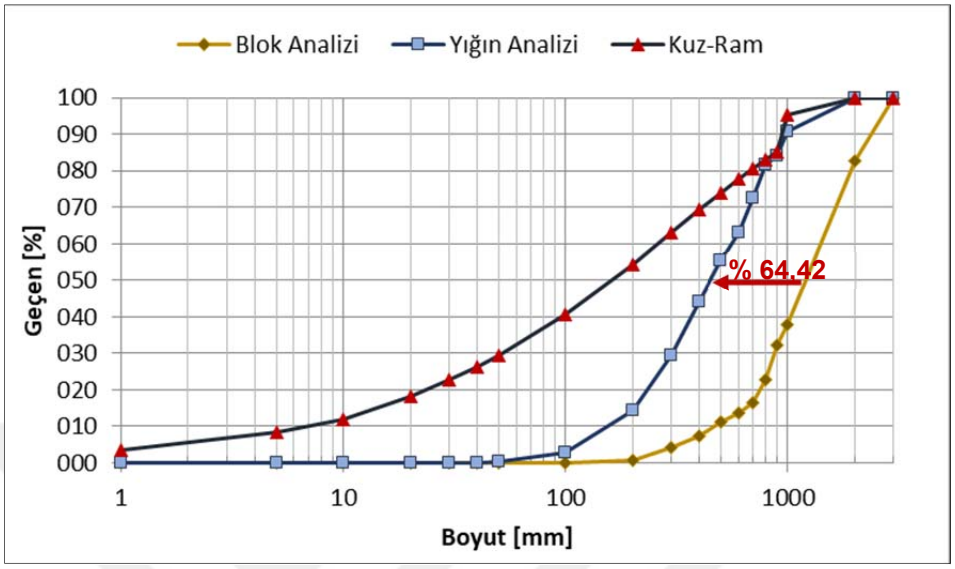


Şekil 5.124. Soda 32 Atımının Dağılım Grafikleri

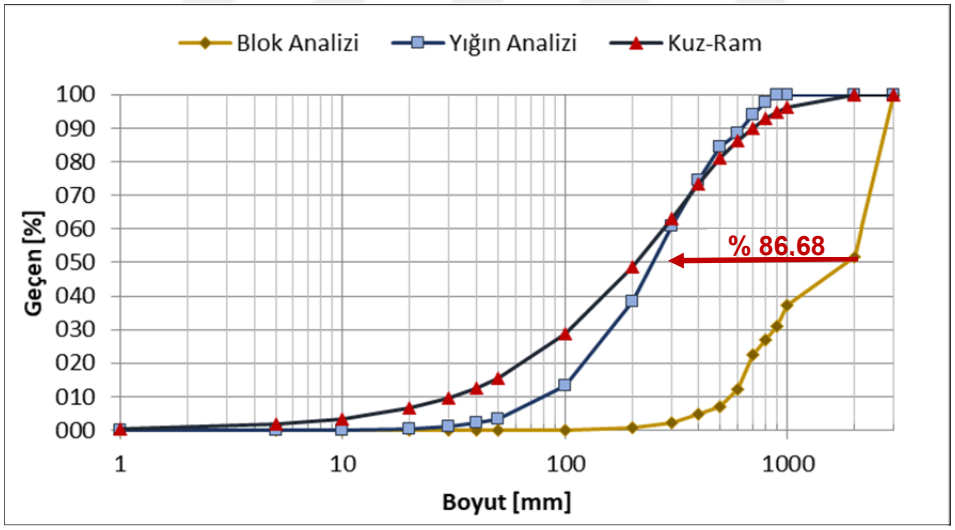
Yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 31 atımı % 69 ve Soda 32 atımının ise % 73,47 boyut küçülmesi oranı sağlandığı gözlenmiştir.

Soda 33 ve Soda 34 atımlarının parça boyut dağılım grafikleri Kuz-Ram tahmin modelleri ile karşılaştırıldığında; Soda 33 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımından farklı olduğu ve Soda 34 atımının yığın parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeli dağılımına benzer olduğu görülmüştür (Şekil 5.125, Şekil 5.126). Yığınların ve bloğun parça boyut dağılımlarının D_{50} değerlerine göre; Soda 33 atımı % 64,42 ve Soda 34 atımının ise % 86,68 boyut küçülmesi oranı sağlandığı gözlenmiştir.

Tüm patlatmaların D_{10}, D_{25}, D_{50}, D_{75} ve D_{90} değerleri belirlenmiştir. Ayrıca yerinde ortalama blok boyutu ile ortalama yığın boyutunun oranı olarak ifade edilen ve patlatma verimliliği hakkında yorum yapmamıza yarıyan parçalanma indeksi (FI) değerleride hesaplanmış, Çizelge 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.125. Soda 33 Atımının Dağılım Grafikleri



Şekil 5.126. Soda 34 Atımının Dağılım Grafikleri

Çizelge 5.23. Patlatmaların Dağılım Oranları ve Parçalanma İndeksi Değerleri

Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI
Soda 1	Yerinde Blok	306,9	617,3	1328,6	2502,6	3283,5	2,60
	Yığın	160,2	274,1	510,8	824,8	1472,8	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	600,0	
Soda 2	Yerinde Blok	843,3	1150,7	1501,4	2419,5	2767,8	3,24
	Yığın	141,9	245,4	462,0	796,5	1477,9	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 3	Yerinde Blok	343,0	762,1	1557,6	2268,1	2707,2	2,34
	Yığın	193,5	342,5	664,9	1129,3	1651,7	
	Kuz-Ram	48,0	110,0	212,0	402,0	580,0	
Soda 4	Yerinde Blok	103,3	331,0	785,7	981,7	1559,0	2,65
	Yığın	74,3	152,3	296,2	510,4	762,4	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 5	Yerinde Blok	194,6	481,2	1067,2	2333,0	2733,2	1,57
	Yığın	176,0	345,3	679,1	1353,1	1946,1	
	Kuz-Ram	35,00	90,0	210,0	420,00	650,0	
Soda 6	Yerinde Blok	209,6	575,3	1040,6	1520,3	1808,1	3,51
	Yığın	105,3	169,3	296,6	514,3	890,93	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 7	Yerinde Blok	472,6	889,0	1828,8	2444,2	2777,7	3,45
	Yığın	151,4	293,1	530,4	782,1	971,4	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 8	Yerinde Blok	209,1	359,0	1242,1	2380,5	2752,2	3,79
	Yığın	130,5	208,5	327,9	490,5	757,7	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 9	Yerinde Blok	663,4	1200,4	1761,4	2818,1	3541,4	3,60
	Yığın	149,5	282,2	489,5	756,7	943,8	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	600,0	

Çizelge 5.23'ün devamı

Bölge	Dağılım	D_{10}	D_{25}	D_{50}	D_{75}	D_{90}	FI
Soda 10	Yerinde Blok	552,22	1208,6	1952,9	2483,6	2793,4	4,22
	Yığın	149,5	259,9	463,1	835,9	1536,7	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	600,0	
Soda 11	Yerinde Blok	261,03	1012,1	3281,4	3640,7	3856,3	4,31
	Yığın	233,36	425,44	761,79	1367,7	1850,7	
	Kuz-Ram	30,00	80,00	200,00	400,00	600,00	
Soda 12	Yerinde Blok	177,68	369,11	837,01	1375,9	1750,3	1,64
	Yığın	145,03	279,69	509,01	988,76	1560,0	
	Kuz-Ram	30,00	80,00	200,00	400,00	600,00	
Soda 13	Yerinde Blok	477,03	905,87	2799,2	4464,9	4785,9	3,35
	Yığın	223,66	410,34	834,53	1663,9	2518,3	
	Kuz-Ram	30,00	80,00	200,00	400,00	600,00	
Soda 14	Yerinde Blok	238,8	708,4	1768,8	2464,4	2785,7	4,82
	Yığın	78,1	171,5	367,0	1137,2	1653,7	
	Kuz-Ram	0,0	20,0	150,0	550,0	1100,0	
Soda 15	Yerinde Blok	875,2	1655,0	2269,6	2634,8	2853,9	6,84
	Yığın	124,8	207,1	332,0	454,2	585,5	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 16	Yerinde Blok	299,2	912,2	1559,2	2294,6	2717,8	2,91
	Yığın	171,9	299,0	535,8	861,3	1446,4	
	Kuz-Ram	15,00	47,0	200,0	450,0	900,00	
Soda 17	Yerinde Blok	637,8	723,2	2100,4	2550,2	2820,0	2,85
	Yığın	239,2	407,4	735,9	1344,0	1979,5	
	Kuz-Ram	15,00	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 18	Yerinde Blok	659,9	1303,6	2152,8	2576,4	2830,5	4,48
	Yığın	162,6	276,9	480,6	743,7	1252,8	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	

Çizelge 5.23'ün devamı

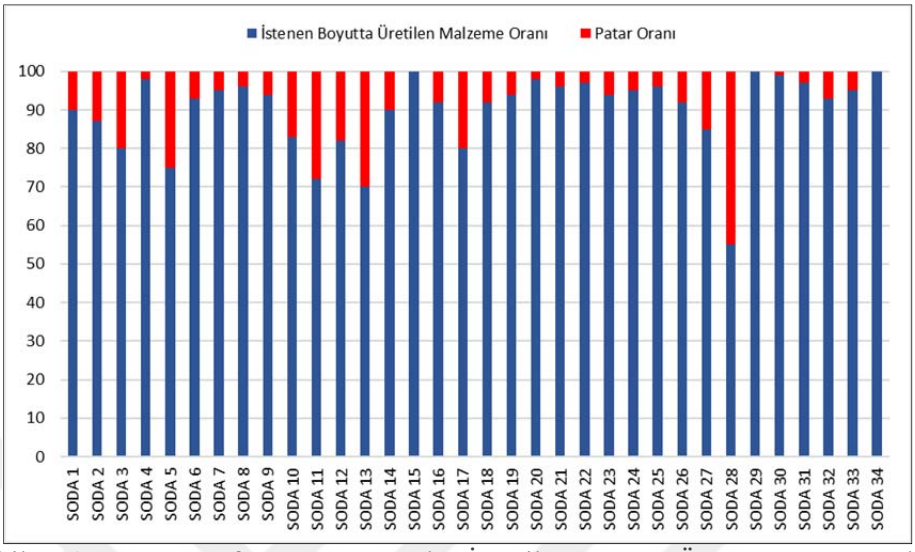
Bölge	Dağılım	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{50} (mm)	D_{75} (mm)	D_{90} (mm)	FI
Soda 19	Yerinde Blok	421,0	793,0	1888,3	2478,9	2791,5	4,47
	Yığın	137,6	240,1	422,0	671,4	965,5	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 20	Yerinde Blok	541,9	980,0	1764,1	2414,7	2765,8	4,71
	Yığın	135,1	218,3	340,9	512,1	791,0	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	700,0	
Soda 21	Yerinde Blok	541,9	980,0	1764,1	2414,7	2765,8	4,81
	Yığın	122,2	213,5	366,4	557,1	690,6	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	700,0	
Soda 22	Yerinde Blok	617,1	1424,7	2131,2	2562,6	2826,2	6,05
	Yığın	143,4	227,8	352,0	545,0	790,6	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 23	Yerinde Blok	236,8	325,0	477,5	1022,5	1609,0	1,21
	Yığın	209,6	302,6	394,4	708,9	937,5	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 24	Yerinde Blok	263,2	462,7	3265,4	3632,7	3853,0	8,63
	Yığın	150,4	241,3	378,3	582,4	891,1	
	Kuz-Ram	30,00	80,0	200,0	400,0	700,0	
Soda 25	Yerinde Blok	216,6	398,2	636,1	2126,6	2650,6	1,91
	Yığın	138,3	217,5	333,4	500,2	839,0	
	Kuz-Ram	30,0	80,0	200,0	400,0	700,0	
Soda 26	Yerinde Blok	241,6	443,7	2062,1	2531,0	2812,4	6,11
	Yığın	125,5	200,1	337,3	580,4	897,0	
	Kuz-Ram	35,0	90,00	210,0	420,0	650,0	
Soda 27	Yerinde Blok	183,0	295,8	1177,8	2383,4	2753,3	2,47
	Yığın	94,9	251,3	477,4	915,0	1686,4	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 28	Yerinde Blok	432,04	3119,0	3412,7	3706,3	3882,5	2,90
	Yığın	94,9	251,3	1177,8	2383,4	2753,3	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	

Çizelge 5.23'ün devamı

Bölge	Dağılım	D_{10}	D_{25}	D_{50}	D_{75}	D_{90}	FI
Soda 29	Yerinde Blok	228,7	493,6	1355,8	2071,8	2628,7	4,06
	Yığın	130,0	206,0	334,1	517,1	801,6	
	Kuz-Ram	15,0	47,0	200,0	450,0	900,0	
Soda 30	Yerinde Blok	982,4	1443,3	2203,2	2947,9	4570,0	6,97
	Yığın	126,4	202,8	316,1	466,8	665,2	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 31	Yerinde Blok	507,6	1028,2	1733,9	2383,8	2753,5	3,23
	Yığın	190,0	312,8	536,7	878,0	1467,9	
	Kuz-Ram	0,00	40,0	180,0	500,0	1100,0	
Soda 32	Yerinde Blok	614,1	952,4	1675,5	2378,3	2747,3	3,77
	Yığın	163,6	271,3	444,4	703,4	887,2	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	
Soda 33	Yerinde Blok	469,5	823,2	1270,8	1826,9	2419,2	2,81
	Yığın	162,9	270,2	452,1	725,7	988,8	
	Kuz-Ram	0,00	40,0	180,0	500,0	1100,0	
Soda 34	Yerinde Blok	555,8	755,5	1888,0	2483,6	2793,4	7,51
	Yığın	83,7	147,0	251,4	404,0	628,7	
	Kuz-Ram	35,0	90,0	210,0	420,0	650,0	

5.2.4. Kırıcı Performansı Açısından Patlatma Veriminin İncelenmesi

Çalışma sahasında patlatma sonrası oluşan yığının boyut küçültme işlemlerinde 3 adet kırıcı kullanılmakta olup, kırıcılardan 2 tanesinin çene açıklığının 110 cm ve 3. Kırıcının çene açıklığı ise 140 cm'dir. Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasının taşeron anlaşması gereği fabrikaya beslenen ürünün boyutunun 3,5-12 cm arasında olması istenmektedir. Ocaktaki 3,5 cm'nin altındaki malzeme ise proseste ikame ettirilememektedir. Sahada hammadde üretimini yapan firma ile Soda Sanayii'nin taşeron sözleşmesi gereği bu kırıcı çene açıklığı boyutundan büyük malzemeler patar sayılmakta ve daha küçük boyutlara indirilmeden kırıcı sistemine gönderilmemektedir. Bu durum patlatma sonrası ek maliyete sebep olmaktadır. İzlenen 34 atımın patlatma sonrası WipFrag ile yapılan yığın analizleri incelenerek 140 cm'den küçük olan malzeme yüzdesi belirlenerek kırıcı performansı açısından patlatma verimi değerlendirilmiştir (Şekil 5.127).



Şekil 5.127. Kırıcı Performansı Açısından İstenilen Boyutta Ürün ve Patar Oranları

Patlatmalar parçalanma açısından değerlendirildiğinde verimli olduğu görülmektedir ve tüm atımlar kırıcı verimi açısından da iyi bir patlatma performansına sahiptir. Kırıcı performansı açısından incelendiğinde Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasından daha verimli bir kırıcı performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum; Soda Sanayi'nin fabrika üretim prosesi için istediği hammadde parça boyut aralığının daha iri (3,5-12 cm) olması ve kırıcı çene açıklığının Adana Çimento Sanayi'nde kullanılan kırıcı çene açıklığından büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

5.2.5. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahasında Kayaç Özellikleri ile Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişkiler

5.2.5.1. Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında izlenen her atımdan alınan örneklere uygulanan özgül ağırlık (G_s), birim hacim ağırlık ($\boldsymbol{\rho}$), ağırlıkça su emme oranı (A_w) ve porozite (n) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik,

üssel ve güç modeller tek tek uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Uygulanan her model için hata kareler ortalaması (HKO) ve R^2 değerleri Çizelge 5.24'de verilmiştir.

Oluşturulan modellerin varyans analizi tablo değerleri incelendiğinde p değerlerinin α=0,05'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durum modellerimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.24. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri

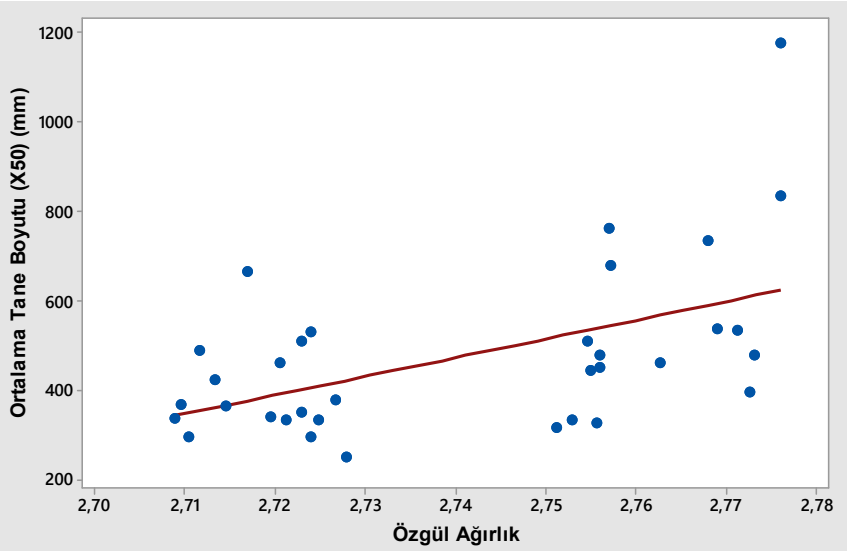
Bağımsız Değişken		**G_s**	**ρ (g/cm^3)**	**A_w (%)**	**n (%)**
Doğrusal Model	**HKO**	**26923**	**10540**	11747	10429
	R^2 (%)	**27,10**	**71,40**	68,20	71,80
Logaritmik	**HKO**	26956	10915	11531	10531
	R^2 (%)	27,00	71,40	68,90	71,80
Üssel	**HKO**	35186	10915	11532	**10427**
	R^2 (%)	28,10	78,70	67,30	**72,00**
Güç	**HKO**	35208	10861	**11471**	11588
	R^2 (%)	28,00	78,70	**66,70**	71,00
Seçilen Model		**Doğrusal**	**Doğrusal**	**Güç**	**Üssel**

5.2.5.1.(1). Otalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık Arasındaki Ilişki

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile özgül ağırlık (G_s) ilişkisinde hata kareler ortalaması en küçük (26923) olan doğrusal model seçilmiştir (Şekil 5.128). Bağımsız değişken özgül ağırlığın bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı olan R^2=0,271 olarak bulunmuştur.

Özgül ağırlık kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.16'da verilmiştir.

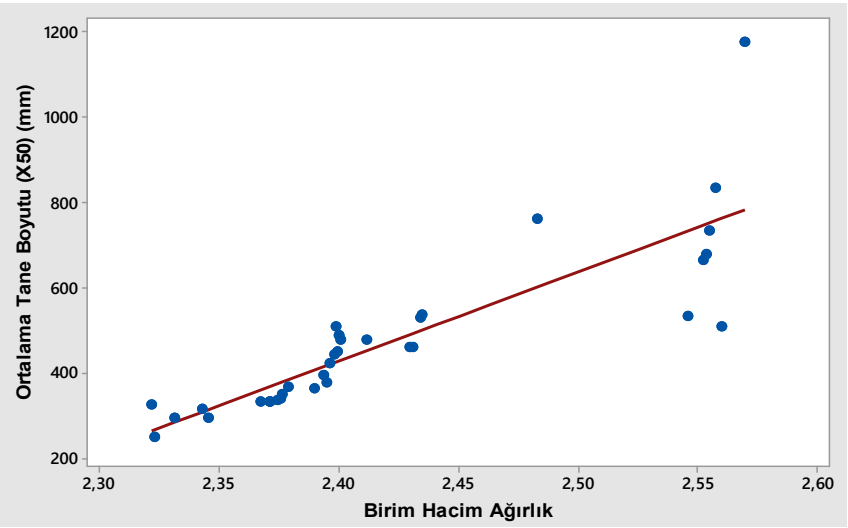
$$X_{50} = -11028 + 4198G_S \quad (5.16)$$



Şekil 5.128. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Ağırlık İlişkisi

5.2.5.1.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile birim hacim ağırlık (ρ) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (10540) olan doğrusal model seçilmiştir (Şekil 5.129).



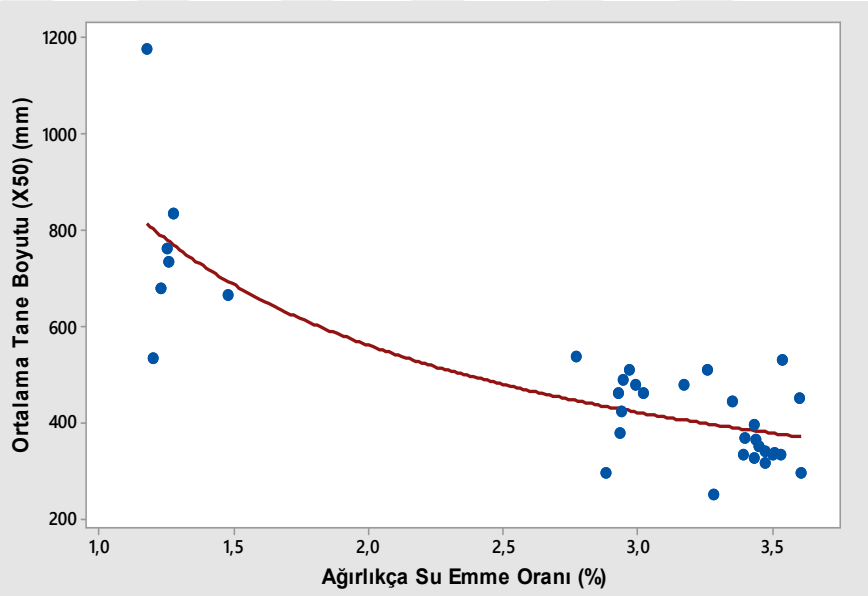
Şekil 5.129. Ortalama Tane Boyutu ile Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

Bağımsız değişken birim hacim ağırlığın (ρ), bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,714'dir. Birim hacim ağırlık kullanarak tane boyutunun tahmini Eşitlik 5.17'de verilmiştir.

$$X_{50} = -4590 + 2091\rho \quad (5.17)$$

5.2.5.1.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Ağırlıkça Su Emme Oranı İlişkisi

Ortalama tane boyutunun (X_{50}) ağırlıkça su emme oranı (A_w) ile ilişkisinde hata kareler ortalaması en küçük (11471) olan güç model seçilmiştir (Şekil 5.130).



Şekil 5.130. Ortalama Tane Boyutu ile Ağılıkça Su Emme Oranı İlişkisi

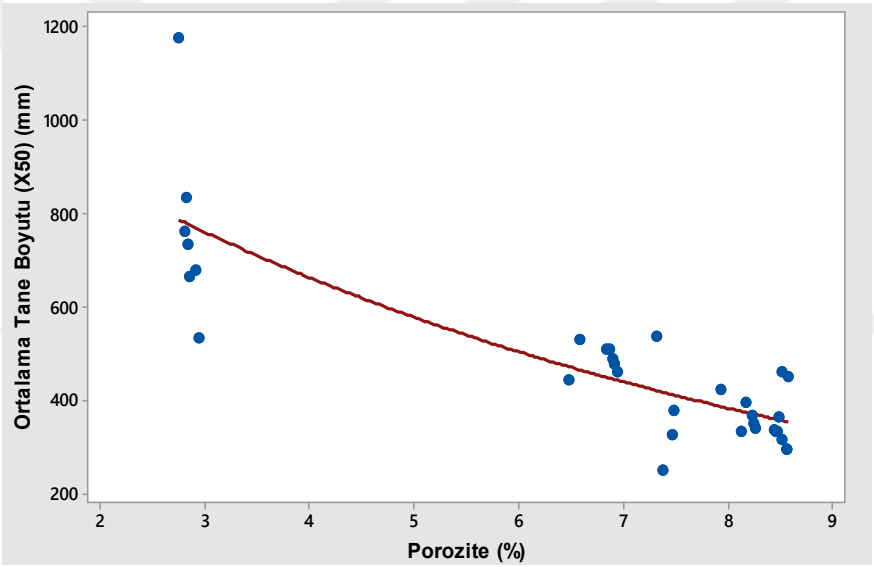
Bağımsız değişken su emme oranının (Aw) bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,667'dir.Ağırlıkça su emme oranı kullanarak tane boyutunun tahmin eşitliği Eşitlik 5.18'de verilmiştir.

$$X_{50} = 914{,}265 \times {A_W}^{-0{,}704} \quad (5.18)$$

5.2.5.1.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Porozite(n) İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile porozite (n) ilişkisinde hata kareler ortalaması en küçük olan (10427) üssel model seçilmiştir (Şekil 5.131). Bağımsız değişken porozitenin (n) bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,72'dir ve tane boyutunun tahmin eşitliği Eşitlik 5.19'da verilmiştir.

$$X_{50} = 1148{,}79 \times e^{-0{,}137n} \quad (5.19)$$



Şekil 5.131. Ortalama Tane Boyutu ile Porozite İlişkisi

5.2.5.1.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Fiziksel Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi

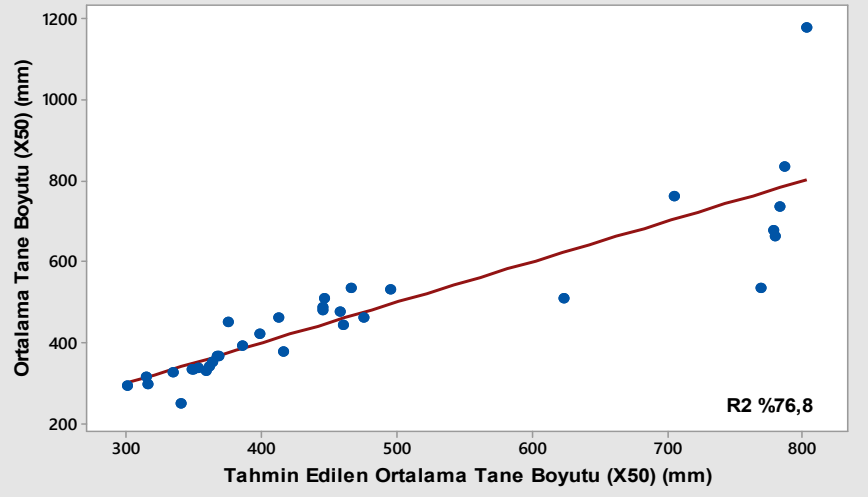
Kayaçların ortalama tane boyutuna etki eden fiziksel parametreler (birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranı, porozite) kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda tüm parametrelerin modele katkı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle her parametre ayrı ayrı modele dahil

edilerek değerlendirilmiştir. Modele katkı sağlayan değişkenlerin; porozite ve birim hacim ağırlık olduğu ($p<0,05$) ve ağırlıkça su emme ve özgül ağırlığın ($p>0,05$) modele katkısının olmadığı yapılan istatistiksel analizler ile belilenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı ve özgül ağırlık değişkeninin modelden çıkarılması ile yapılan çoklu regresyon analizi modeli Eşitlik 5.20'de verilmiştir.

$$X_{50} = -1927 - 41{,}1\, n + 1107\, \rho \tag{5.20}$$

Eşitlik 5.20 kullanılarak tahmin edilen ortalama tane boyutu, hesaplanan ortalama tane boyutu ve artık değerler Çizelge 5.25'de verilmiştir.

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile WipFrag yardımıyla belirlenen ortalama tane boyutu arasındaki değişim Şekil 5.132'de verilmiştir. Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile porozite ve birim hacim ağırlık bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı ve R^2=0,768 olduğu görülmüştür.



Şekil 5.132. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki

Çizelge 5.25. Fiziksel Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ve Artık Değerler

Bölge	Ölçülen X_{50} (mm)	Tahmin Edilen X_{50} (mm)	Artık
Soda 1	510,89	446,648	64,243
Soda 2	462,06	413,292	48,768
Soda 3	664,96	779,777	-114,814
Soda 4	296,21	300,944	-4,732
Soda 5	679,17	778,607	-99,434
Soda 6	296,61	316,575	-19,964
Soda 7	530,48	496,035	34,444
Soda 8	327,94	335,279	-7,339
Soda 9	489,58	445,206	44,371
Soda 10	463,15	475,929	-12,782
Soda 11	761,79	705,012	56,777
Soda 12	509,01	623,644	-114,638
Soda 13	834,53	786,403	48,129
Soda 14	367,07	366,929	0,144
Soda 15	332,05	358,835	-26,783
Soda 16	535,85	769,186	-233,333
Soda 17	735,94	783,558	-47,618
Soda 18	480,64	445,655	34,981
Soda 19	422,04	398,453	23,589
Soda 20	340,95	362,180	-21,228
Soda 21	366,43	368,359	-1,930
Soda 22	352,01	363,698	-11,684
Soda 23	394,46	386,238	8,227
Soda 24	378,31	415,978	-37,672
Soda 25	333,49	349,700	-16,209
Soda 26	337,33	353,430	-16,097
Soda 27	477,49	457,852	19,642
Soda 28	1177,85	803,272	374,582
Soda 29	334,12	348,492	-14,375
Soda 30	316,11	315,563	0,543
Soda 31	536,72	466,592	70,126
Soda 32	444,45	460,392	-15,945
Soda 33	452,15	375,200	76,949
Soda 34	251,48	340,419	-88,939

5.2.5.2. Ortalama Tane Boyutu ile Kayaçların Mekanik Özelliklerinin İlişkisi

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), Brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$), nokta yük dayanımı (Is_{50}), Eğilme Dayanımı (σ_{eg}), çift makaslama dayanımı (τ) ve darbe dayanımı (D_n) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modeller tek tek uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Uygulanan her model için hata kareler ortalaması (HKO) ve R^2 değerleri Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri

Bağımsız Değişken		**σ_b** MPA	**$\sigma_ç$** MPa	**Is_{50}** MPa	**σ_{eg}** (MPa)	**τ** (MPa)	**Dn** Nmm/mm^3
Doğrusal	**HKO**	6745	10189	6868	4388	14055	33689
	% R^2	81,70	72,40	81,40	88,10	61,90	8,8
Logaritmik	**HKO**	7372	11951	7702	*6897*	15449	32299
	% R^2	80,00	67,60	79,10	*81,30*	58,20	12,5
Üssel	**HKO**	**6250**	**7751**	**5966**	**2985**	**9233**	33630
	% R^2	**88,90**	**87,20**	**76,60**	**90,10**	**79,90**	8,2
Güç	**HKO**	6491	9513	6430	4244	10272	31655
	% R^2	89,70	84,40	76,90	88,70	76,50	10,9
Seçilen Model		Üssel	Üssel	Üssel	Üssel	Üssel	

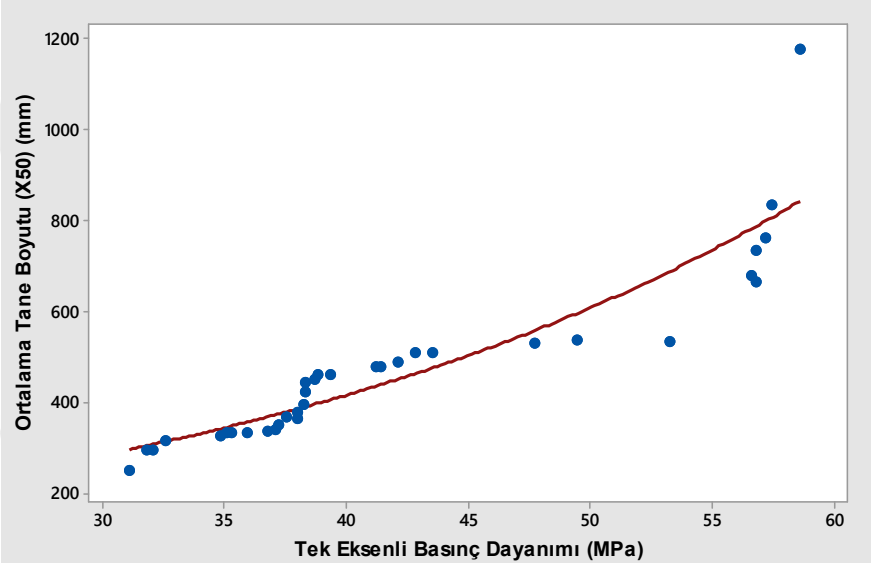
Oluşturulan modellerin varyans analizi tablo değerleri incelendiğinde p değerlerinin α=0,05'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durum modellerimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

5.2.5.2.(1). Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (6250) olan üssel model

seçilmiştir (Şekil 5.133). Bağımsız değişken tek eksenli basınç dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,889 olarak bulunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşitliği Eşitlik 5.21'de görülmektedir.

$$X_{50} = 91{,}998 \times e^{0{,}037\sigma_b} \quad (5.21)$$

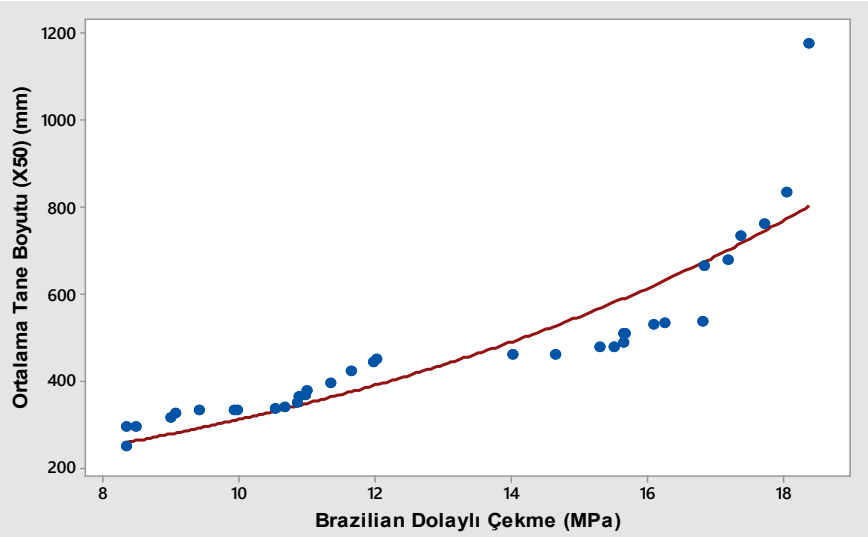


Şekil 5.133. Ortalama Tane Boyutu ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı İlişkisi

5.2.5.2.(2). Ortalama Tane Boyutu ile Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı

Brazilian dolaylı çekme dayanımı ($\sigma_ç$) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelendiğinde hata kareler ortalaması en küçük (7751) modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.134). Bağımsız değişken Brazilian dolaylı çekme dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,872 olarak bulunmuştur. Brazilian dolaylı çekme dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği Eşitlik 5.22'de görülmektedir.

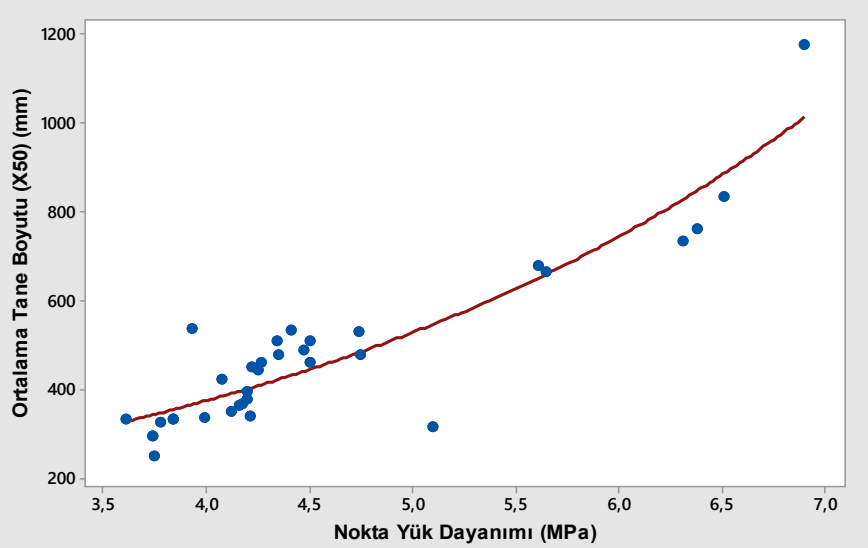
$$X_{50} = 126{,}661 \times e^{0{,}096\sigma_ç} \quad (5.22)$$



Şekil 5.134. Ortalama Tane Boyutu Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı İlişkisi

5.2.5.2.(3). Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile Nokta Yük Dayanımı (Is_{50}) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması en küçük (5966) modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.135).



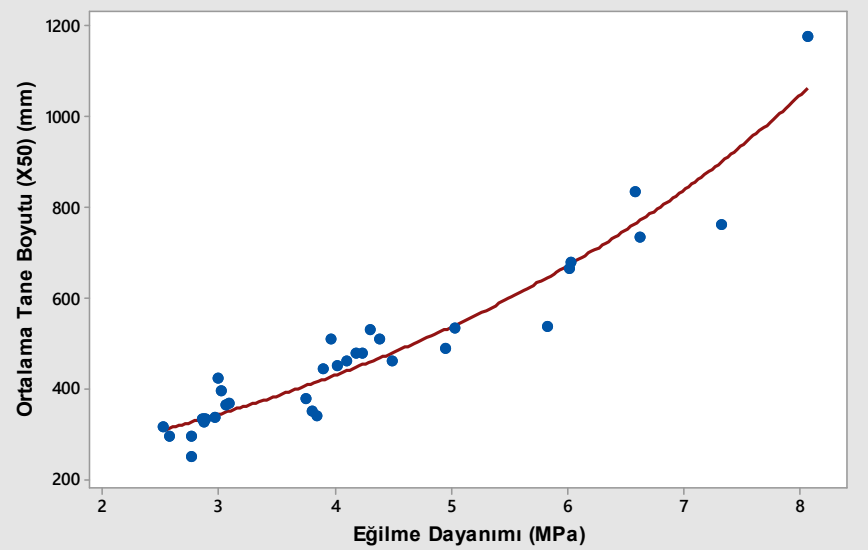
Şekil 5.135. Ortalama Tane Boyutu ile Nokta Yük Dayanımı İlişkisi

Bağımsız değişken nokta yük dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,7660 olarak bulunmuştur. Nokta yük dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği Eşitlik 5.23'de görülmektedir.

$$X_{50} = 94{,}858 \times e^{0{,}34 Is_{50}} \quad (5.23)$$

5.2.5.2.(4). Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile eğilme dayanımı (σ_{eg}) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (2985) en küçük modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.136).



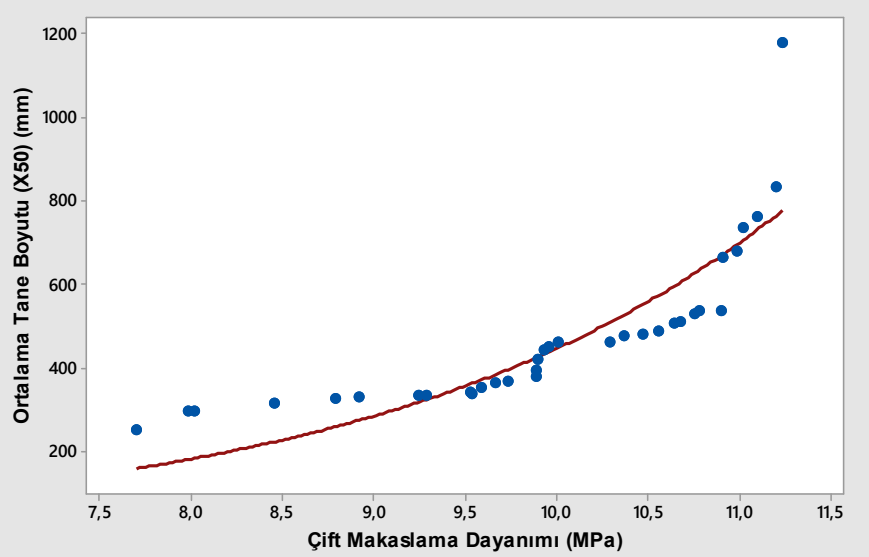
Şekil 5.136. Ortalama Tane Boyutu ile Eğilme Dayanımı İlişkisi

Bağımsız değişken eğilme dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,901 olarak bulunmuştur. Eğilme dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği Eşitlik 5.24'de görülmektedir.

$$X_{50} = 177{,}999 \times e^{0{,}22 \sigma_{eg}} \quad (5.24)$$

5.2.5.2.(5). Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi

Ortalama tane boyutu (X_{50}) ile çift makaslama dayanımı (τ) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması en küçük (9233) modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.137).



Şekil 5.137. Ortalama Tane Boyutu ile Çift Makaslama Dayanımı İlişkisi

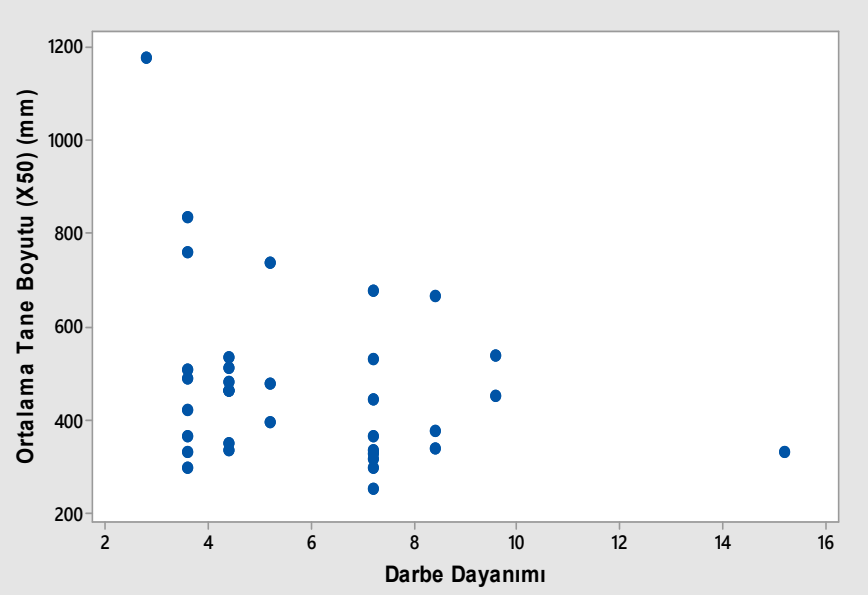
Bağımsız değişken çift makaslama dayanımının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı yani R^2=0,799 olarak bulunmuştur. Çift makaslama dayanımı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.25'de görülmektedir.

$$X_{50} = 19{,}404 \times e^{0{,}316\tau} \tag{5.25}$$

5.2.5.2.(6). Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi

Ortalama Tane Boyutu (X_{50}) ile darbe dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemek için yapılan analizlerde iki değişken arasında bir ilişkinin varlığı gözlenmemiştir (Şekil 5.138).

Doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modellerin hepsinde R^2 değeri oldukça küçük çıkmıştır. Bu durum bağımsız değişken olan darbe dayanımı ile bağımlı değişken olan ortalama tane boyutu arasındaki ilişkinin kuvvetli olmadığına işeret etmektedir.



Şekil 5.138. Ortalama Tane Boyutu ile Darbe Dayanımı İlişkisi

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasından alınan numunelerin Los Angeles aşınma kaybı (LA), Schmidt sertliği (SCH) ve P dalga hızları (V_p) belirlenmiş ve bu özelliklerinin patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik üssel ve güç modeller tek tek uygulanmıştır.

