

**DOĞAL TAŞ İŞLEME TESİSLERİNDE OLUŞAN
MERMER ARTIKLARININ ORTALAMA TANE
BOYLARININ BELİRLENMESİ VE KULLANIM
ALANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**DETERMINATION OF THE AVERAGE PARTICLE SIZE
OF MARBLE WASTES FROM NATURAL STONE
PROCESSING PLANTS AND EVALUATION OF THEIR
USAGE AREAS**

GÜLCE ÇÖKENOĞLU UĞURLU

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE YILMAZKAYA

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2023

ÖZET

DOĞAL TAŞ İŞLEME TESİSLERİNDE OLUŞAN MERMER ARTIKLARININ ORTALAMA TANE BOYLARININ BELİRLENMESİ VE KULLANIM ALANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Gülce ÇÖKENOĞLU UĞURLU

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Emre YILMAZKAYA

Eylül 2023, 96 sayfa

Ülkemizde zengin rezervlere sahip doğal taş madenciliğinin süregelen en büyük sorunlarından bir tanesi üretim esnasında oluşan artıklar olmuştur. Ekonomik değere sahip ticari doğal taşların yanında göz önünde bulundurulmayan artık doğal taşların ekonomiye kazandırılması için birçok çalışma yapılmış fakat kullanım alanları yaygınlaşmamıştır. Bunun sebepleri arasında sektörde bu konuya yeteri kadar önem verilmemesi, ticari taşların yanında artıkların değer görmemesi, konu üzerine yapılan çalışmaların sürekliliğinin gelmemesi ve ocak sahiplerinin bu konu üzerine çok fazla eğilmemesi gösterilebilir.

Doğal taş artıkları genel olarak ocaklarda üretim esnasında çıkan artıklar ve fabrikalarda işleme esnasında çıkan artıklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu artıklar kimyasal özelliklerine, renklerine, tane boyutlarına ve şekillerine göre çok farklı sektörlerde kullanım alanı bulabilmektedir. Bazı durumlarda direkt olarak kullanılamayan bu artıklar bir takım proseslere tabi tutularak da kendilerine kullanım alanı bulabilmektedir.

Fabrikalarda işleme esnasında ortaya çıkan toz mermer artıkları incelenerek, bu mermer artıklarının ekonomiye kazandırılması ve kullanılabilirliğinin artırılması hedeflenerek bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye'deki farklı doğal taş işleme fabrikalarından, fabrikalardaki farklı kesme makinalarının altından, farklı kayalar kesilirken numuneler alınarak, bu numuneler üzerinde tane boyu, XRD ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda elde edilen veriler literatürdeki veriler ve doğal taşların kimyasal özellikleriyle karşılaştırılıp, numunelerin ortalama tane boylarına göre hangi alanlarda kullanılabilir oldukları incelenmiştir. İnceleme sonucuna ekonomik değere sahip bu artıkların farklı sektörlerde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taş, Mermer, Doğal Taş Artıkları, Mermer Artıkları, Doğal Taş Madenciliği, Tane Boyu, Taramalı Elektron Mikroskobu.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE AVERAGE PARTICLE SIZE OF MARBLE WASTES FROM NATURAL STONE PROCESSING PLANTS AND EVALUATION OF THEIR USAGE AREAS

Gülce ÇÖKENOĞLU UĞURLU

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Emre YILMAZKAYA

Eylül 2023, 96 pages

One of the biggest ongoing problems of natural stone mining, which has rich reserves in our country, has been the waste generated during production. Many studies have been carried out to bring waste natural stones -which are not valued compared to commercial natural stones with economic value- into the economy, but their usage areas have not become frequent. The reasons for this may be that the mining industry does not show sufficient interest in this issue, the wastes have not value compared to commercial stones, the studies on the subject are not continuous, and the quarry owners do not pay much attention to this issue.

Natural stone waste is generally studied into two groups: waste produced during production in quarries and waste produced during processing in factories. These wastes can be used in many different sectors depending on their chemical properties, colors, particle sizes and shapes. In some cases, these wastes may not be used directly. In this case, it can be used by applying some processes.

This thesis study was carried out by examining the marble powder/dust generated during processing in factories, with the aim of bringing these marble wastes into the economy and increasing their usability. Within the scope of the study, samples were taken from different natural stone processing factories in Turkey. Particle size, XRD and Scanning Electron Microscope (SEM) analyzes were applied to these samples. The data obtained as a result of these analyzes were compared with the data in the literature and the chemical properties of natural stones, and in which areas they could be used according to the average particle size of the samples were examined. As a result of the analyzes, it has been determined that these wastes, which have economic value, can be used in different industries.

Keywords: Natural Stone, Marble, Natural Stone Waste, Marble Waste, Natural Stone Quarrying, Particle Size, Scanning Electron Microscope.

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim ile başlayıp tamamlamış olduğum lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, desteğini ve güvenini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Emre YILMAZKAYA'ya,

Yardımlarından dolayı Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden Mehmet ÖZCAN'a,

Şu an bulunduğum noktada olmamda en büyük katkıya ve emeğe sahip, hayatım boyunca aldığım her kararda arkamda duran ve hiçbir karşılık beklemeden, her koşulda bana destek veren, bu hayatta hiçbir şeye asla değişmeyeceğim annem Tülin ATEŞOĞLU'na,

Her zaman beni destekleyen, akademik bilgisiyle yön veren, sadece bir eş olarak değil, bir hayat arkadaşı olarak yanımda duran, benim önceliklerimi kendi önceliklerinin yerine koyan değerli sevgili eşim Güney UĞURLU'ya

Lisansüstü eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, tez yazım aşamasında ellerinden gelen katkıları sağlayan arkadaşlarıma,

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Literatürdeki Çalışmalar.....	3
1.3. Tezin Bölümleri.....	6
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Mermer Artıkları	7
2.2. Mermer Artıklarının Oluşum Yerine Göre Sınıflandırılması.....	8
2.2.1. Ocaklarda Oluşan Mermer Artıkları	9
2.2.2. Fabrikalarda Oluşan Mermer Artıkları.....	9
2.3. Mermer Artıklarının Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	10
2.3.1. Molozlar	10
2.3.2. Kapaklar	10
2.3.3. Paledyenler	10
2.3.4. Tozlar	10
2.3.5. Mermer Çamuru	11
2.4. Mermer Artıklarının Kullanım Alanları	12
2.4.1. Yapı, İnşaat ve Metalurji Sektörü	12
2.4.2. Tarım ve Hayvancılık Sektörü	16
2.4.3. Kozmetik Sektörü.....	16
2.4.4. Kağıt Sanayi	17
2.4.5. Hava Kirliliği Önleme Amacıyla Kullanımı	17
2.4.6. Yol Yapımında Kullanımı.....	18