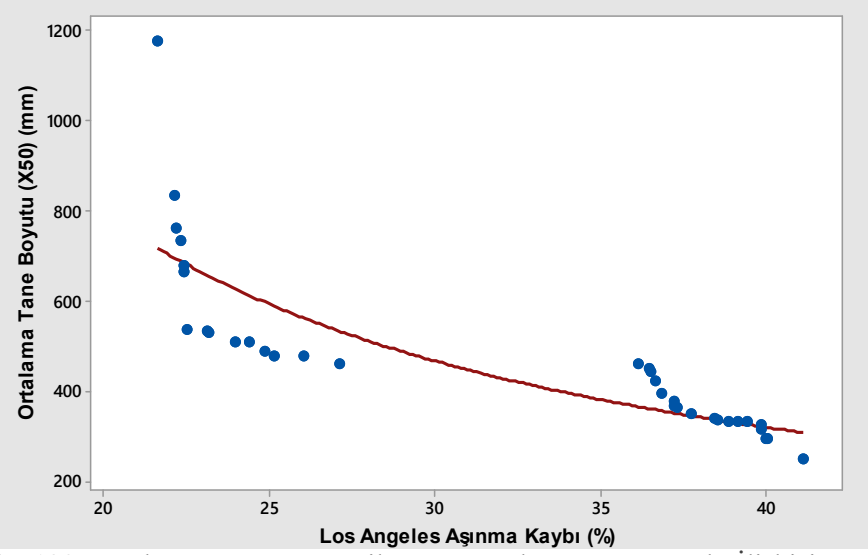
Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmiştir. Uygulanan her model için hata kareler ortalaması (HKO) ve R^2 değerleri Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.27. Diğer Mekanik Özelliklerin Regresyon Modellerindeki Hata Kareleri Ortalaması ve R^2 değerleri

Bağımsız Değişken		LA (%)	SCH	V_P (km/sn)
Doğrusal Model	HKO	13589	8137	11912
	R^2 (%)	63,20	78,00	67,70
Logaritmik	HKO	12943	8318	13297
	R^2 (%)	64,90	77,50	64,00
Üssel	HKO	12862	**8065**	**8289**
	R^2 (%)	76,90	**83,30**	**73,20**
Güç	HKO	**12000**	8132	9187
	R^2 (%)	**77,60**	85,60	70,9
Seçilen Model		Güç	Üssel	Üssel

5.2.5.2.(7). Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi

Los Angeles Aşınma Dayanımı (LA) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (12000) en küçük modelin güç modeli olduğu görülmüştür (Şekil 5.139).



Şekil 5.139. Ortalama Tane Boyutu ile Los Angeles Aşınma Kaybı İlişkisi

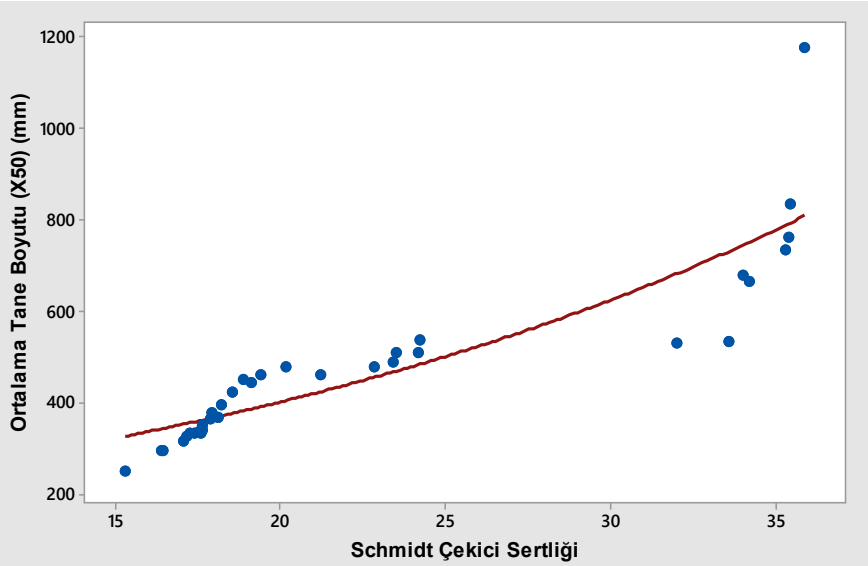
Bağımsız değişken Los Angeles aşınma kaybının bağımlı değişken ortalama tane boyutundaki değişimi açıklama oranı R^2=0,776 olarak bulunmuştur. Los Angeles aşınma kaybı kullanarak tane boyutu tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.26'da görülmektedir.

$$X_{50} = 27094{,}2 \times LA^{-1{,}196} \quad (5.26)$$

5.2.5.2.(8). Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi

Schmidt sertliği (SCH) ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (8065) en küçük olan modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.140). Bağımsız değişken olan Schmidt sertliğinin bağımlı değişken ortalama tane boyutu arasındaki değişimi açıklama oranı yani R^2=0,833 olarak bulunmuştur. Schmidt sertliği kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.27'de görülmektedir.

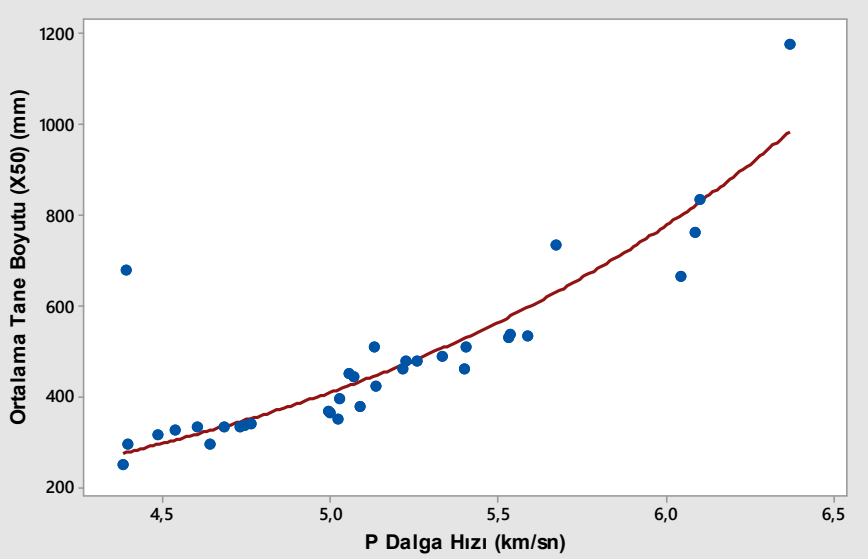
$$X_{50} = 166{,}646 \times e^{0{,}044\,x\,SCH} \quad (5.27)$$



Şekil 5.140. Ortalama Tane Boyutu ile Schmidt Sertliği İlişkisi

5.2.5.2.(9). Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi

P dalga hızı ile ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişki incelenmiş hata kareler ortalaması (8289) en küçük olan modelin üssel model olduğu görülmüştür (Şekil 5.141).



Şekil 5.141. Ortalama Tane Boyutu ile P Dalga Hızı İlişkisi

Bağımsız değişken Schmidt sertliğinin bağımlı değişken ortalama tane boyutu arasındaki değişimi açıklama oranı yani R^2=0,732 olarak bulunmuştur. P dalga hızı kullanarak tane boyutunun tahmin eşiliği ise Eşitlik 5.28'de görülmektedir.

$$X_{50} = 25{,}219 \times e^{\,0{,}56V_p} \tag{5.28}$$

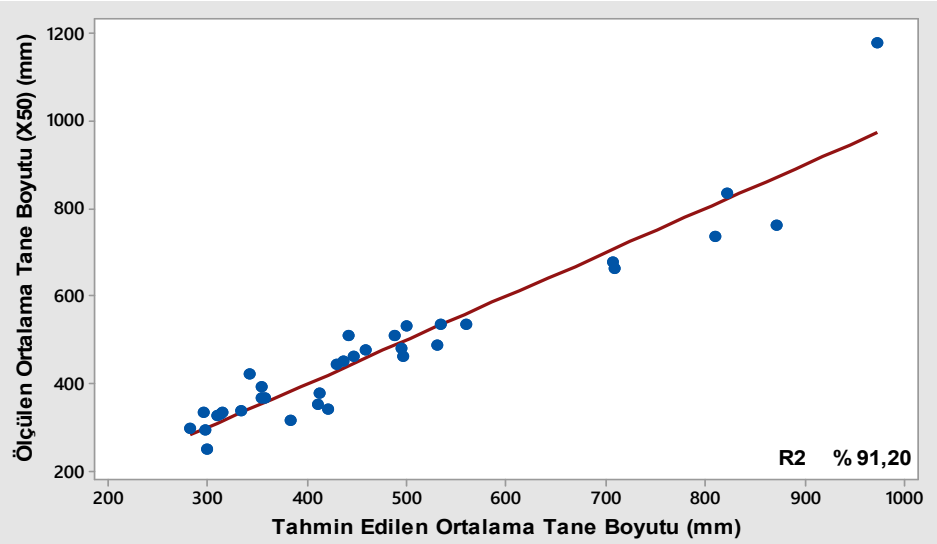
5.2.5.2.(10). Ortalama Tane Boyutu ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi ile İncelenmesi

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin ortalama tane boyutu ile ilişkisini belirlemek

amacıyla ayrıca çoklu regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda tüm parametrelerin modele anlamlı katkı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle her parametre ayrı ayrı modele dahil edilerek değerlendirilmiştir. Modele katkı sağlayan değişkenlerin; nokta yük dayanımı ve eğilme dayanımı olduğu ($p<0,05$) ve tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, çift makaslama, darbe dayanımının ve Los Angeles aşınma kaybının ($p>0,05$) modele katkısının olmadığı yapılan istatistiksel analizler ile belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, çift makaslama, darbe dayanımı ve Los Angeles aşınma kaybı değişkenlerinin modelden çıkarılması ile yapılan çoklu regresyon analizi modeli Eşitlik 5.29'da verilmiştir. Eşitlik 5.29 kullanılarak ortalama tane boyutu tahmin edilmiştir (Çizelge 5.28).

$$X_{50} = -217,0 + 81,0\,\sigma_{eg} + 77,7\,Is_{50} \quad (5.29)$$

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile WipFrag yardımıyla belirlenen ortalama tane boyutu arasındaki değişimi gösteren grafik Şekil 5.142'de verilmiştir.



Şekil 5. 142. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki Ilişki

Çizelge 5.28. Mekanik Özellikler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen, Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler

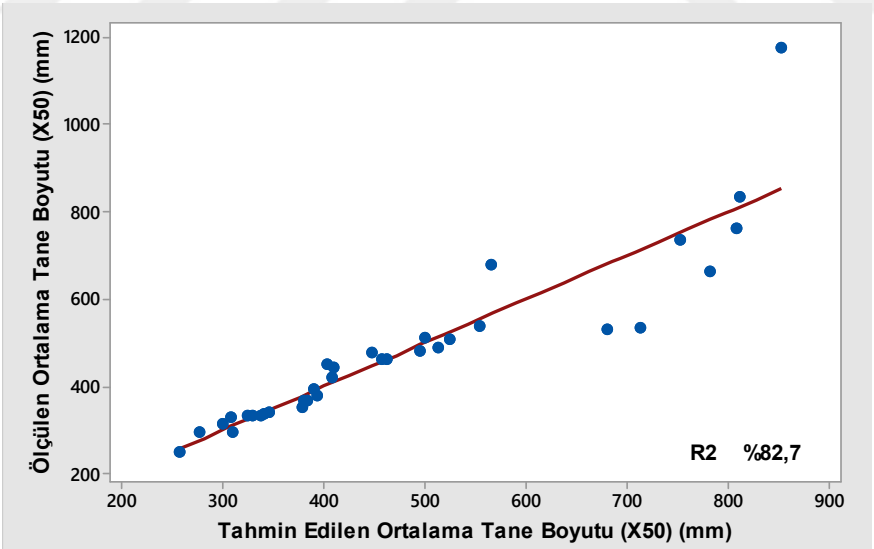
Bölge	Ölçülen X_{50} (mm)	Tahmin Edilen X_{50} (mm)	Artık
Soda 1	510,89	441,595	69,296
Soda 2	462,06	496,934	-34,874
Soda 3	664,96	709,185	-44,222
Soda 4	296,21	297,016	-0,804
Soda 5	679,17	707,210	-28,037
Soda 6	296,61	282,444	14,167
Soda 7	530,48	499,392	31,087
Soda 8	327,94	309,677	18,263
Soda 9	489,58	531,033	-41,456
Soda 10	463,15	446,356	16,791
Soda 11	761,79	872,123	-110,334
Soda 12	509,01	487,867	21,139
Soda 13	834,53	822,317	12,215
Soda 14	367,07	357,604	9,469
Soda 15	332,05	313,367	18,685
Soda 16	535,85	533,495	2,358
Soda 17	735,94	810,487	-74,547
Soda 18	480,64	494,664	-14,028
Soda 19	422,04	342,864	79,178
Soda 20	340,95	420,969	-80,017
Soda 21	366,43	353,776	12,653
Soda 22	352,01	410,737	-58,723
Soda 23	394,46	353,808	40,657
Soda 24	378,31	412,976	-34,670
Soda 25	333,49	315,472	18,019
Soda 26	337,33	333,604	3,729
Soda 27	477,49	459,535	17,959
Soda 28	1177,85	972,760	205,094
Soda 29	334,12	296,629	37,488
Soda 30	316,11	383,263	-67,157
Soda 31	536,72	560,315	-23,597
Soda 32	444,45	428,773	15,674
Soda 33	452,15	436,480	15,669
Soda 34	251,48	298,602	-47,122

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile eğilme dayanımı ve nokta yük dayanımı bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerininde 0,912 olduğu görülmüştür.

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen tahribatsız yöntemler olarak bilinen Schmidt çekici sertliği değerleri ile P dalga hızı değerlerinin ortalama tane boyutu ile ilişkisini belirlemek amacıyla ayrıca çoklu regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda tüm parametrelerin modele katkı sağladığı görülmüştür ($p<0,05$) ve çoklu regresyon analizi modeli Eşitlik 5.30'da verilmiştir.

$$X_{50} = -560 + 129{,}3\, V_p + 16{,}42\, SCH \tag{5.30}$$

Eşitlik 5.30 kullanılarak ortalama tane boyutu tahmin edilmiştir (Çizelge 5.29). Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile WipFrag yardımıyla belirlenen ortalama tane boyutu arasındaki değişimi gösteren grafik Şekil 5.143'de verilmiştir.



Şekil 5.143. Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişki

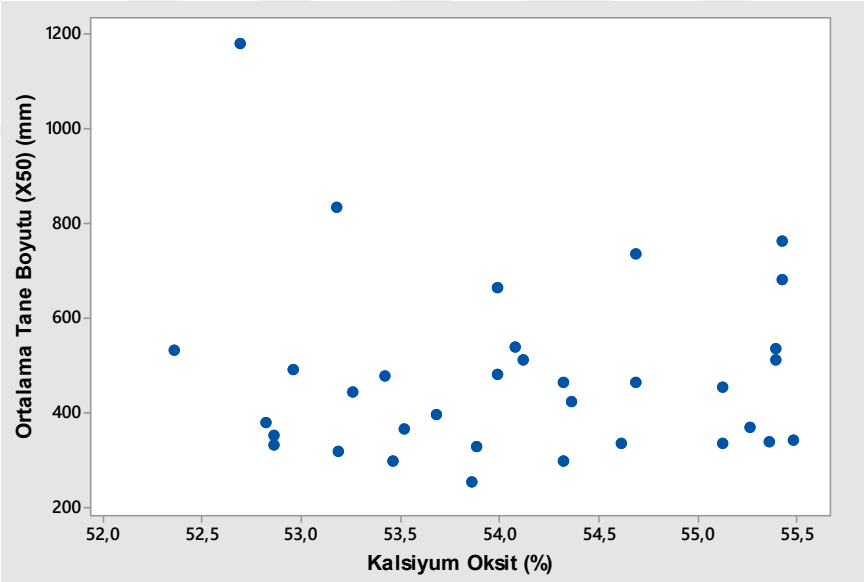
Çizelge 5.29. Tahribatsız Yöntemler Kullanılarak Kurulan Çoklu Regresyon Modeli ile Tahmin Edilen, Ölçülen Ortalama Tane Boyutu ile Artık Değerler

Bölge	Ölçülen X_{50} (mm)	Tahmin Edilen X_{50} (mm)	Atık
Soda 1	510,89	500,388	10,503
Soda 2	462,06	456,821	5,239
Soda 3	664,96	782,733	-117,770
Soda 4	296,21	309,308	-13,096
Soda 5	679,17	565,605	113,568
Soda 6	296,61	277,269	19,342
Soda 7	530,48	680,324	-149,845
Soda 8	327,94	308,200	19,740
Soda 9	489,58	513,465	-23,888
Soda 10	463,15	462,747	0,400
Soda 11	761,79	808,287	-46,498
Soda 12	509,01	524,485	-15,479
Soda 13	834,53	811,012	23,520
Soda 14	367,07	382,822	-15,749
Soda 15	332,05	328,623	3,429
Soda 16	535,85	713,693	-177,840
Soda 17	735,94	752,532	-16,592
Soda 18	480,64	495,032	-14,396
Soda 19	422,04	408,664	13,378
Soda 20	340,95	344,948	-3,996
Soda 21	366,43	379,728	-13,299
Soda 22	352,01	378,985	-26,971
Soda 23	394,46	389,283	5,182
Soda 24	378,31	392,443	-14,137
Soda 25	333,49	337,620	-4,129
Soda 26	337,33	341,260	-3,927
Soda 27	477,49	446,637	30,857
Soda 28	1177,85	852,463	325,391
Soda 29	334,12	323,957	10,160
Soda 30	316,11	300,327	15,779
Soda 31	536,72	553,466	-16,748
Soda 32	444,45	409,324	35,123
Soda 33	452,15	403,221	48,928
Soda 34	251,48	257,658	-6,178

Tahmin edilen ortalama tane boyutu ile Schmidt sertliği ve P dalga hızı bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve R^2 değerininde 0,827 olduğu görülmüştür.

5.2.5.3. Kayaçların Kimyasal Özellikleri ile Tane Boyutu Arasındaki İlişki

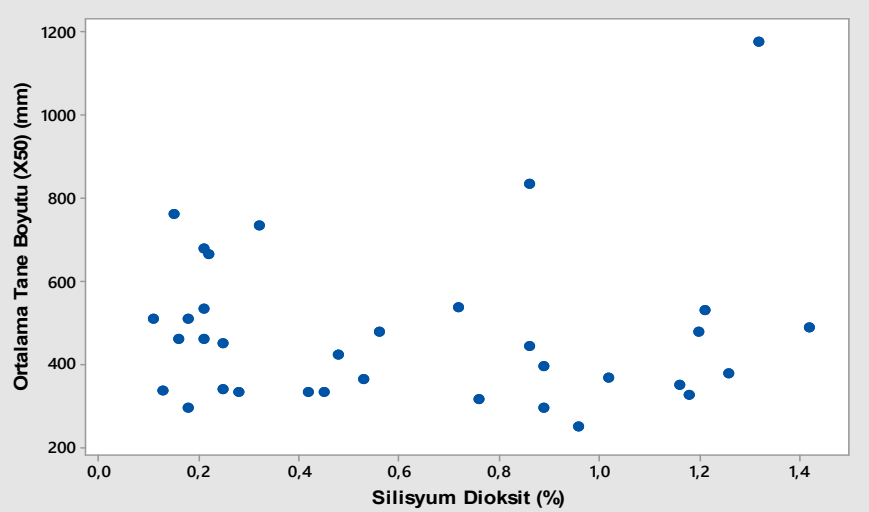
Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında izlenen her atımdan alınan örneklere uygulanan kimyasal analiz sonucunda elde edilen kalsiyum oksit (CaO) ve silisyum dioksit (SiO_2) içerikleri ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizinde doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modelleri tek tek uygulanmıştır. Yapılan çalışmada; değişkenler arasında anlamlı bir ilişki görülmemiştir (Şekil 5.144, Şekil 5.145).



Şekil 5.144. Ortalama Tane Boyutu ile Kalsiyum Oksit İçeriği İlişkisi

Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmeye çalışılmıştır. Uygulanan modellerde

ilişkinin çok düşük olduğu ve hata kareler ortalamasının da oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca regresyon modellerinde p değerlerinin α=0,05 değerlerinden oldukça büyük olduğu ve hiçbir modelde anlamlı bir ilişki kurulmadığı gözlenmiştir

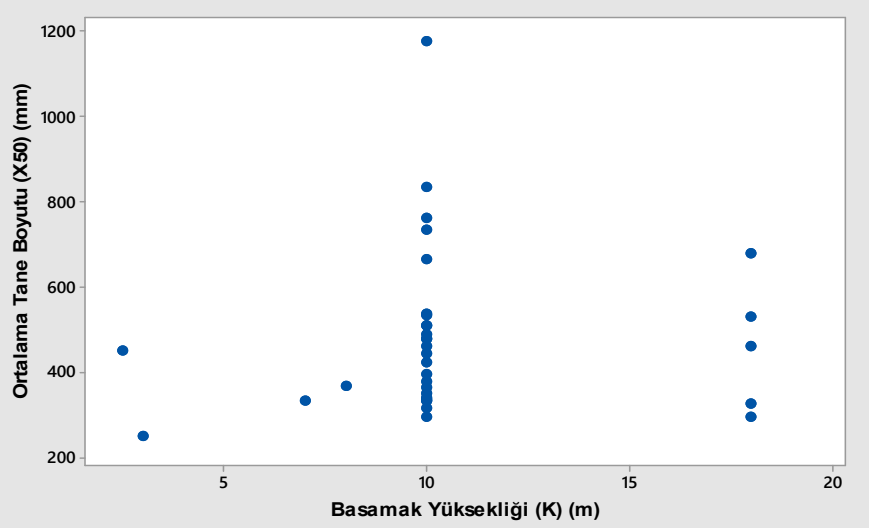


Şekil 5.145. Ortalama Tane Boyutu ile Silisyum Dioksit İçeriği İlişki

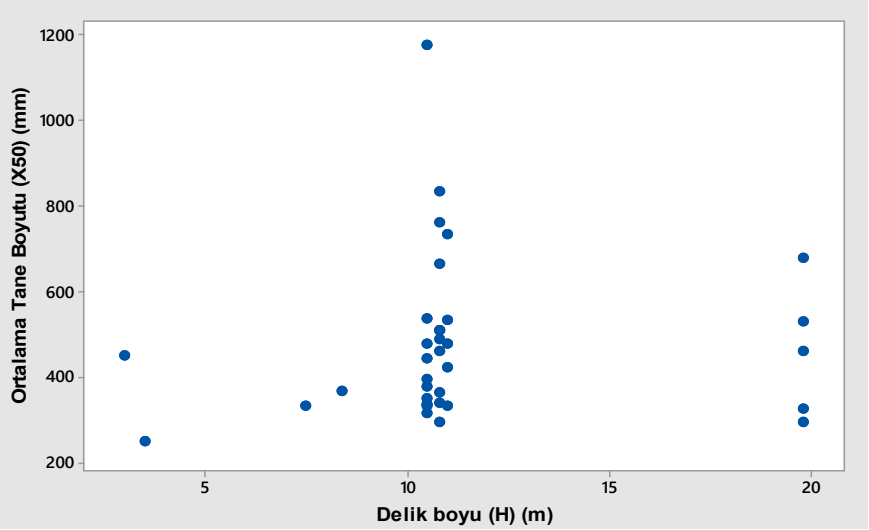
5.2.6. Soda Karadiken Hammadde Sahasında Uygulanan Patlatma Tasarım Parametreleri ile Ortalama Tane Boyutu Arasındaki İlişkiler

Soda Karadiken hammadde sahasında incelenen atımlarda patlatma parametrelerinden değişim gösteren basamak yüksekliği (K), delik boyu (H), sıkılama mesafesi (ho), dilim kalınlığı (B) ve özgül şarj (q) ile patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutu (X_{50}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla basit regresyon analizi doğrusal, logaritmik, üssel ve güç modelleri tek tek uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun modele karar verilmeye çalışılmıştır ancak bir ilişki kurulamamıştır (Şekil 5.146-Şekil 5.150). İncelen regresyon modellerinin p değerlerinin α=0,05 değerlerinden oldukça büyük olduğu ve hiçbir modelle değişkenlerin anlamlı bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Tahmin modellerindeki

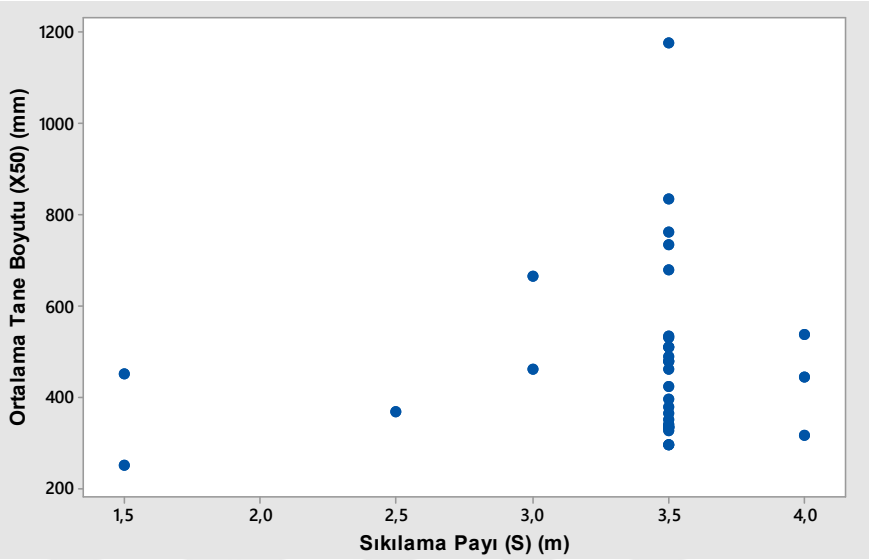
uyumsuzluğun sahada formasyon değişimleri olmasına ragmen uygulanan patlatma tasarım parametrelerinde önemli değişimlerin yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Delikler arası mesafe (S) değerleri değişmediğinden ortalama tane boyu ile ilişkisi incelenmemiştir.



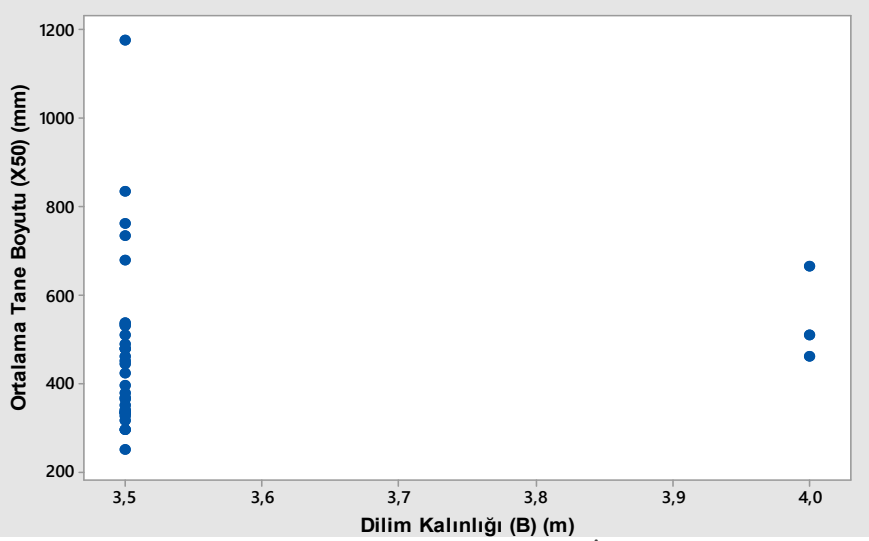
Şekil 5.146. Ortalama Tane Boyutu ile Basamak Yüksekliği İlişkisi



Şekil 5.147. Ortalama Tane Boyutu ile Delik Boyu İlişkisi

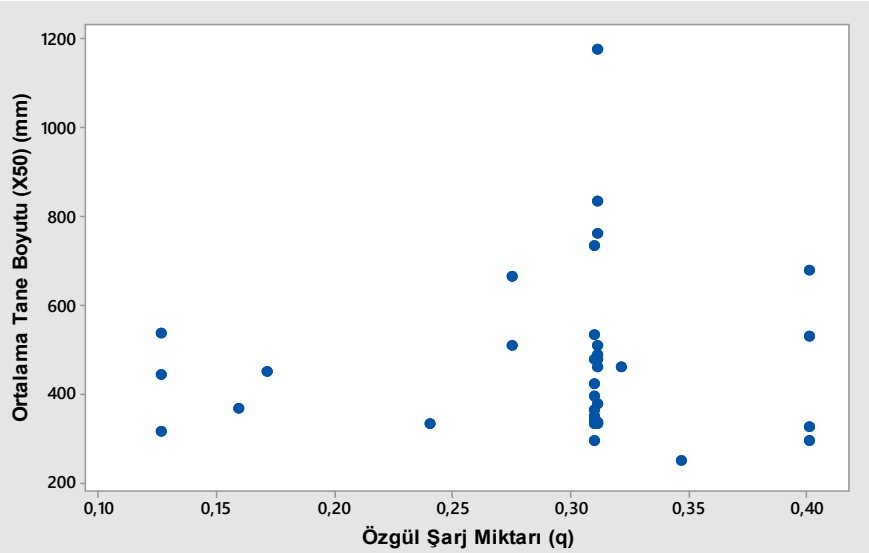


Şekil 5.148. Ortalama Tane Boyutu ile Sıkılama Payı Arasındaki İlişki



Şekil 5.149. Ortalama Tane Boyutu ile Dilim Kalınlığı İlişkisi

Saha içerisinde basamak boyları değişimi çok fazla gözlenmemektedir. Bu durumdan dolayı delik boyunda da çok büyük değişim aralığı mevcut değildir. Ayrıca sıkılama payında da aynı durumdan söz etmek mümkündür.



Şekil 5.150. Ortalama Tane Boyutu ile Özgül Şarj İlişkisi

Ortalama tane boyutuna delikler arası mesafe, dilim kalınlığı ve özgül şarjın etkisini inceleyen önceki çalışmalarda araştırmacılar bazı ilişkiler kurmuşlardır. Bu durum; çalışma sahasında kayaç özelliklerinde bölgesel değişimler olmasına rağmen patlatma paterninde değişim olmamasından kaynaklanmaktadır. Saha içerisinde kayaç özelliklerindeki farklılıklar uygulanan tüm fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik analizlerde açıkça görülmektedir. Çalışma sahasında standartta yakın bir patlatma tasarımı kullanılmaktadır. Sonuç olarak bu durum sahada ortalama tane boyutu ile patlatma parametreleri arasında ilişki kurulmasına engel olmaktadır.

5.2.7. Varyans (ANOVA) Analizi İle Sahanın Değerlendirilmesi

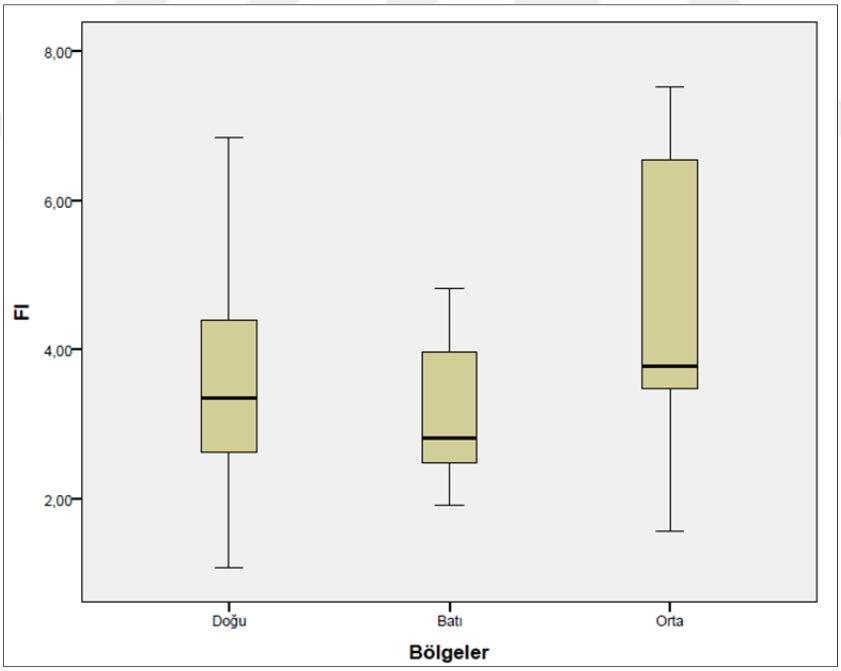
Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında gerçekleştirilen 34 adet atım, bölgesel farklılıklara göre 3 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler;

1. Doğu
2. Batı
3. Orta bölge olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.30).

Bölgeler arasında patlatma verimi açısından farklılık olup olmadığını değerlendirmek amacıyla tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır.

Her atım öncesinde aynadan alınan ölçekli fotoğraf ile WipJoint yazılımı kullanılarak aynanın blok analizi ile ortalama blok boyutu ve yığından alınan ölçekli fotoğraflar kullanılarak yığının parça boyut dağılımı ile ortalama tane boyutu belirlenmiştir. Ortalama blok boyutunun ortalama tane boyutuna oranı olarak bilinen parçalanma indeksi (FI) hesaplanmıştır. Tek yönlü varyans (ANOVA) analizi ile parçalanma indeksi (FI) kullanılarak en etkin patlatmanın hangi bölgede olduğu araştırılmış ve ANOVA analizinin işlem aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

İlk aşamada; Normallik testi uygulanırken veri dağılım ağırlıkları değerlendirilmiştir (Şekil 5.151).



Şekil 5.151. Bölgelere Göre Parçalanma İndeksi Veri Dağılım Ağırlıkları

Çizelge 5.30. Soda Sanayi Karadiken Hammadde Sahası ANOVA Analizi için Yapılan Sınıflama

Bölge	Bölge	Parçalanma İndeksi (FI)
Soda 1	Doğu 1	2,60
Soda 2	Doğu 2	3,24
Soda 3	Batı 1	2,34
Soda 4	Doğu 3	2,65
Soda 5	Orta 1	1,57
Soda 6	Orta 2	3,51
Soda 7	Orta 3	3,45
Soda 8	Orta 4	3,79
Soda 9	Doğu 4	3,60
Soda 10	Doğu 5	4,22
Soda 11	Doğu 6	4,31
Soda 12	Doğu 7	1,64
Soda 13	Doğu 8	3,35
Soda 14	Doğu 9	4,82
Soda 15	Doğu 10	6,84
Soda 16	Doğu 11	2,91
Soda 17	Doğu 12	2,85
Soda 18	Doğu 13	4,48
Soda 19	Doğu 14	4,47
Soda 20	Batı 2	4,71
Soda 21	Batı 3	4,81
Soda 22	Doğu 15	6,05
Soda 23	Doğu 16	1,21
Soda 24	Orta 5	8,63
Soda 25	Batı 4	1,91
Soda 26	Batı 5	6,11
Soda 27	Doğu 17	2,47
Soda 28	Doğu 18	2,90
Soda 29	Doğu 19	4,06
Soda 30	Orta 6	6,97
Soda 31	Batı 6	3,23
Soda 32	Orta 7	3,77
Soda 33	Batı 7	2,81
Soda 34	Orta 8	7,51

Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için normallik testi yapılmıştır (Çizelge 5.31). Test sonuçlarına göre p>α=0,05 olduğu için değişkenin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 5. 31. Normallik Testi Sonuçları

	Bölgeler	Kolmogorov-Smirnov		
		İstatistik	Serbestlik Derecesi	p değeri
FI	Doğu	0,125	19	0,200
	Batı	0,208	7	0,200
	Orta	0,276	8	0,075

İkinci aşamada; varyansların eşitliği test edilmiştir. Levene testine göre (Çizelge 5.32) p=0,177>α=0,05 olduğu için "Bölgelerin varyansları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur." şeklindeki yokluk hipotezi kabul edilmiştir. Böylece, bölgelerin varyansları homojen olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.32. Varyansların Homejenlik Testi Sonuçları

Levene Statistic	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P değeri
1,829	2	31	0,177

Üçüncü aşamada; bölgelerin ortalamaları arasında anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) incelenmiş ve sonuçları Çizelge 5.33'de verilmiştir. ANOVA test sonucuna p>α=0,05 olduğu için bölgelere göre parçalanma indeksi (FI) açısından farklılık olmadığı görülmüştür.

Çizelge 5.33. ANOVA Analizi Sonuçları

FI	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	P değeri
Gruplar arası	8,735	2	4,368	0,194
Grup içi	78,308	31	2,526	
Toplam	87,043	33		

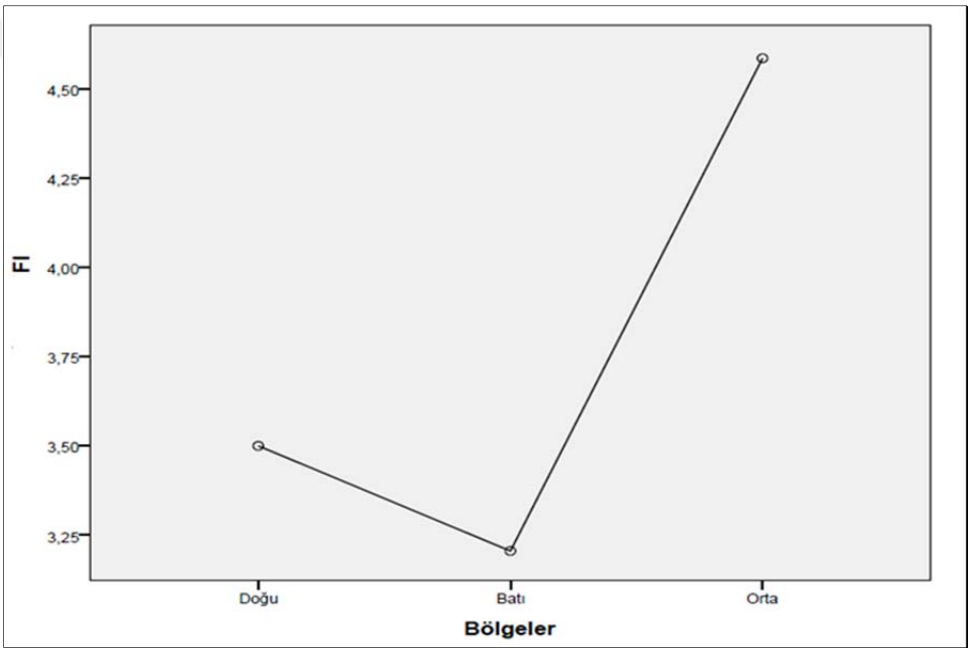
Çizelge 5.34'de görüldüğü gibi p>α=0,05 olduğundan bölgeler arasında farklılık olmadığını desteklemiştir.

Çizelge 5.34. Post Hoc (LCD) Test Sonuçları

Bölgeler		Ortalamaların farkı	Standart hata	P değeri
Doğu	Batı	0,29429	0, 70272	0, 678
	Orta	-1,08500	0, 66986	0, 115
Batı	Doğu	-0,29429	0, 70272	0, 678
	Orta	-1,37929	0, 82257	0,104
Orta	Doğu	1,08500	0, 66986	0,115
	Batı	1,37929	0, 82257	0,104

İstatistiksel olarak bölgeler arasında FI açısından anlamlı bir fark olmamasına rağmen Şekil 5.152'de görüldüğü gibi orta bölgenin ortalama parçalanma indeksinin daha yüksek olduğu ve batı bölgesinin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin **"Orta"** bölgelerindeki yapı ve dokunun **"Batı"** bölgesinden daha zayıf özellik göstermesinden kaynaklanmaktadır. **"Batı"** bölgesi daha masif bir yapı gösterdiği için daha küçük parçalanma indeksine sahiptir. Öte yandan **"Doğu"** bölgesinde ise çatlak kırık sistemlerinin **"Orta"** bölgeden fazla olması kayacın patlatma gazlarının kaçışına sebep olmakta ve bu durum **"Doğu"** bölgesinin "Orta" bölgeden daha küçük parçalanma indeksine sahip olmasına neden olmaktadır. İstatistiksel olarak ANOVA test sonuçlarına göre

bölgeler arasında FI açısından farklılık gözlememesinin sebebi formasyon değişimlerinin Adana Çimento Çaldağı hammadde sahası gibi ardalanma göstermemesinden kaynaklanmaktadır. 34 atımın da patlatma öncesi blok analizi ile belirlenen parça boyut dağılım grafiği ile patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımlarını da inceler isek en fazla boyut küçültme yüzdesine sahip olan atımın (% 88,41) Soda 24 atımı olduğu ve bu atımın gerçekleştiği bölgenin ise **'Orta'** bölge olduğu belirlenmiştir. Bu durum ise test sonucunu desteklemektedir.



Şekil 5.152. Bölgelerin Parçalanma İndeksi Farklılıkları

5.3. Çalışma Sahalarının Patlatılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Çalışma sahasındaki atımlar patlatılabilirlik sınıflaması açısından Lu (1997) tarafından belilenen bazı mekanik özelliklerin nicel göstergelerine (Çizelge 5.35) göre ANOVA analizi ile belirlenen en etkin patlatma noktalarının durumu değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.35. Kaya Kütlesinin Patlatılabilirliğinin Sınıflandırılması İçin Önerilen Nicel Göstergeler (Lu, 1997)

Parametre	Patlayabilirlik Sınıflaması				
	Çok Kolay	Kolay	Orta	Zor	Çok Zor
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	<25	25-60	60-100	100-180	>180
Nokta Yük Dayanımı (MPa)	<1	1-2.5	2,5-4	4-9	>9
Çekme Dayanımı (MPa)	<1,5	1,5-3	3-6	6-12	>12
P dalga Hızı (km/sn)	<1,5	1,5-2,5	2,5-3,0	3,0-4,0	>4,0
Schimdt Sertliği	<15	15-30	30-40	40-50	>50

Adana Çimento Türk A.Ş. Çaldağı hammadde sahasında en etkin patlatma "Killi Kireçtaşı+Marn" bölgesinde gerçeklerştirilen "AÇS 12" atımı olduğu belirlenmiştir. Bu bölgeye ait bazı nicel göstergelerin ise aşağıda verilmiştir:

- Ortalama tek eksenli basınç dayanım değeri 19,64 MPa'dır. Belirlenen bu değer eşik değer olan 25 MPa'nın altında olması sebebi ile atım noktasındaki kayacın çok kolay patlayabilir kayaç sınıfında olduğu görülmektedir.
- Ortalama nokta yük dayanımı değerinin 7,28 MPa'dır. Bu değer kayacın zor patlayabilir bölgede olduğunu göstermektedir.
- Ortalama Brazilian dolaylı çekme dayanımı değerinin 2,15 MPa olduğu ve bu değer kayacın kolay patlayabilir bölgede olduğunu göstermektedir.
- P dalga hızının ortalama değerinin ise 3,0 km/sn olduğu ve bu değer açısından bölgenin kolay patlayabilir bölgede olduğu belirlenmiştir.
- Schmidt sertliği ortalamasının 12,30 olduğu ve bu değer kayacın kolay patlayabilir bölgede olduğunu göstermektedir.

AÇS 12 atımını değerlendirdiğimizde genel olarak kolay patlayabilir bölgede olduğu görülmüştür. Fakat kontrollü patlatmalarda kayacın dayanım özellikleri ile birlikte sahanın süreksizlik ve çatlak kırık durumun da çok büyük etken olduğu gözlenmiştir. Çalışmada elde edilen parçalanma indeksi değeri ile bu durumda göz önüne alınmıştır.

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında en etkin patlatma "Orta" bölgede gerçekleştirilen "Soda 24" atımı olduğu belirlenmiştir. Bu bölgeye ait bazı nicel göstergelerin ise aşağıda verilmiştir:

- Ortalama tek eksenli basınç dayanım değeri 38,04 MPa'dır. Belirlenen bu değer 25-60 MPa eşik değer aralığında olması sebebi ile kolay patlayabilir kayaç sınıfında olduğu görülmüştür.
- Ortalama nokta yük dayanımı değerinin 4,0 MPa'dır. Bu değer kayacın orta patlayabilir bölgede olduğunu göstermektedir.
- Ortalama Brazilian dolaylı çekme dayanımı değerinin 11,02 MPa olduğu ve bu değer kayacın zor patlayabilir bölgede olduğu göstermektedir.
- P dalga hızının ortalama değerinin ise 5,09 km/sn olduğu bu değer açısından bölgenin çok zor patlayabilir bölgede olduğu belirlenmiştir.
- Schmidt sertliği ortalamasının 17,95 olduğu bu değerin kayacın kolay patlayabilir bölgede olduğunu göstermektedir.

Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasında gerçekleştirilen Soda 24 atımını değerlendirdiğimizde genel olarak orta patlayabilir bölgede olduğu görülmüştür. Fakat patlatmalarda kayacın dayanım özellikleri ile birlikte sahanın süreksizlik ve çatlak kırık durumununda çok büyük etken olduğu bilinmektedir ve parçalanma indeksi değeri ile bu durumda göz önüne alınmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada Adana Çimento Türk A.Ş. ve Soda Sanayi Karadiken hammadde ocaklarında gerçekleştirilen atımlar değerlendirilmiş; bu atımların verimliliği, patlatma sonrası yığının ortalama parça boyutu ile kayaç özellikleri ve patlatma parametreleri ile arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda sahalar değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Adana Çimento Çaldağı Hammadde sahası genel olarak heterojen bir yapıda olup bu durum patlatma veriminde, dolayısıyla sahada yapılan delme ve kazı çalışmalarında büyük dezavantaj sağlamaktadır. Soda Sanayi Karadiken hammadde sahası ise daha homojen bir yapıdadır fakat bölgesel olarak kayaç yapıları ve çatlak kırık sistemleri değişmektedir. Bu yüzden patlatma verimi daha yüksektir.
2. Sahalardaki yapısal bozuşmalar laboratuvar deneylerinde numune hazırlama işlemlerinin sürecinin uzamasına aynı zamanda karot verimlerinin düşük olmasına neden olmuştur.
3. WipFrag ve WipJoint yazılımlarının güvenilirliği laboratuvar koşullarında test edilmiş ve programden elde edilen boyut dağılım analizinin laboratuvarda gerçekleştirilen boyut dağılımı ile çok yakın olduğu ve % 5'in altında bir sapma gösterdiği belirlenmiştir.
4. Patlatma yığın analizleri değerlendirildiğinde; patlatma veriminin artmasıyla yığın parça boyut dağılımı Kuz-Ram tahmin modeline yaklaşmakta ve benzer eğilim göstermektedir. Ayrıca saha içerisinde patlatma noktalarındaki çatlak kırık sistemlerinin az olması da parça boyut dağılımının Kuz-Ram tahmin modeline yakın bir eğilim göstermesine sebep olmaktadır.

5. Hammadde sahalarında gerçekleştirilen atımların ayna-yığın görüntüleri kullanılarak WipFrag ve WipJoint analizleri sonucunda elde edilen parça boyut dağılım grafikleri incelendiğinde patlatmaların genel olarak verimli olduğu gözlenmiştir. Fakat sahaların kırıcı performansları değerlendirildiğinde; Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasındaki atımlarda patar oranının fazla olduğu ve bu durumun patlatma sonrası operasyonları etkilediği görülmüştür. Soda Sanayi Karadiken Hammadde sahasının ise kırıcı performansı açısından neredeyse % 100 verime ulaştığı açıkça görülmektedir.
6. Sahalardaki atım noktalarından elde edilen kayaçların fiziksel özelliklerinden; özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, su emme ve porozite deney sonuçlarının patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutuna etkisi incelenmiş ve amprik tahmin eşitlikleri geliştirilmiştir. Her iki sahada da özgül ağırlık dışında tüm fiziksel özellikler ile patlatma sonrası ortalama tane boyutunun ilişkili olduğu görülmüştür.
7. Sahalardaki atım noktalarından elde edilen kayaçların mekanik özelliklerinden; tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian dolaylı çekme dayanımı, nokta yük dayanımı, çift makaslama dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, Los Angeles aşınma kaybı, Schmidt sertliği ve P dalga hızı deney sonuçlarının patlatma sonrası yığının ortalama tane boyutuna etkisi incelenmiş ve amprik tahmin eşitlikleri geliştirilmiştir. Her iki sahada da darbe dayanımı dışında tüm mekanik özellikler ile patlatma sonrası ortalama tane boyutunun ilişkili olduğu görülmüştür.
8. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin patlatma sonrası ortalama tane boyutu ile ilişkisini geliştirmek için kendi aralarında çoklu regresyon analizine tabi tutulmuş ve modele katkı sağlayan bağımsız değişkenler belirlenerek çoklu regresyon modeli eşitlikleri geliştirilmiştir.

9. Tüm kayaç özelliklerin sahada değerlendirilerek ortalama tane boyutunun tahmin edilmesi uzun zaman almakta, iş gücü gerektirmekte ve ekonomik olarak kullanılabilmesi pek mümkün görülmemektedir. Fakat tahribatsız yöntemlerden olan P dalga hızı ve Schmidt sertliği deneylerinin sahada uygulanması oldukça pratiktir. Sahada bu kayaç özelliklerinin belirlenmesi ve bölgesel değişimlerin ortaya konması ile daha verimli patlatmalar gerçekleştirmek mümkün olabilecektir.
10. Çalışılan sahalarda atımların ortalama tane boyutu ile patlatma tasarım parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bunun ana sebebi sahaların kendi içerisindeki formasyon ve bölgesel farklılıklarının olmasına rağmen patlatma parametrelerinde değişiklik yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Çalışma sahasında bölgesel değişimler modellenerek farklı tasarım paremetreleri uygulanması durumunda litaratürün desteklediği özellikle delikler arası mesafe, dilim kalınlığı ve özgül şarj ile anlamlı ilişkiler gözlenmesi olasıdır.
11. Sahalarda gerçekleştirilen atımların ortalama tane boyutu ile kayaçların kimyasal içeriğinde belirgin değişim gösteren kalsiyum oksit ve silisyum dioksit içeriği ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki kurulamamıştır.
12. Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasındaki atımlar bölgesel formasyon özellikleri göz önünde tutularak "Kireçtaşı", "Killi kireçtaşı" ve "Killi Kireçtaşı+Marn" bölgelerine ayrılmış ve bu bölgelerdeki parçalanma indeksi değişimleri ANOVA analizi ile incelenmiştir. Bölgesel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiş ve analiz sonucunda en etkin patlatma bölgesi "Killi Kireçtaşı+Marn" olarak belirlenmiştir. Bu durum marnlı bölgenin patlatma esnasındaki gazların çatlaklardan sızmasını engelleyerek bu gazların parçalanmaya daha fazla etki göstermesinden kaynaklanmaktadır.

13. Adana Çimento Çaldağı hammadde sahasındaki atımlar incelendiğinde parçalanma indeksinin düşük olduğu bölgelerde yani “Killi Kireçtaşı” ve “Kireçtaşı" bölgelerinde patlatma tasarım parametrelerinden delikler arası mesafe ve dilim kalınlıklarının yeniden değerlendirilerek bu parametrelerin küçültülmesi gerektiği düşünülmektedir.
14. Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasındaki atımlar bölgesel değişimler göz önünde tutularak “Doğu”, “Orta” ve “Batı” bölgelerine ayrılmış ve bu bölgelerdeki parçalanma indeksi değişimleri ANOVA analizi ile incelenmiştir. Bölgeler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmemesine rağmen parçalanma indeksi ağırlıkları incelendiğinde en etkin patlatma bölgesi “Orta” bölge olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasında “Batı” bölgesinin diğer bölgelerden daha masif olması ve “Doğu” bölgesinin ise daha fazla çatlak kırık sistemine sahip olması nedeniyle en iyi patlatma veriminin “Orta” bölgede gerçekleştiği görülmüştür.
15. Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasındaki atımlar incelendiğinde parçalanma indeksinin düşük olduğu bölgelerde yani “Batı” ve “Orta" bölgelerinde patlatma tasarım parametrelerinden delikler arası mesafe ve dilim kalınlıklarının yeniden değerlendirilerek bu parametrelerin küçültülmesi gerektiği düşünülmektedir.
16. İki sahada da gerçekleştirlen atımları değerlendirdiğimizde 5’den büyük parçalanma indeksine sahip atımların naredeyse % 80 oranında boyut küçülmesi sağladığından iyi derecede parçalanma gösterdiğini söylemek mümkündür.
17. Iki saha birbiri ile kıyaslandığı zaman kayaç özellikleri ve patlatma verimi açısından Soda Sanayi Karadiken hammadde sahasının daha iyi olduğu açıkça görülmüştür. Bu durumun saha içerisindeki kayaç yapısının değişim göstermemesinden kaynaklandığı açıktır.

KAYNAKLAR

Alabaş, V., 2010, Afşin–Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi Gevşetme Patlatması Uygulamaları. Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 150 s., Adana.

Aler, J., Du Mouza J., 1996, Measuring Fragmentation Efficiency of Mine Blasts. Measurement of Blast Fragmentation Fragblast 5, Montreal, Canada, pp. 257−263.

Aler, J., Du Mouza, J. and Arnould, M., 1996a, Measurement of The Fragmentation Efficiency of Rock Mass Blasting and Its Mining Applications. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol.33, pp.125−139.

Aler, J., Du Mouza, J. and Arnould, M., 1996b, Evaluation of Blast Fragmentation Efficiency and Its Prediction by Multivariate Analysis Procedures. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol.33, No:2, pp.189−196.

Alkan, B., 2007, Jeoistatistik ve Bulanık Yaklaşımlar ile Adana Çimento Hammadde Sahasının Değerlendirilmesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Adana, 75 s.

Anonim, 2013, Regresyon Analizi, Balıkesir Üniversitesi Yayınları, http://w3,balikesir,edu,tr/~bsentuna/wpcontent/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi,pdf, Erişim Tarihi: 20.12.2018.

Anonim, 2017, JKSimBlast programı kullanım kılavuzu, www.soft-blast.com Erişim Tarihi:18.06.2018.

Arıoğlu, E., 1990, Acık İşletmelerde Patlatma Tasarımında Dilim Kalınlığının Belirlenmesine İşletme Ve Jeomekanik Büyükleri Gözeten Yarı Analitik Bir Yaklaşım, 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 5-7 Kasım, s.55-81, Ankara.

Ash, R, L., 1968, The Design of Blasting Rounds Surface Mining, Editor Pfleider E, P.

Atlas Powder Company, 1987, Explosives and Rock Blasting. Dallas, Texas, USA: Filed Technical Operations, Subsidiary of the Tyler Corporation.

Bhandari, S., 1997, Engineering Rock Blasting Operations. Balkema A., A., Publishers, Brookfeid, ISBN 90-5410 658 1, Rotterdam, 374 p.

Biçkici, B., 2007, Çok Değişkenli Varyans Analizi ve Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin Uygulamalı Olarak Karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Erzurum. 54 sayfa.

Bilgin, H., 1986, Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarım. TKİ Genel Müdürlüğü ve ODTÜ, Ankara, 102 s.

Bilgin, H., ve Paşamehmetoğlu, A., G., 1986, Kayaların Delinebilirlikleri ve Patlatabilirlikleri Üzerine Bir Çalışma. 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 113-125.

Bilgin, N., 1989, İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s.

Bobo, T., 2001, What's new with the digital image analysis software SplitDesktop?. 2001 High Tech Seminar - Blasting Technology, Instrumentation and Explosive Applications, Nashville, TN USA, pp. 1-9.

Bozkurt, R., 1989, Mermer, Anadolu Üniversitesi Yüksek Lisans Ders Notları.

Broadbent, C., D., 1974, Predictable Blasting with In Situ Seismic Surveys. Mining Engineering. SME New York, U.S.A. 37-41.

Capehart, E., and Lilly, P., 2002, A Review of General Considerations for Assessing Rock Mass Blastability and Fragmentation. Fragblast, Vol.6, No:2, pp. 151−168.

Cevizci, H., 2010, Açık Ocak Patlatmalarında Sıkılama Parametresinin Patlatma Verimliliğine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 110 s., Isparta.

Clark, G., B., Hartman, H., L., and Soderberg, A., 1968, Surface Mining. United States.

Cunningham, C .V. B., 1983, The Kuz-Ram Model for Prediction of Fragmentation From Blasting. In Proc. 1st Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden, 439- 453.

Cunningham, C., V., B., 1987, Fragmentation Estimations and the Kuz-Ram Model-Four Years on. In Proc. 2nd Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, pp. 475-487.

Cunningham, C., V., B., 2005, The Kuz-Ram Fragmentation Model 20 Years on. In Brighton conference proceedings, pp. 201-210.

Çetin, M., S., 2010, Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 190 s.

Dağçimen, A., 2006, Patlatma Tasarımı için Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 117s.

Dahlehielm, S., 1996. Industrial Applications of Image Analysis-The IPACS System. Measurement of Blast Fragmentation-Fragblast 5, Montreal, Canada, pp. 59-67.

Davis, W., C., 1983, High Explosives., Los Alamos Science.

Demenegas, V., 2008, Fragmentation Analysis of Optimized Blasting Rounds in The Aitik Mine. Doctoral dissertation, Master thesis/Vasileios Demenegas, Lulea.

Dick, R., A. and et all., 1983. Explosives and Blasting Procedures Manuel. USBM, Department of the Interior, Bureau of Mines, Minneapolis, U.S.A.

Downs, D., C. and Kettunen, B., E., 1996, Online Fragmentation Measurement Utilizing the CIAS (R) System. Measurement of Blast Fragmentation, Franklin and Katsabanis (eds), 79-82.

Dunham, Robert, J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. 108-121.

Edizer, E., 2006, Sayısal Görüntü İşleme Yöntemi ile Tane Boyut Dağılımı Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 235s.

Elahi, A., T. and Hosseini, M., 2017, Analysis of Blasted Rocks Fragmentation Using Digital İmage Processing (Case Study: Limestone Quarry of Abyek Cement Company). International Journal of Geo-Engineering, 8(1), 16.

Erkoç, Ö., Y., 1990, Kaya Patlatma Tekniği, İstanbul, 164 s.

Esen, S., Bilgin, H., A. and Bobo, T., 2000, Patlayıcının Parçalanmaya Etkisi. 4. Delme-Patlatma Sempozyumu, Ankara.

Ferguson, G., A., 1981, Statistical Analysis in Psychology and Education. New York: McGraw-Hill Book Company.

Folk, Robert, L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. 62-84.

Gama, C., D., 1996, The Concept of Rock Mass Fragmentability. Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Canada, pp, 209−214.

Golder Association, 1997, Gold Size 2.0 An Interactive System for Blast Fragmentation Analysis and Optirnatization. Product Catalogue.

Görür, N,, 1985, Depositionalhistory of Miocenesediments on the NW Flank of The Adana Basin. Proc, 6th Colloguium on Geology of the Aegeanregion, İzmir, pp, 185-208.

Görür, N., 1979, Karaisalı Kireçtaşının (Miyosen) Diyajenetik Evrimi. Türkiye 5, Petrol Kongresi Tebliğleri, 123-128.

Gregory, C., E., 1984,. Explosives for North American Engineers. Vol. 5, CRC.

Gustafsson, T., 1973, Swedish Blasting Technique. Journal of Barutsan, No:3, Ankara.

Gündüz, L., Şentürk, A., Tosun, Y. ve Sarıışık, A., 1996, Mermer Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Tuğra Ofset, Isparta.

Hagan, T., N. and Harries, G., 1977, The Effects of Blast Geometry And İnitation Sequence on Blasting Results. In Australian Mineral Foundation's "Drilling and Blasting Technology" Course, Adelaide,

Hagan, T., N., 1974, Rock Breakage by Explosives. Australian Geomechanic National Symposium of Fragmentation, Alaide.

Havermann, A. and Vogt, V., 1996, TUCIPS-A System for Estimation of Fragmentation after Production Blasting. Measurement of Blast Fragmentation-Fragblat 5, Montreal, Canada, pp. 67−73.

Hemphill, G., B., 1981, Blasting Operations. McGraw-Hill Companies.

Hoek, E. and Bray, J., W., 1991, Rock Slope Engineering. New York: Elsevier Science Publishing.

Hustrulid, W., 1999, Blasting Principles for Open Pit Mining - General Design Concepts. Theoretical Foundations, A,A, Balkema, Roterdam.

Hüdaverdi, T., 2010, Parçalanmanın İyileştirilmesine Yönelik Patlatma Tasarımlarının Araştırılması. İstanbul Teknik Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 190s, İstanbul.

Hüdaverdi, T., 2015, Farklı Regresyon Modelleri ile Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tahmin Edilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), s.141-150.

Hüdaverdi, T., Kulatilake, P., H, .S., W. and Kuzu, C., 2011, Prediction of Blast Fragmentation Using Multivariate Analysis Procedures. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, pp.1318-1333.

Hüdaverdi, T., Kuzu, C. and Fisne, A., 2012, Investigation of The Blast Fragmentation Using The Mean Fragment Size and Fragmentation Index. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 56, 136-145.

ISRM, 1981, Suggested Methods: Rock Characterization. Testing and Monitoring, London: E,T, Brown (ed), Pergamon Pres.

İlker, S., 1975, Adana Baseni Kuzey Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO Arama Arşiv No: 973, Ankara, 63 s. (yayınlanmamış).

Jamnia, O., 2015, Basamak Patlatmaları için Tasarım Nomogramlarının Geliştirilmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, Ankara, 112 s.

Jhanwar, J., C., Jethwa, J., L. and Reddy A., H., 2000, Influence of Air-Deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine Eng Geol, 57, pp. 13-29

Jimeno, C., L., Jimeno, E., L. and Carcedo, F., J., A., 1995, Drilling and Blasting of Rocks. A., A., Balkema, Brookfield Publication, Rotterdam.

Kahriman, A., 1995, Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları İçin Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, C.Ü., Sivas.

Kahriman, A., 1999, Açık Maden ve Taş Ocaklarında Kaya Patlatma Teknolojisi Eğitim Semineri, Sayfa 20-38.

Kahriman, A., 2004, Analysis of Parameters of Ground Vibrations Produced from Bench Blasting at A Limestone Quarry. Soil Dynamics and Eartquake Engineering, 24, Elsevier, London, U,K, pp.887-892.

Kalaycı, Ü., 2011, Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 147 s.

Kanchibotla, S., S., Valery, W. and Morell, S., 1999, Modelling Fines in Blast Fragmentation and Its Impact On Crushing and Grinding. Explo 1999, Aus IMM, Carton, Australia, pp.137−144.

Kayri, M., 2009, Araştırmalarda Gruplararası Farkin Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri. Journal of Social Science.

Kemeny, J., Norton, B. and Turner, K., 2006, Rock Slope Stability Analysis Utilizing Ground-Based Lidar And Digital Image Processing, Felsbau– Rock and Soil Engineering, pp.8−15.

Kılıç, A., M., 2012, Patlatma Teknolojisi Ders Kitabı, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, 251 s. (Yayınlanmamış).

Kılıç, A., M., Yaşar, E., Erdoğan, Y. and Ranjith, P., G., 2009, Influence of Rock Mass Properties on Blasting Efficiency, Scientific Research and Essays, 4(11), 1213-1224.

Kim, K., 2006, Blasting Design Using Fracture Toughness and Image Analysis of the Bench Face and Muckpile. Master of Science in Mining and Minerals Engineering, Blacksburg, Virginia.

Kleine, T., H. and Cameron, A., R., 1996, Blast Fragmentation Measurement Using Goldsize, Measurement of Blast Fragmentation-Fragblast 5, Aug. 25−29, Montreal, Canada pp. 83-96.

Koçaslan, A., 2013, Patlatma Sahalarında Farklı Jeofizik Yöntemler Kullanılarak Çevre Kaya Kütle Özelliklerinin Tespiti ve Yer Sarsıntısı Analizlerinde Kullanılabilirliği, Cumhuriyet Üniversitesi Doktora Tezi, Sivas.

Konya, C., J. and Walter, E., J., 1990, Surface Blast Design. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Köklü, N., Büyüköztürk, Ş. ve Bökeoğlu, Ç.Ö. 2006, Sosyal Bilimler için İstatistik. Ankara: PegemA Yayıncılık, Ankara.

Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Onargan, T., Konak, G., ve Kızıl, S., 2001, Açık İşletme Tekniği. İzmir: D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, 256.

Kuznetsov, V., M., 1973, The Mean Diameter of The Fragments Formed by Blasting Rock. Soviet Mining Science, 9(2), 144-148.

Langefors, U, and Kihlström, B., 1963, Rock Blasting, John Wiley and Sons, New York, 405 s.

Langefors, U. and Kihlström, B., 1978,. The Modern Technique of Rock Blasting. Sweden.

Latham, J., P. and Lu, P., 1999, Development of an Assessment System for The Blastability of Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol, 36, No, 1, pp.41−55.

Leıghton, J., C., 1982, Development of a Correlation Between Rotary Drill Performance and Controlled Blasting Powder Factors. PhD Thesis, University of British Columbia, 255p.

Lilly, P., A., 1986, An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability. In ProcLarge Open Pit Mining Conference, p.89-92.

Lin, N., S., 1988, New Hard Rock Fragmentation Formulas Based on Model and Full-Scale Test. Licentiate Thesis, Lulea Universty of Technology.

Lu, P., 1997, The characterisation and analysis of in-situ and blasted block size distribution and the blastability of rock masses. Ph.D. thesis, Queen Mary and Wesfield College, London University, 333p.

Lu, W., Yang, J., Chen, M. and Zhou, C., 2011, An Equivalent Method for Blasting Vibration Simulation. Simulation Modelling Practice and Theory, 19, s. 2050-2062.

Maerz, N. H. and Zhou, W., 2000a, Calibration of Optical Digital Fragmentation Measuring Systems. Fragblast, 4(2), p.126-138.

Maerz, N., H. and Zhou, W., 1998, Optical Digital Fragmentation Measuring Systems–İnherent Sources of Error. Fragblast, 2(4), 415-431.

Maerz, N., H. and Zhou, W., 2000b, Discontinuity Data Analysis from Oriented Boreholes. In 4th North American Rock Mechanics Symposium, American Rock Mechanics Association.

Maerz, N., H., 1996a, Reconstructing 3-D Block Size Distributions from 2-D Measurements on Sections. Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Canada, Aug, 25-29, pp.39−43.

Maerz, N., H., 1996b, Image Sampling Techniques and Requirements for Automated Image Analysis of Rock Fragmentation. Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Canada, pp.115−120.

Maerz, N., H., Palangio, T., C. and Franklin, C., A., 1996, WipFrag Image Based Granulometry System. Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Canada, Aug. 25-29, pp. 91−99

Mckenzie, A., S., 1967, Optimum Blasting. Proceedings of the 28th Minnesota Mining Symposium, Duluth, USA, pp.181−188,

Mohammadi, H. and Barati, B., 2018, Development of a Rock Fragmentation Model for Using in Tunnel Blasts, Geotechnical and Geological Engineering, p.1-12.

MTA, 2007, Orta Torosların Jeodinamik Evrimi Ereğli (Konya)- Ulukışla (Niğde) – Karsantı (Adana)- Namrun (İçel) Yöresi, MTA Raporları, Ankara.

Olofsson, S., O., 1988, Applied Explosives Technology for Construction and Mining. 2nd edition, Applex, Arla, Sweden.

Olofsson, S., O., 2002,. Applied Explosives Technology for Construction and Mining (Second Edition). Sweden: Applex ISBN 10- 9197011126.

Ouchterlony, F., 2005a, The Swebrec function: Linking Fragmentation by Blasting and Crushing, Trans, Inst, Min, Metall, A, Vol, 114, pp.29−44.

Ouchterlony, F., 2005b, What Does The Fragment Size Distribution of Blasted Rock Look Like?, EFEE Brighton Conference Proceedings, pp.189−199.

Özdamar, K., 2004, Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1, Kaan Kitabevi.

Özer, Ü., 2001, Patlatma Kinematiğinin Araştırılması ve Patlatma Simıılasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Özgül, N., Metin, S., Göger, E., Bingöl, İ., Baydar, O. ve Erdoğan, B., 1973, Tufanbeyli Dolayının (Doğu Toroslar Adana) Kambriyen-Tersiyer Kayalar. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 16/1, s.82-100.

Özkahraman, H., T., 1994, Critical Evaluation of Blast Design Parameters for Discontinuous Rocks by Blasting. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.

Paşamehmetoğlu, A., G., Bilgin, H., A. ve arkadaşları, 1986, TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi. Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m^3) Saptanması, Ara rapor, Ankara (Yayımlanmamış).

Persson, P., A., Holmberg, R. and Lee, J., 1994,Rock Blasting and Explosives Engineering. USA Printed CRC Press Inc.

Raina, A. K., Romulu, M., Choudhury, P., B., Dunhankar, A. and Chakraborty, A., K., 2003, Fragmentation Prediction in Different Rock Masses Characterized by Drilling Index, 7th Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Beijing, pp.117−121.

Ramig, P.R. 1983, Applications of the Analysis of Means. Journal of Quality Technology, 15, 19- 25.

Roscoe, J., T., 1975, Fundemental Research Statistics for The Behavioral Sciences. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.

Rosenberg, R., L., 1970, Twenty-Seven Day Deviations of The İnterplanetary Magnetic Field and Plasmas from The Parker Spiral Model. Journal of Geophysical Research, 75(28), pp.5310-5318.

Rosin, P. And Rammler, E., 1933, The Laws Governing The Fineness of Powdered. Coal J Inst Fuel, (7), pp.29-36.

Rustan, P., A., 1993, Minimum Distance Between Charged Boreholes for Safe Detonation. Rock Fragmentation by Blasting, FRAGBLAST-4.

Saharan, M. R., Mitri, H. S. and Jethwa, J. L., 2006, Rock fracturing by explosive energy: review of state-of-the-art. Fragblast, 10(1-2), 61-81.

Sasaoka, T., Takahashi, Y., Sugeng, W., Hamanaka, A., Shimada, H., Matsui, K., & Kubota, S. (2015). Effects of rock mass conditions and blasting standard on fragmentation size at limestone quarries. Open journal of geology, 5(05), 331.

Sayınbatur, O., 2011, Açık Ocak Maden İşletmelerinde Patlatma Delikleri ve Patern Tasarımı Üzerine Bir Araştırma. Dumlupınar Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 88 s., Kütahya.

Schleifer, J. and Tessier, B., 1996, Fragscan: A Tool to Measure Fragmentation of Blasted Rock. Measurement of Blast Fragmentation-Fragblast 5, Montreal, Canada, pp.73−79.

Schmıdth, G., C., 1961, Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District. VII Petroleum Administration Bull,, 6, 47-63, Ankara.

Scott, A. and Onederra, I., 2015, Characterising Rock Mass Properties for Fragmentation Modelling. Sydney, Australia, The Australian Institute of Minnig and Metallurgy, pp.149-160.

Scott, A., Morrell, S. and Clark, D., 2002, Mine to Mill Fragmentation Optimisation at the Mount Keith Nickel Mine. Melbourne, Australia, The Australian Institue of Mining and Metallurgy, pp.77-84.

Sher, Y., N. and Aleksandrova, N., I., 2000, Dynamics of Breaking Zone Development During Explosion of a Concentrated Charge in a Brittle Medium, Journal of Mining Science.

Souza, J., C., Silva, A., C., S. and Rocha, S., S., 2016, Analysis of Blasting Rocks Prediction And Rock Fragmentatıon Results Using Split-Desktop Software.

Şeran, O. ve Akay, T., 1999, Açık Ocaklarda Delme Patlatma Tasarımı ve Türkiye Kömür İşletmeleri Çan Linyitleri İşletmesinin Delme Patlatma Etüdü. Bitirme Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Tamrock, 1984, Handbook on Surface Drilling and Blasting. PainoFactirit Filland. Tamrock Incorporated.

Ternek, Z., 1957, The Lower Miocene (Burdigalian) Formations on the Adana Basin the Irrelations with Other Formation Soil Possibilities, MTA Bull., 49:60-80.

Teymen, A., 2005, Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezi, Adana, 108 s.

Toprak, T., 2012, Süreksizliklerin Patlatma Verimi Üzerine Etkisinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012. 235 s.

TS 699, 2009, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.

TS EN 1097-2/D1, 2016, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler. Ankara.

TS EN 1097-6, 2013, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğuve su emme oranının tayini. Ankara.

Winer, B., J., 1971, Statistical Principles in Experimental Design. New York: McGraw-Hill Book Company.

WipFrag, 2010, WipFrag 2,7 Manual. Wipware Inc, Ontario, Canada.

Yalçın, N., M. ve Görür, N., 1984, Sedimentological Evolution of the Adana Basin, International Symposium on the Geology of the Taurus Belt. Ankara, p.165-172.

Yetiş, C. ve Demirkol, C., 1986, Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdler Dairesi, Ankara, 187 s.

Yılmaz, A., O., Demir, C., Kaya, R. ve Tatarhan, A., 2002, Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Taşocaklarmı İncelenmesi, VI, Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Konya 10-11,

Yılmaz, Ö., 2013, Galerilerde Patlatma İle Parçalanma Mekanizmasının Sayısal Yöntemle Modellenmesi Ve Arazi Uygulamalarıyla İrdelenmesi. Bülent Ecevit Üniversitesi Doktora Tezi, 405 s.

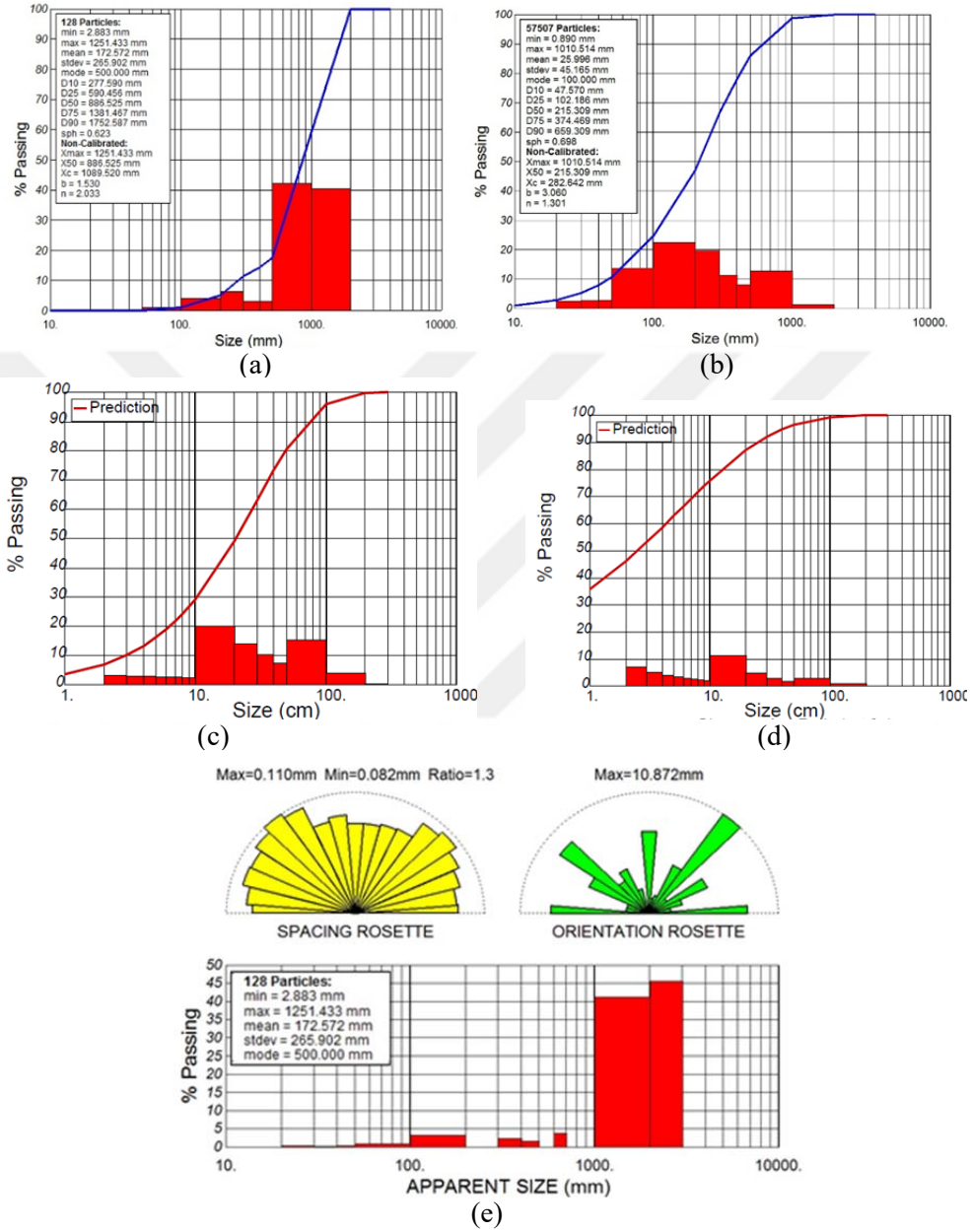
Zeigler, K., 1991, The Blast Design Project, Seminer Notları, TDÇĠ, Divriği, Sivas.

ÖZGEÇMİŞ

Esma KAHRAMAN 15.11.1985 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2004 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı ve Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2013 yılında aynı anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Halen Çukurova Üniversitesinde doktora eğitimi ve Araştırma Görevliliği devam etmektedir.

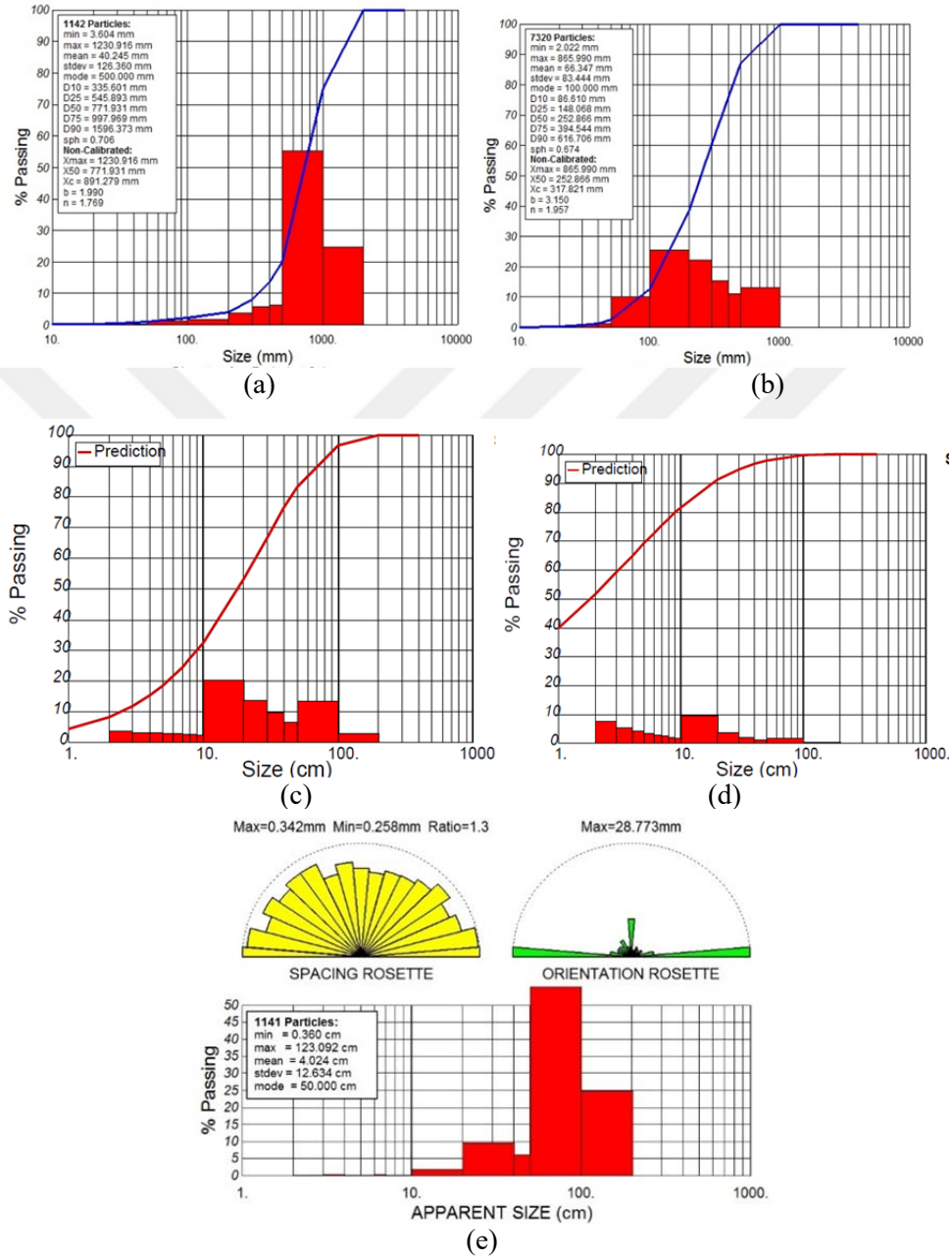
EKLER

EK 1



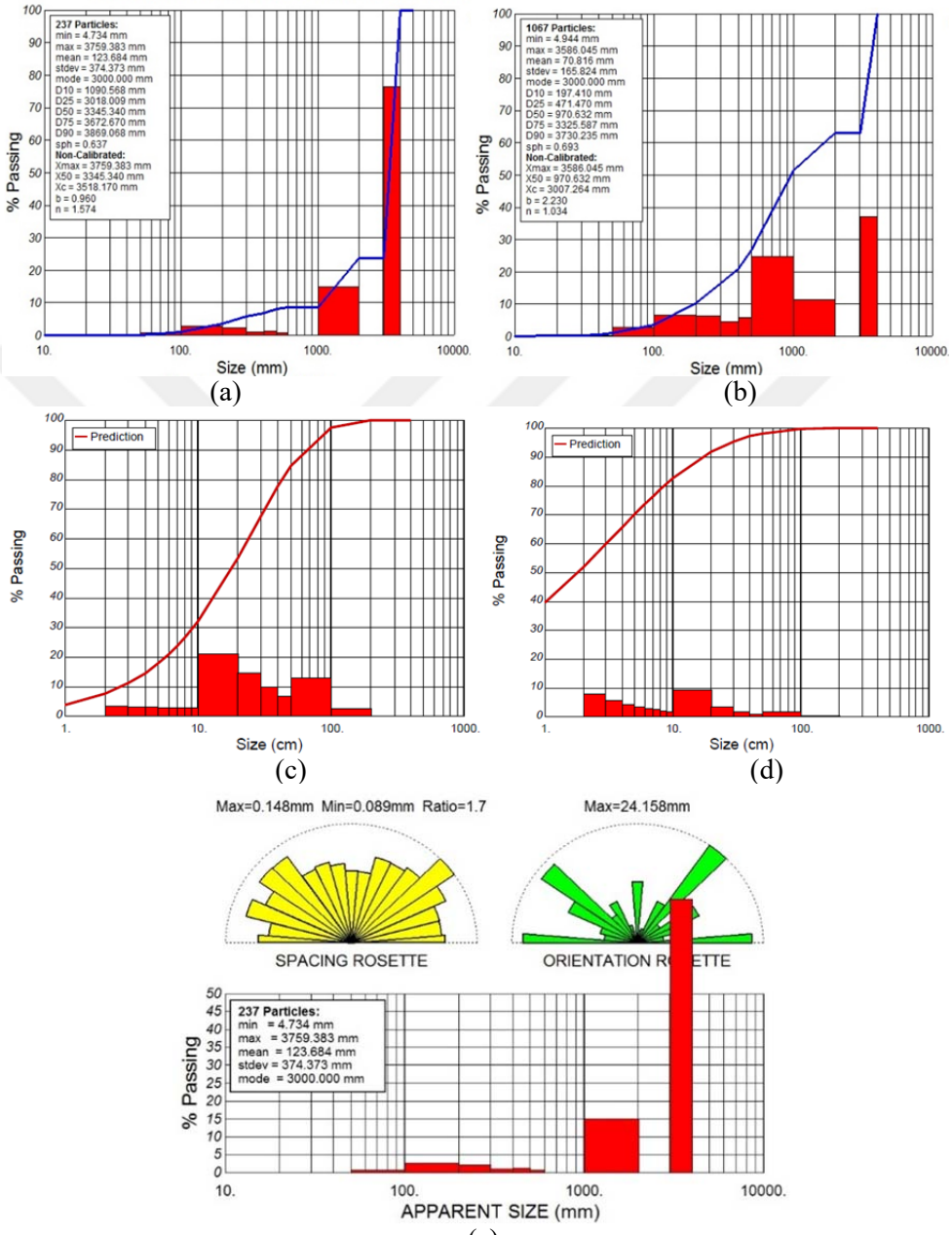
AÇS 1 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 2



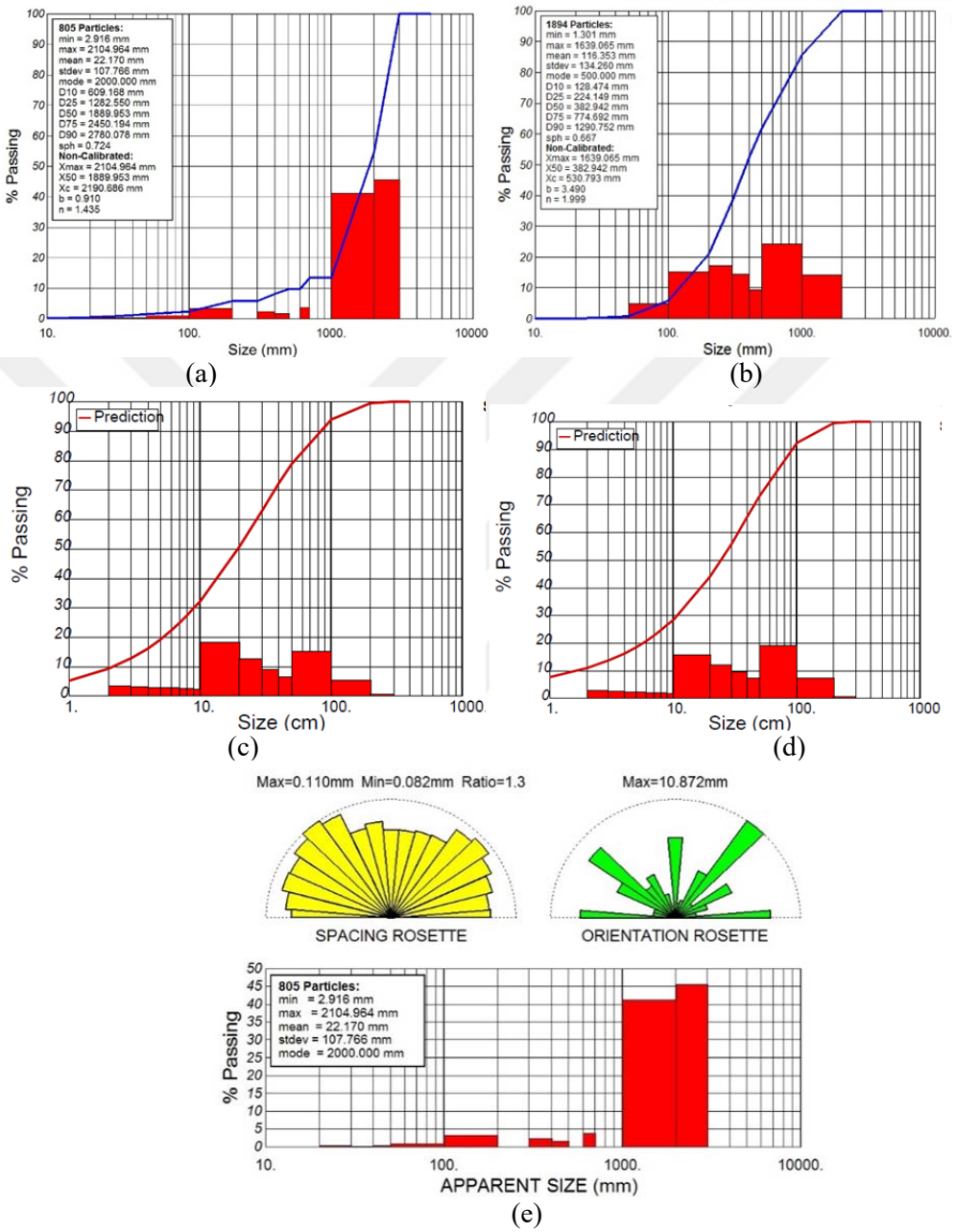
AÇS 2 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 3