2.4.7 Demiryolu Zemin Malzemesi	18
2.4.8. Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları	18
2.5. Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Hesaplanması Çalışmaları	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Çalışmada İzlenen Yöntem	21
3.2. Çalışmada Kullanılan Doğal Taş Örnekleri	25
3.3. Çalışmada Numune Alınan Makineler	25
3.3.1. Katrak Kesim Makinesi	26
3.3.2. ST Blok Kesme Makinesi	27
3.3.3. Boy Ebatlama (Kafa Kesme ve Yarma) Makinesi.....	28
3.3.4. Plaka Parlatma (Silim) Makinesi	29
3.3.5. Köprü Kesim Makinesi	31
3.3.6. Çoklu Tel (Multiwire) Blok Kesim Makinesi.....	32
3.4. Çalışmada Yapılan Analizler	32
3.4.1 Tane Boyu Analizi	32
3.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	36
4. BULGULAR	38
4.1. Tane Boyu Analizi Sonuçları.....	38
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	39
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	43
5.1. ST için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler .	43
5.2. Katrak için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler	50
5.3. Köprü Kesim için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler	57
5.4. Silim Makinası için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler.....	63
5.5. Kafa Kesim Makinası için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler.....	69
5.6. Ölçüm Alınan Makinalar için Ortalama Tane Boyu ve Dağılım Açıklığı Değeri Değişimleri.....	75
5.7. Çamur Numunelerinin Element Yüzdelerinin İncelenmesi	77

5.8. Numunelerin Toplam Tane Boyuna Göre Belirlenen İlişkiler	77
6. TARTIŞMA.....	81
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
8. KAYNAKLAR.....	85
EKLER	87
EK 1 – X Işımım Grafikleri.....	87
EK 2 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Alınan numunenin tane boyu dağılım grafiği [5].....	4
Şekil 1.2. Numunelerin XRD analizi [5].....	4
Şekil 2.1. Ocaklarda oluşan mermer artıkları.....	10
Şekil 2.2. Mermer tozu.....	12
Şekil 2.3. Mermer çamuru.....	13
Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yöntem.....	22
Şekil 3.2. Sulu numune örneği.....	23
Şekil 3.3. Numune örneklerinin kaplara alınması.....	23
Şekil 3.4. Numune örneklerinin fırına koyulması.....	24
Şekil 3.5. Numune örneklerinin paketlenmesi.....	24
Şekil 3.6. Katrak kesim makinesi.....	26
Şekil 3.7. Katraktan numune alımı.....	27
Şekil 3.8. ST blok kesme makinesi.....	28
Şekil 3.9. Boy ebatlama makinesi.....	29
Şekil 3.10. Plaka parlatma makinesi.....	30
Şekil 3.11. Köprü kesim makinesi.....	31
Şekil 3.12. Çoklu tel blok kesim makinesi.....	32
Şekil 3.13. Mastersizer.....	33
Şekil 3.14. Mastersizer Tane Boyu Analiz Raporu.....	34
Şekil 3.15. Tane boyu analizi sonrasında oluşturulan tane boyu dağılımı grafiği	35
Şekil 3.16. Örnek tane boyu dağılımı grafiği [24].....	36
Şekil 3.17. SEM analiz.....	37
Şekil 4.1. SEM cihazı ile çekilen numunelerin görüntüleri.....	39
Şekil 4.2. SEM cihazı ile çekilen numunelerin görüntüleri.....	40
Şekil 4.3. SEM cihazı ile çekilen numunelerdeki mineralleri gösterir görüntüler.....	41
Şekil 4.4. SEM cihazı ile çekilen numunelerdeki mineralleri gösterir görüntüler.....	42
Şekil 5.1. ST Numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	44

Şekil 5.2. ST Numunelerin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	45
Şekil 5.3. ST Numunelerin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	46
Şekil 5.4. ST Numunelerin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	47
Şekil 5.5. ST Numunelerin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	48
Şekil 5.6. ST Numunelerin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	49
Şekil 5.7. Katrak numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	51
Şekil 5.8. Katrak numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	52
Şekil 5.9. Katrak numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	53
Şekil 5.10. Katrak numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	54
Şekil 5.11. Katrak numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	55
Şekil 5.12. Katrak numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	56
Şekil 5.13. Köprü kesim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	57
Şekil 5.14. Köprü kesim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	58
Şekil 5.15. Köprü kesim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	59
Şekil 5.16. Köprü kesim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	60
Şekil 5.17. Köprü kesim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	61

Şekil 5.18. Köprü kesim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	62
Şekil 5.19. Silim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	63
Şekil 5.20. Silim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	64
Şekil 5.21. Silim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	65
Şekil 5.22. Silim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	66
Şekil 5.23. Silim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	67
Şekil 5.24. Silim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	68
Şekil 5.25. Kafa kesim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	69
Şekil 5.26. Kafa kesim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	70
Şekil 5.27. Kafa kesim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	71
Şekil 5.28. Kafa kesim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	72
Şekil 5.29. Kafa kesim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	73
Şekil 5.30. Kafa kesim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.....	74
Şekil 5.31. Farklı makine çıkışlarından alınan numunelerin d10-d50-d90 ortalama tane boyları.....	75
Şekil 5.32. Farklı makine çıkışlarından alınan numuneler için ortalama dağılım açıklığı değerleri.....	76
Şekil 5.33. Test edilen numuneler içerisinde 1 µm ve 3 µm üstünde kalan toplam yüzdeler	78
Şekil 5.34. Test edilen numuneler içerisinde 5 µm ve 10 µm üstünde kalan	

toplam yüzdeler.....79

Şekil 5.35. Test edilen numuneler içerisinde 10 µm altında kalan

toplam yüzdeler.....80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Mermer sıvı numunesi için ICP analizi sonuçları [8].....	6
Çizelge 1.2. Mermer çamurlarının kimyasal analizi [8].....	6
Çizelge 2.1. Mermer üretim aşamalarında oluşan atık oranları [11].....	8
Çizelge 3.1. Numunesi alınan doğal taşların kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 4.1. Tane boyu dağılımı analiz sonuçları.....	38
Çizelge 5.1. Çamur Numunelerinin Element Yüzdeleri.....	77
Çizelge 6.1. Literatürde farklı sektörlerde kullanılan mermer artıklarının tane boyları[6, 14, 15, 16, 18].....	82
Çizelge 6.2. Dv(50) değerlerine göre kullanım alanları.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

m	Metre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
m ³	Metreküp
m ²	Metrekare
µm	Mikron
MPa	Megapaskal
°C	Santigrat Derece
XRD	X-Ray Diffraction Analysis
SEM	Scanning Electron Microscope

1. GİRİŞ

Eski çağlardan günümüze kadar gelen süreçte insanoğlu doğal taşlar için birçok kullanım alanı yaratmıştır. Oluşum bakımından sert yapıda olan doğal taşlara yapı malzemesi alanında kullanım imkanı sağlandığı gibi, desenli ve renkli olanlar da süsleme malzemelerinde kullanılmaktadır.

Türkiye doğal taş sektörü, ülke genelinde bulunan rezerv ve çeşit yoğunluğu, sektörde yılların getirdiği tecrübe, coğrafik konumdan kaynaklanan nakliye kolaylığı ile dünya doğal taş sektöründe önemli bir yere sahiptir. Türkiye'nin de öncülük ettiği en çok kullanımı alanı olan doğal taşlardan biri de mermerdir. Mermer jeolojik olarak başkalaşım geçiren kalker ve dolomitik kalkerin yeniden kristalleşmesiyle oluşan bir yapıdır. Bu yapı büyük bir oranda kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içerir. Mermeri endüstriyel olarak tanımlamak gerekirse; uygun standartlarda blok verebilen, işlenebilen (kesilip, patlatılabilen) ticari anlamda değeri olan doğal taşların tümü mermer olarak adlandırılır. Dünyada en eski mermer üreticilerinden biri konumunda bulunan ülkemiz 13.9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahiptir. Belirlenen mermer rezervleri yapı, renk ve desen olarak farklılık göstermektedir. Bu rezervlere göre [1] Türkiye genelinde 80 çeşidin üzerinde değişik yapıda, 120 çeşidin üzerinde ise değişik renk ve desende mermer bulunmaktadır. Ülkemize özel global piyasada en tanınmış mermer çeşitleri; Bilecik Bej, Ege Bordo, Milas Leylak, Süpren, Elazığ Vişne, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Gemlik Diyabaz, Manyas Beyaz, Akşehir Siyah ve Afyon Şeker'dir. Son raporlar göstermektedir ki [2] Türkiye sahip olduğu mermer ve doğal taş çıkarma potansiyeliyle sektörde dünyanın en büyük beş ülkesinden birisidir ve son raporlara göre ülkemiz 179 ülkeye, 2 milyar dolar değerinde doğal taş ve mermer ihracatı yapmaktadır.

Ülkemizde doğal taş kullanımının artması ve bunun sonucunda mermerciliğe artan talep doğrultusunda yeni ocaklar açılmaya devam etmektedir. Doğal taş madenciliğinde, ocaklardan elde edilen ürünlerin kullanıma sunulabilmesi için belirli aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bloklar halinde elde edilen ürünlerin kullanıma sunulmasındaki temel amaç en düşük maliyetle, ihtiyaç duyulan kalitede ürünü elde etmektir. Verim

alınabilmesi için doğal taş ocaklarının ve işleme tesislerinin bu amaca yönelik çalışması gerekmektedir.

Son verilere göre [1], sektörde yaklaşık 1500 doğal taş ocağı, fabrika büyüklüğünde 2000 tesis ve orta ile küçük ölçekli olarak sınıflandırılan 9000 atölye aktif olarak faaliyet göstermektedir. Mermerciliğin yoğun olduğu bölgelerde işleme tesislerinde ve ocaklarda çalışmaların artış göstermesi, üretim sonucunda ortaya çıkan artıkların da artış göstermesi demektir. Bu artıklar genellikle üretime engel teşkil etmeyecek şekilde toplanıp, yığılmaktadır. Ocaklarda ve tesislerde farklı boyutlu oluşan artıklar, çevre kirliliği oluşturmaktan, hayati risk oluşturmaya kadar sorunlar teşkil edebilir. Şu bilinmelidir ki mermer ocaklarında ve işleme tesislerinde ürünün elde edilmesi sırasında çıkan toz ve parça malzemeler “atık” değil, “artık” olarak nitelendirilmelidir. Çünkü bu artıklar oldukça büyük bir ekonomik değere sahiptir ve kullanabileceği onlarca alan bulunmaktadır. Ocakların tasarlanma, ürün çıkarma ve tesis kurma maliyetleri göze alındığında bu artıkların değerlendirilmemesi büyük bir ekonomik kayıp olarak görülmektedir.

Dünya mermer rezervinde büyük bir paya sahip olan Türkiye, sahip olduğu bu büyük rezervin büyük bir yüzdesi artık olarak kaldığı için bu rezervleri ve artıkları etkili bir biçimde değerlendirememektedir. Mermer artıklarının toz veya parça şeklinde geri dönüştürülmesi ya da farklı endüstrilerde kullanımı gerek ülke ekonomisine katkısı gerek ise doğal kaynaklarımızın bilinçli bir şekilde kullanılmasına ön ayak olması hususunda oldukça önemlidir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, doğal taş işleme tesislerinde farklı kesim makinelerinde kesim sırasında çıkan çamurun (su+mermer tozu) tane boyu gibi yapısal bazı özelliklerini belirlemek ve kesimde kullanılan makinalara bağlı olarak bu özelliklerin nasıl değiştiğini ortaya koymaktır. Çalışmanın bir diğer amacı ise, artıkların tane boyutlarına ve içerdikleri kimyasal özelliklere göre nasıl değerlendirilebileceğini incelemektir.

Çalışmanın ilk aşamasında Amasya, Burdur, Afyon ve Muğla illerinde bulunan doğal taş işleme tesislerinde kullanılan farklı makinelerden kesim yapılırken çıkan çamurlardan (mermer tozu+su) numuneler alınmıştır.

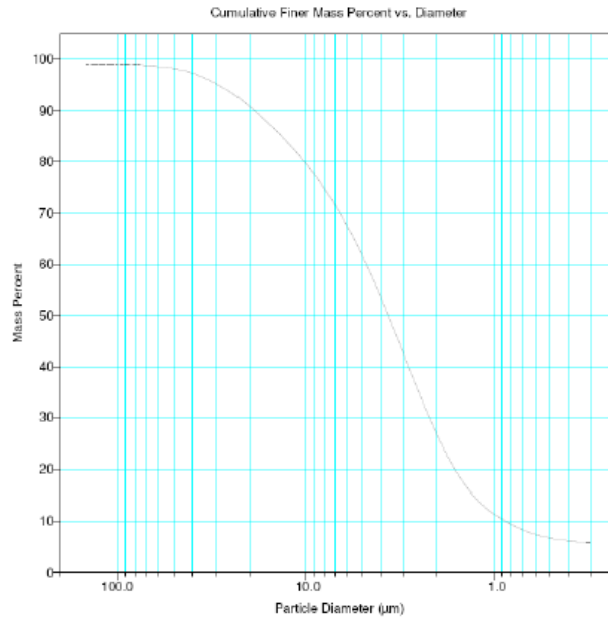
Çalışmanın ikinci aşamasında ise alınan bu farklı numuneler üzerinde Mastersizer cihazı kullanılarak tane boyutu analizi, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak da SEM analizleri yapılmıştır.

1.2. Literatürdeki Çalışmalar

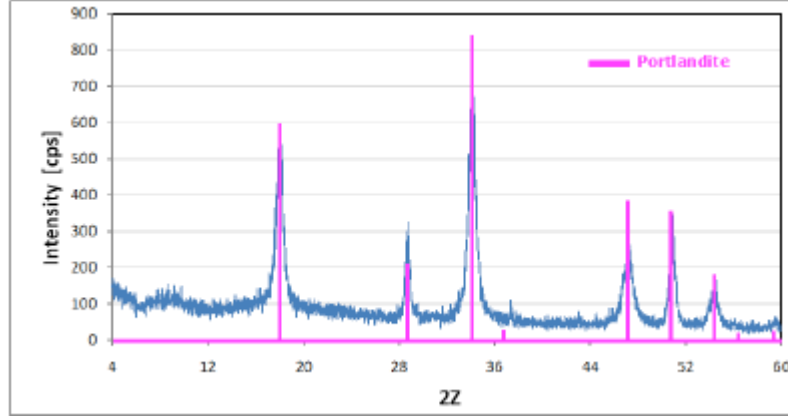
Literatürde konuyla ilgili çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Özkan vd. [3] yaptıkları çalışmada mermer fabrikalarındaki kesimler sırasında oluşan mermer toz artıklarının endüstride kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada farklı mermer çeşitlerinin kesimleri sonucunda oluşan içerisinde mermer toz bulunan sulu artıklar, katrak kesimi yapılırken çıkışına yerleştirilen 20 litrelik kaplara biriktirerek numuneler alınmıştır. Alınan 6 farklı numune, ilk aşama olarak vakum filtre yardımıyla suyu alınarak, kek oluşturulmuştur. Elde edilen bu numuneler 105°C sıcaklıkta kurumaya bırakılmıştır. Numunelerin kurutulmasının ardından, tane boyutuna dokunulmadan serbestleştirilerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra bu 6 farklı toz numunenin tane boyu incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, mermerlerin tane boyu, renk belirleme ve mikroskobik analiz sonuçlarına göre karakteristik özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, mermerin içerisinde bulunan mineral türlerinin, kesim sırasındaki tane boyuna olan etkisi ile parlaklık ve beyazlık seviyeleri araştırılmıştır.