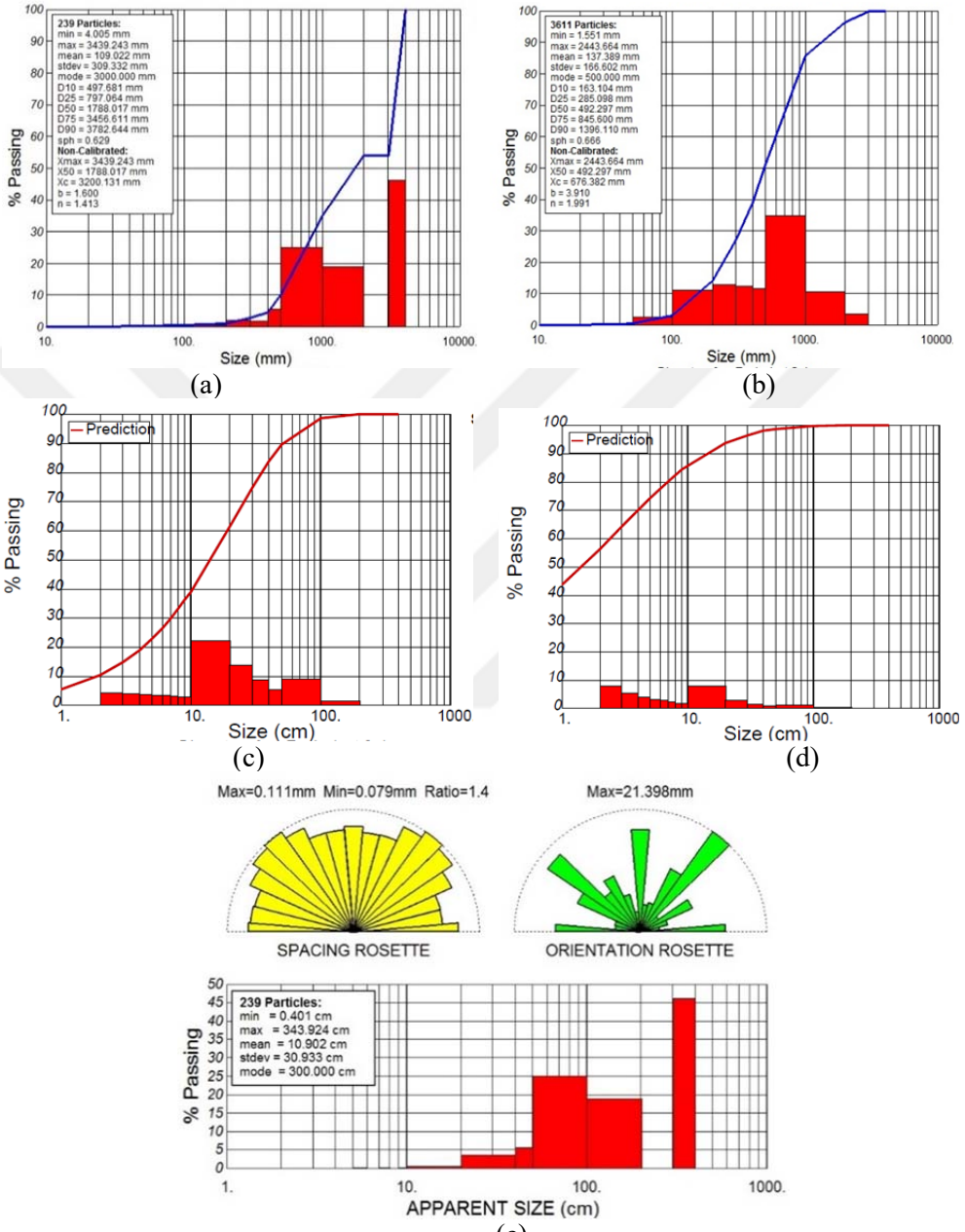
AÇS 3 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 4



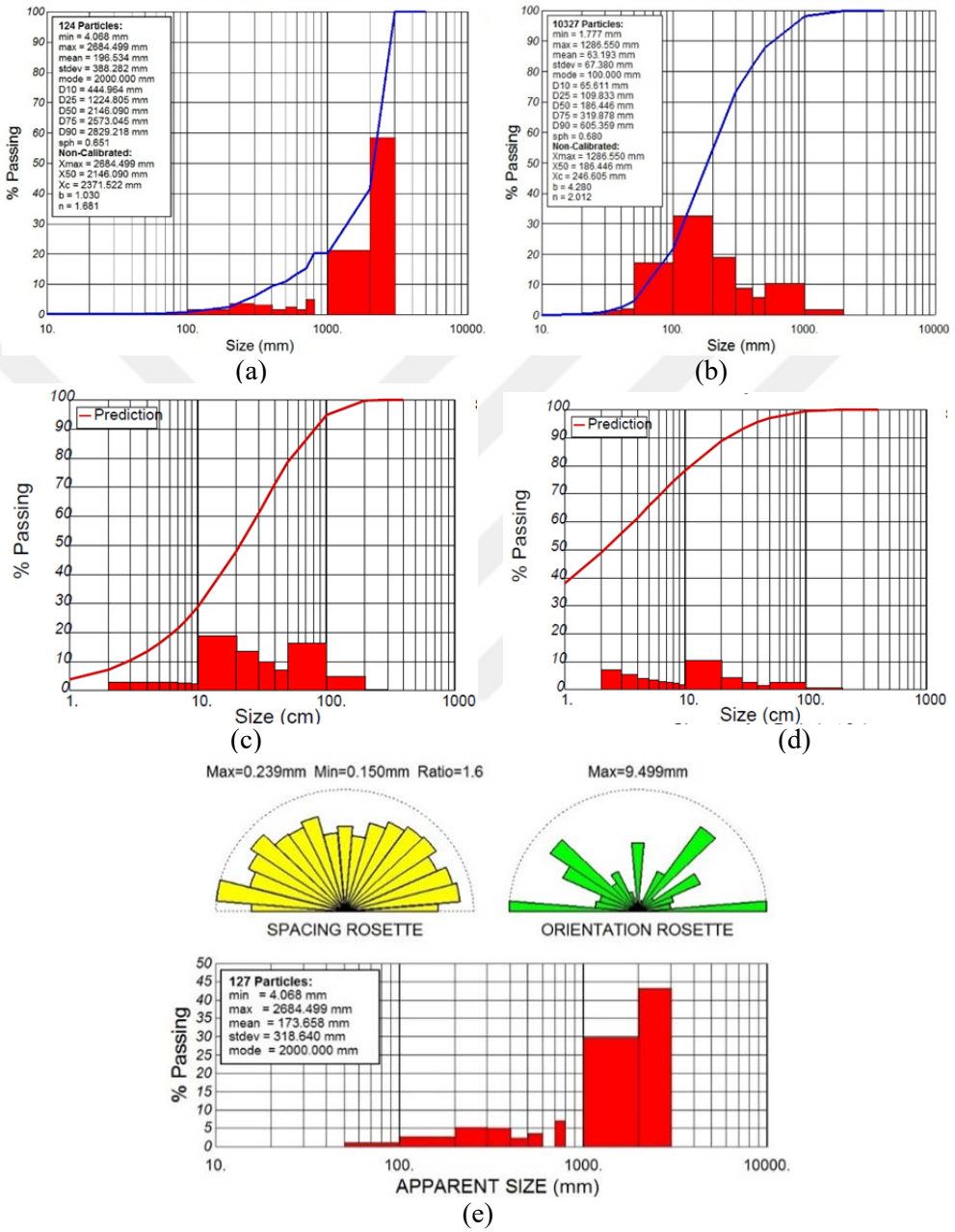
AÇS 4 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 5



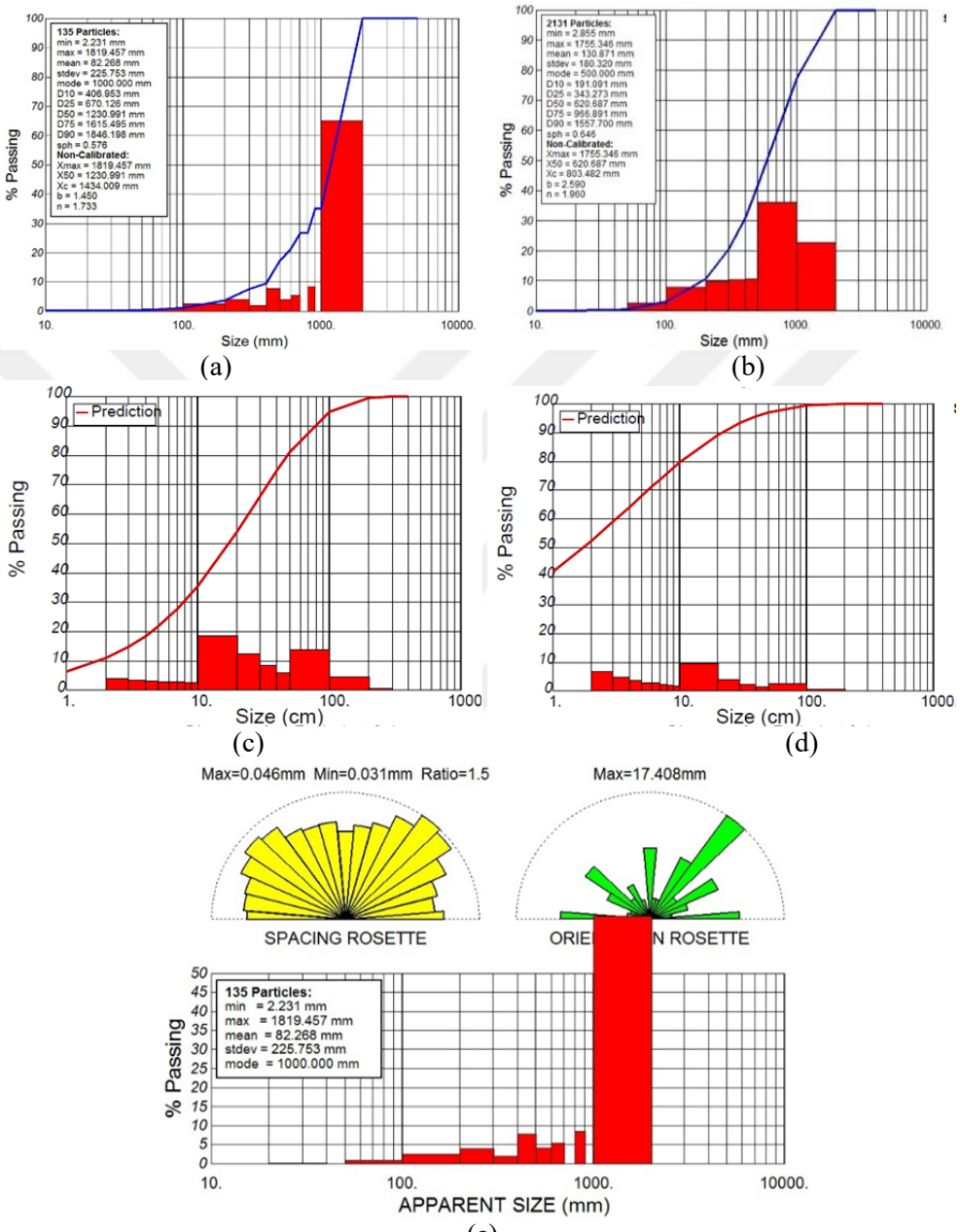
AÇS 5 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 6



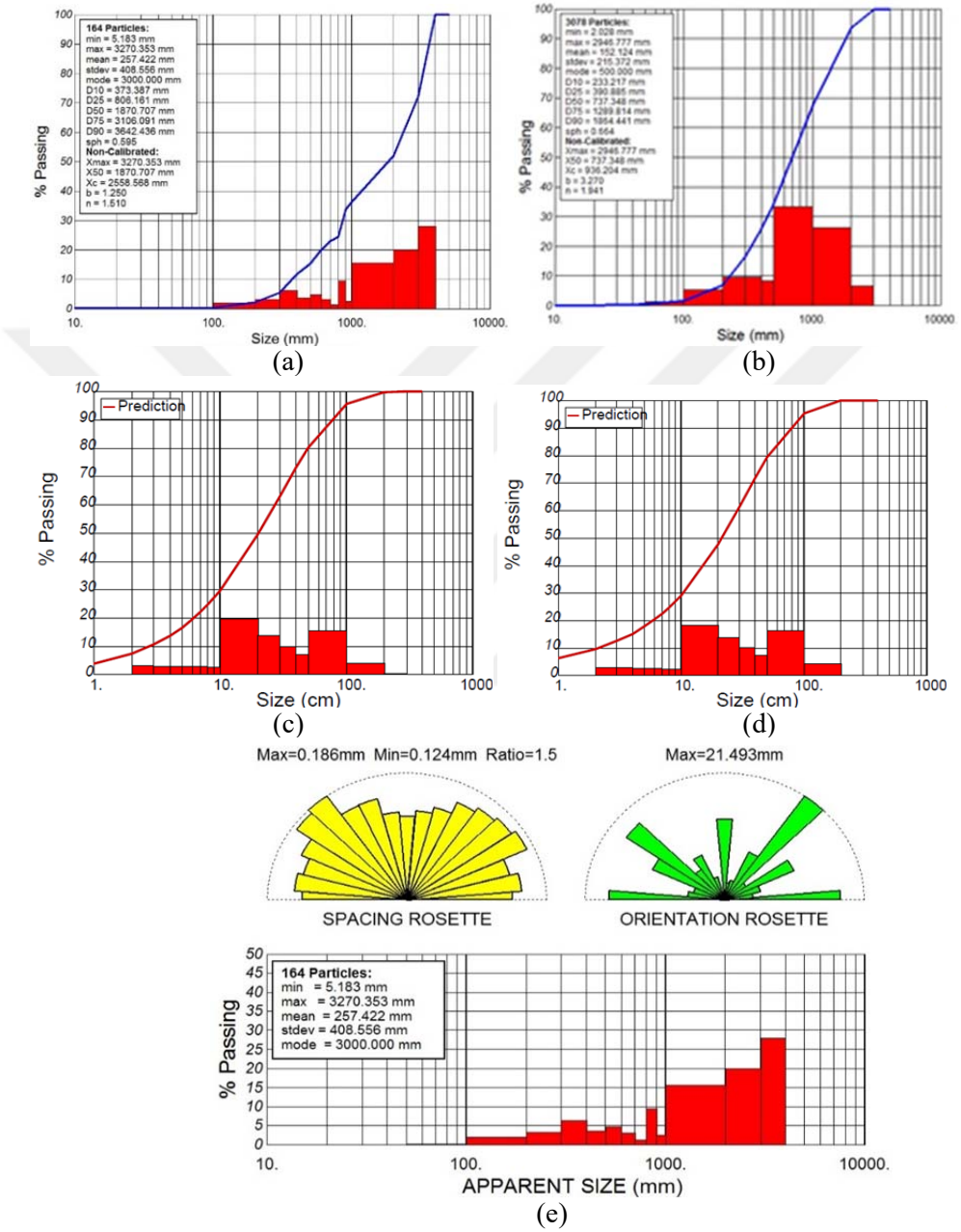
AÇS 6 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 7



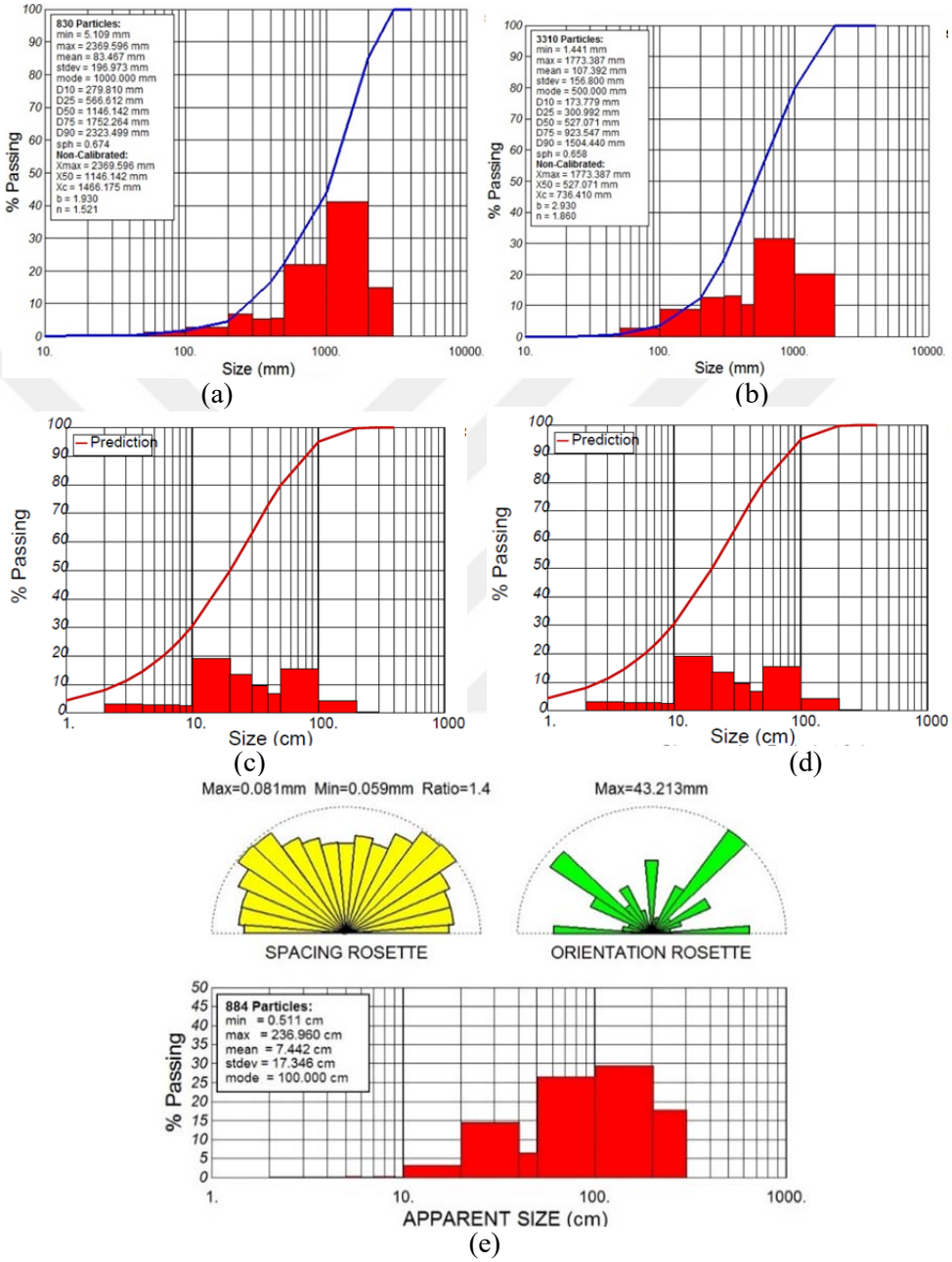
AÇS 7 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 8



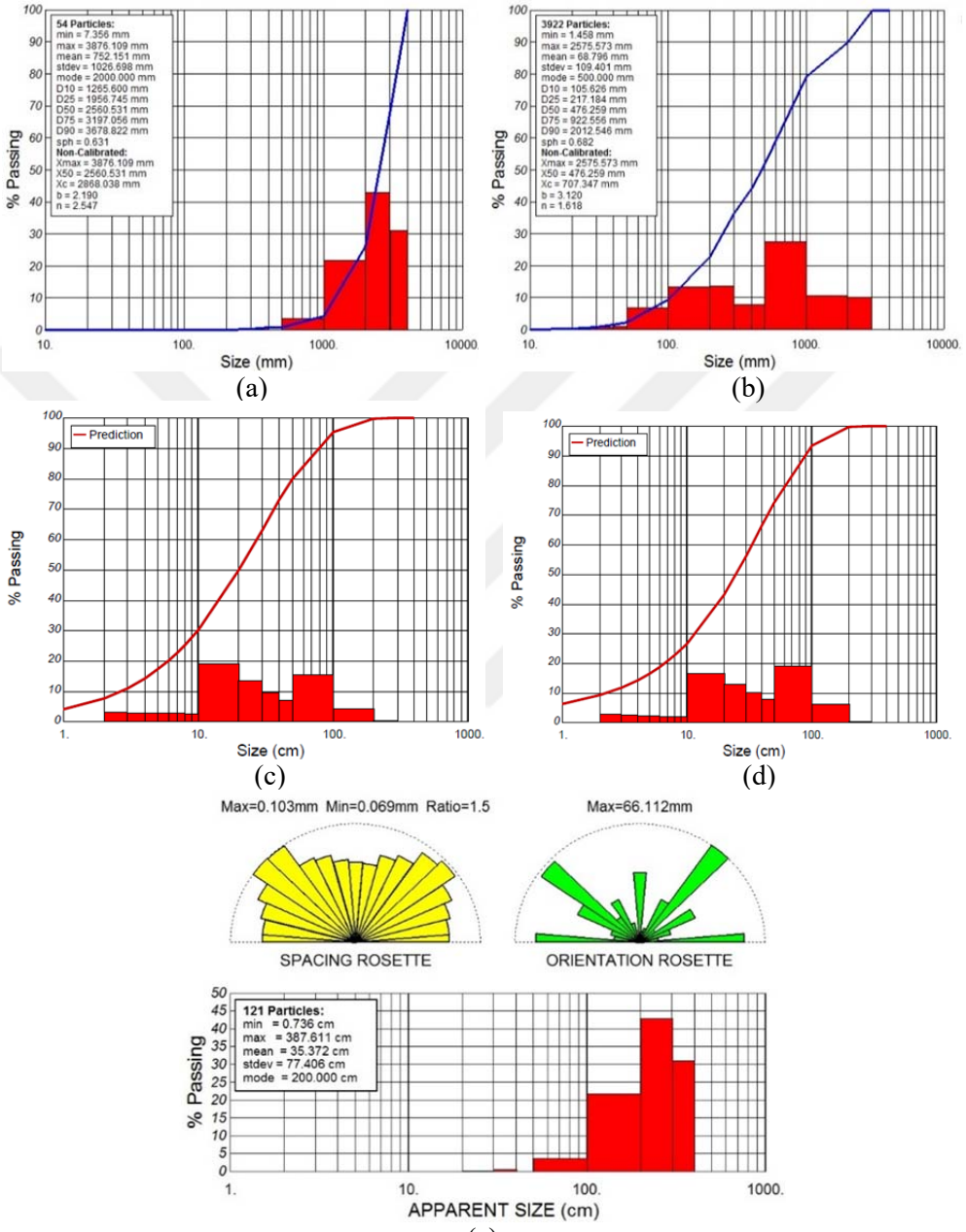
AÇS 8 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 9



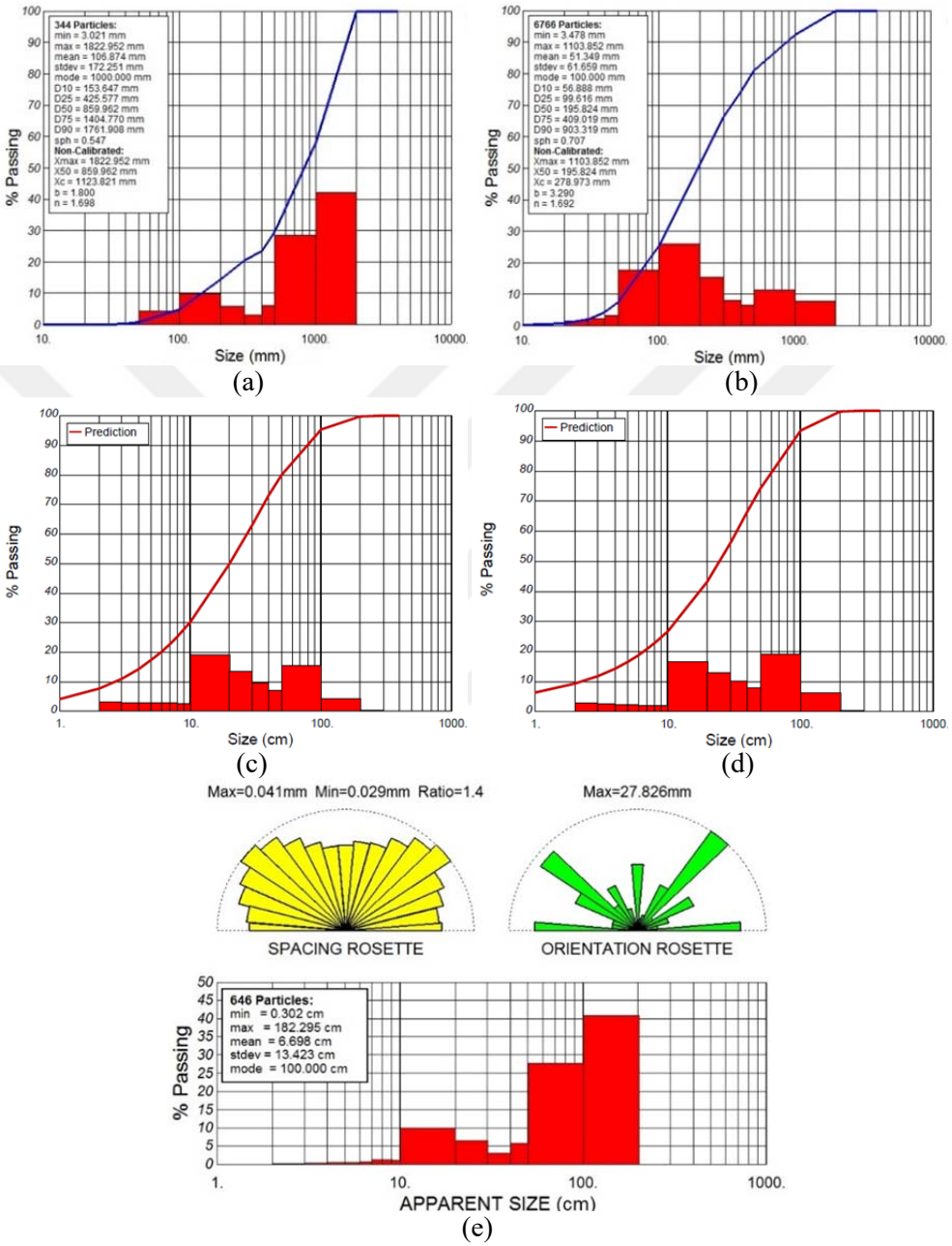
AÇS 9 Atımının Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 10



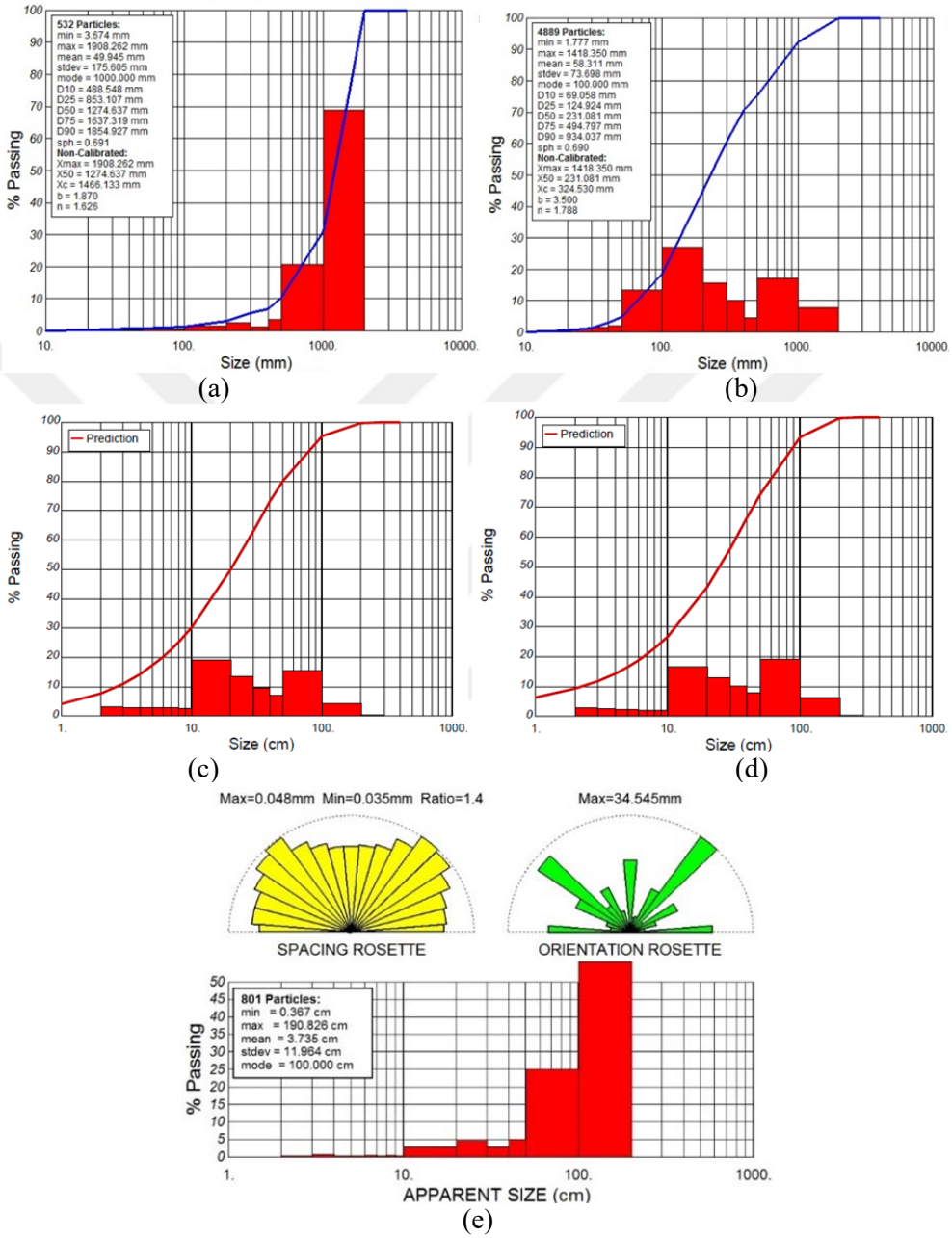
AÇS 10 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 11



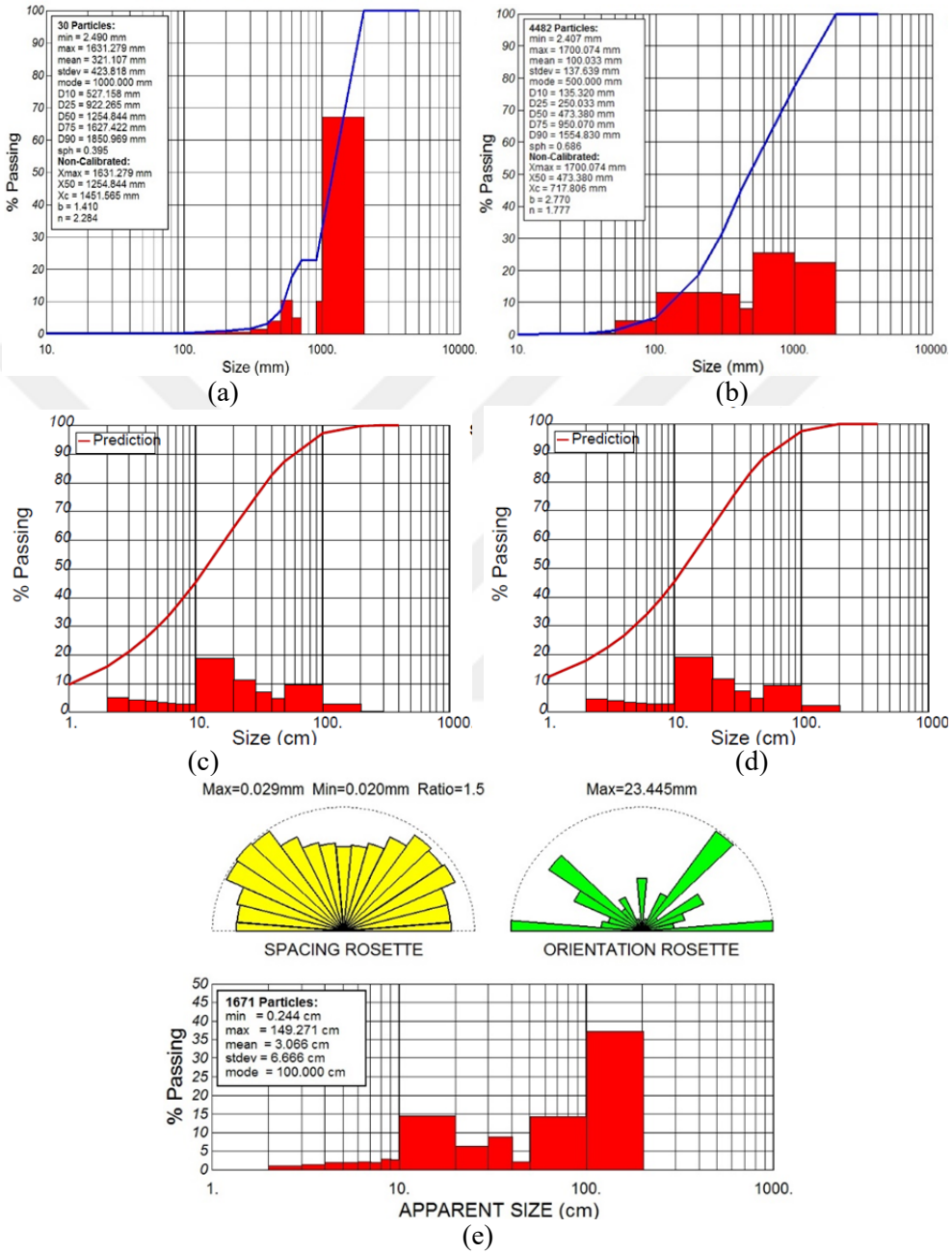
AÇS 11 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 12



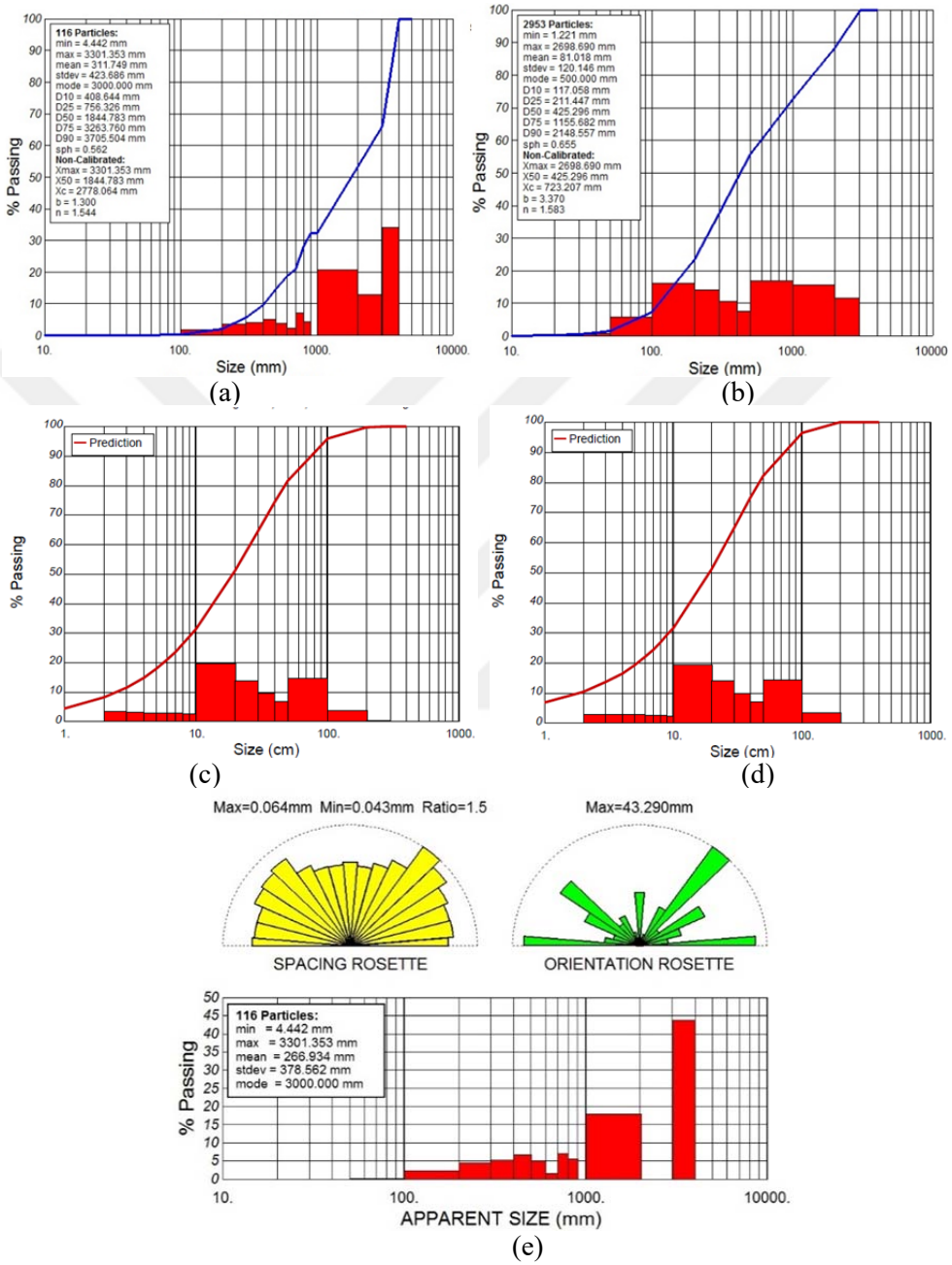
AÇS 12 Atımı Grafikler (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 13



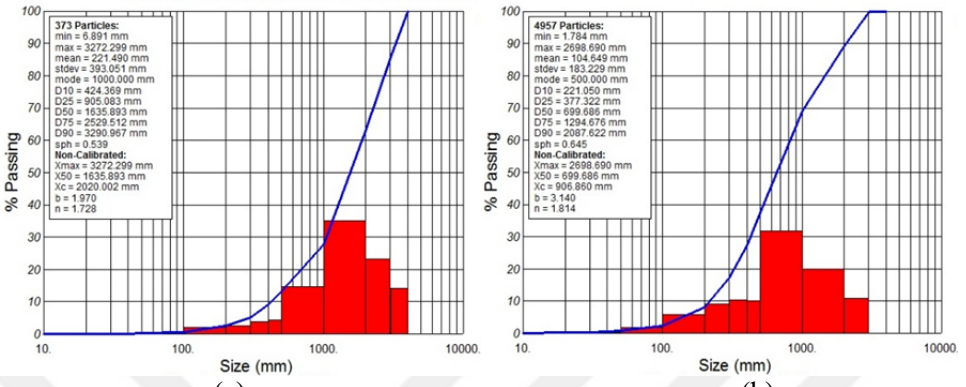
AÇS 13 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 14



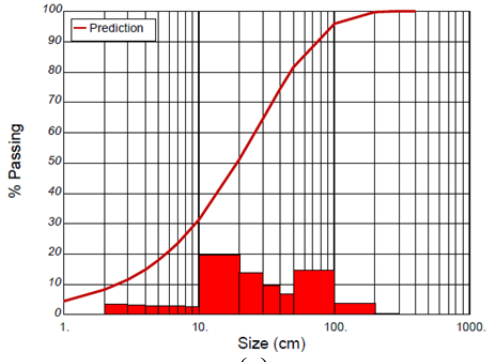
AÇS 14 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 15

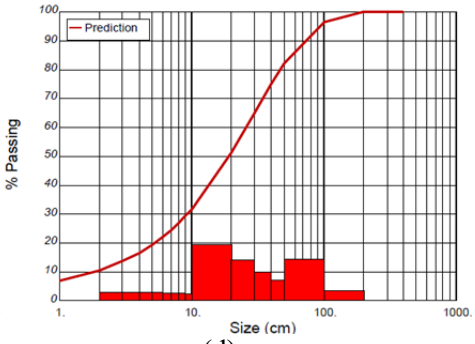


(a)

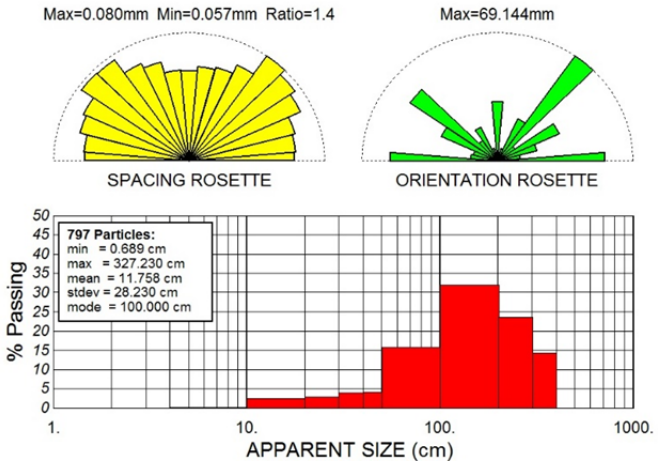
(b)



(c)



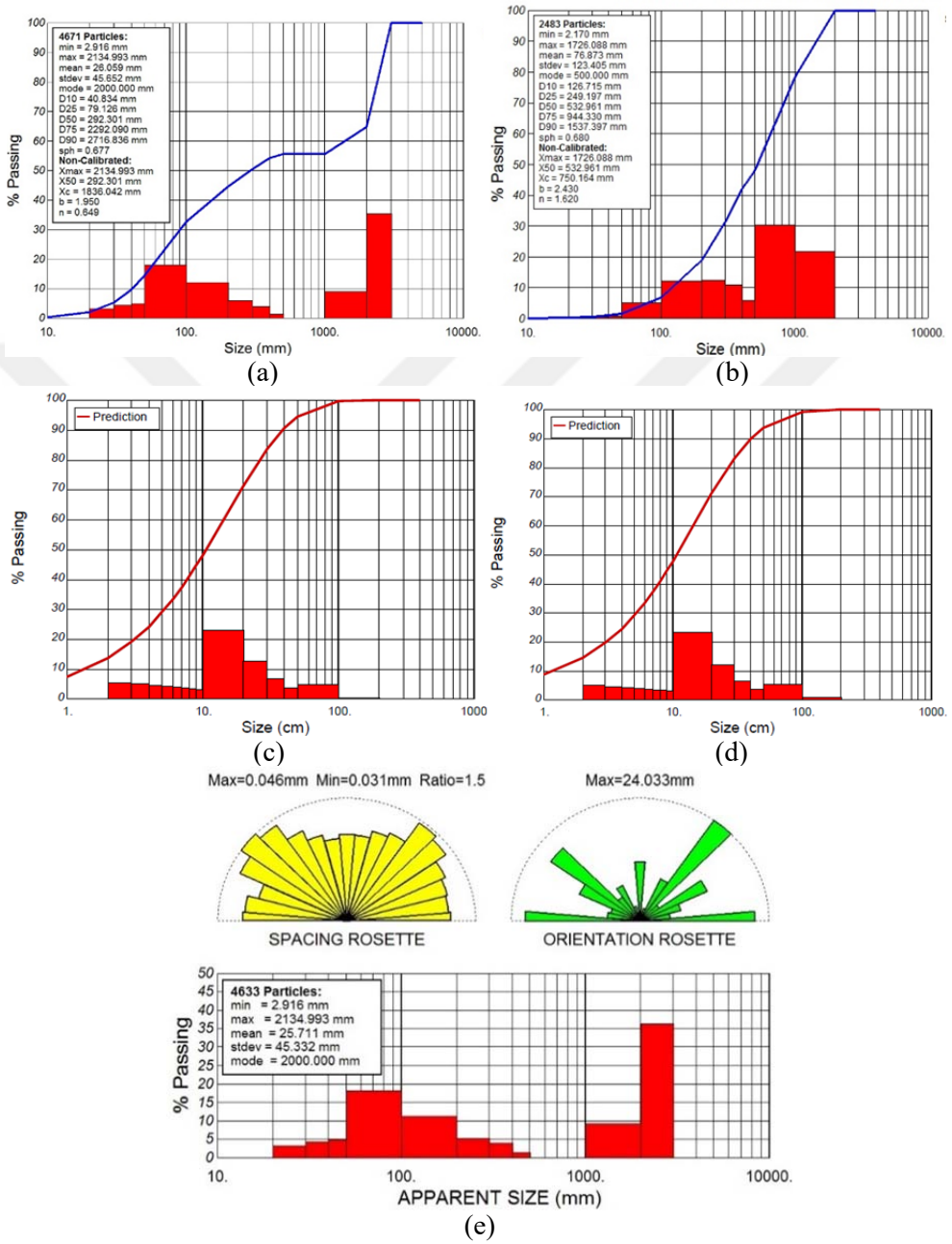
(d)



(e)

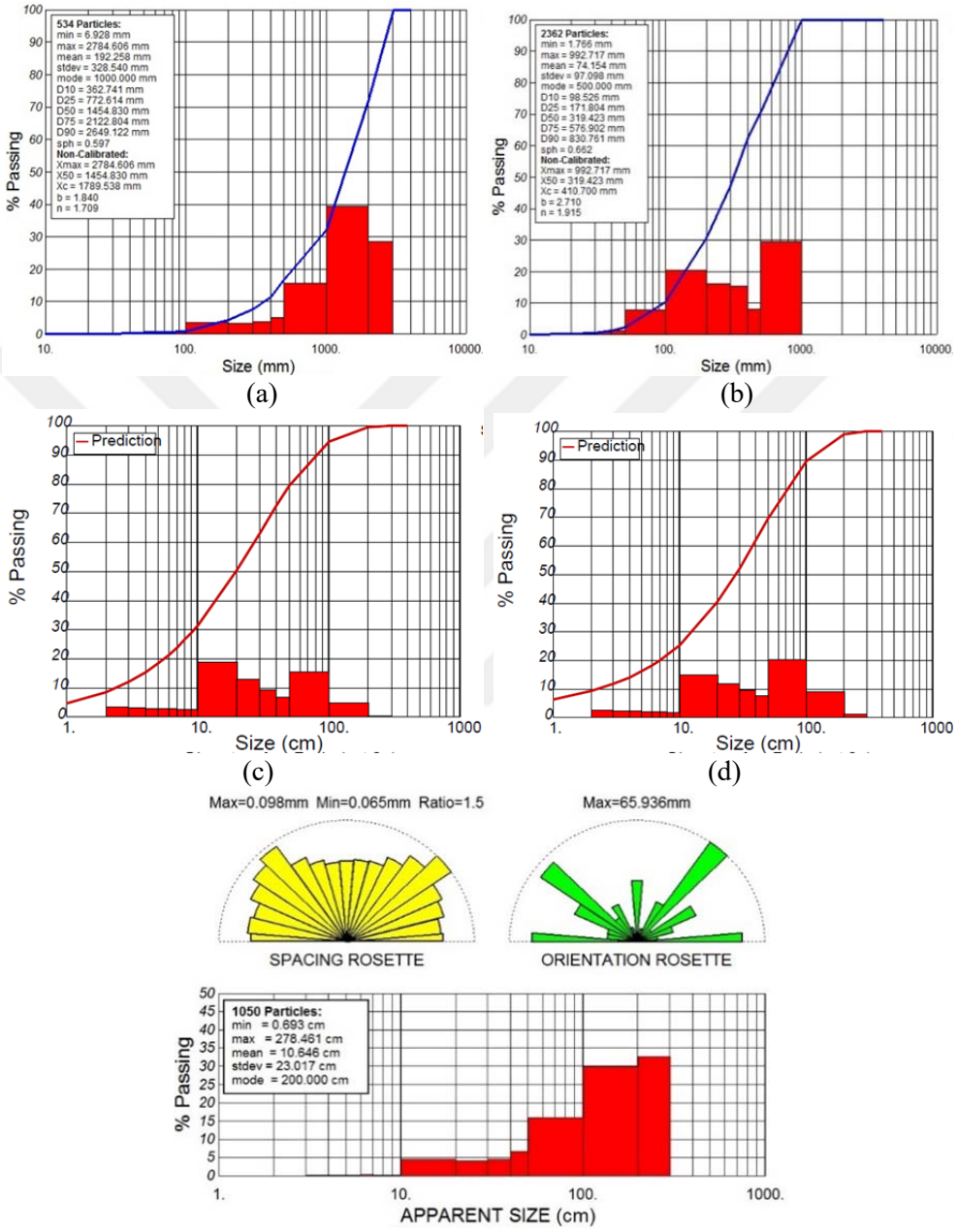
AÇS 15 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 16



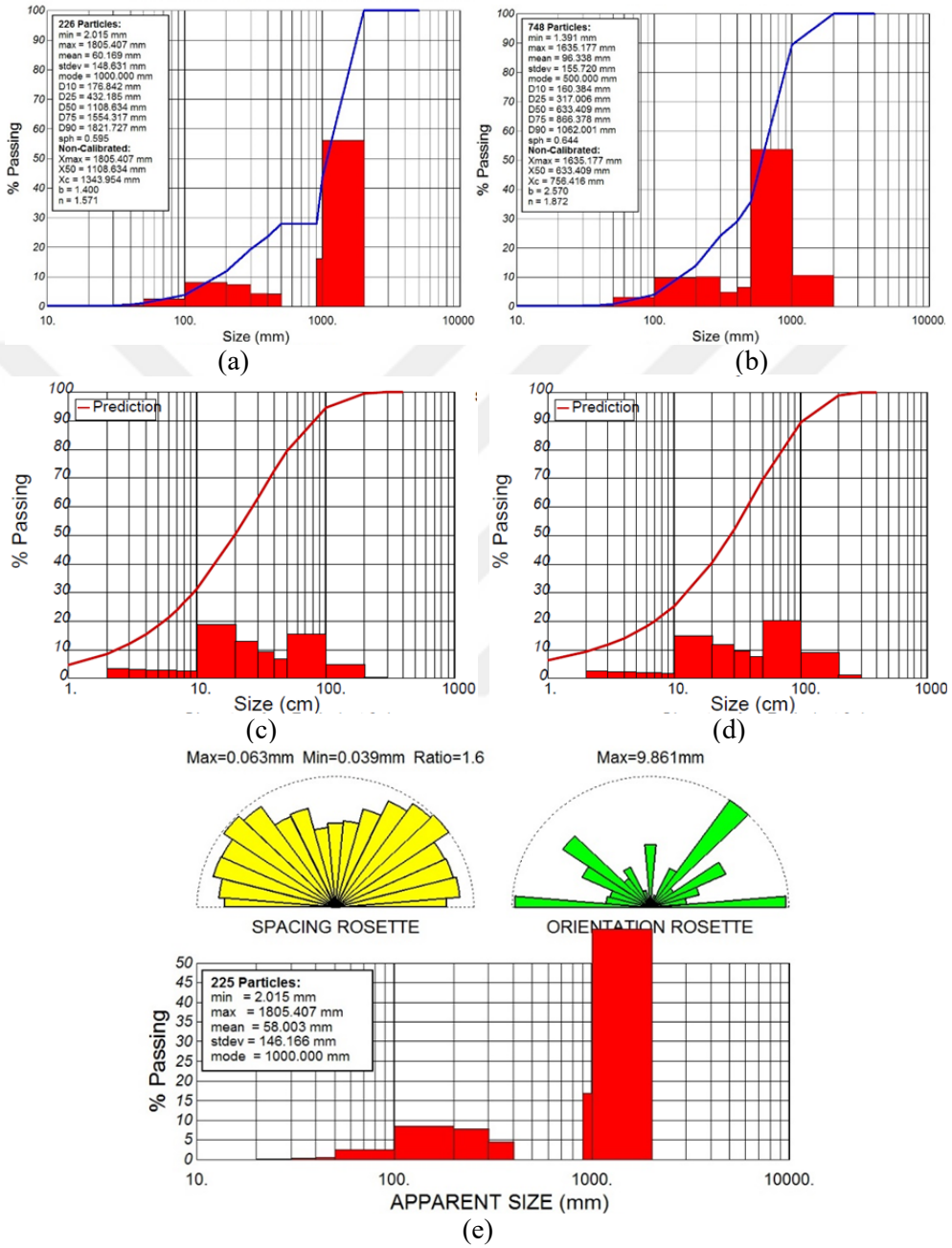
AÇS 16 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 17



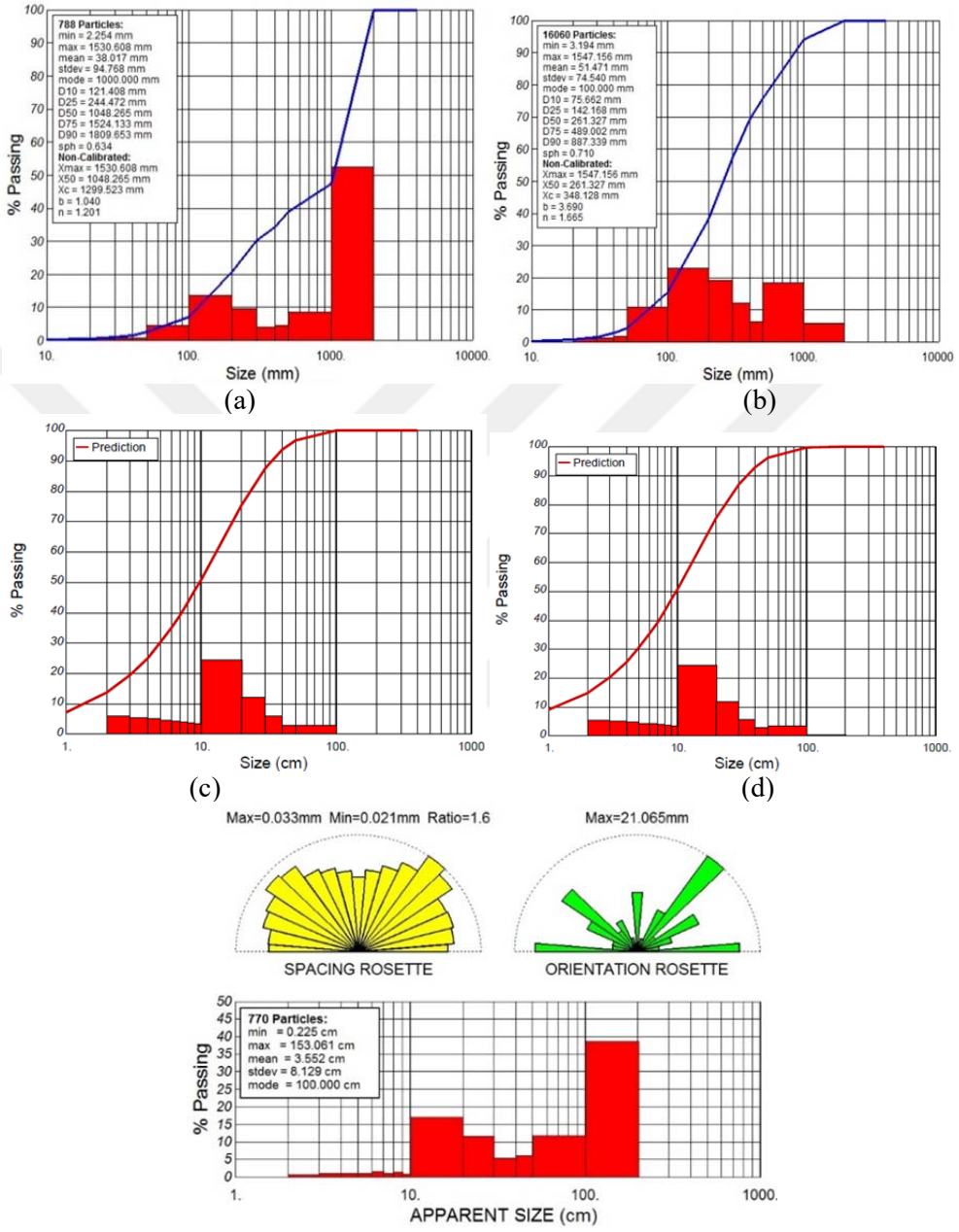
AÇS 17 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 18



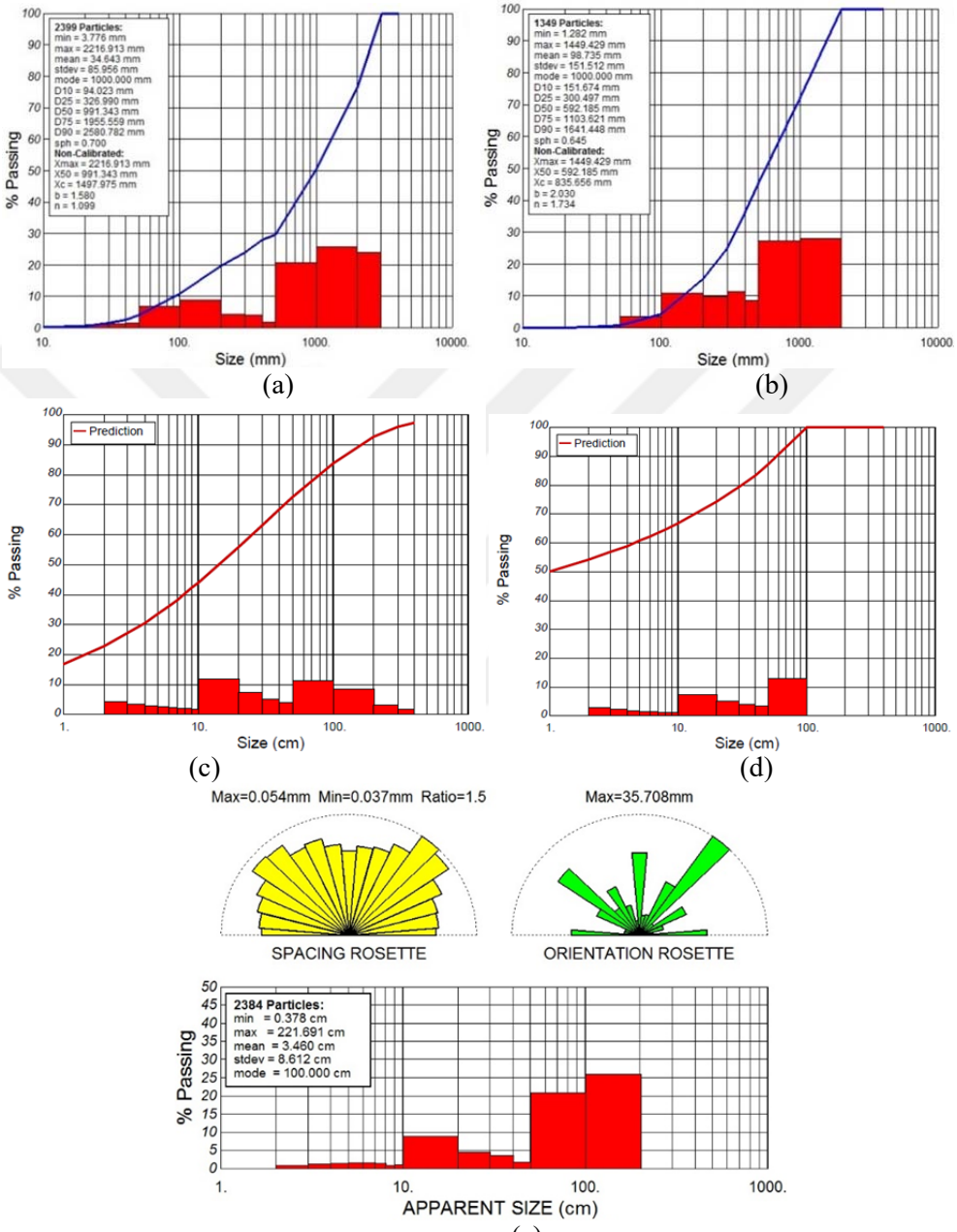
AÇS 18 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 19



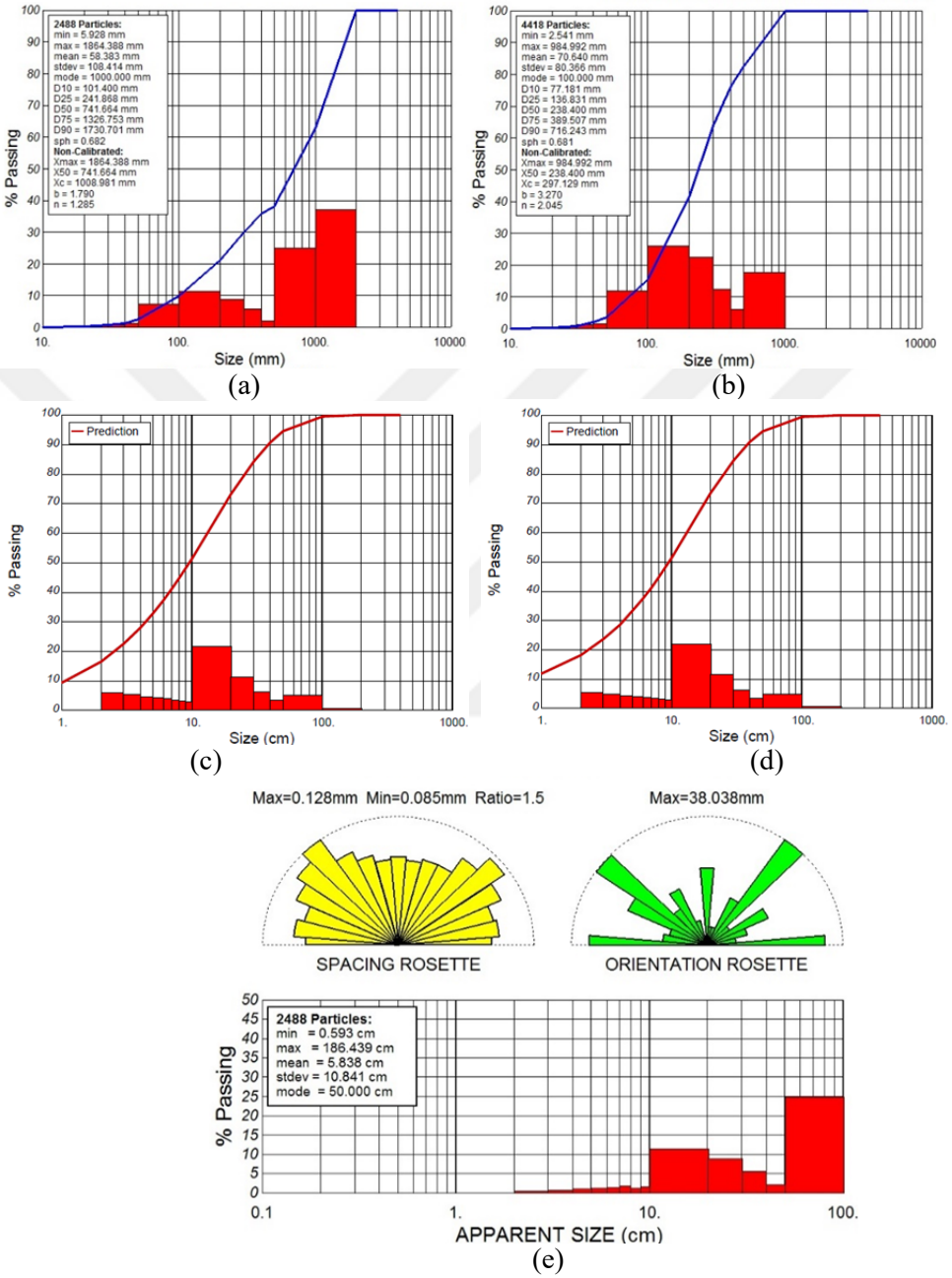
AÇS 19 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 20



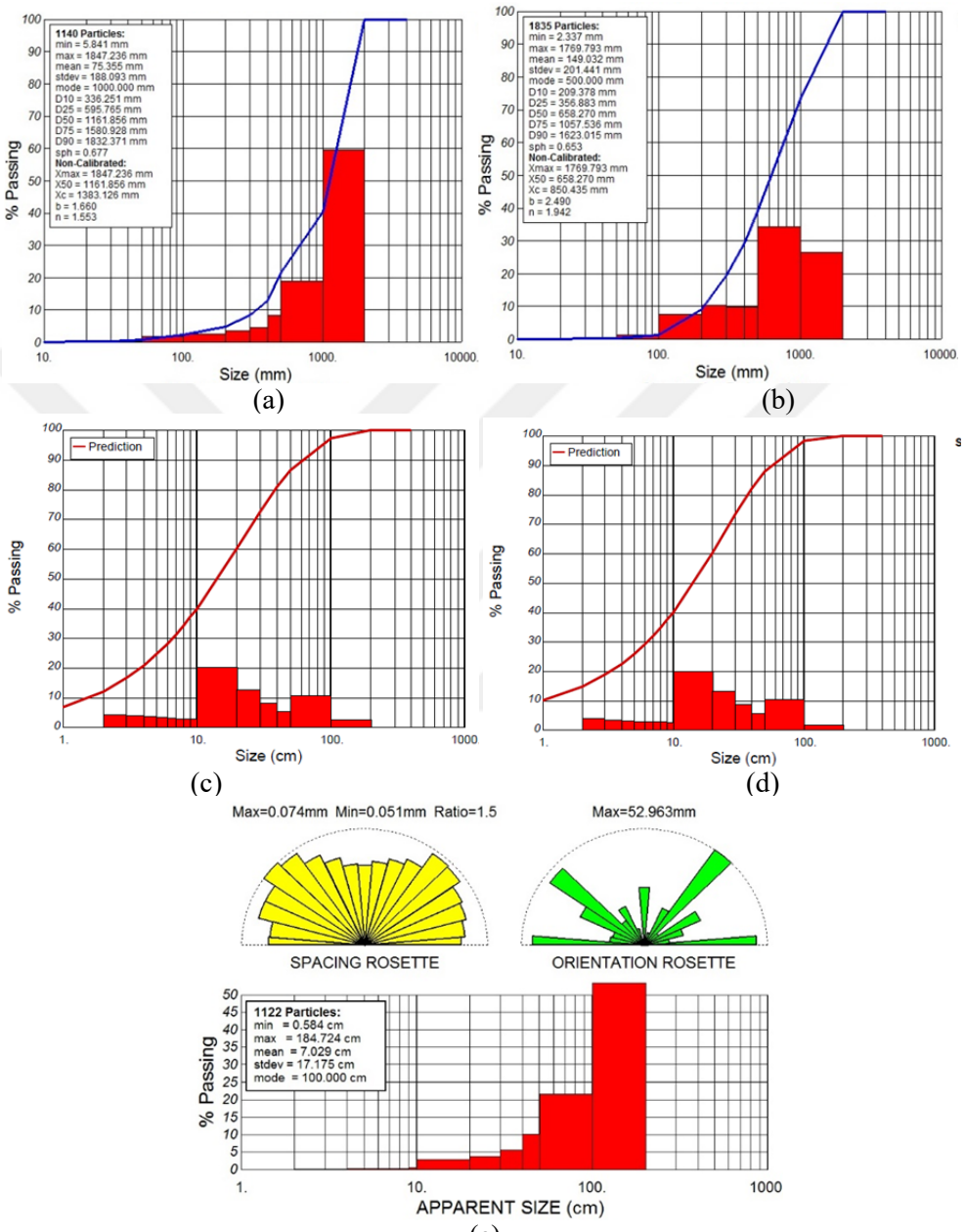
AÇS 20 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 21



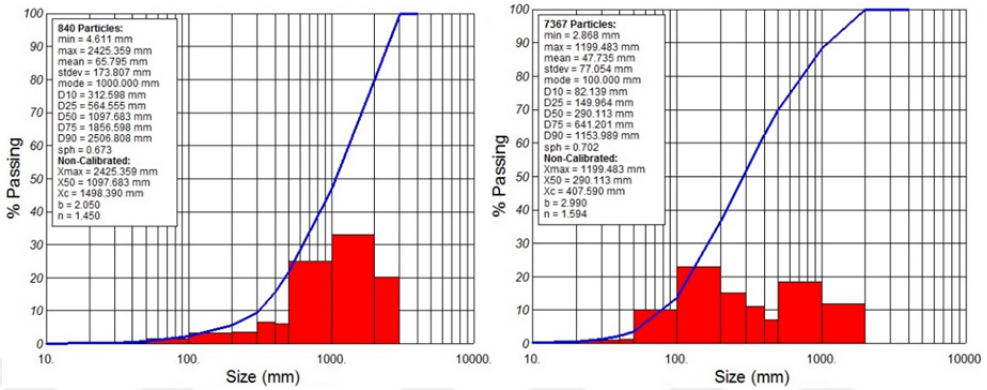
AÇS 21 Atımı Grafikler (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 22



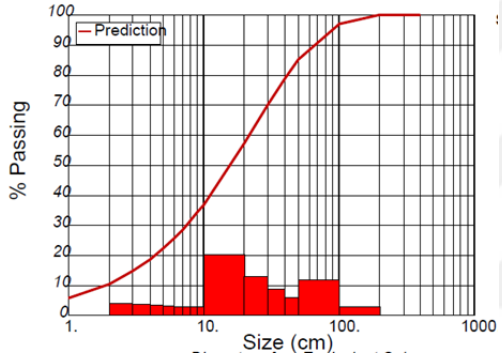
AÇS 22 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 23

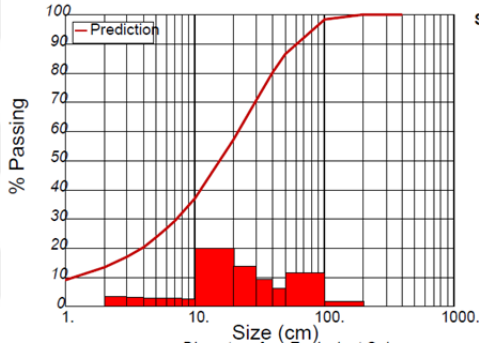


(a)

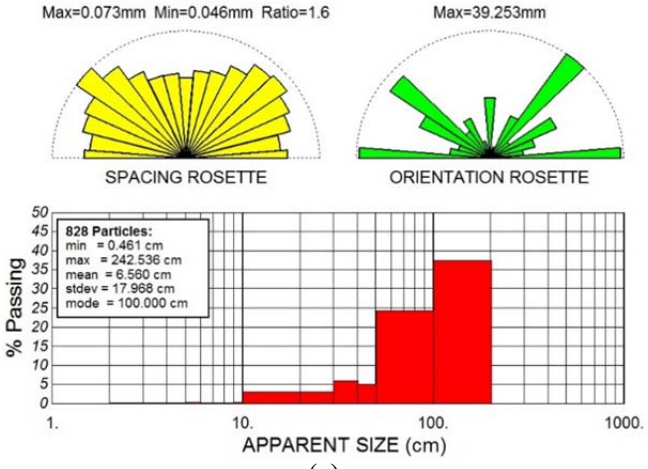
(b)



(c)



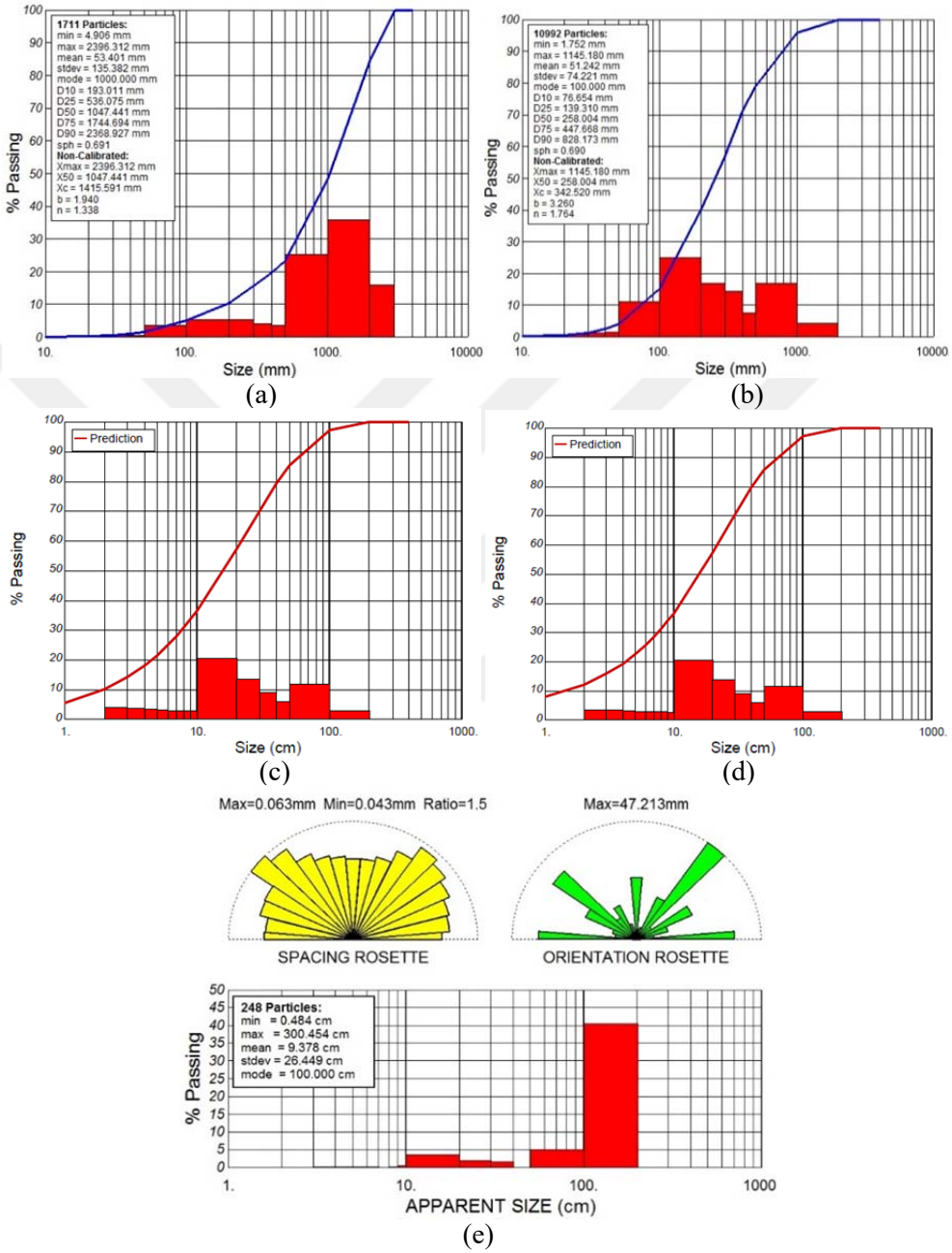
(d)



(e)

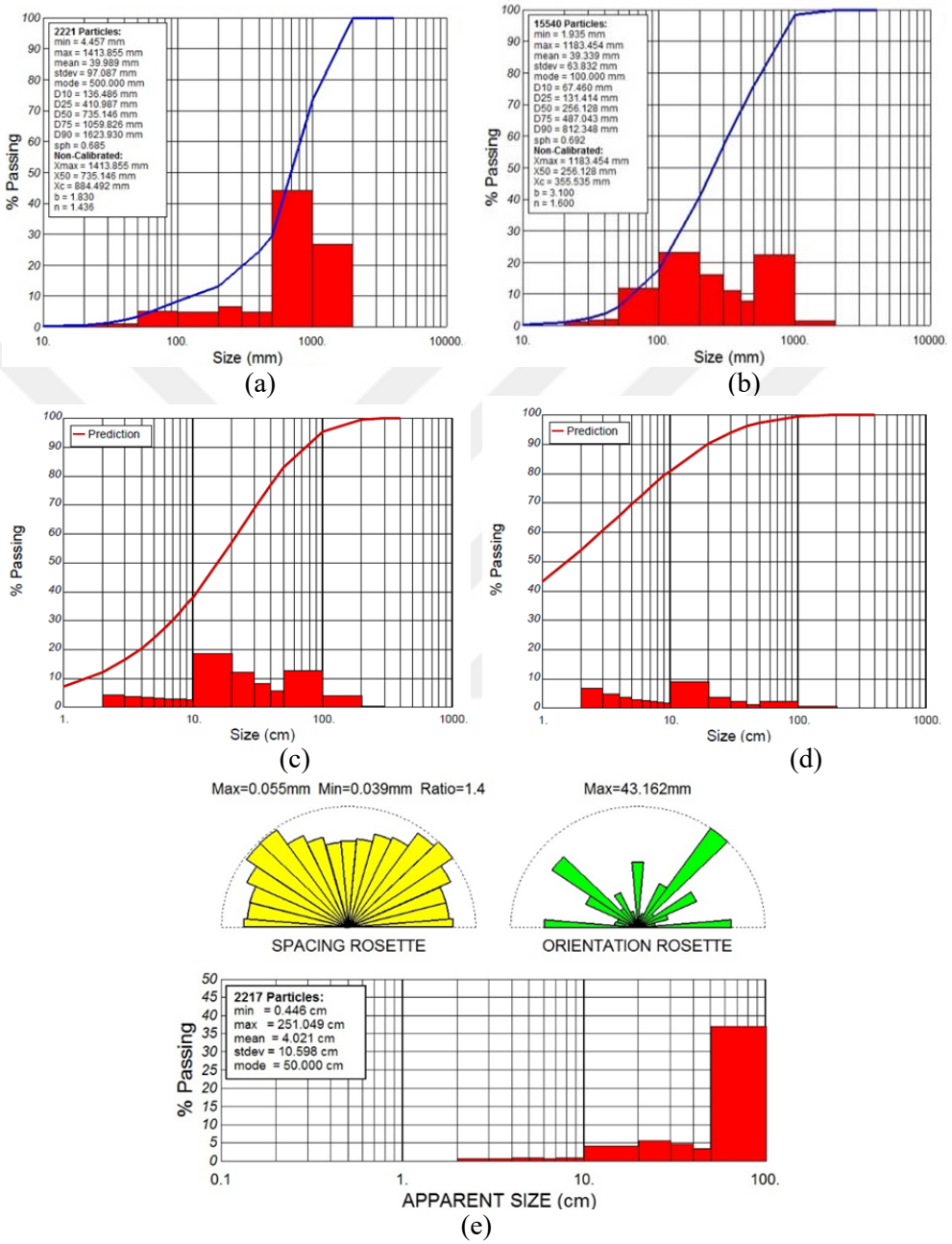
AÇS 23 Atımı Grafikler (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 24



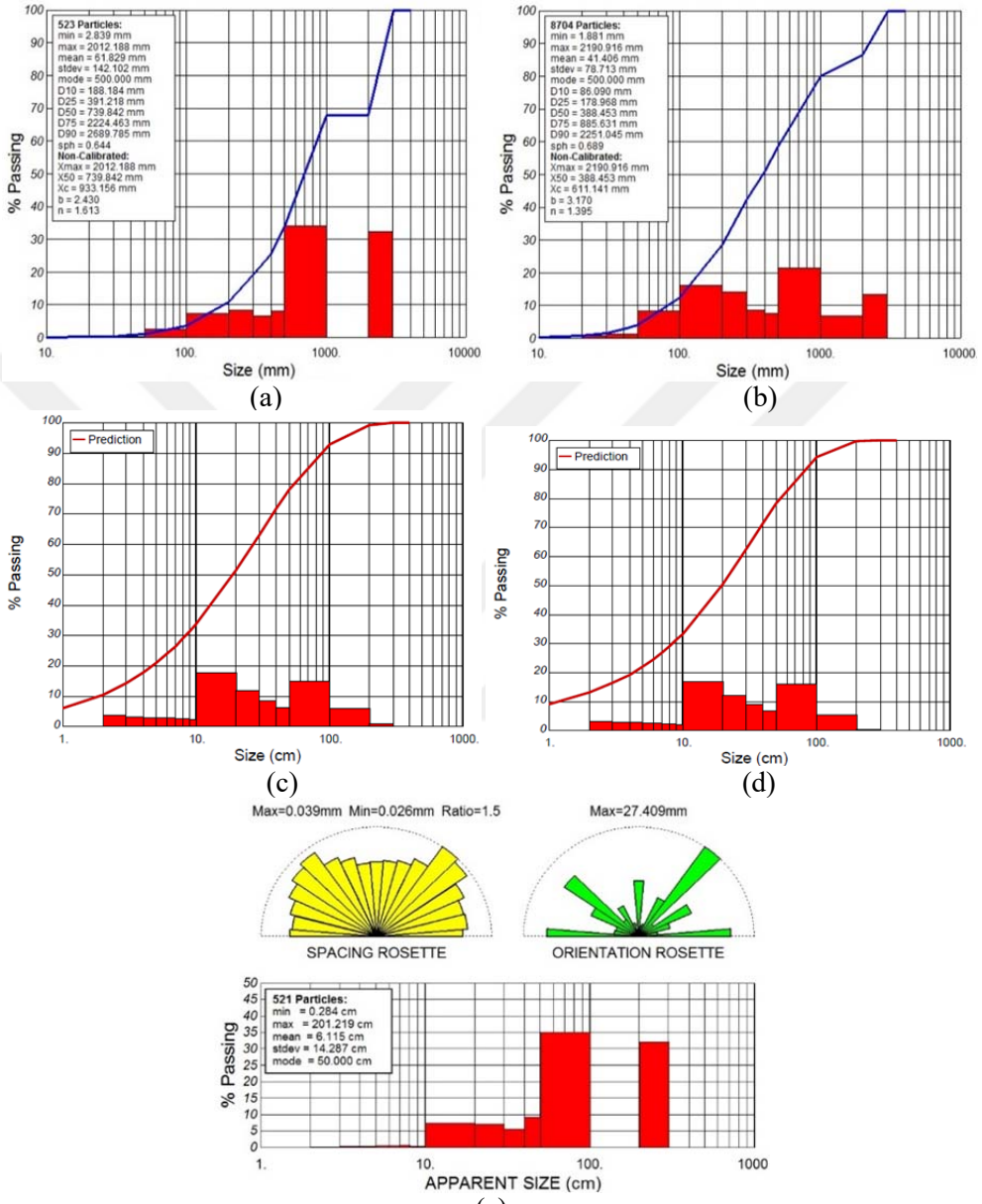
AÇS 24 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 25



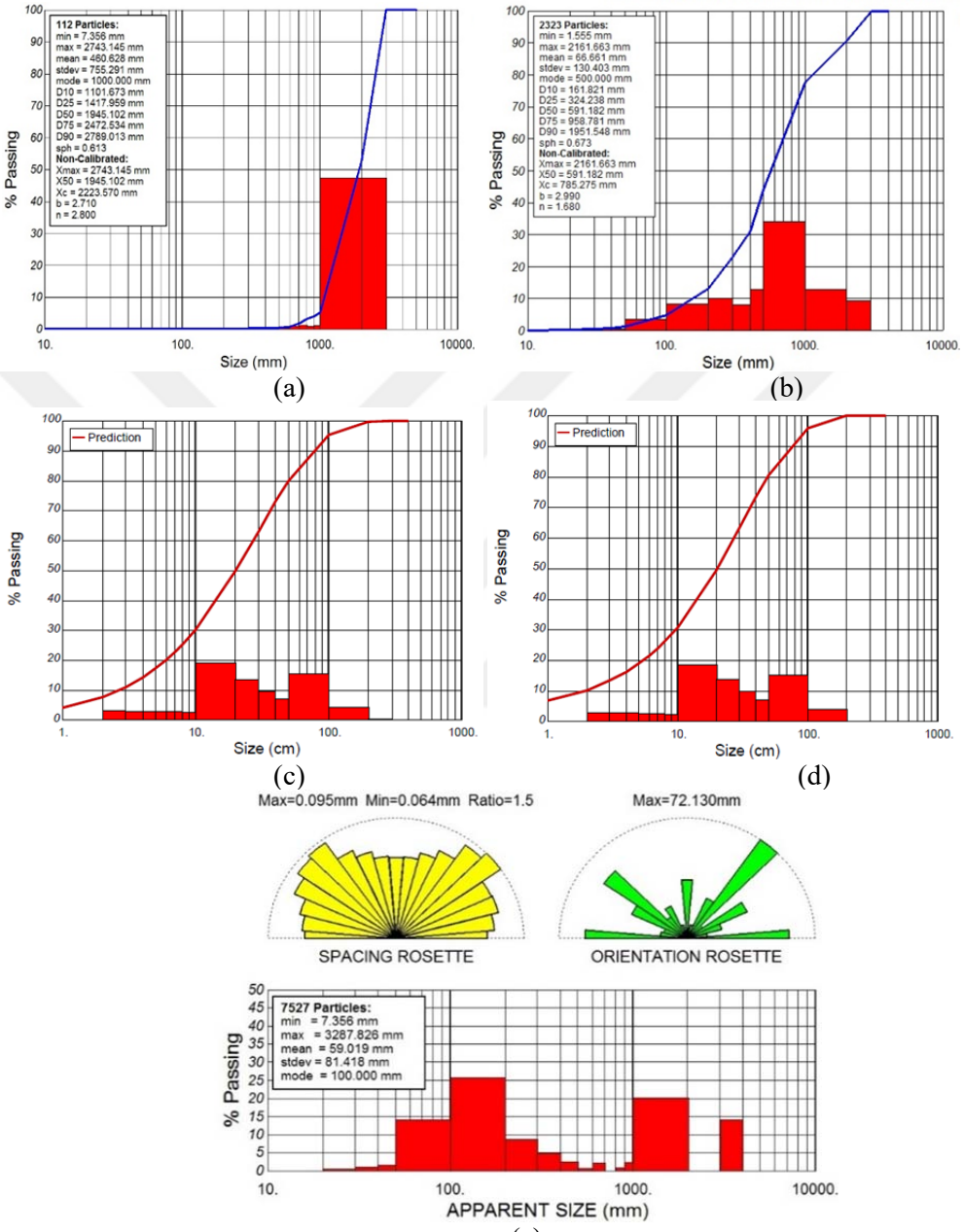
AÇS 25 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 26



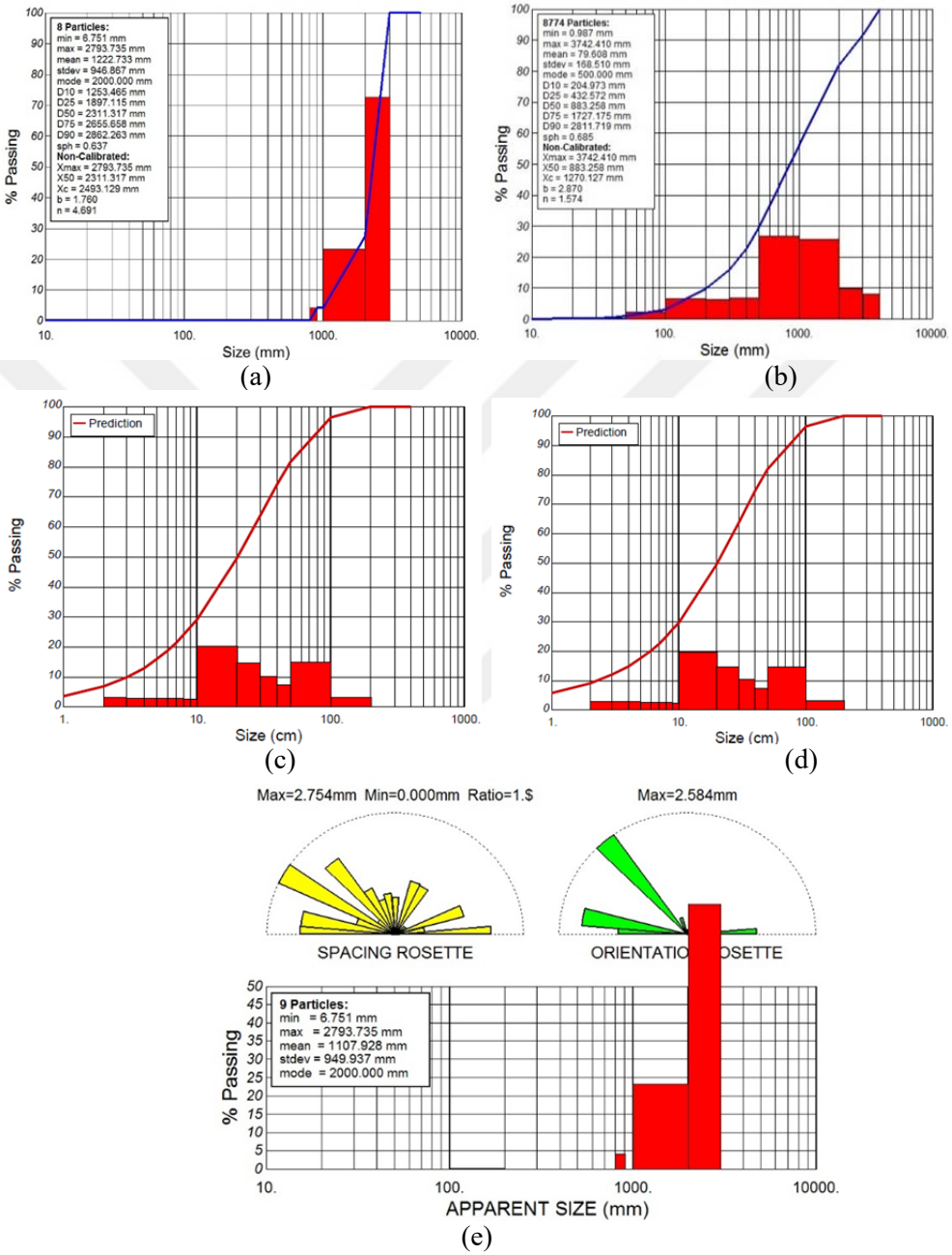
AÇS 26 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 27