Demirel ve Alyamaç [4] yaptıkları çalışmada literatürdeki mermer toz artıklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve mikro yapısını incelemiş ve bunu bir tablo olarak sunmuşlardır. Çalışmanın devamında incelenen mermer toz artıklarının beton üretiminde kullanılabilirliği ele alınmıştır. Mermer toz artıklarının beton üretiminde optimum kullanımının betonun özelliklerini iyi yönde etkilediği belirlenmiş aynı zamanda daha ekonomik olduğuna değinilmiştir.

Careddu vd.[5] yaptıkları çalışmada mermer işleme tesislerinde mermerin işlenmesi esnasında ortaya çıkan çamurun ultra ince kalsiyum karbonat içerdiğini ve bunun geri kazanılması ve yeniden kullanılmasıyla ilgili önemli bir faaliyet bulunmadığını belirtmişlerdir. Ortaya çıkan bu artıktan elde edilecek bu ürün farklı sektörlerde birincil ve ikincil hammadde olarak kullanılabilmesine değinmişlerdir. Aldıkları numuneleri kurutarak, üzerinde tane boyu dağılımı belirleyerek elde ettikleri verileri XRD analizleriyle birlikte harmanlayıp analizlerini yapmışlardır. Kalsiyum karbonat tozu karakterizasyonunun tane boyu dağılımı ortaya çıktıktan sonra çok ince yapıda olduğu belirlenmiştir. XRD sonucunda ise tespit edilen tek mineral bileşenin kalsit olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara bakıldığında, çıkan artığın katma değeri yüksek bir ürün olarak değerlendirilebileceğine sonucuna varılmıştır.



Şekil 1.1. Alınan Numunenin Tane Boyu Dağılım Grafiği [5]



Şekil 1.2. Alınan Numunenin XRD Analizi [5]

Ceylan [6] yaptığı tez çalışmasında, fabrikalarda çıkan mermer toz artıklarının hammadde olarak endüstride kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışmanın devamında aldığı toz numune örneklerini derz dolgu üretiminde kullanılabilirliğini incelemek amacıyla mermer toz artıkları üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Tane boyu dağılımı, kimyasal bileşim, beyazlık ve rutubet oranı belirlenen mermer toz artıklarının, uygun kullanıma gelebilmesi için temizlenmesi, kurutulması ve öğütülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Büyüksağış [7] yaptığı çalışmada 1 m^3 'lük bir bloğun ST makinesinde 2 cm. ve 3 cm.'lik levhalar, 8 mm. düşey bıçak ile kesildiğinde $0,267 \text{ m}^3$ (% 26,7) ve 5 mm. yatay bıçakla kesildiğinde $0,213 \text{ m}^3$ (% 21,3) artık miktarı çıkacağını hesaplamıştır. Bu artıklara ek olarak ise kesilmeyen $0,085 \text{ m}^3$ 'lük kısım kaldığını ifade etmiştir.

Çelik vd. [8] yaptıkları çalışmada Afyon'da bulunan Susuz Boğazı mermer artık toplama alanından dört farklı numune almıştır. İlk numune katı parçacık içeren sıvı numune, diğer üç numune ise yüksek oranda katı artık içeren mermer çamur numunesidir. Karışık, gri ve beyaz renkli mermer çamuru numunelerinin katı atık oranı sırasıyla %79, %77 ve %77 olarak hesaplanmıştır. İlk numune için indüksiyonla birleşmiş plazma sonuçları ve diğer üç numune için yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1.1. ve Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Mermer sıvı numunesi için ICP analizi sonuçları [8]

	Ca	Mg	Na	K	Fe	Pb	Cd	Zn	H ₂ CO ₃	Cr
ppm	5317.64	199.34	288.03	0.0	13.83	0.16	0.25	0.57	39,000	0.0

Çizelge 1.2. Mermer çamurlarının kimyasal analizi [8]

	Numune 1 (Karışık)	Numune 2 (Gri)	Numune 3 (Beyaz)
SiO ₂	0.27	0.84	0.00
Al ₂ O ₃	0.32	0.48	0.25
Fe ₂ O ₃	0.05	0.09	0.00
CaO	55.14	54.02	55.07
MgO	0.29	0.40	0.25
SO ₃	0.10	0.23	0.27
K ₂ O	0.07	0.07	0.04
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00
CO ₂	43.88	43.42	43.81

Çalışmanın devamında elde edilen karışık, gri ve beyaz mermer numunelerinin parçacık analizi yapılmıştır ve parçacıkların %80 oranında 20 mm'den küçük olduğu bulunmuştur. Bu üç numune için XRD analizi yapılarak ana bileşenin kalsit minerali olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında mermer artıklarının çevreye olan kirletici etkisi ve mermer artıklarının ekonomiye kazandırılması gerektiği değerlendirilmiştir.

1.3. Tezin Bölümleri

Hazırlanmış olan bu tez 6 bölümden oluşmaktadır. 1. bölümde çalışmanın amacı ve literatürden bahsedilmiş, 2. bölümde mermer artıkları ve genel terminolojiden bahsedilmiştir. 3. bölümde çalışma için alınan numune ve makinelerden ayrıntılı olarak bahsedilmiş, saha çalışmaları sonucunda alınan numunelerin deneysel testlere hazırlaması süreci anlatılmış ve bu testlerde kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. 4. bölümde yapılan test sonuçlarına yer verilmiştir. 5. bölümde deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulguların değerlendirmesi yapılmıştır. 6. bölümde elde edilen bulgulara göre tartışma kısmı, 7. bölümde sonuç, 8. bölümde ise kaynaklar verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mermer Artıkları

Mermer fabrikalarında ve ocaklarında üretim esnasında artıklar oluşmaktadır. Bu artıklar, fabrikalarda üretimden sonra toplanıp, fabrikanın dışında üretime engel teşkil etmeyen alanlara plansız bir şekilde yığılmaktadır. Mermer ocaklarında üretim esnasında oluşan artıklar, globalde etkisiz atık (inert) olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar inert olarak değerlendirilse de bu artıklar doğal taş madenciliğinin en önemli sorunlarından biridir. Mermerciliğin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde, artıkların fazlalığı ve kullanım alanı bulunamadığı için biriktirilmesi çevreyi olumsuz etkilemekte ve ekonomik olarak da zarar oluşturmaktadır.