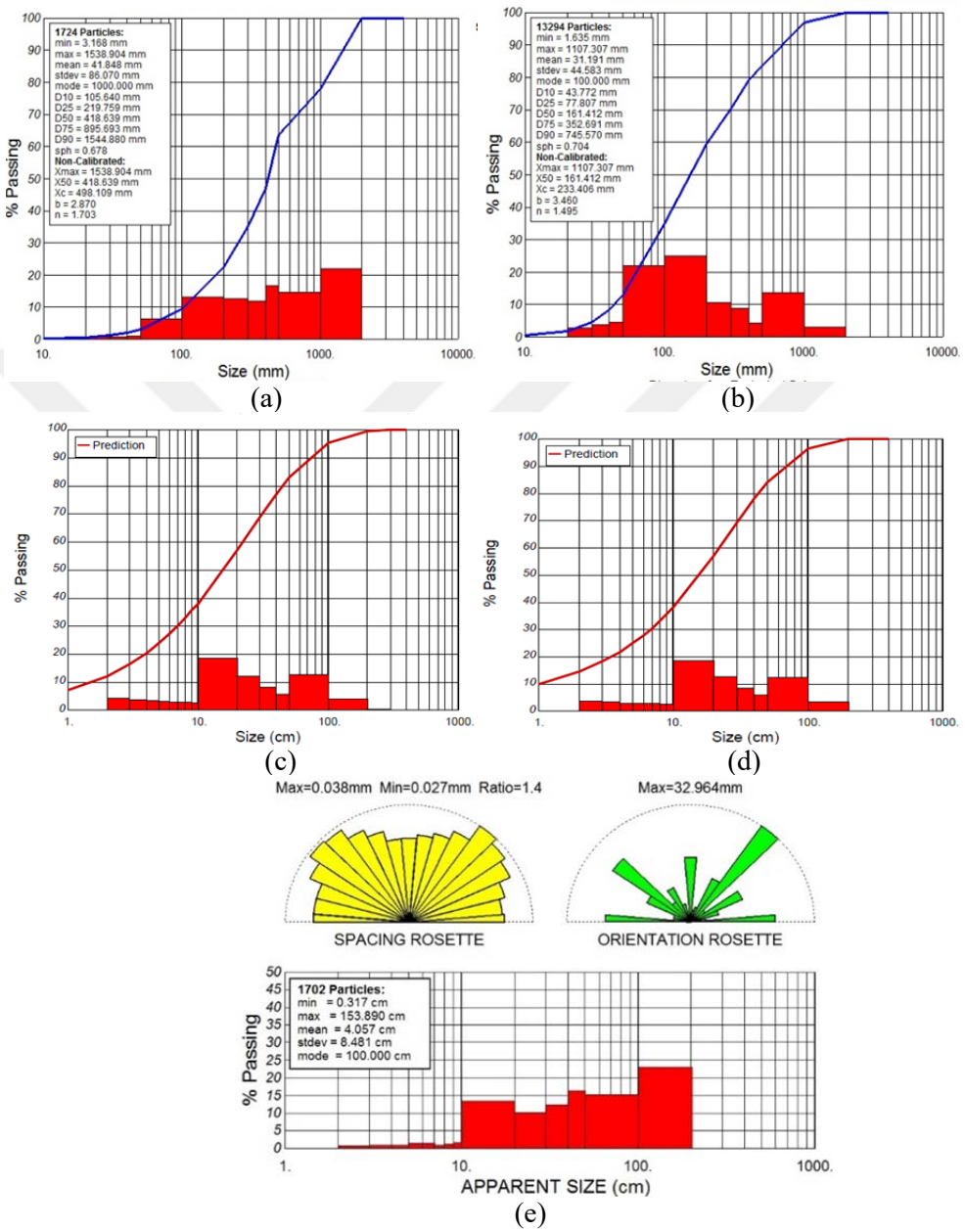
AÇS 27 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 28



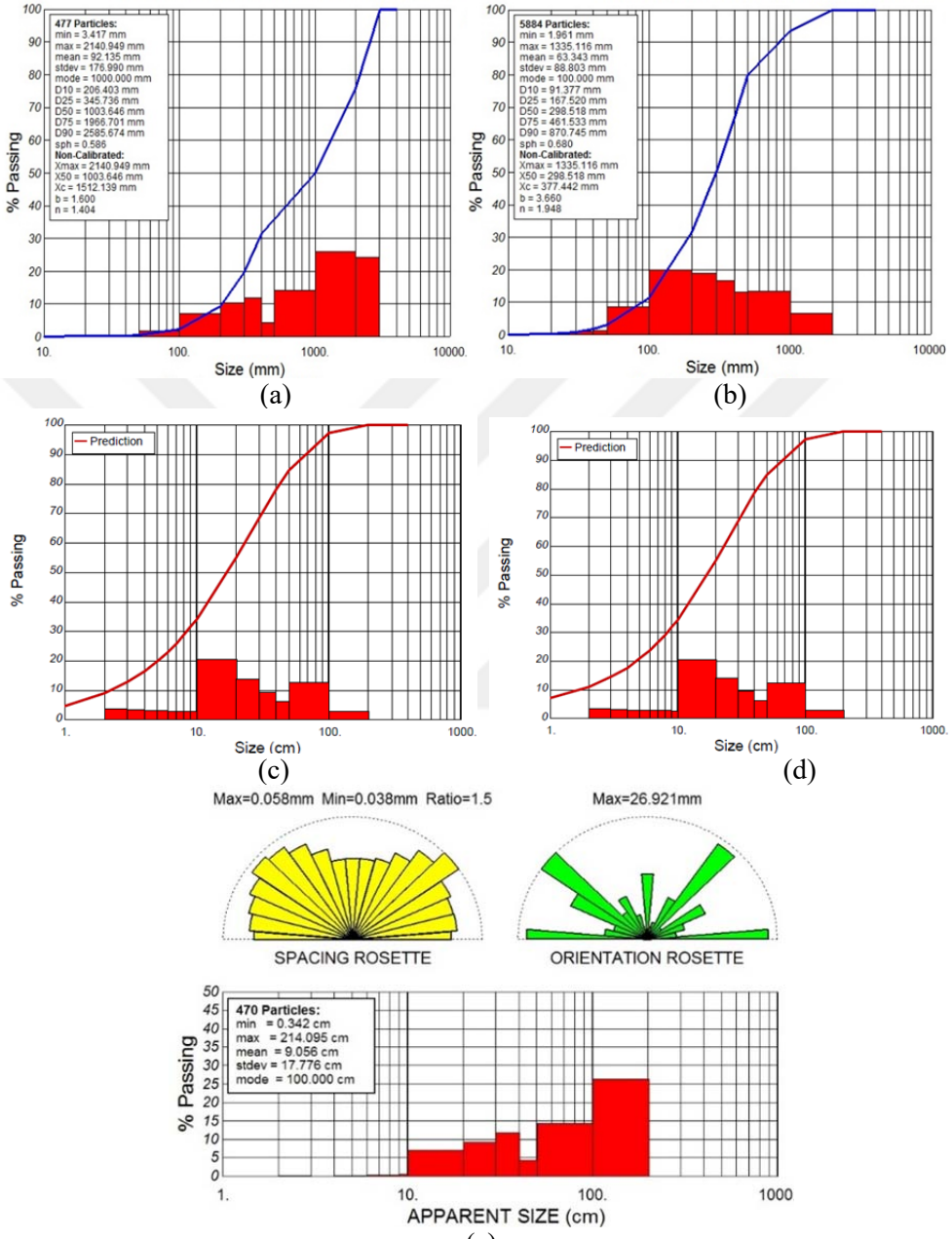
AÇS 28 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 29



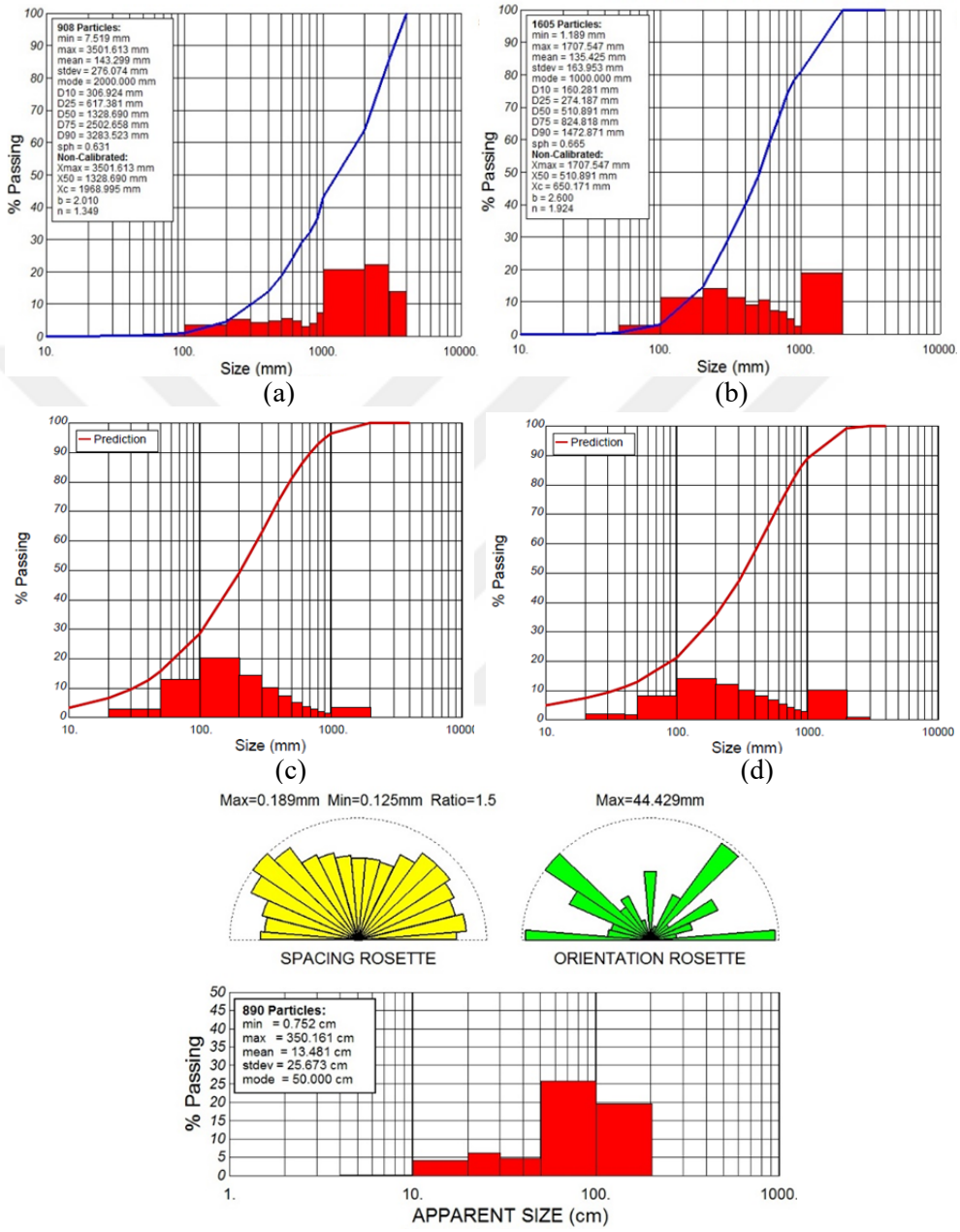
AÇS 29 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 30



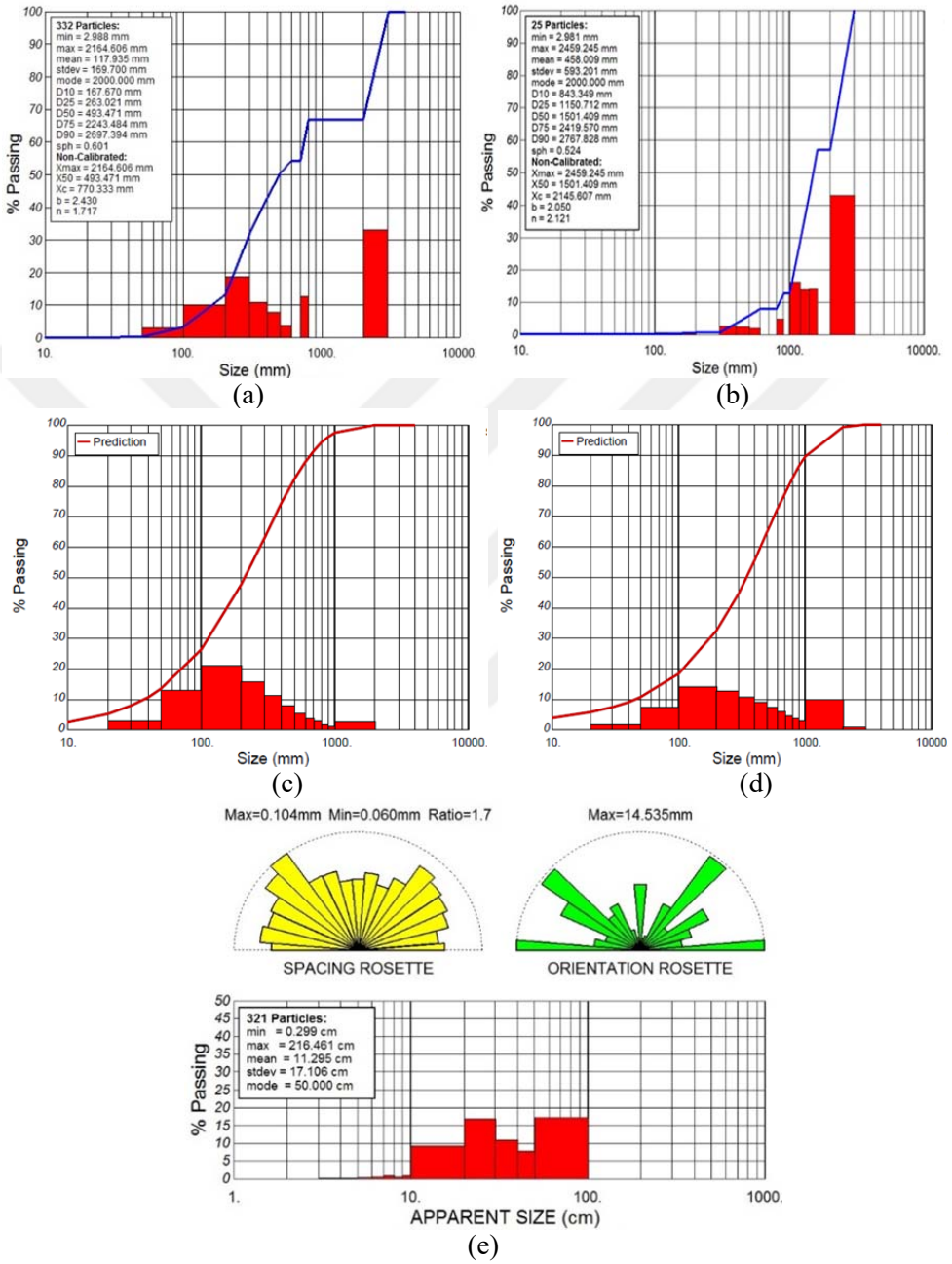
AÇS 30 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 31



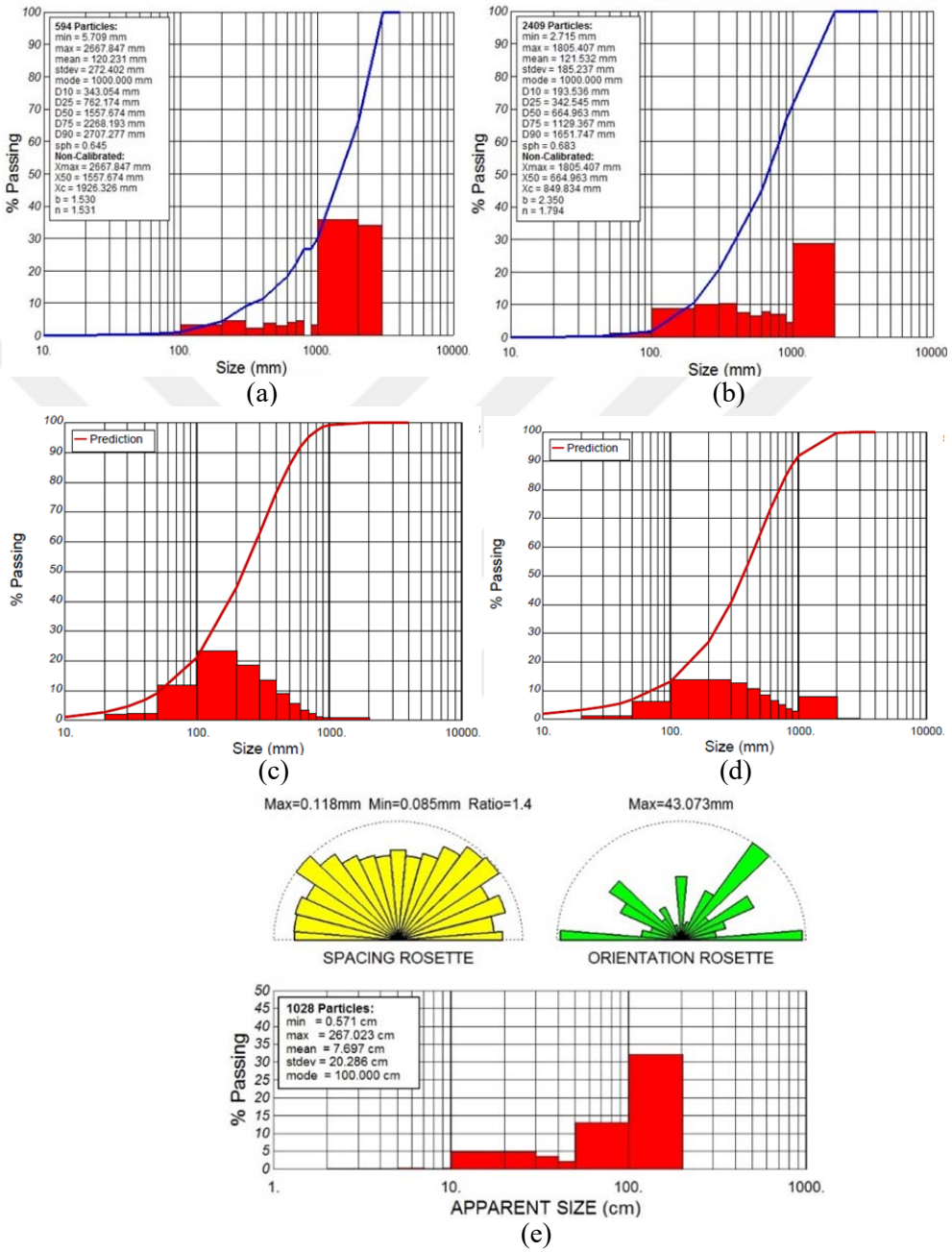
SODA 1 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 32



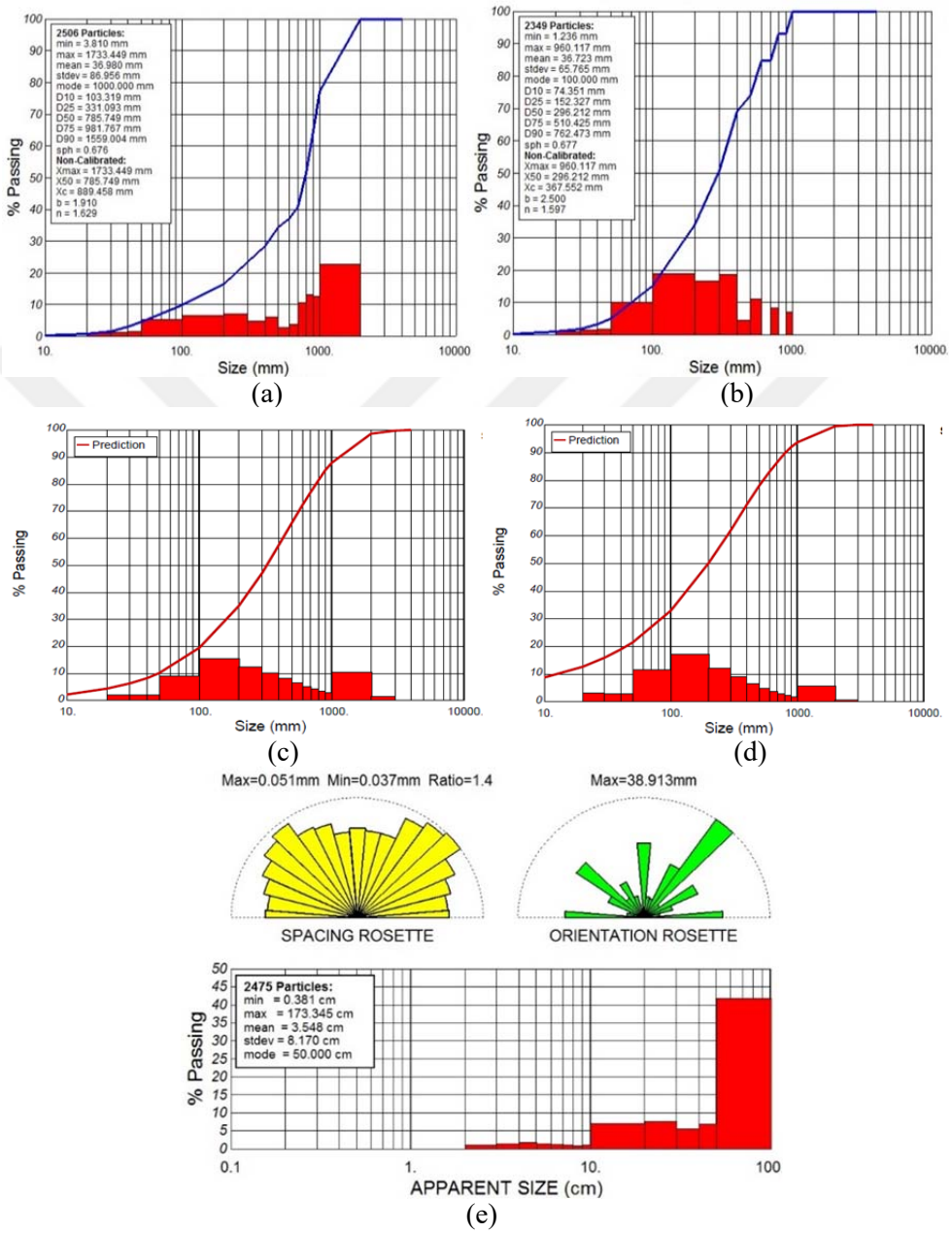
SODA 2 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 33



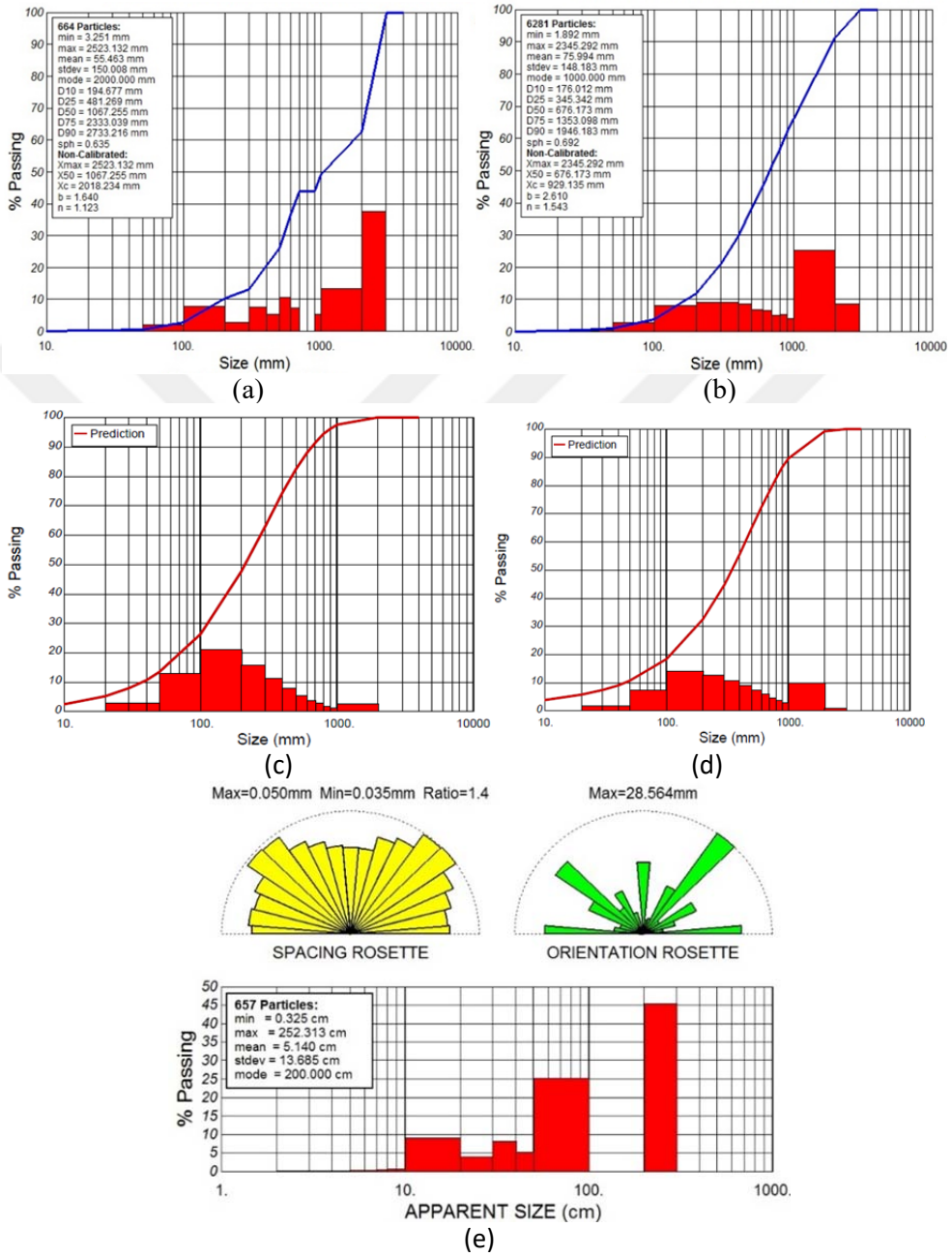
SODA 3 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 34



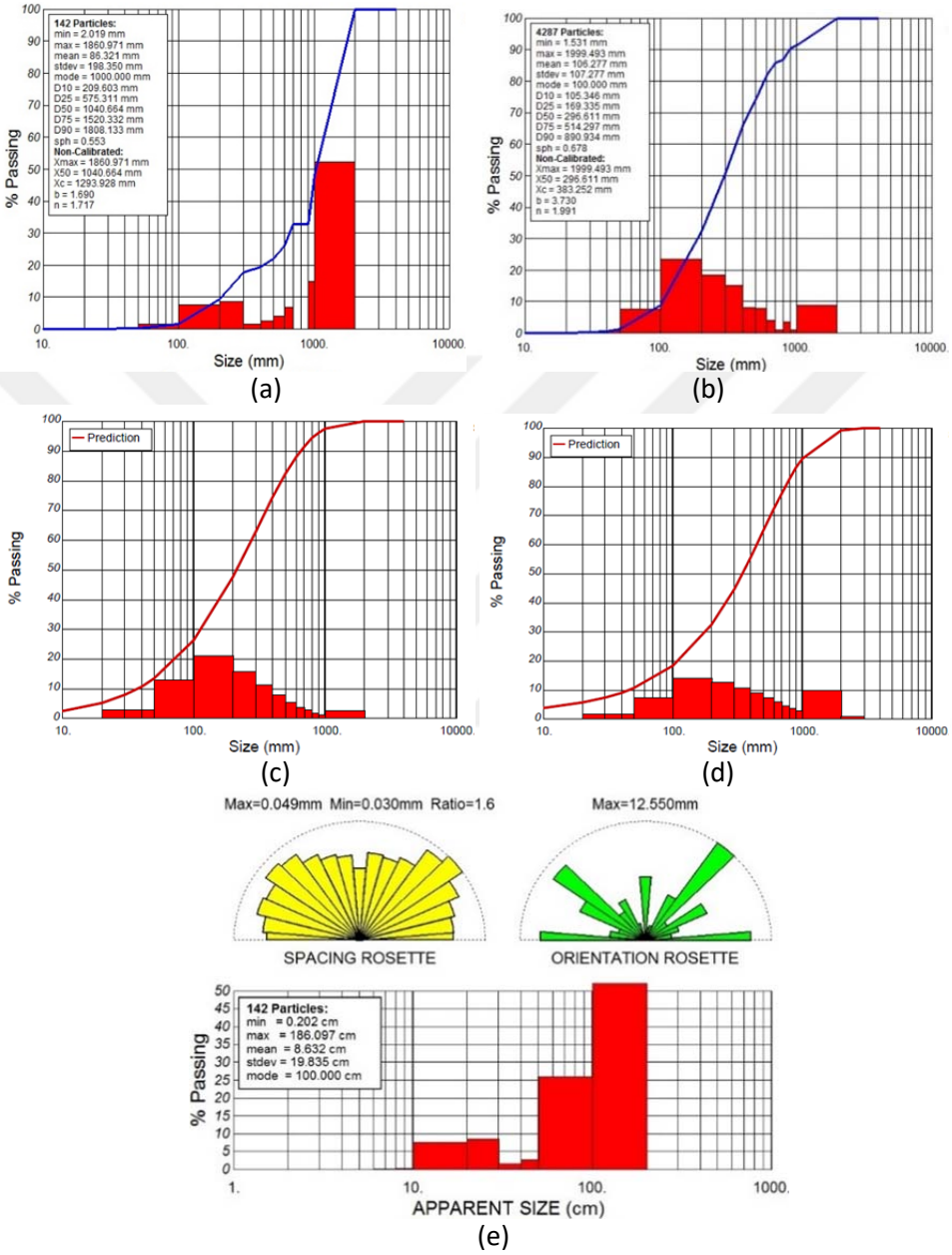
SODA 4 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 35



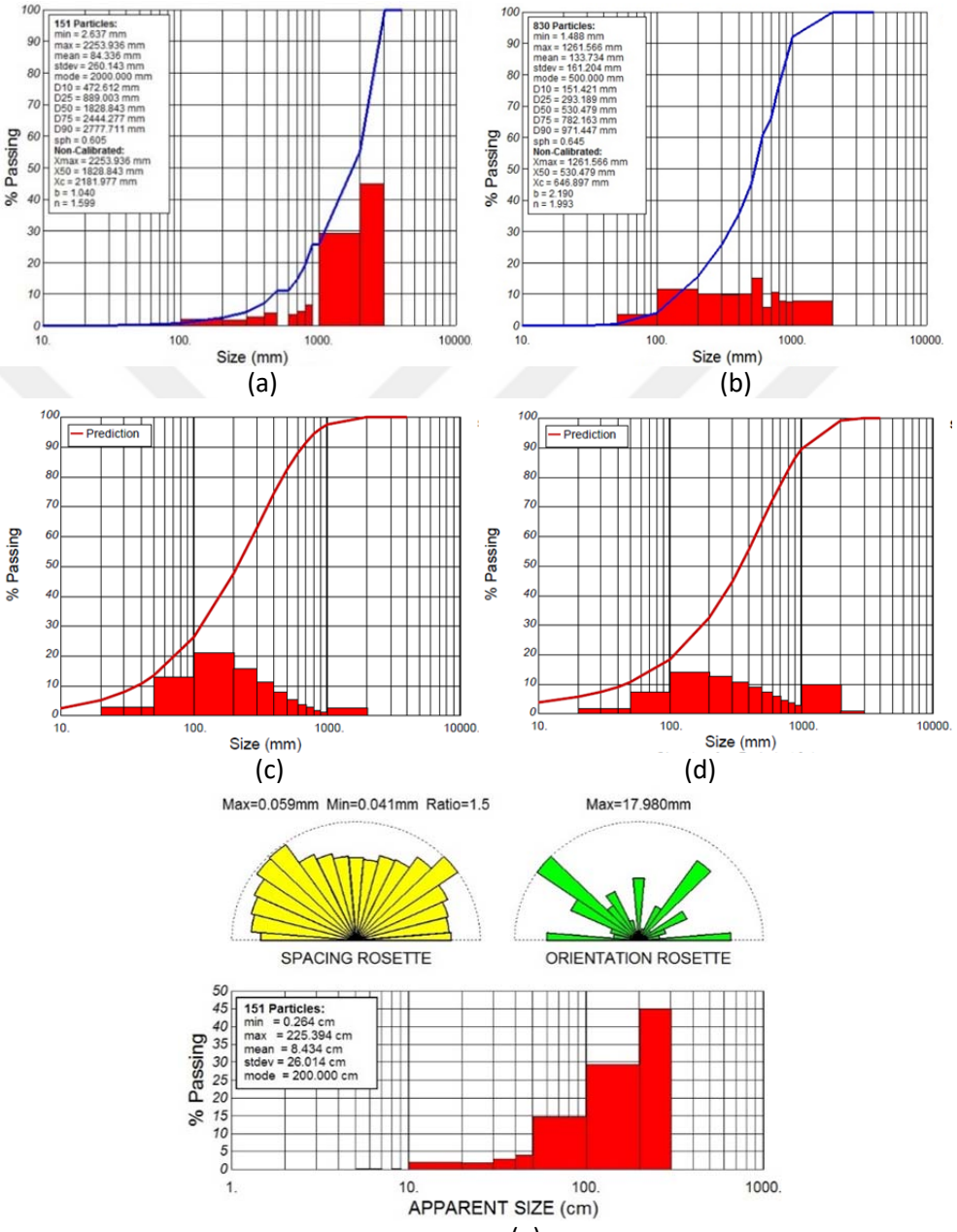
SODA 5 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 36



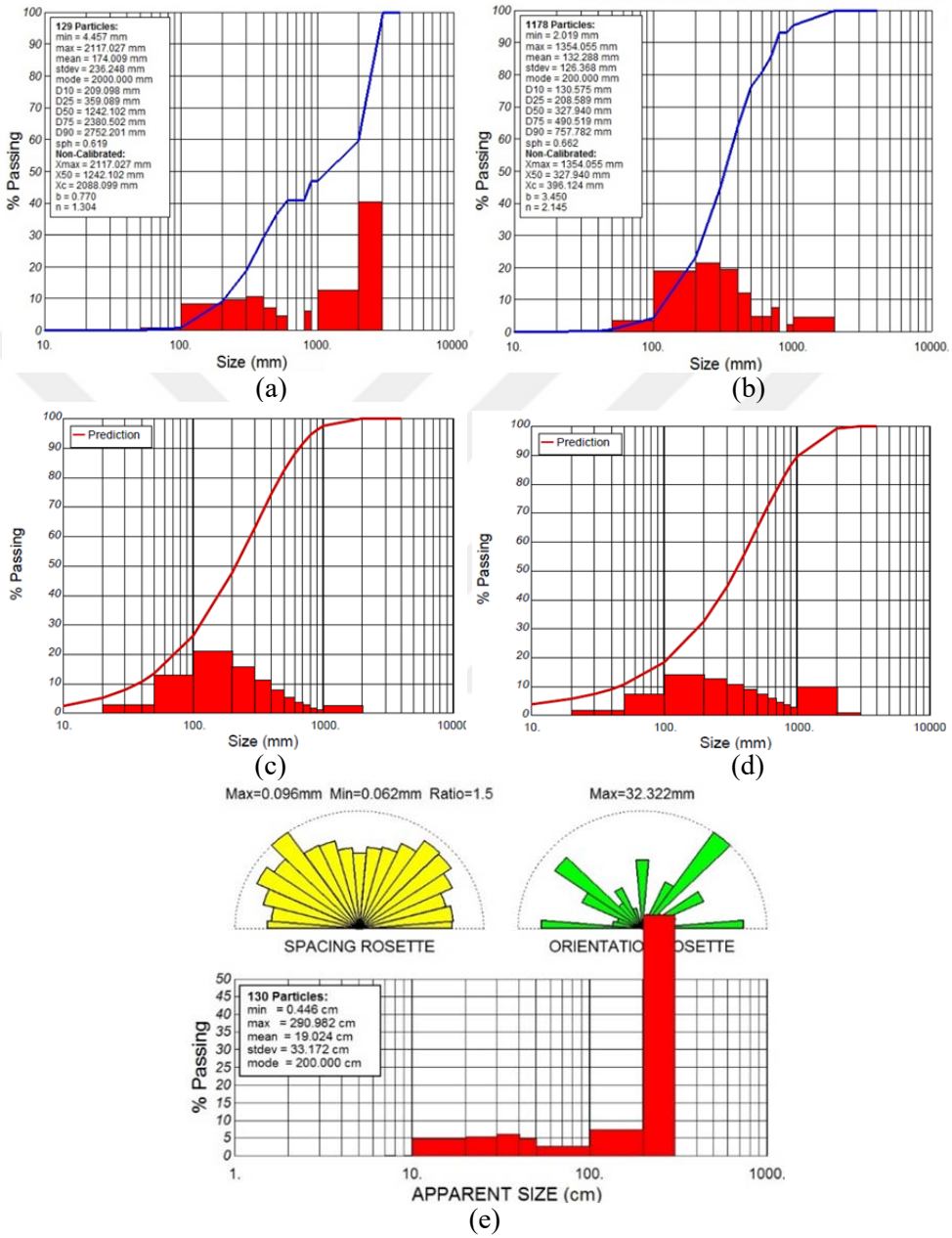
SODA 6 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 37



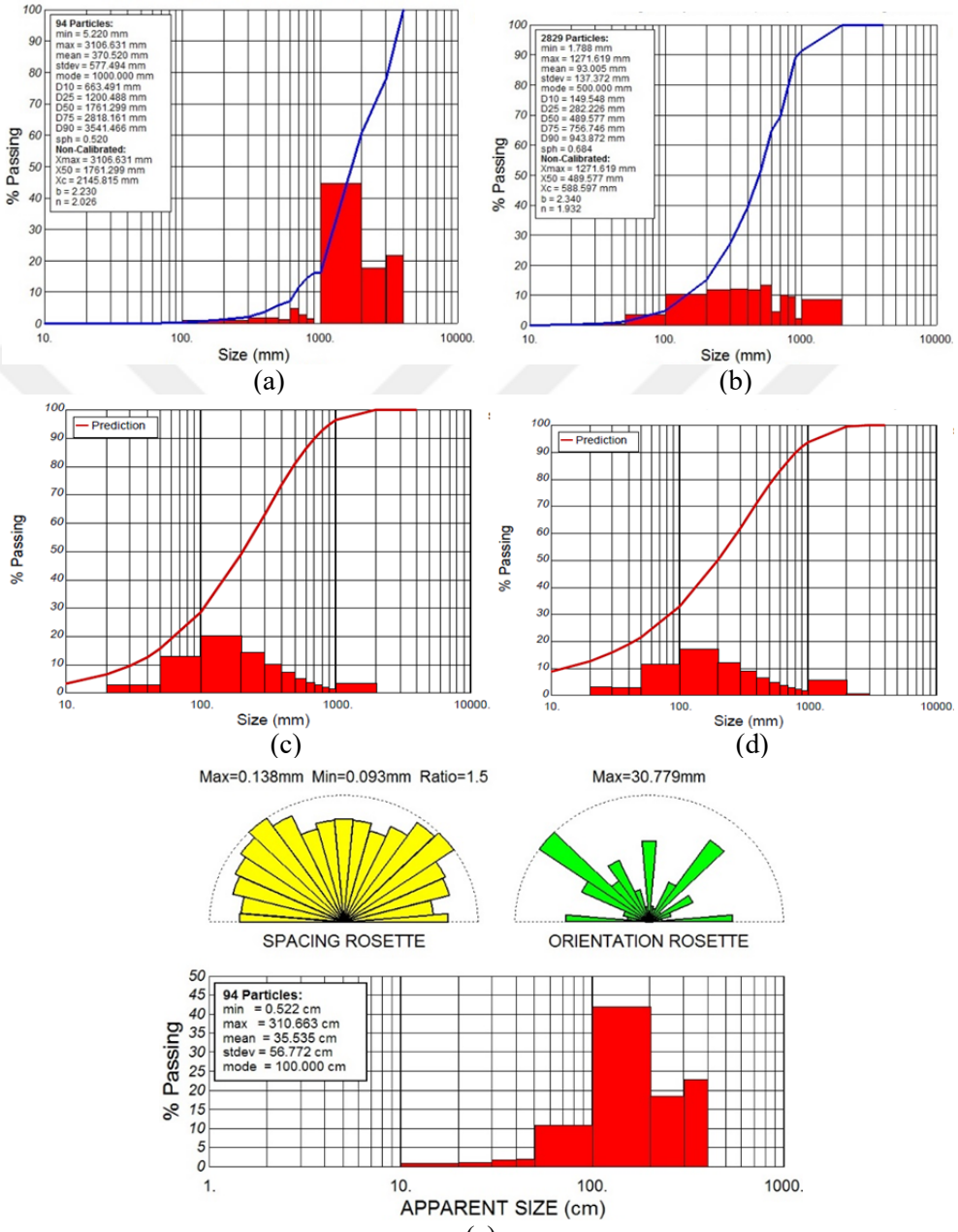
SODA 7 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 38



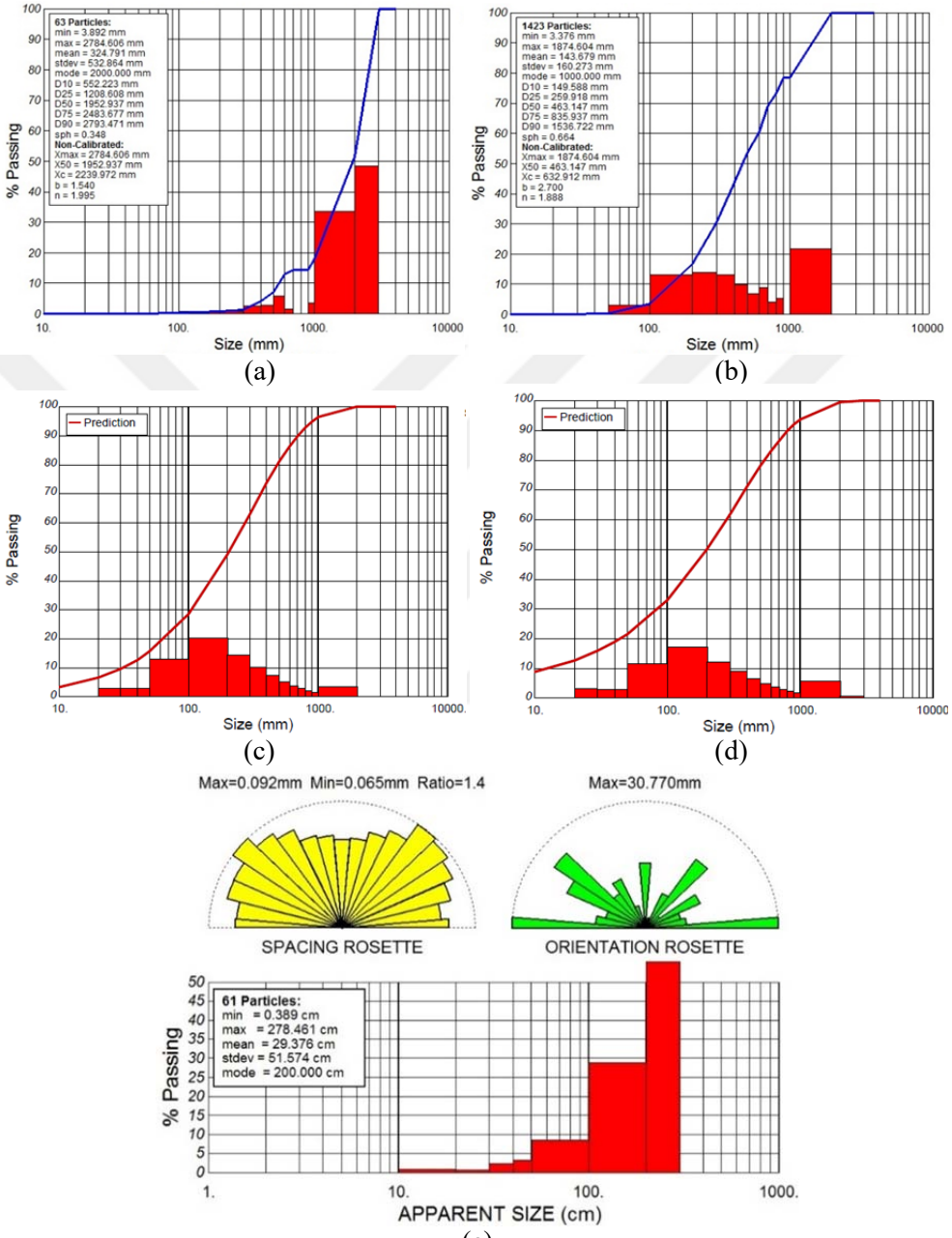
SODA 8 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 39