Mermer artıkları canlı ve cansız varlıkların oluşturduğu ekosistemlere ciddi zararlar verebilmektedir. Fabrikalarda veya mermer sahalarında oluşan bu mermer artıkları doğaya ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşimlerin bir araya gelmesiyle birlikte ciddi zararlı etkiler oluşturur. Toprağın su emme kapasitesini düşürdüğü için ürün verimliliğini azaltır. Bu alanlarda süregelen bitkisel yaşam faaliyeti yok olabilir. Bu artıklarından kaynaklanan küçük boyutlu parçalar havada uçuşur ve havanın kirlenmesine neden olabilir. Akarsular için ise hem suyun kalitesini bozar hem de depolanma kapasitesini en alt seviyelere indirir. Mermer artıkları karada uzun süre kaldıklarında suyun akış düzenini engeller ve yer altı su havzaları üzerinde olumsuz etkiler oluşturur. Ayrıca yolların yapısını bozarak araç trafiğini engelleyebilir. Etrafa dağılan mermer artık yığınları varlığı yadsınamaz bir şekilde çevre kirliliği oluşturur. Yerleşim alanlarının turizm hayatı ve endüstriyel işleyişi üzerinde olumsuz etkiler doğurur [9].

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki ocaklarda ve fabrikalarda yürütülen proseslere bağlı olarak üretimin % 40-%70 aralığında doğal taş artığı ortaya çıkmaktadır. Bazı uzmanlar, bu artık miktarının daha yüksek olduğunu ifade eder. Doğal taşın mineralojisi, çatlaklı ve süreksiz yapısı ile üretim ve işleme süreçleri, artık miktarındaki farklılıkları etkilemektedir.

Mermer işletmeciliğinde oluşan artıklar genellikle ocaklarda mermer çıkarılırken oluşan artıklar ve fabrikalarda kesim esnasında oluşan artıklar olarak sınıflandırılır. Ocaklarda

blok ve moloz üretimi gerçekleştirilirken, pasalar ortaya çıkar. Moloz, sadece atık değil, aynı zamanda blok üretimi esnasında oluşan, ekonomik değeri olan ve yüzeyi defalarca sayılmış şekilsiz blok parçalarını tanımlar. Yürütülen araştırmalar, sahanın jeolojik yapısını da dikkate alarak, ocak veriminin (blok ve moloz için) %10-%40 arasında değiştiğini ve kalan %60-%90'lık bölümün pasayı oluşturduğunu göstermektedir. Fabrikalarda, doğal taşın kesilmesi ve işlenmesi sırasında ise iki farklı mermer artığı ortaya çıkar. Bunlardan birincisi, ebatlandırma sırasında meydana gelen ve daha büyük boyutlarda olan paledyenlerdir. İkincisi, kesim ve parlatma işlemleri sırasında oluşan ve boyutları 1-2 mm.'den daha küçük olan toz artıklardır. Bu ince toz artıklar, kesim sırasında kullanılan su nedeniyle ya çamur formunda ya da filtre presten çıkan kek şeklinde depolanır [10]. Yapılan bir çalışmada ocaktan, işleme fabrikalarına kadar oluşan artıklar Çizelge 2.1'de verilmiştir [11]. Mermer ocaklarında ve üretim alanlarındaki mermer artıkları incelendiğinde en yüksek artık oranının ocaklarda olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1. Mermer üretim aşamalarında oluşan atık oranları [11]

Toplam Atık Oranı	Mermer Ocağında Meydana Gelen Atık Oranı	Cila-Parlatma Aşamasında Meydana Gelen Atık Oranı	Mermerin Kesimi ve Ebatlanması Sırasında Oluşan Atık Oranı	Üretilen Net Ürünün Oranı	Üretime Giren Mermer Oranı
70%	50%	5%	15%	30%	100%

Mermer bloklarının kesilmesi ve parlatılması sırasında oluşan toz ve çamur artık miktarı göz önüne alındığında çevreye olan etkisi yadsınamayacak şekildedir. Toz ve çamur artıklar geri kazanılamaz ise uzun vadede “atık” olarak kalmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi her ne kadar mermer artıkları “inert atık” olarak ilan edilse de çevreye ve bulunduğu bölgedeki yaşam alanlarına olan olumsuz etkisi göz ardı edilemez.

2.2. Mermer Artıklarının Oluşum Yerine Göre Sınıflandırılması

Mermer artıkları oluşum yerine göre ocaklarda ve fabrikalarda olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1. Ocaklarda Oluşan Mermer Artıkları

Mermer ocaklarında ürün çıkarılması sırasında mermerin yapısında bulunan kırıklı ve çatlaklı yapılar düzgün blok elde edilememesine neden olmaktadır. Bu durum da şekilsiz, irili ufaklı mermer parçaları (moloz) çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 2.1). Üretim yöntemi seçiminin verimsizliğinden kaynaklı bu durum, mermer artığı oluşumuna neden olmaktadır.



Şekil 2.1. Ocaklarda Oluşan Mermer Artıkları.

Ocaklarda çıkarılan mermerin sayalama işlemi sırasında bloklar elde edilirken, kesilen parçalardan açığa çıkan artıklar bulunmaktadır. Ocak üretiminin büyük bir kısmını oluşturan bu artıkların büyük bir bölümü değerlendirilememekte ve ocakların içinde veya dışında üretime engel olmayacak şekilde yığın halinde biriktirilmektedir.

2.2.2. Fabrikalarda Oluşan Mermer Artıkları

Ocaklarda blok haline getirilerek fabrikalara gönderilen ürünler, tesislerde kesim aşamalarından geçmektedir. Makineler yardımıyla farklı boyutlarda levha ve plakalar üretilen mermer bloklarının kesimi sırasında ve kesilen ürünlerin parlatma, cilalama ve kalibrasyon sürecinde de artıklar oluşmaktadır. Levha ve plaka üretimi sırasında çıkan

artıklar 30 cm.'den küçük parça artıklardır. Parlatma ve cilalanma prosesinde çıkan artıklar, toz artık olarak kabul edilmektedir.

2.3. Mermer Artıklarının Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Ocak ve fabrikalarda mermer üretimi sırasında çıkan artıklar boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır.

2.3.1. Molozlar

Ocaktaki üretim sırasında mermerin jeolojik yapısında bulunan kırıklı ve çatlaklı yapıdan dolayı blok üretimi sırasında ortaya çıkan belirli bir şekli olmayan iri yapılı mermer parçalarıdır. Üretim sırasında zarar görmüş mermer blokları da moloz sınıfında değerlendirilebilir.

2.3.2. Kapaklar

Fabrikalarda blok mermerlerin kesimi sırasında ortaya çıkan genellikle sadece bir yüzü düz yapıya sahip olan iri boyuttaki mermer parçalarıdır.

2.3.3. Paledyenler

Ocaktan tesislere getirilen bloklar makinelerde kesilerek levha ve plakalar haline getirilmekte ve daha sonra ebatlanacakları şekilde (baş kesme ve yan kesme) kesilerek son halini almaktadırlar. Bu süreçte de belirli bir şekle sahip olmayan ve yaklaşık olarak 30 cm.'den daha büyük olmayan mermer parçaları açığa çıkar. Bu parçalar paledyen olarak adlandırılır.

2.3.4. Tozlar

Mermer tozları en küçük boyutlu mermer artıklarıdır (Şekil 2.2.). Kesme ve boyutlama işlemi sırasında oluşan bu artıklarının boyutları 2 mm. ile 250 mikron arasında değişmektedir. Bu tanelerin miktarları ve tane boyutları, kesilen mermerlerin mineralojik yapısına, kesim yapılan makinenin kesici uç yapısına, kalınlığına ve kesme şekline bağlı olarak değişiklik gösterir.



Şekil 2.2. Mermer tozu.

2.3.5. Mermer Çamuru

Mermer toz artıkları su ile karıştığında mermer çamurunu oluşturmaktadır (Şekil 2.3.). Mermer tozları, fabrikalardaki kesim makinelerinden çıkmakta ve su ile karışmaktadır. Bu makineler hemen hemen her mermer fabrikasında görülebilen, ST, ktrak, silme-cilalama görevlerini üstlenen makinelerdir. Suyun buradaki önemi, mermer bloklar makinelerde kesilirken soğutucu olarak kullanılması ve kesim sırasında ortaya çıkan parçaların ortamdaki uzaklaştırılmasının sağlanmasıdır. Literatürde yapılan bir çalışmada [12] makinelerde kullanılan testerelerin bıçak kalınlığının yaklaşık 5 mm. olduğu ve kesilen blokların da 20 mm. kalınlığında levhalar halinde kesildiği belirtilmiştir. Yapılan kesimlerde, her 25 mm kalınlığında kesilen mermer bloğun yüzey alanından 5 mm.'lik kısmının toza dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bu toz mermer, kesimler sonucunda su ile birlikte karışarak çamur olarak çıkmaktadır. Sonuç olarak, işlenen mermerin toplam ağırlığının yaklaşık %20'si mermer çamuru şeklinde açığa çıkmaktadır. Bu çamurun içerisinde %35 ile %45 arasında su bulunmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen kimyasal analizlere göre, mermer çamurundaki 200 mikron altı partiküllerin %90'ı kalsiyum ve magnezyum karışımından oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Mermer çamuru.

2.4. Mermer Artıklarının Kullanım Alanları

Mermer artıkları boyutlarına, fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve kalsiyum içeriklerine göre çok farklı kullanım alanları bulabilmektedir.

2.4.1. Yapı, İnşaat ve Metalurji Sektörü

Parça mermer artıkları belirli boyutlarda getirilerek, toz mermer artıkları ise bir takım kimyasal işlemlerden geçerek yapı ve inşaat sektöründe kullanım alanı bulabilmektedir.

Parça mermer artıkları farklı geometrik desenler şeklinde yer döşemesinde kullanım imkanı bulabilmektedirler. Farklı renklerdeki mermer artıkları doğasında bulunan renklerle, diğer doğal taş artıklarıyla veya boyanarak mozaik yapımında kullanım alanı bulabilirler. Mermer parçaları eskitme yöntemiyle birlikte antik bir görünüm kazanarak yer ve duvar döşemesi için kullanılabilir.

Mermer artıkları inşaat alanında da oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Parça mermer artıkları, yapıtaşı ve mozaik olarak kullanılabilir. Toz mermer artıkları ise çimento, sıva, harç ve kimyasal bileşiminden dolayı kireç kullanımında da ön plana

çıkılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan ve "Suni Mermer" olarak da adlandırılan karoların üretiminde ana hammadde olarak doğal mermerler tercih edilmektedir. Uygun boyutlarda seçilen mermer parçaları bağlayıcılar ile beraber kullanılarak, mermer agregalı karo üretiminin temelini oluşturmaktadır [13]. Yapılan bir çalışma göstermektedir ki, karo üretiminde mermer parçalarının yanında ayrıca % 10 – %12 oranında, boyutu 0,5 mm. altında olan mermer tozu da kullanılmaktadır. Mermer tozu belirli boyutlarda alınarak en düşük "polyester bağlayıcı/mermer tozu" oranıyla karıştırılır ve kalıplar içinde sabit bir basınç altında vakumlanır. Bu yöntemle, 126x126x32 cm., 126x247x32 cm. ve 126x308x85 cm. ebatlarında sıkıştırılmış bloklar üretilir. Bu bloklar, talebe göre kesilerek farklı boyutlarda plakalar haline getirilir [14].

Mermer tozu derz dolgu malzemesi üretiminde kullanılan kalsit yerine tercih edilebilir. Kalsitin derz dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi için renginin beyaz ve tane boyunun ortalama 250 mikron ve altında olması istenir. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) oranının yüksek olması, nem oranının ise en fazla % 1 olması gerekmektedir. Eğer bu istenen özellikler karşılanmazsa karıştırma işleminden sonra beyaz çimentoyla etkileşime girerek prizlenme riski oluşturmaktadır [6].

Seramik sektöründe %5-%6 aralığında mermer kullanılabilir. Kullanılan kalsiyumoksit (CaO), mermer toz artıklarının kalsinasyonu ile elde edilerek kullanılabilir. Kalsiyum karbonat ürünün dayanıklılığını artırır. Mermer toz artıklarının seramik üretiminde kullanılabilmesi için kimyasal içeriğinde az miktar demiroksit ve kromoksit olması beklenir. Demiroksit ve kromoksit miktarının artması halinde üründe renk değişimi meydana gelir. Bu durumu engellemek amacıyla, mermer toz artıkları manyetik ayırıcılardan geçirilerek, istenmeyen kısımlar uzaklaştırılabilir [6, 14].

Mermer toz artıkları içeriğinde bulunan kalsiyum oksit (CaO) ve silika (SiO_2) miktarına göre sır hammaddesi olarak kullanılabilir. Mermer toz artıklarında bulunan kalsiyum karbonat (CaO), diğer kimyasallarla birleşerek camlaştırıcı etki yaratmaktadır [10].

Porselen üretiminde kullanılan kalsiyum karbonat (CaO) hammaddesi olarak da mermer toz artıkları kullanılabilir. Porselen üretiminde kullanılan kalsiyum karbonat (CaO) oranı % 5 olarak verilmektedir. Bazı çalışmalara göre, kemik porselen üretiminde, mermer toz artıklarının kemik külü yerine kimyasal fosfat hammaddesi de katılarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Bunun sonucunda mermer toz artıklarının bu sektörde kullanım oranı artacaktır [15].

Mermer toz artıkları çimento üretiminde kireç taşı yerine kullanılabilirlik göstermektedir. Bazı çalışmalara göre [15] çimento üretiminde yaklaşık olarak %15-%20 oranında kireçtaşı kullanılmaktadır. Kullanılacak kireçtaşının kalsiyum karbonat (CaCO₃) oranı %75'den fazla, magnezyum oksit (MgO) oranı %5'den az, içerdiği kil oranının yaklaşık %1.2'den düşük olması ve organik madde oranının %0.2'den az olması beklenir. Bu içeriğe sahip mermer toz artıkları çimento üretiminde kullanılabilir. Diğer bir çalışmada da [16] özellikle Portland çimentosu üretimi için mermer toz artıkları tercih sebebi olabildiği belirtilmiştir. Boyutları 1-200 mikron aralığında olan mermer toz artıklarının Portland çimentosunda kullanımını hem kimyasal içeriği açısından hem de ekonomik olarak uygun olmaktadır. Çimento üretiminde yapısında kalsit barındıran bileşenler kullanılsa da, mermer toz artıklarının sadece beyaz renkli Portland çimentosu üretiminde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada [17] beton karışımlarında mermer toz artıklarının kullanılmasının betonun yoğunluğunda iyileştirme yaptığı belirtilmiştir. Mermer toz artıkları kullanarak ve doğal malzeme korunarak düşük maliyetli beton üretilebilir. Çalışmalar sonucunda mermer tozu karıştırılan beton karışımlarında ortalama mukavemet, referans betonlardan %5 ile %10 arasında daha yüksek olmuştur. Bu sonucun yanında, %15 mermer tozu karışımına kıyasla %20 mermer tozu kullanıldığında basınç dayanımı değerlerinde az da olsa azalma gözlenmiştir. Basınç dayanımında en yüksek değer %15 mermer tozu kullanıldığında elde edilmiştir.