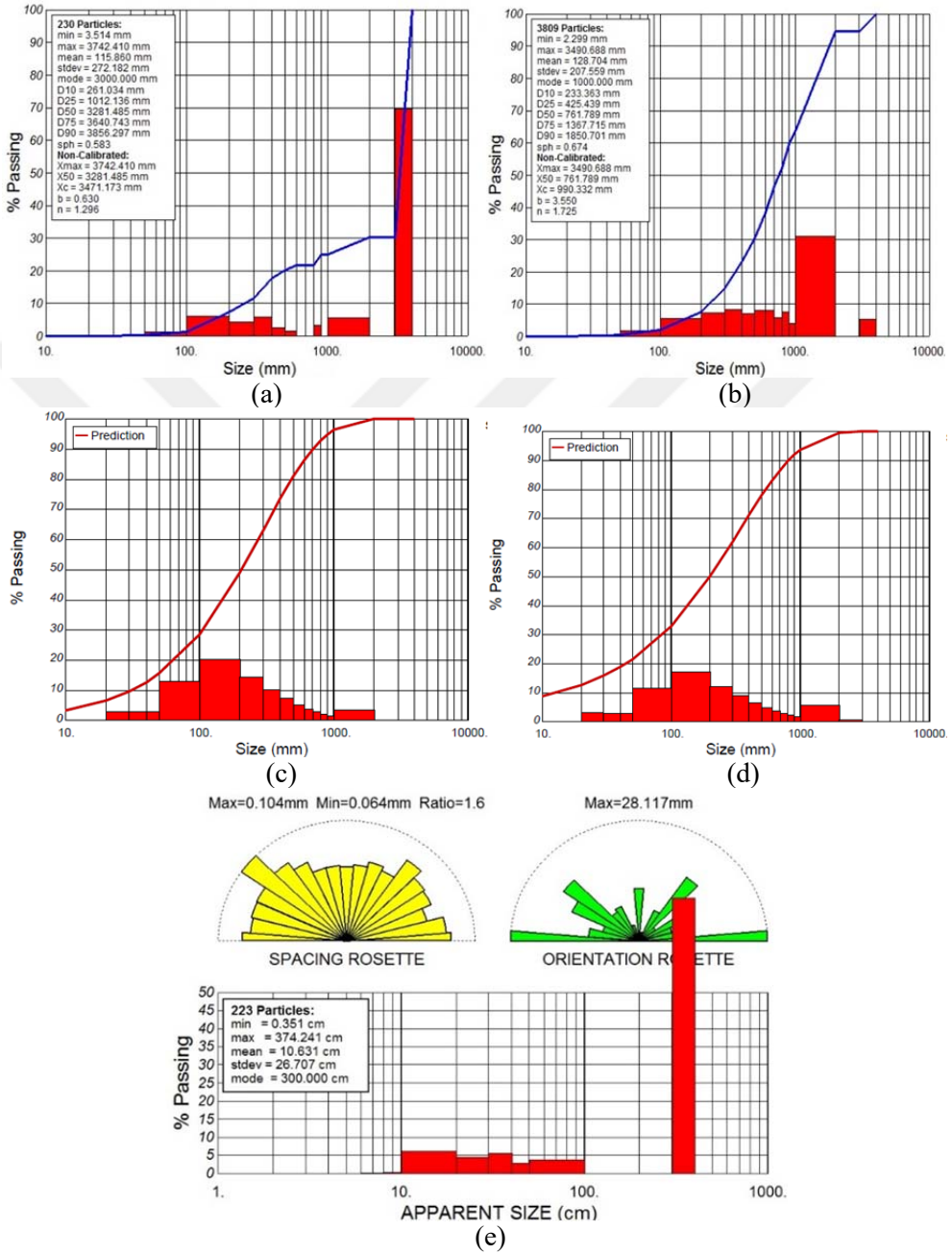
SODA 9 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 40



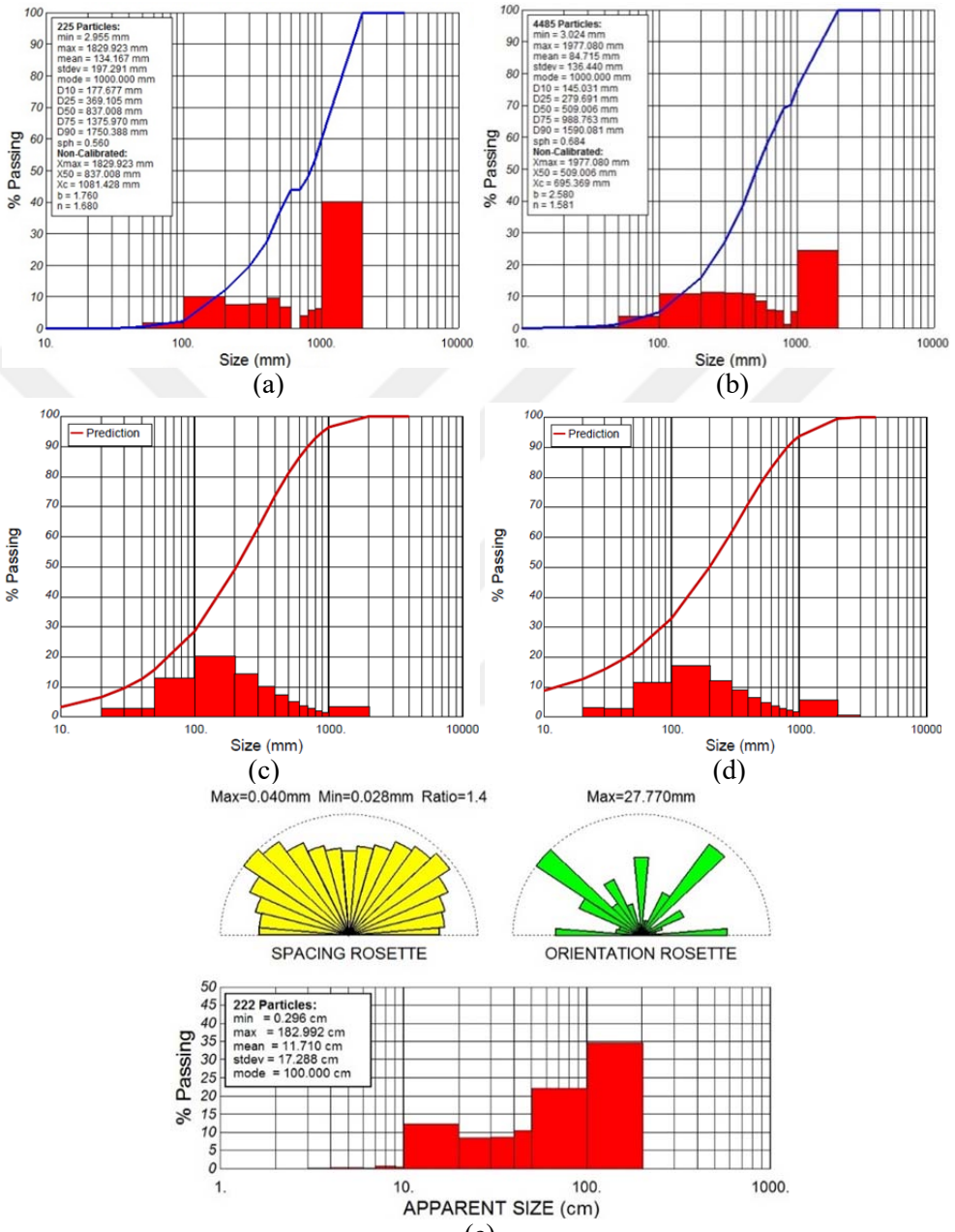
SODA 10 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 41



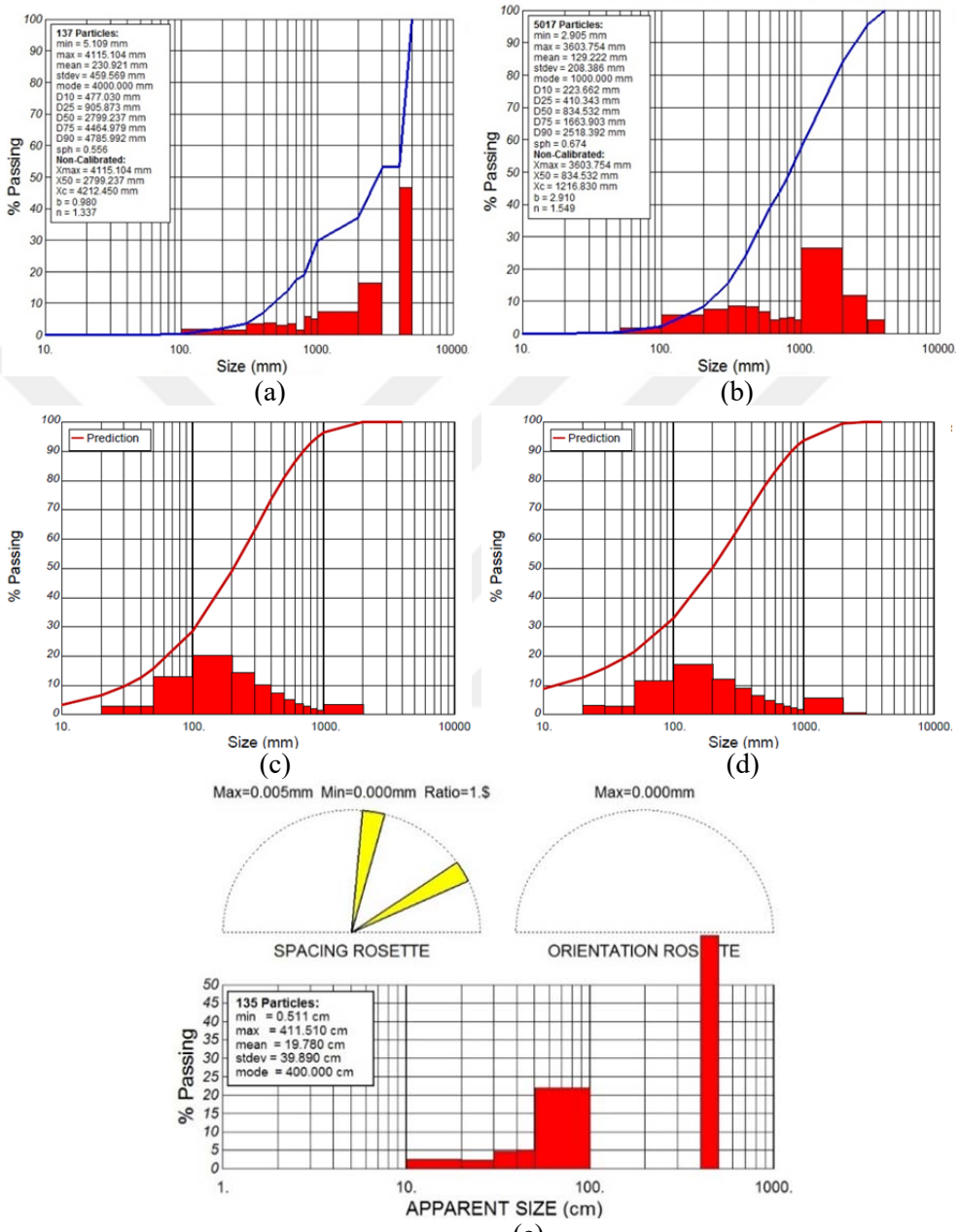
SODA 11 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 42



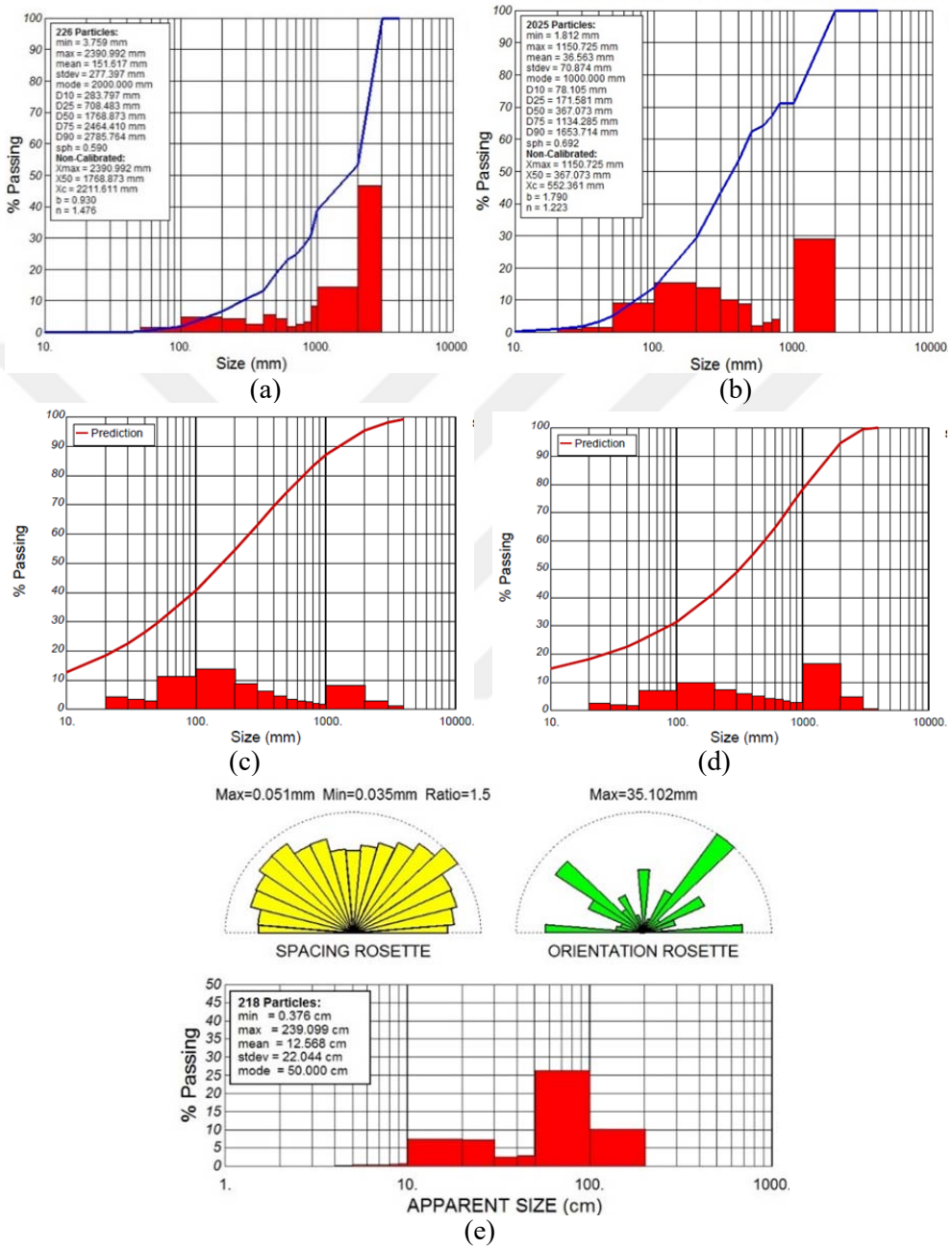
SODA 12 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 43



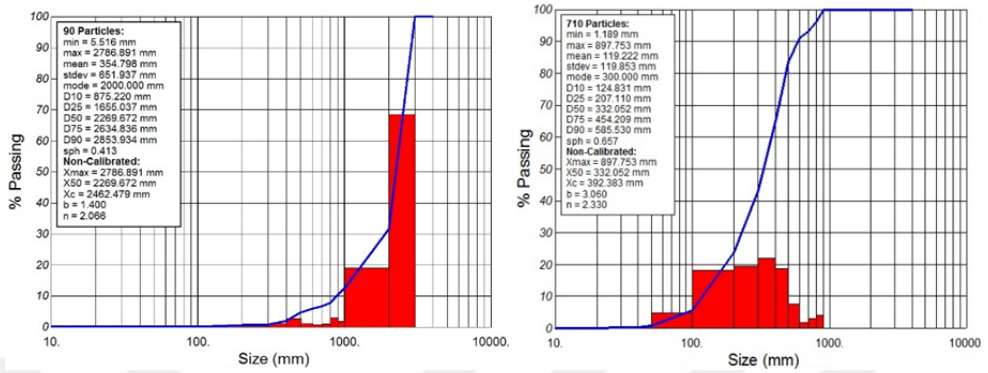
SODA 13 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

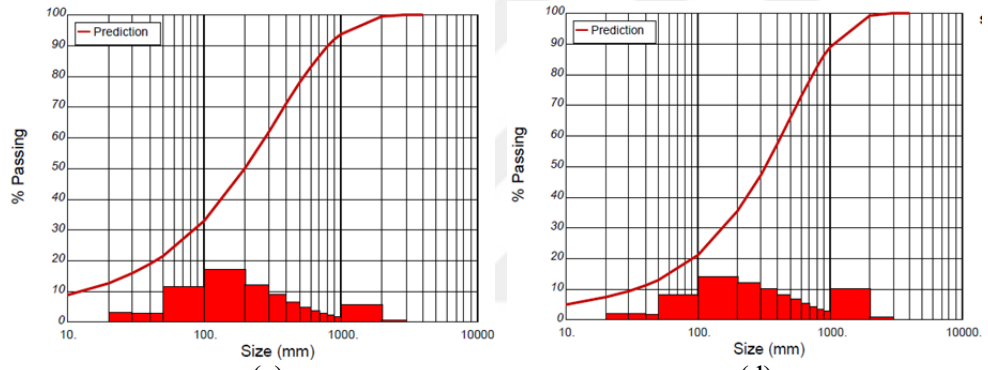
EK 44

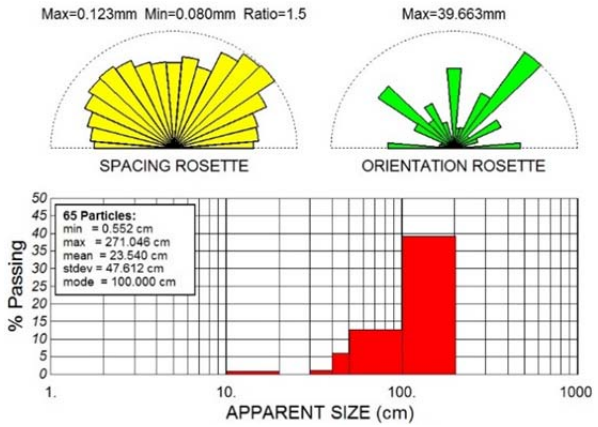


SODA 14 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 45

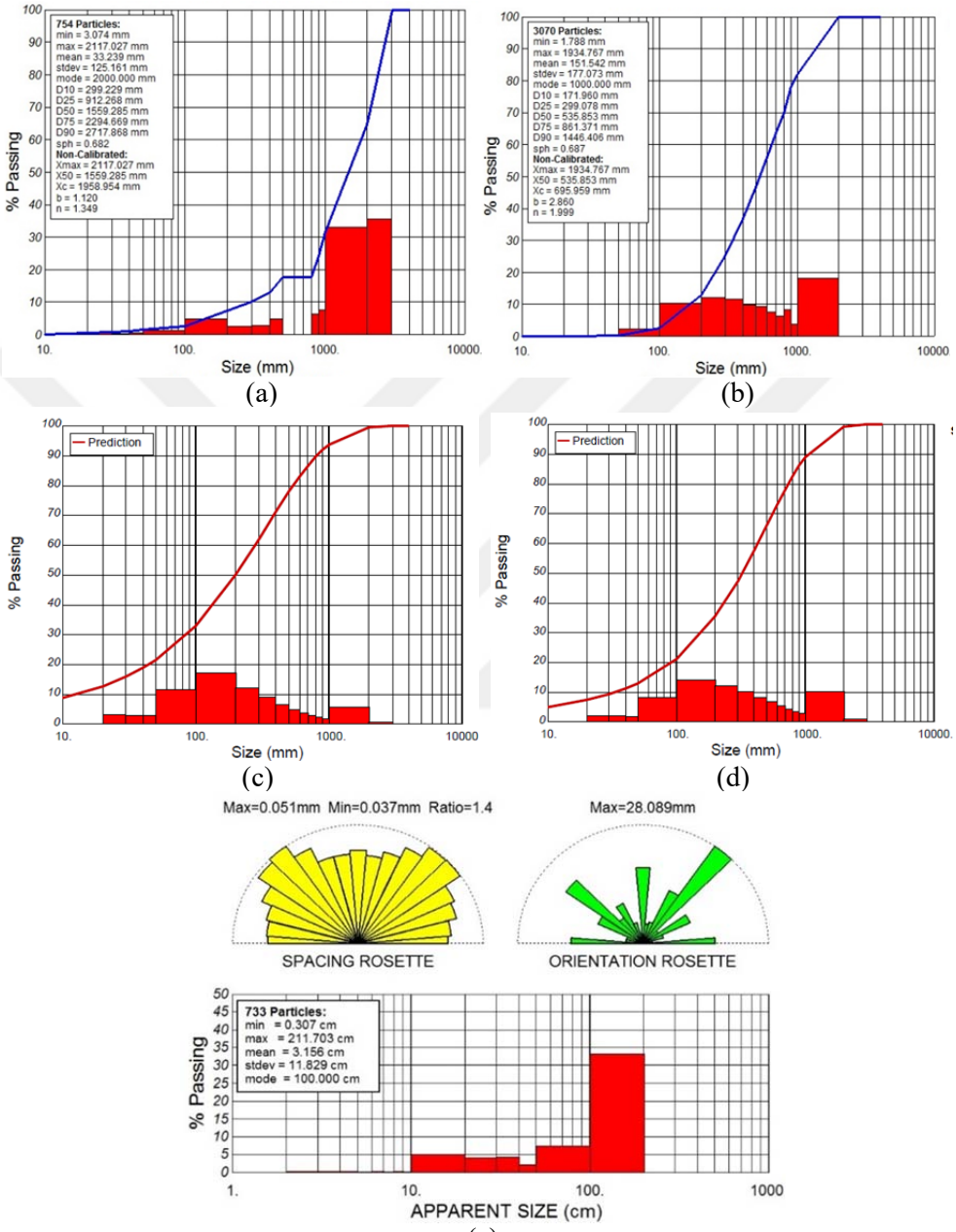






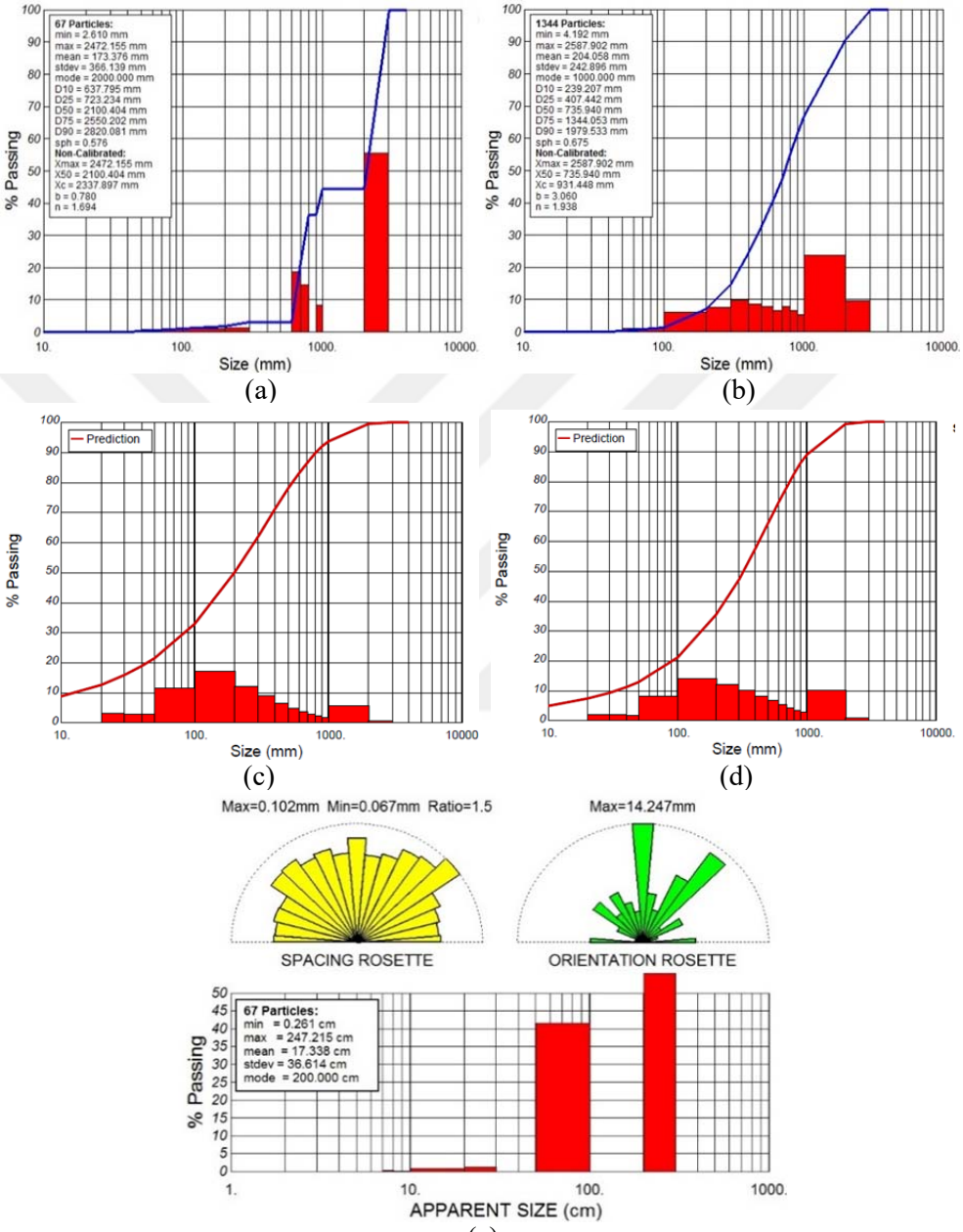
SODA 15 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 46



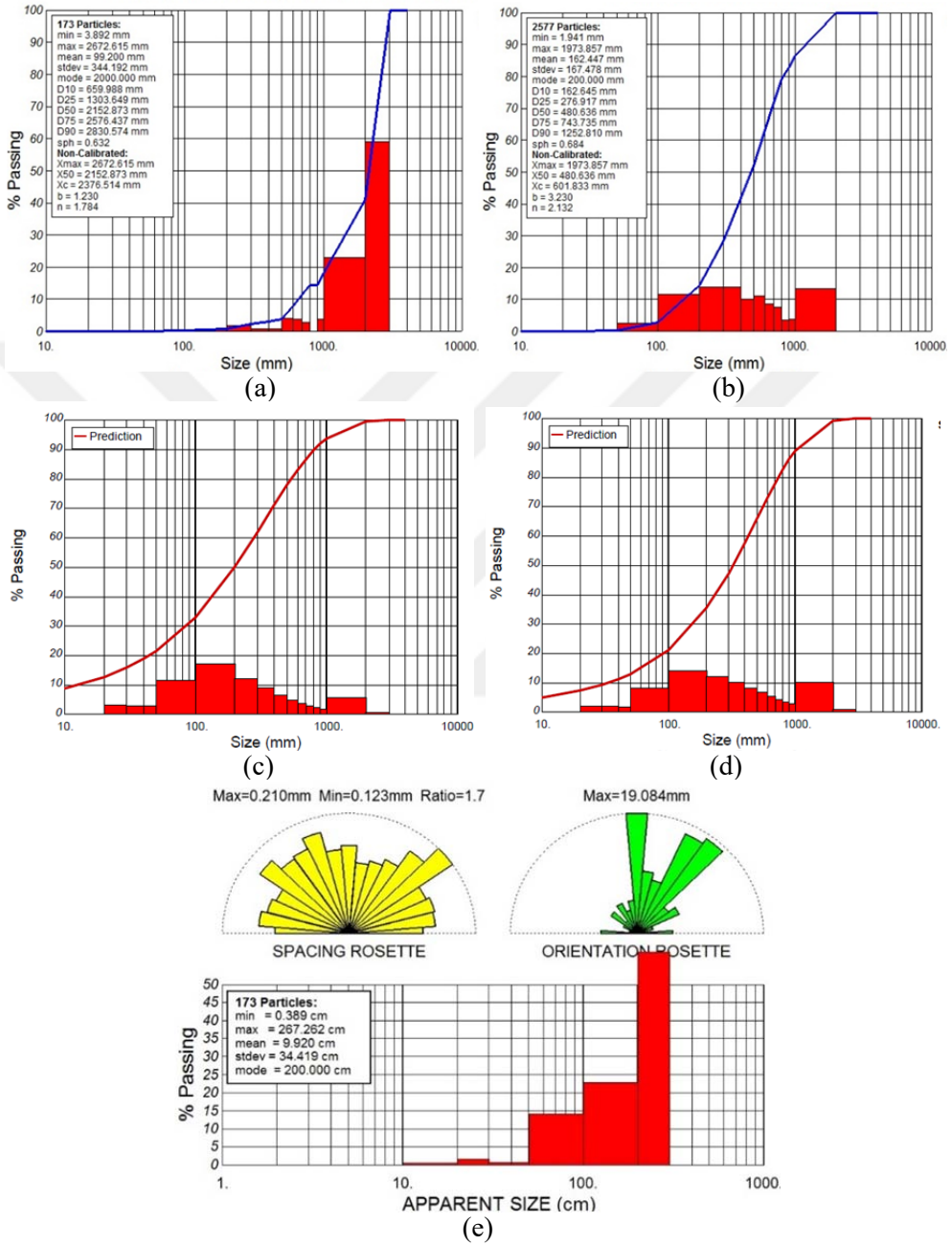
SODA 16 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 47



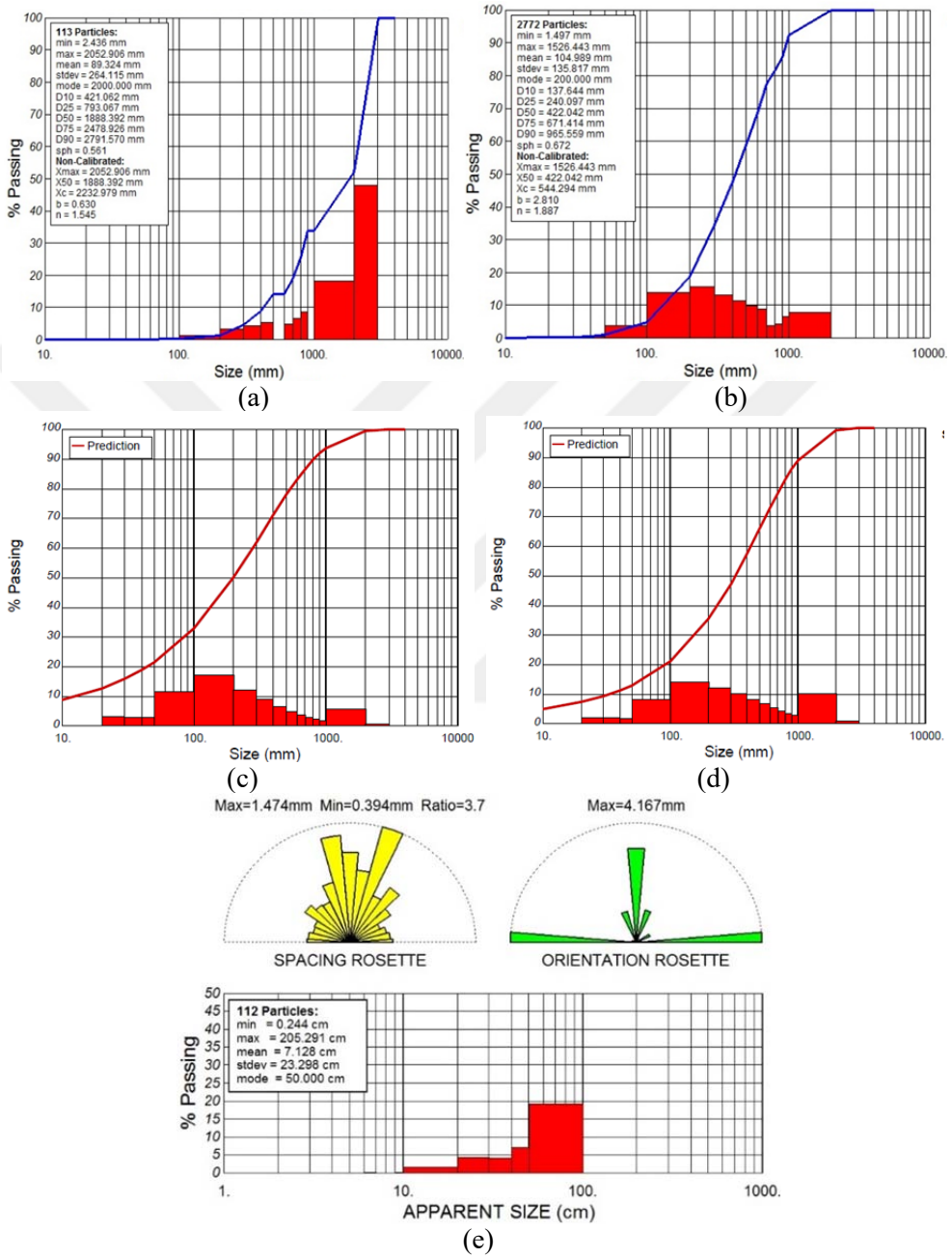
SODA 17 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 48



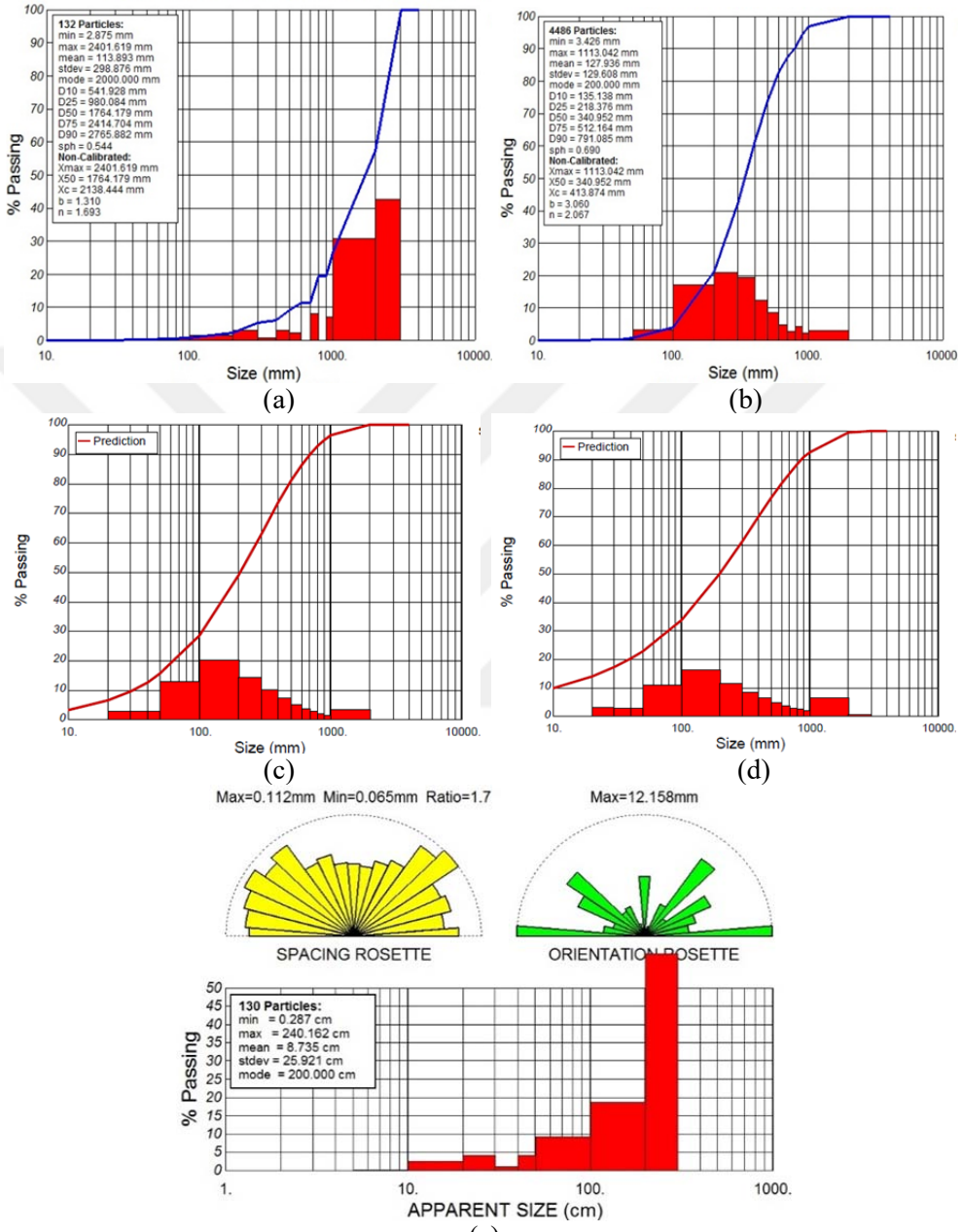
SODA 18 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 49



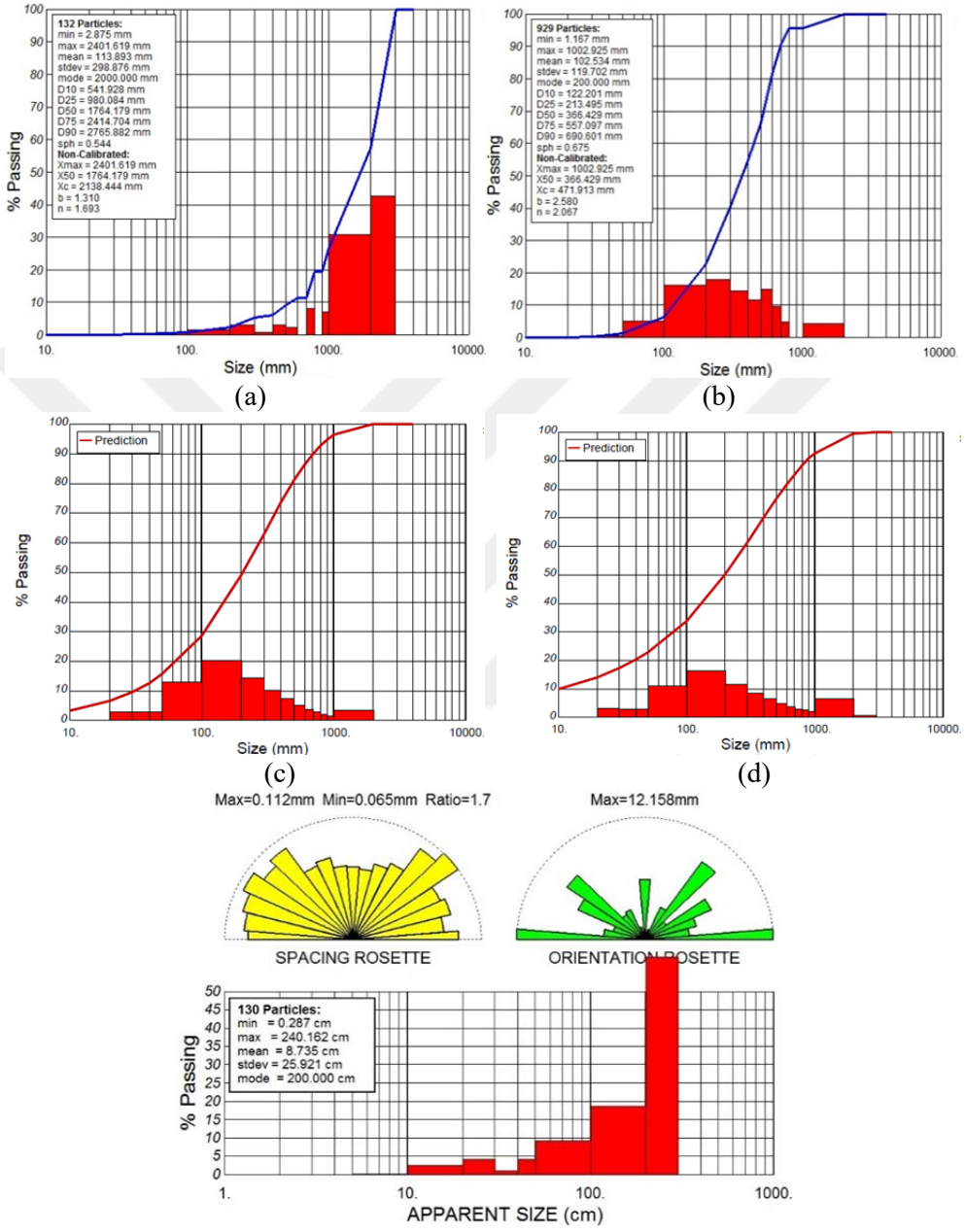
SODA 19 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 50



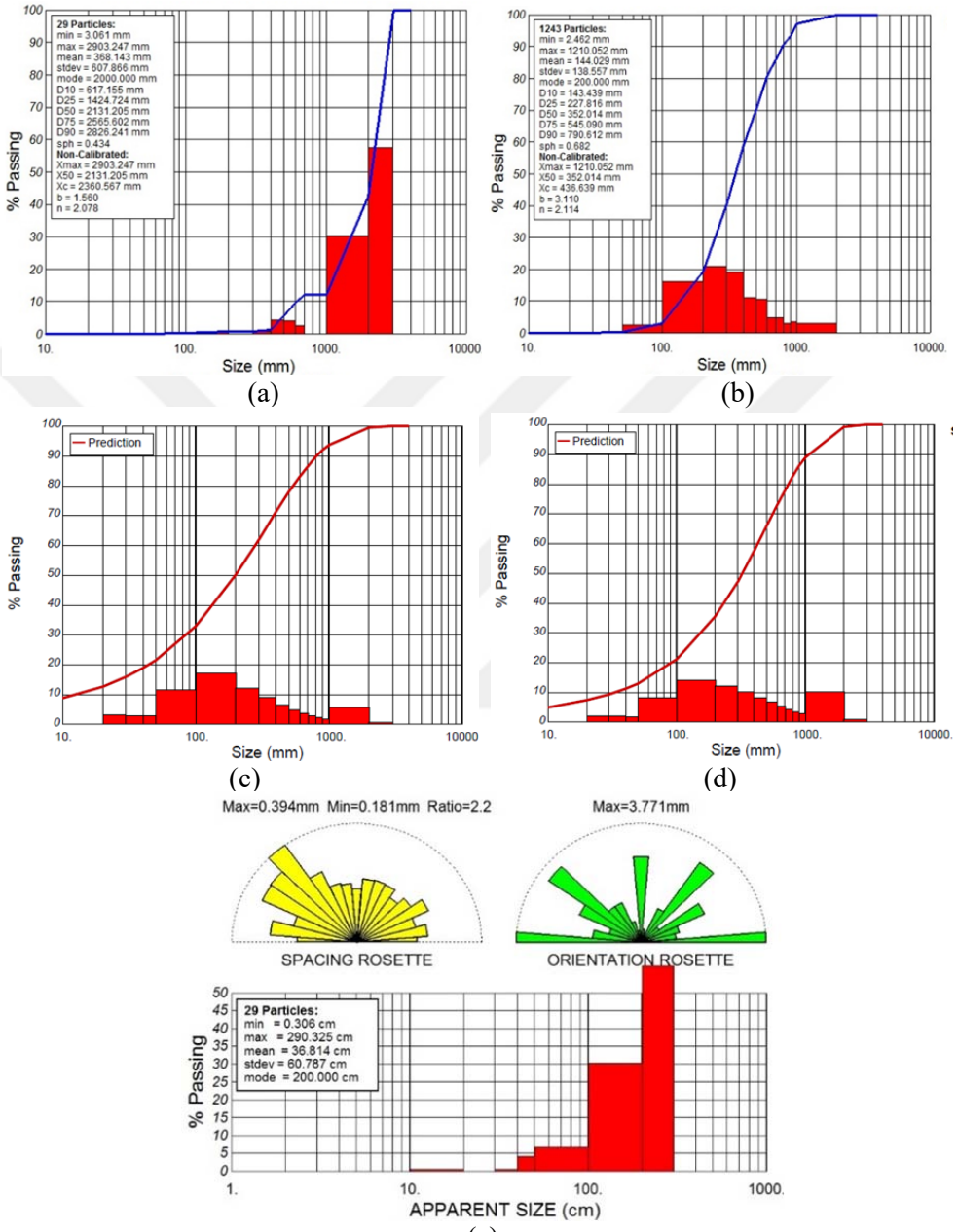
SODA 20 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 51