Mermer tozlarının kalsinasyonu sonucunda, kireç ve dolomitik kireç elde edilebilmektedir [15]. Mermer toz artıklarında, magnezyum oksit (MgO) oranı % 5'den az ise kireç, % 5'den fazla ise dolomitik kireç üretilebilir. Kalsinasyon işleminde, mermer tozlarının safsızlık oranı, kimyasal yapısı, tane boyları gibi özellikler önemli rol

oynamaktadır. Kireç aynı zamanda tuğla imalatında bağlayıcı olarak da kullanılmaktadır [17]. Mermer toz artıkları bahsedilen içerikleri sebebiyle tuğla imalatında kullanılabilir. Mermer toz artıkları bahsedilen içerikleri sebebiyle tuğla imalatında kullanılabilir.

Kalsiyum karbonat (CaCO_3) metalürjide, metalleri parlatma işlemlerinde, yüksek dereceli fırınlarda, fosfor ve silisin çelik içeriğinden temizlenmesinde ve silisli cevherlerin erime derecelerinin azaltılmasında kullanılmaktadır. Mermer toz artıklarının metalürjide kullanılabilmesi için tane boyutlarının 12.5-4.16 mm. arasında olması, % 0.5 sülfür, % 0.01 'den az fosfor ve %10 magnezyum karbonat (MgCO_3) içermesi istenir. Eğer mermer toz artıkları çelik üretiminde kullanılacak ise maksimum % 8 silisyum dioksit (SiO_2), % 1.5 magnezyum karbonat (MgCO_3) ve % 0.025 sülfür içermesi istenmektedir [15].

Mermer tozları içeriğinden dolayı boya endüstrisinde de kullanım alanı bulmaktadır. İnce tane boyuna sahip kalsiyum karbonatın (CaCO_3) en çok kullanıldığı alanlardan bir tanesi de boya endüstrisidir. Beyaz renkli ve kimyasal yapısının karmaşık olmamasından kaynaklı tercih sebebi olmaktadır. Yapılan çalışmalara göre [15] mermer toz artıklarının boya üretiminde kullanılabilmesi için kalsiyum karbonat (CaCO_3) oranının en az %97, tane boyutlarının ise 0.77-44 mikron aralığında olması gerektiği belirlenmiştir. Renk ve görünümün dikkate alınmadığı durumlarda daha ekonomik olacağı ve üretim maliyetini azaltacağı için boyaların üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

Mermer toz artıkları plastik üretiminde de kullanılabilir. Kullanıma elverişli olması için CaCO_3 oranının %97 seviyelerinde olması gerekmektedir. Tane boyu 40 mikronun altında olan kalsiyum karbonat (CaCO_3) %45 oranında plastik üretiminde tercih edilmektedir. Plastik üreticileri uzun süredir maliyeti azaltmak için mermer tozlarını kullanmaktadır. Kullanılacak bu malzemenin ağır metaller içermemesi ve yüksek bir kimyasal saflığa sahip olması beklenir [6].

Cam üretiminde ana madde olarak kalsiyum oksit (CaO) kullanılmaktadır. İçeriğinden dolayı cam endüstrisinde de sıkça kullanılan mermer toz artıklarının bu alanda kullanıma uygun olabilmesi için içerdikleri magnezyum ve kalsiyum oranının yüksek olması gerekmektedir. Renklendirme etkisinden dolayı demiroksit (FeO) oranının %0.1 altında

olması beklenir. Kalsiyumca zengin olan malzeme şişe ve pencere camında, magnezyumca zengin olan malzeme ise özel cam imalatında tercih edilir [13, 16].

2.4.2. Tarım ve Hayvancılık Sektörü

Toprağın verimli ürün verebilmesi için kimyasal özelliklerinin uygun olması son derece önemlidir. Toprağın sahip olduğu kalsiyum oranı yapısı için önemli olduğu kadar, kimyasal yapısı üzerinde de son derece etkili olduğundan toprağın belirli bir düzeyde kalsiyum oranı içermesi gerekmektedir.

Topraklar doğanın gereği doğal sularla yıkandığı için kireç kaybetmektedir. Bu sebeple düzenli olarak kireçli madde verilmesi gerekir. Kireçli madde ihtiyacı kalsiyum içerikli maddelerden karşılanır [16]. Aynı zamanda tarımda asidik özellik gösteren topraklara kalsiyumlu gübreler uygulanmaktadır. Kalsiyumlu gübrelerin üretiminde, kalsiyum karbonat (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ya da kalsiyum oksit (CaO) kullanılmaktadır. Bunlardan en çok tercih edilen kalsiyum kaynağı ise kalsiyum karbonattır (CaCO_3). Kalsiyum karbonat kaynağı olan mermer toz artıklarının tarımda kullanılabilmesi için en az %80 oranında kalsiyum karbonat (CaCO_3) içermesi gerekmektedir [15].

Mermerin toz artıklarının bünyesinde barındırdığı kalsiyum karbonat ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) ve kalsiyum oksit (CaO), hayvancılık sektöründe yem olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Mermer tozlarının hayvan yemlerinde kullanılabilmesi için içerdikleri minerallerin tane boyutunun 2 mm.'nin altında olması ve içeriğindeki kalsitinde %92 oranında olması gerekmektedir [18]. Aynı zamanda mermer toz artıkları bünyesinde bulunan mineraller nedeniyle yumurta yemlerinde kullanıma elverişlidir. Tane boyu 2 mm.'nin altında olan mermer toz artıkları, yumurta yemlerinde de %10-12 oranında kullanılabilir [14]. Mermer toz artıklarının hayvan yemi olarak kullanılabilirliği ve içeriklerinin ne olması gerektiği TSE Standartlarında TS806' da belirlenmiştir.

2.4.3. Kozmetik Sektörü

Mermerin içeriğinde bulundurduğu kalsit mineralinden dolayı mermer toz artıkları kozmetik sektöründe de kullanılabilir. Kalsit, pudralarda farklı oranlarda

kullanılabilmektedir. Mermer tozu oransal olarak pudra bileşiminde fazla kullanılırsa, sıcaklığında etkisiyle ciltte çizgilenmelere neden olabilmektedir. Mermer tozu rengi, içeriğindeki elementler, tane boyutu ve ucuz elde edilmesi gibi özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmaktadır. Ayrıca kalsit minerali diş macunu ve diş tozunda da kullanılabilmektedir. Kozmetik sektöründe kullanılan artıkların tanecik büyüklüğü 2-10 mikron aralığındadır. Mermer tozu içeriğindeki Kalsit minerali kullanılırken, fiziksel ve kimyasal yapısından dolayı dikkat edilmelidir. [18].