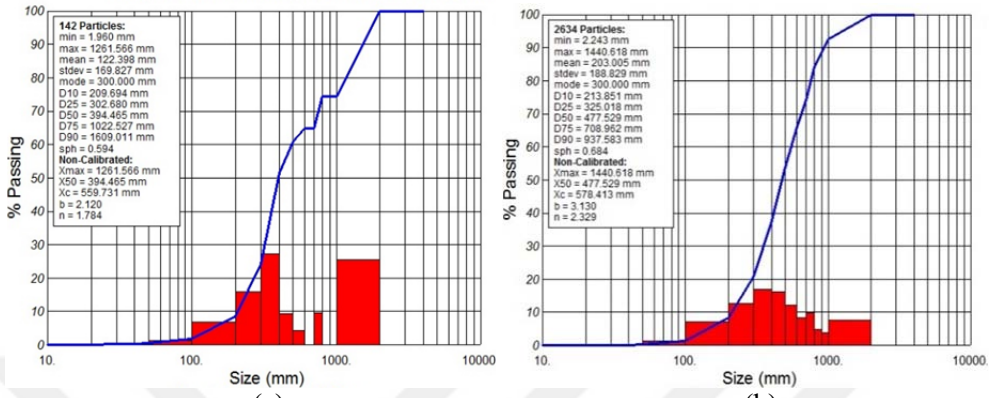
SODA 21 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 52



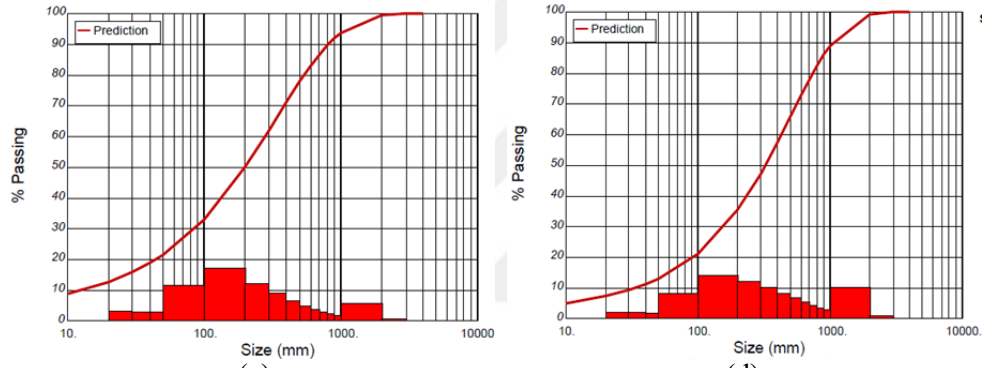
SODA 22 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 53



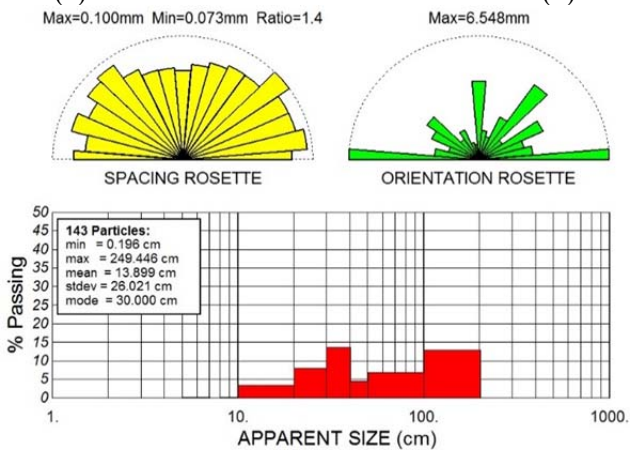
(a)

(b)



(c)

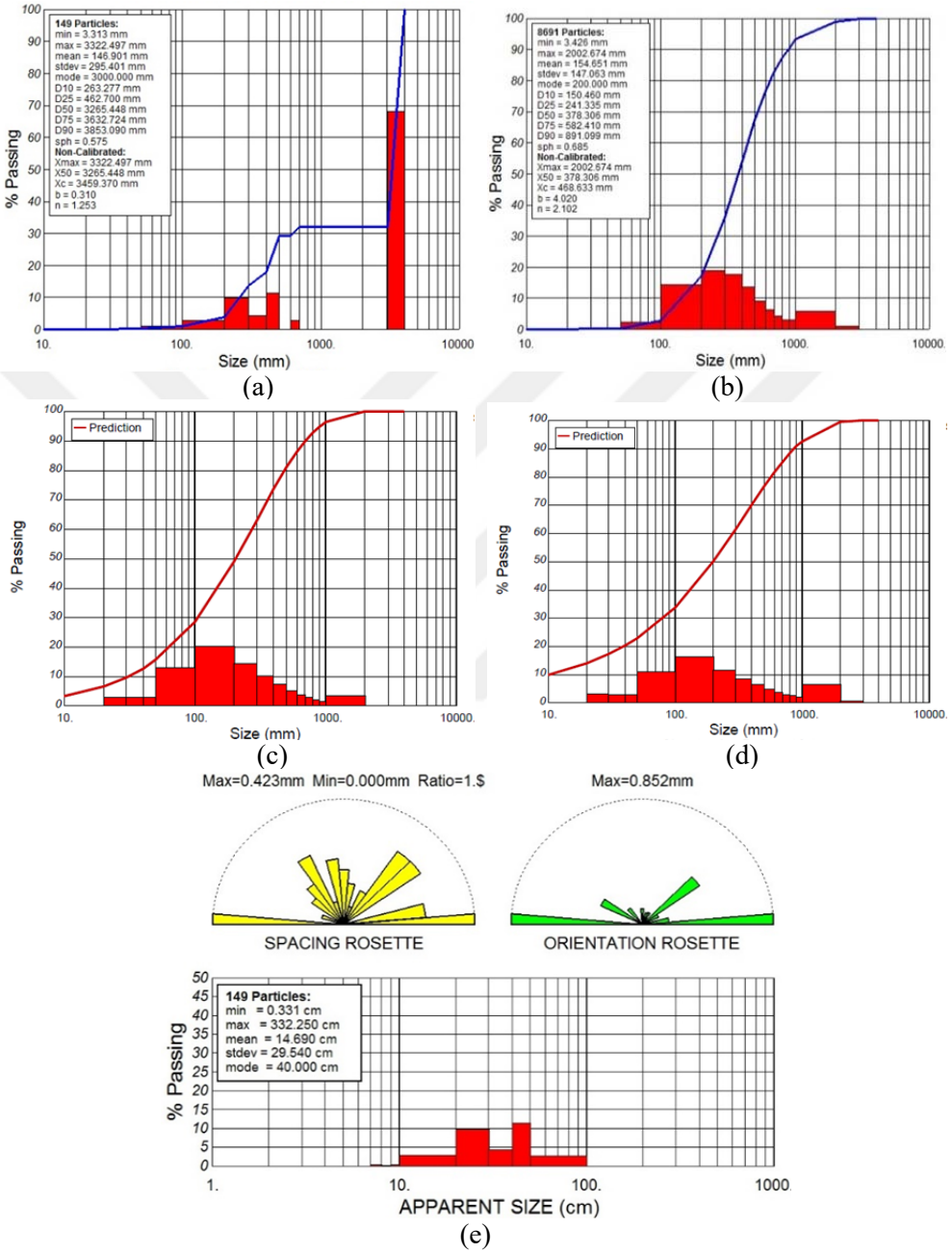
(d)



(e)

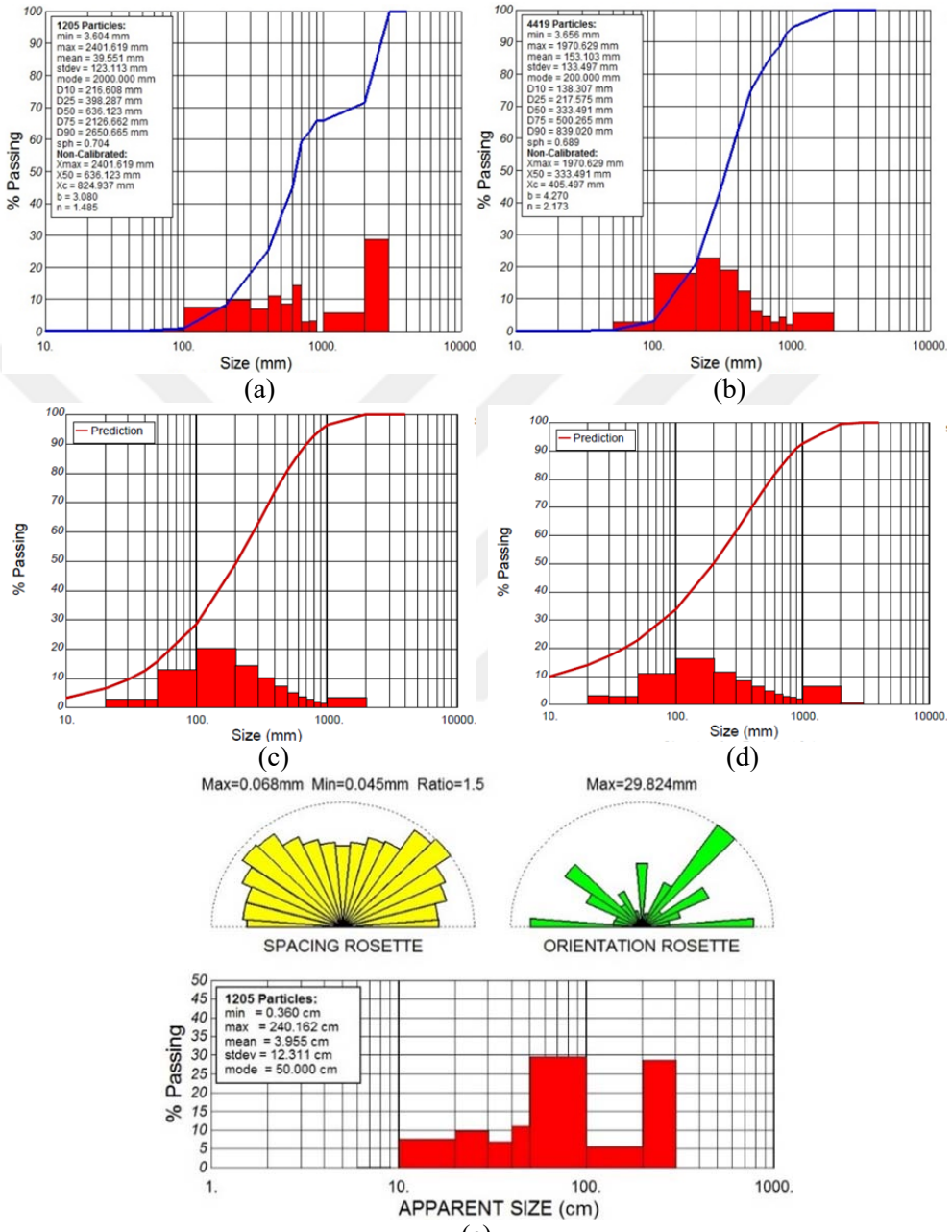
SODA 23 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 54



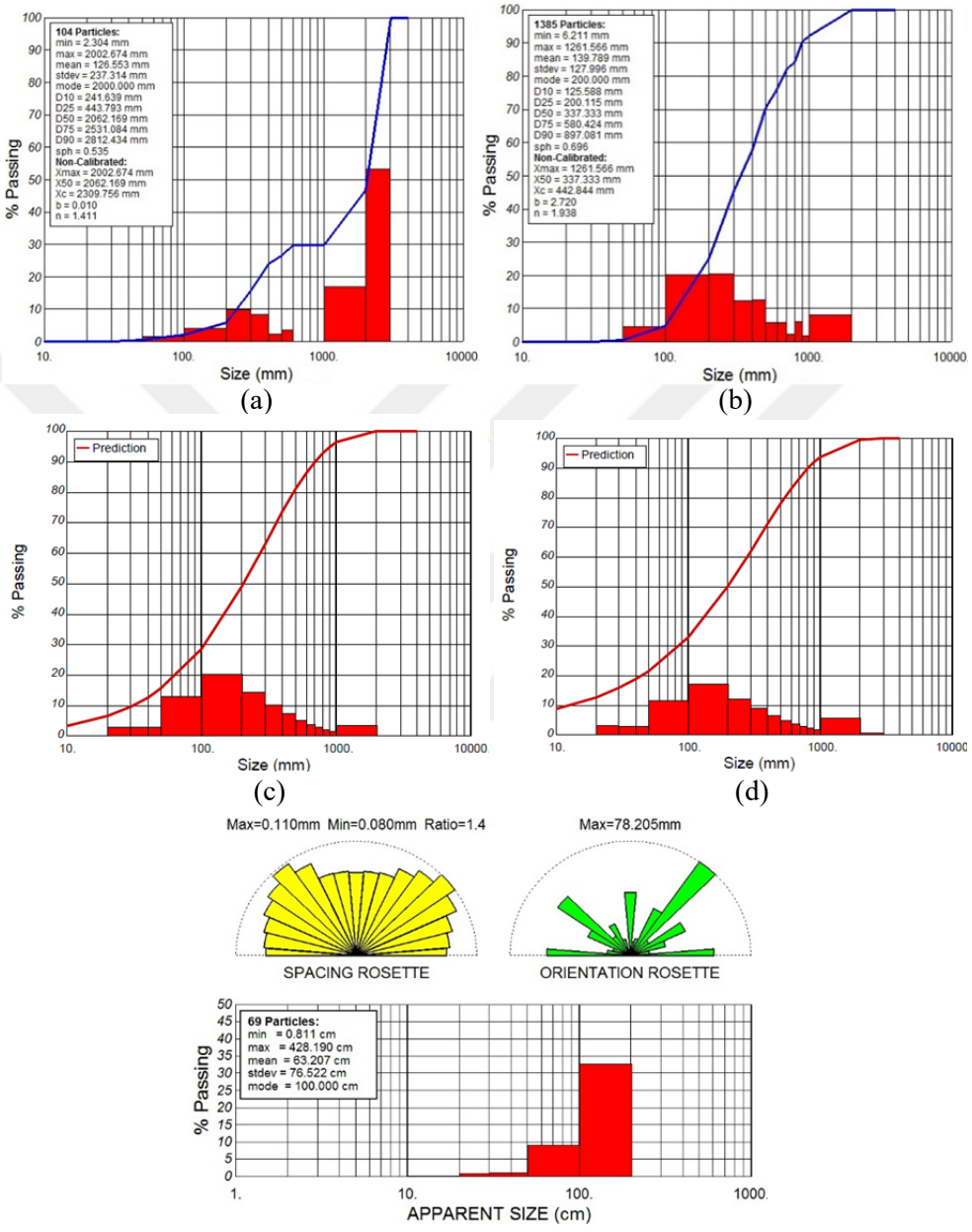
SODA 24 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 55



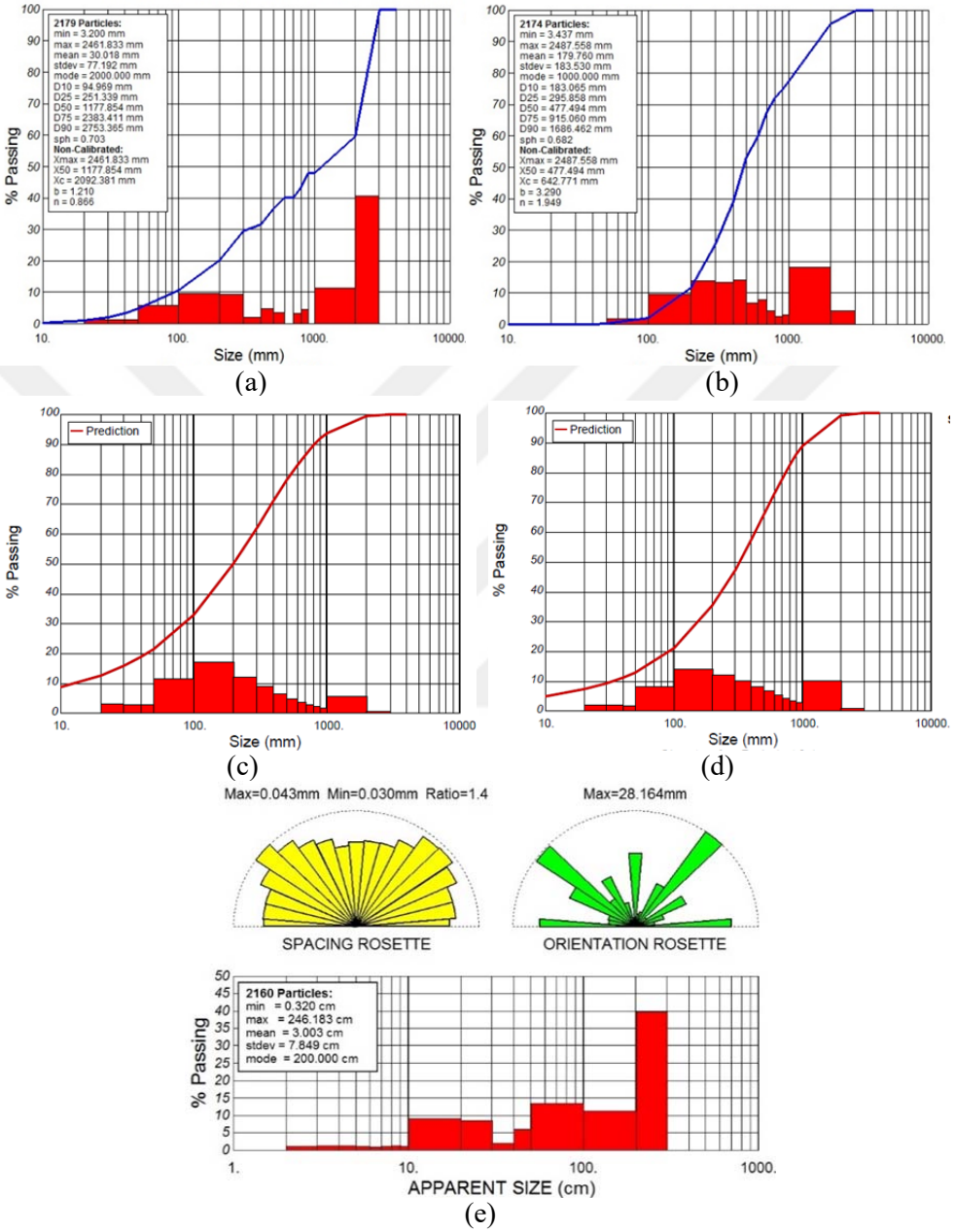
SODA 25 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 56



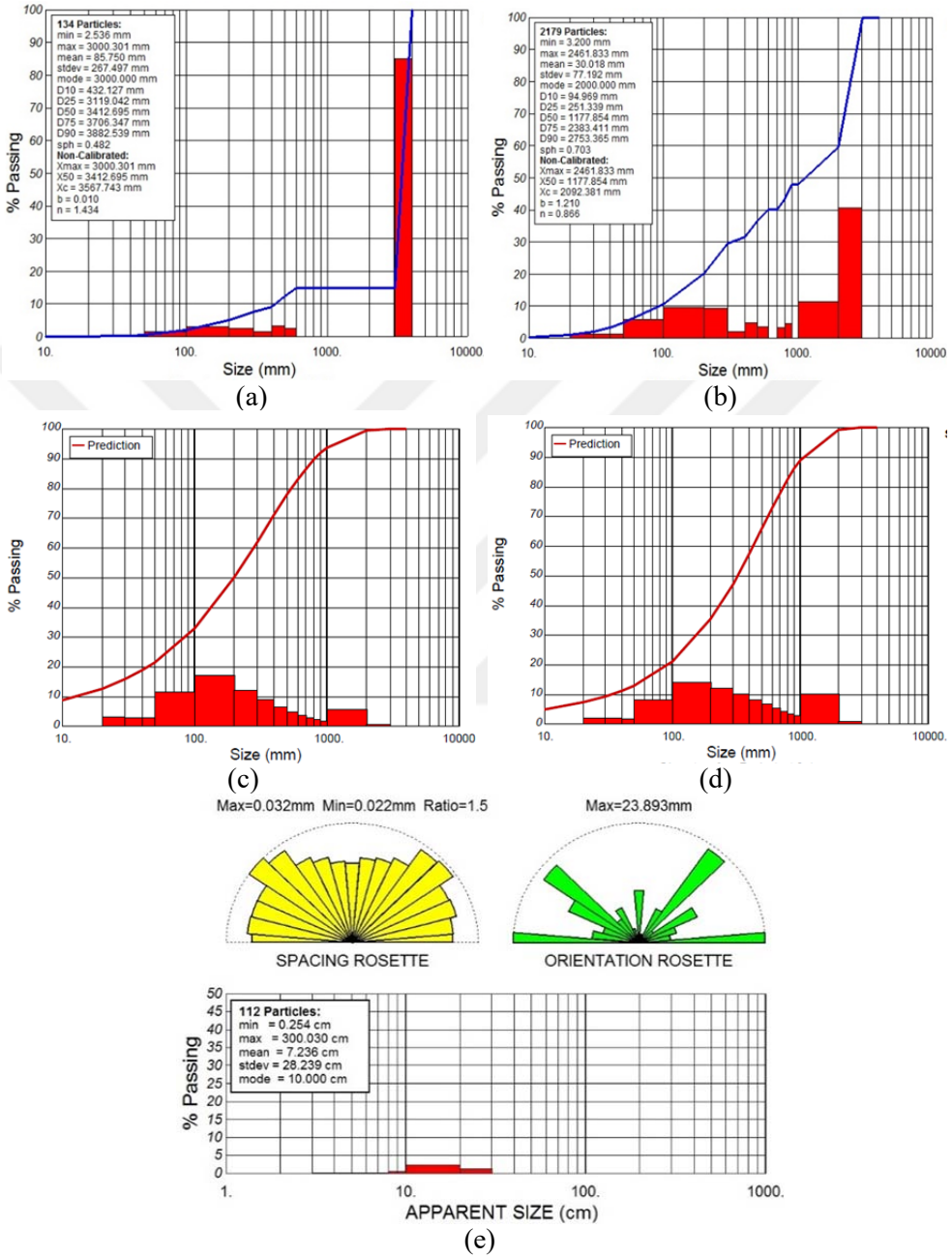
SODA 26 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 57



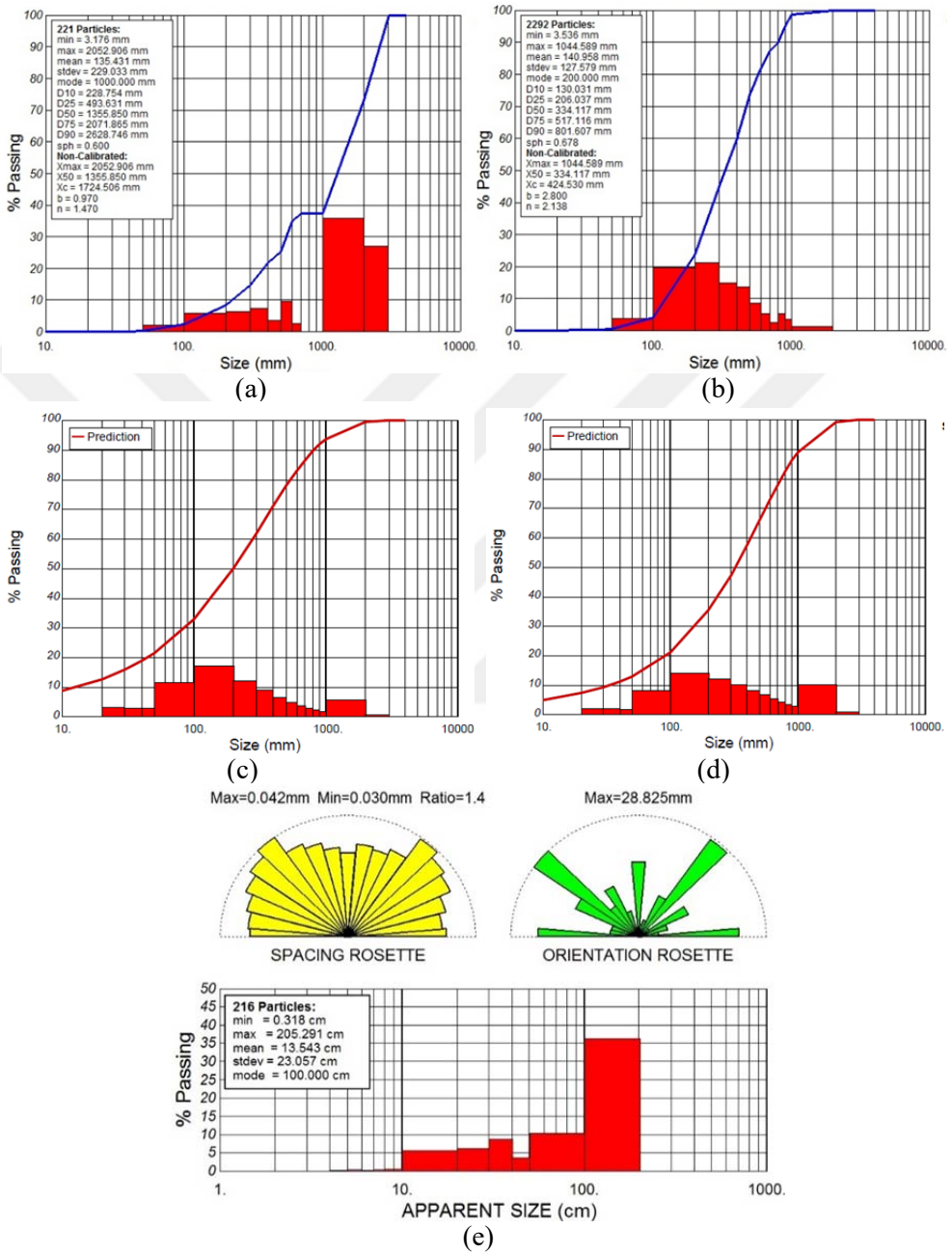
SODA 27 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 58



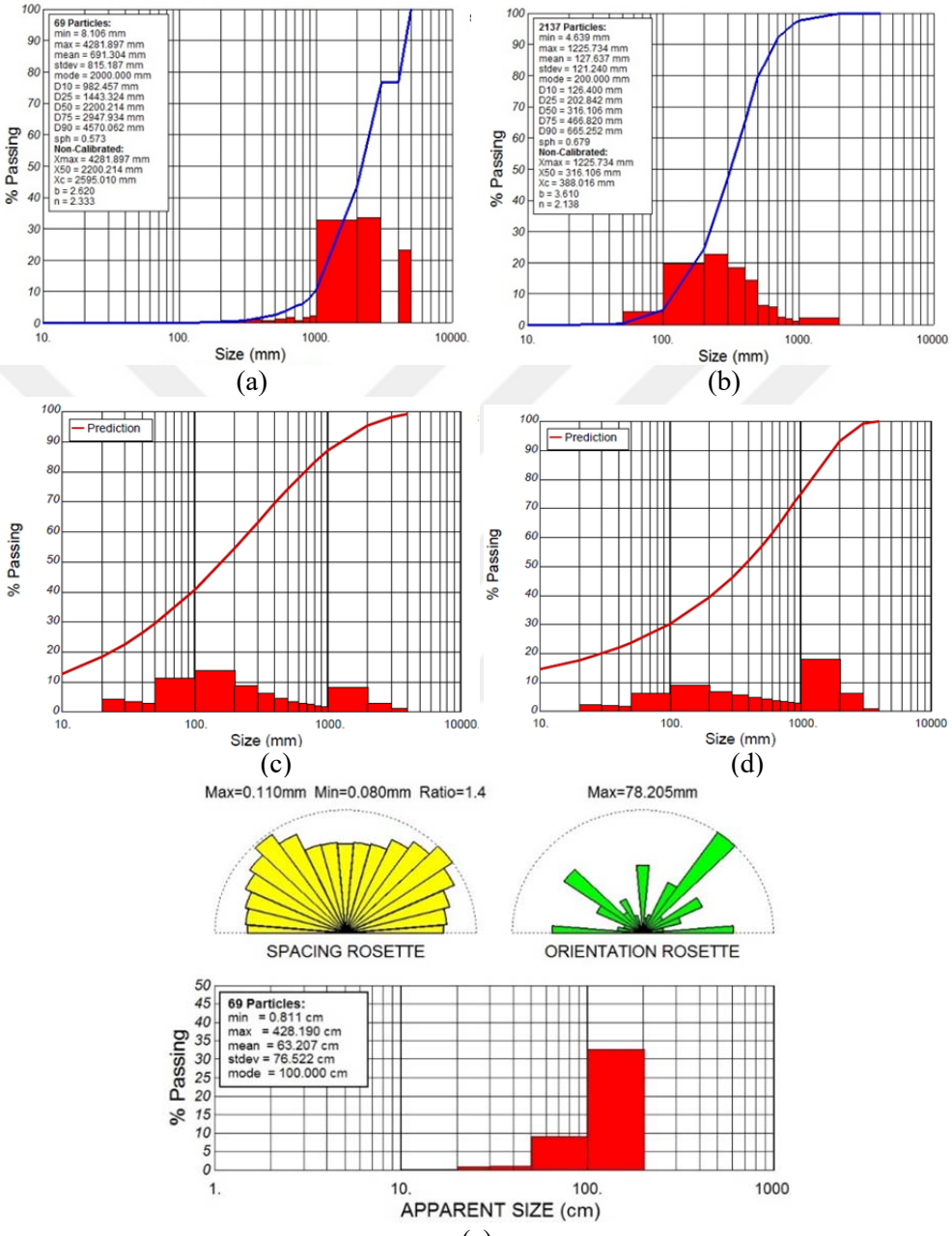
SODA 28 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 59



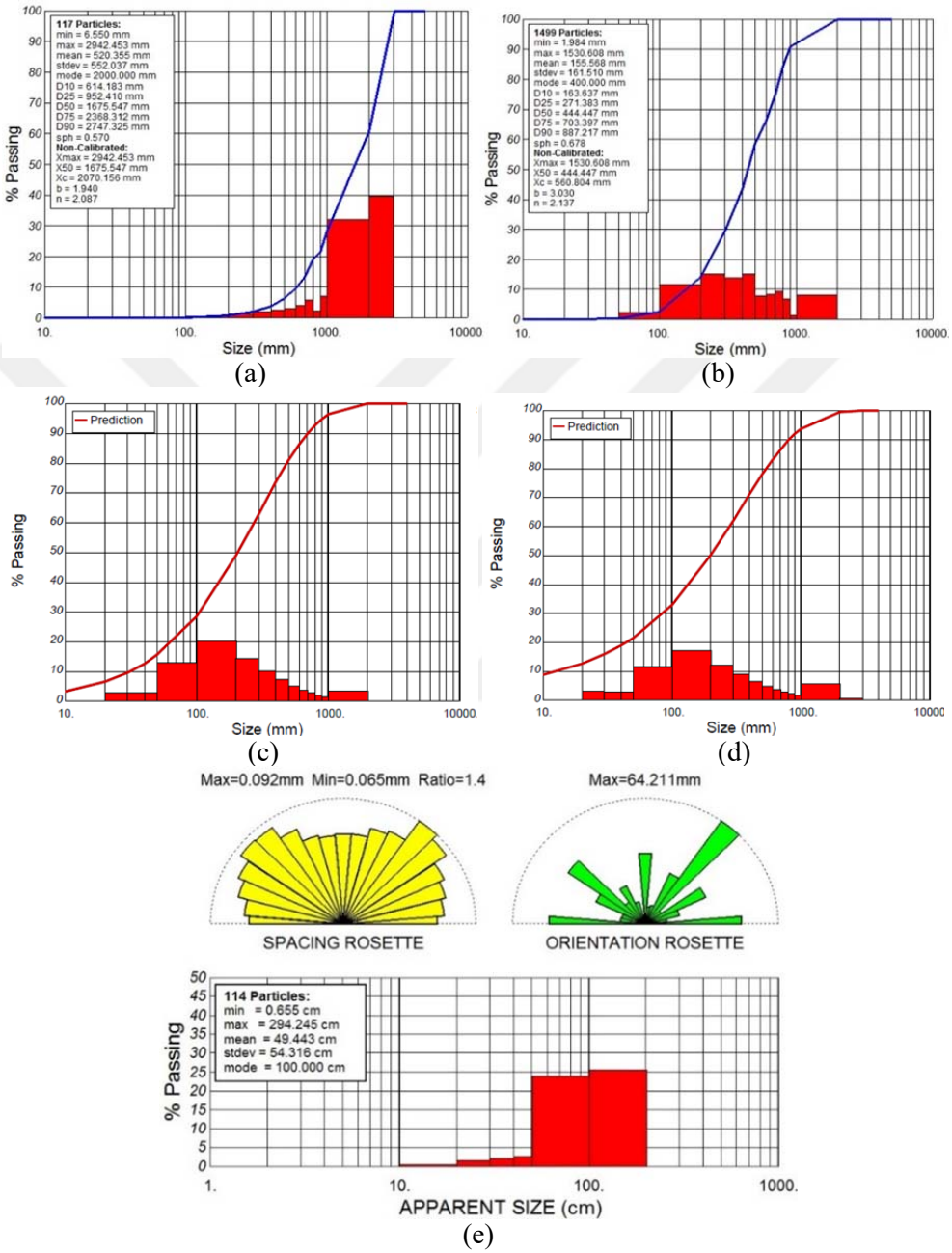
SODA 29 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 60



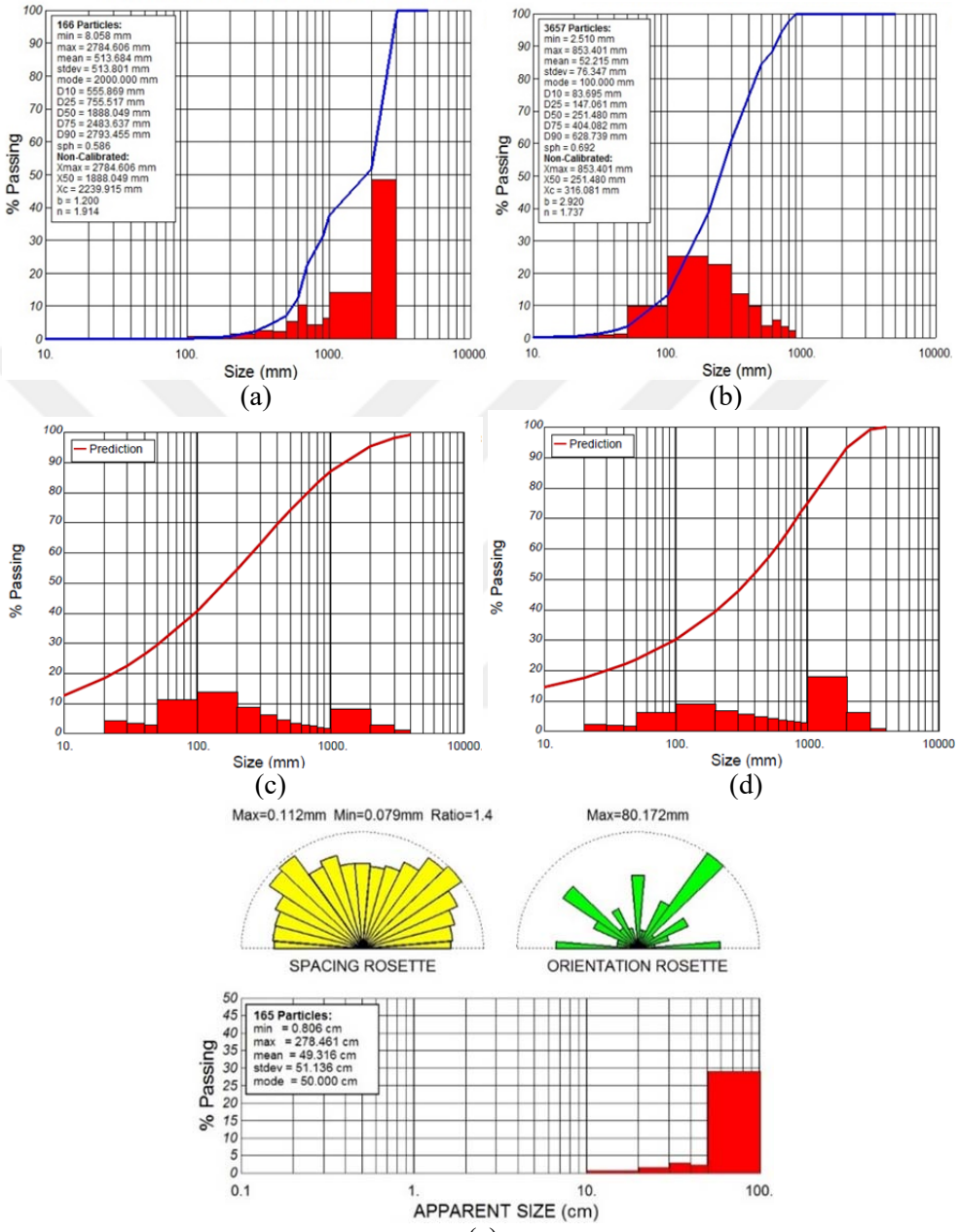
SODA 30 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 61



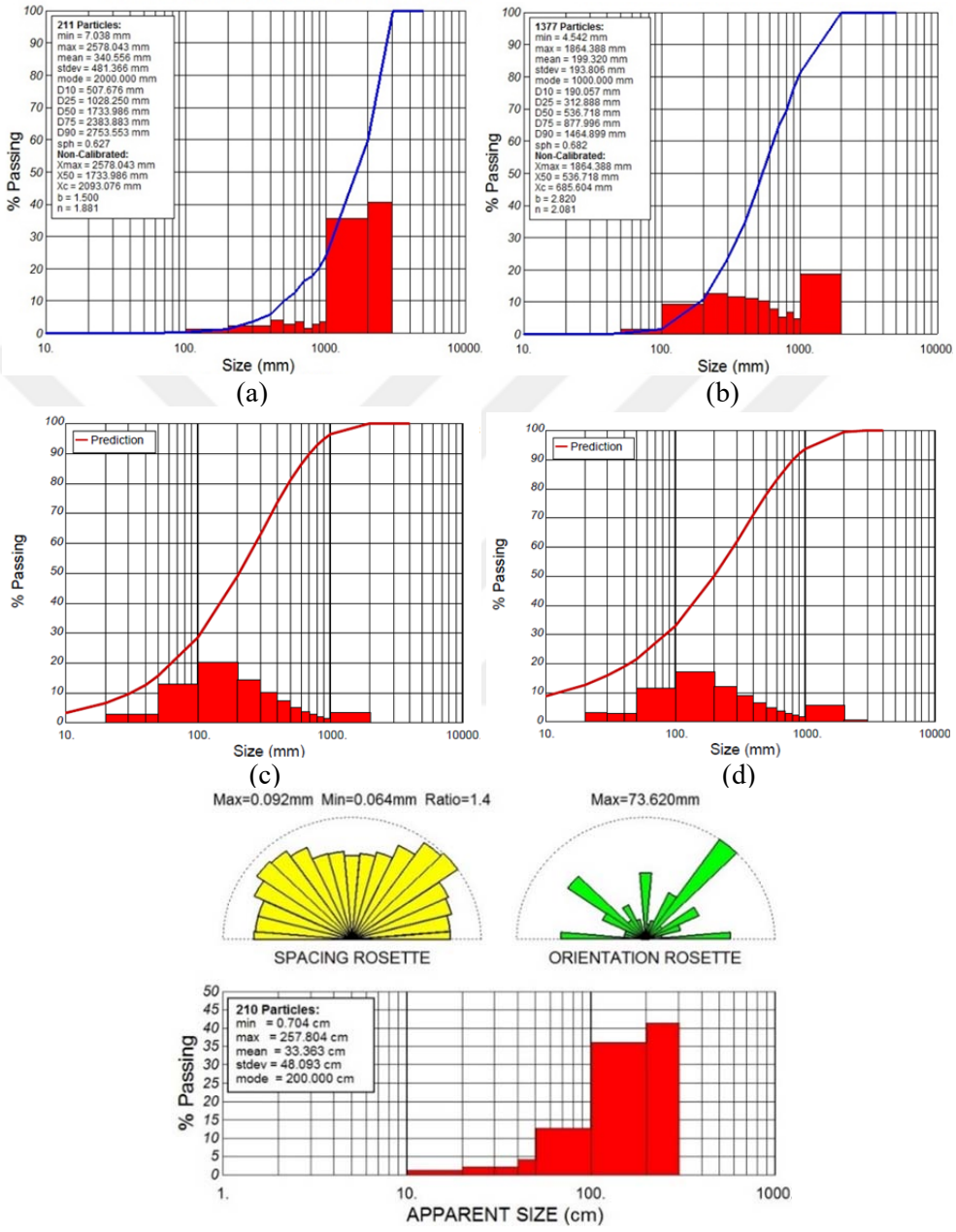
SODA 31 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 62



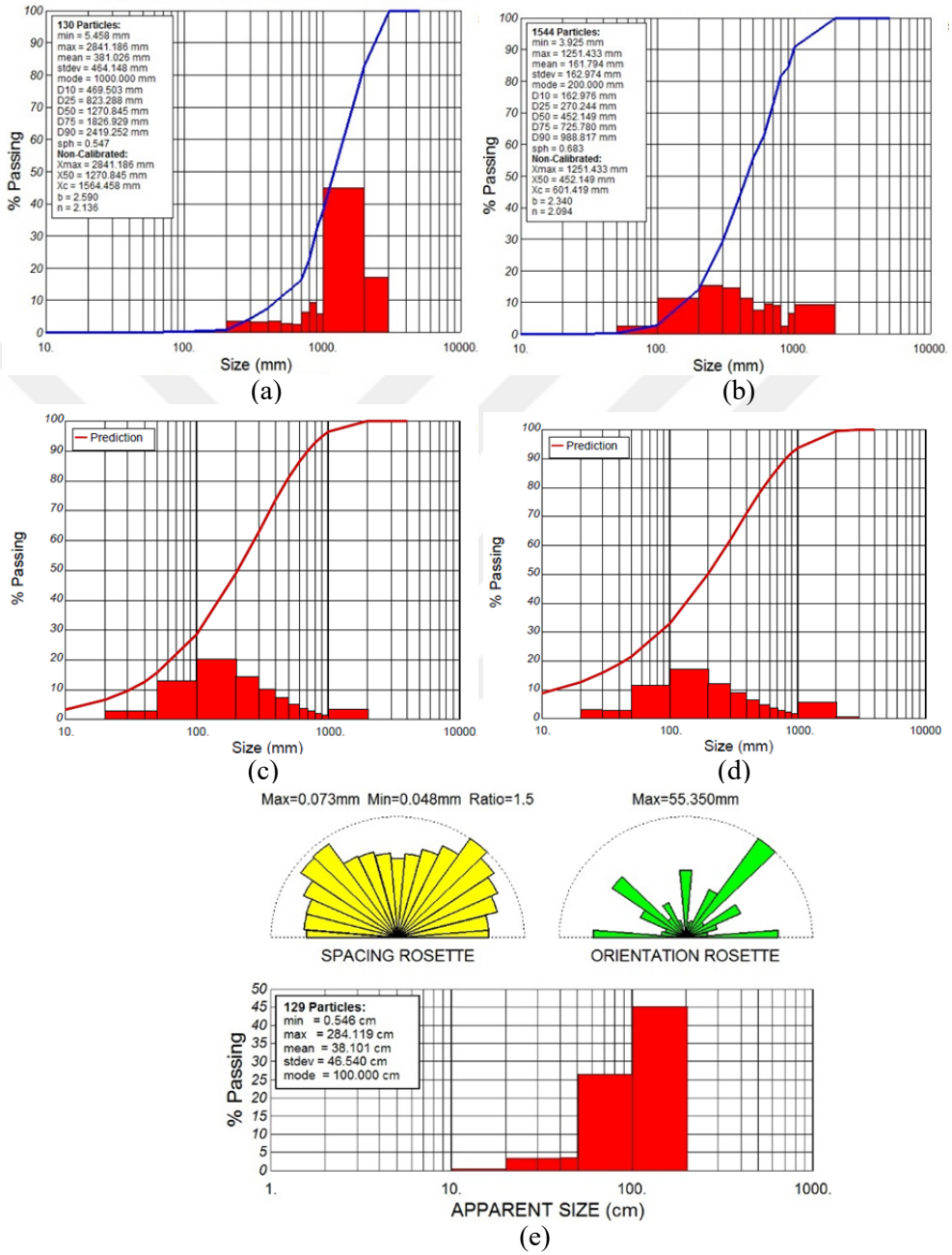
SODA 32 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 63



SODA 33 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül

EK 64



SODA 34 Atımı Grafikleri (a) Ayna Blok Analizi (b) Yığın Analizi (c) Kuzram Tahmin (d) KCO Tahmin (e) Gül