2.4.4. Kağıt Sanayi

Mermer toz artıkları içeriğinde bulundurduğu kalsiyum karbonat (CaCO_3) dolayısıyla kağıt üretiminde ve bu sektörde dolgu ve kaplama olarak da kullanılmaktadır. Kaliteli kağıt yapımı, gazete kağıtları ve sigara kağıdı yapımında kullanılır. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren kağıtların daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Kağıt sanayinde kullanılan mermer tozlarının tane boyunun 2 mikron altında ve % 30-98 arasında kalsiyum karbonat (CaCO_3) içermesi istenmektedir. Dolgu amaçlı kullanımlarda kalsiyum karbonat (CaCO_3) oranı, % 40-80 arasında, ilk yapılacak kaplamada ve mat kaplamalarda bu oran % 60 civarındadır. Tek kat ve üst kat kaplamalarda ise 2 mikron altı ve % 98 kalsiyum karbonat CaCO_3 oranı istenmektedir [6, 16].

2.4.5. Hava Kirliliği Önleme Amacıyla Kullanımı

Mermer toz artıkları filtre malzemesi olarak da kullanım alanı bulmaktadır. Hava kirliliğini engellemek için bazı katı yakıtların tüketiminden kaynaklanan kirliliği azaltmak üzere çeşitli filtre sistemleri tercih edilmektedir. Bu yakıtlardan biri de sülfür dioksit (SO_2) emisyonu içeren katı yakıtlardır. Bu hava kirliliğini önlemek amacıyla katı malzemeli filtre sistemleri kullanılır. Katı malzemeli filtre sistemi ile, yanma sonucu oluşan sülfür dioksit (SO_2) emisyonlarının, eşka karışımı ($\text{MgO}+\text{Na}_2\text{CO}_3$), manyezit, soda ve sönmüş kireç gibi katı malzemelerle filtre edilerek dış ortama salınması önlenmektedir. Yapılan bir çalışmada, katı malzeme olarak mermer toz artıkları, sönmüş kireç, eşka karışımı, soda ve manyezit kullanılarak sülfür dioksit (SO_2) tutma verimleri incelenmiştir. Eşka karışımı ve sönmüş kireçten % 100, mermer toz artıklarından % 80, manyezitten % 75, sodadan % 70 verim elde edildiği belirlenmiştir [15].

2.4.6. Yol Yapımında Kullanımı

Mermer artıkları stabilizatör olarak yol yapımlarında da kullanım alanı bulmaktadır. Yol yapımında kullanılan kil mineralleri ile birleşerek plastisite, genleşme ve kabarma katsayılarını etkiler. Aynı zamanda parça mermer artıkları da mıcır olarak yol yapımında kullanılabilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda [19], asfaltların içeriğine mermer tozları katıldığında daha uzun ömürlü olduğu belirlenmiştir. Araştırmalarda, asfaltlarda dolgu malzemesi olarak taş tozunun yerine mermer tozu kullanımının mümkün olduğu belirlenmiştir.

Yapılan başka bir çalışma da göstermektedir ki mermer artıklarının asfaltta dolgu olarak kullanılabilirliğinin yanında, agrega olarak yol kaplamasında da kullanılabilir. Yapılan çalışma sonucunda orta yoğunluktaki taşıt trafiği bulunan yollarda kullanımının olumlu olduğu görülmüştür [20].

2.4.7 Demiryolu Zemin Malzemesi

Demiryollarında zemini sağlamlaştırmak için ilk olarak balast adı verilen uygun sağlamlıkta ve boyutlarda granül taşlar döşenir. Bu şekilde sağlamlaştırılan demiryolu, yükleri rahat bir şekilde karşılar. Aynı zamanda yapım malzemeleri olan travers ve raylarda suyun etkisinden korunmuş olur [16]. Parça mermer artıkları da belirli boyutlara getirilerek, zeminin sağlamlığına katkı sağlamak için demiryollarında kullanılabilir.

2.4.8. Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları

Akarsu ıslah yapıları ve rüsubat tutucu yapıların büyük bir bölümü taş malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Bu yapılar akarsuların akışını düzenler ve aynı zamanda yamaç erozyonlarını engeller. Bu ıslah yapılarında uygun boyutta mermer artık parçaları taş malzeme ve kâgir yapı elemanları olarak kullanılabilir [21].

2.5. Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Hesaplanması Çalışmaları

Elçi ve ekibi, 2017'de [22] gerçekleştirdiği çalışmada, doğal taş işleme tesislerindeki artık miktarının belirlenmesinin, tesisin alacağı ham blok veya molozun ağırlığı ya da hacmi

temel alınarak yapılabileceğini ifade etmiştir. Ne var ki, bu verilere sürekli erişim sağlamak zordur. Bu nedenle, bir ham blok veya molozun kesilmesi sonucunda ortaya çıkan artık miktarının teorik olarak hesaplanması tavsiye edilmiştir. Ham bloklar ve molozların kesilerek levha ve plaka haline getirilirken ortaya çıkan artık miktarı levha ve plakaların kesim kalınlığına, kesici olarak tercih edilen makine tipine (katrak veya ST) ve kesici yüzey (katrak soketi veya ST soketi) kalınlığına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Çalışma yapılan doğal taş tesislerinde, katraklarda genelde 5 mm. kalınlığında soketler kullanıldığı ve çoğunlukla 2 cm. ve 3 cm. kalınlığında levhalar kesildiği gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, bir ham bloğun katrakta levha üretimi için kesildiğinde ortaya çıkan artık miktarı hesaplanırken soket kalınlığı 5 mm. olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak hesaplamalar şu şekilde yapılmıştır:

$$\text{Artık Miktarı} = (N \times D \times L \times B \times H) / (L \times B \times H)$$

N = lama sayısı

D = soket kalınlığı (m.)

L,B,H = sırasıyla ham bloğun boyu, eni ve kalınlığını temsil etmektedir.(m.)

1x1x1 m³ boyutlarındaki bir bloğun katrakta, 5 mm.'lik soketle ve 1 cm kalınlığında levha kesimiyle işlendiğinde meydana gelen artık miktarı şu şekildedir:

Artık miktarı = (67x1x1x1/1x1x1) sonucunda 0,335 m³ olarak bulunmuş ve bu, %33,5'e karşılık gelmektedir.

1x1x1 m³ boyutlarındaki bir bloğun katrakta, 5 mm.'lik soketle ve 2 cm kalınlığında levha kesimiyle işlendiğinde meydana gelen artık miktarı şu şekildedir:

Artık miktarı = (40x2x1x1x1/1x1x1) sonucunda 0,2 m³ olarak bulunmuş ve bu, %20'ye karşılık gelmektedir.

1x1x1 m³ boyutlarındaki bir bloğun katrakta, 5 mm.'lik soketle ve 3 cm kalınlığında levha kesimiyle işlendiğinde meydana gelen artık miktarı şu şekildedir:

Artık miktarı = (29x3x1x1x1/1x1x1) sonucunda 0,145 m³ olarak bulunmuş ve bu, %14,5'e karşılık gelmektedir.

Bu hesaplamalara göre ortalama katrok kesimi sonrası ortaya çıkan artık miktarı ise 0,23 m³ (% 23) olarak belirtilmiştir.

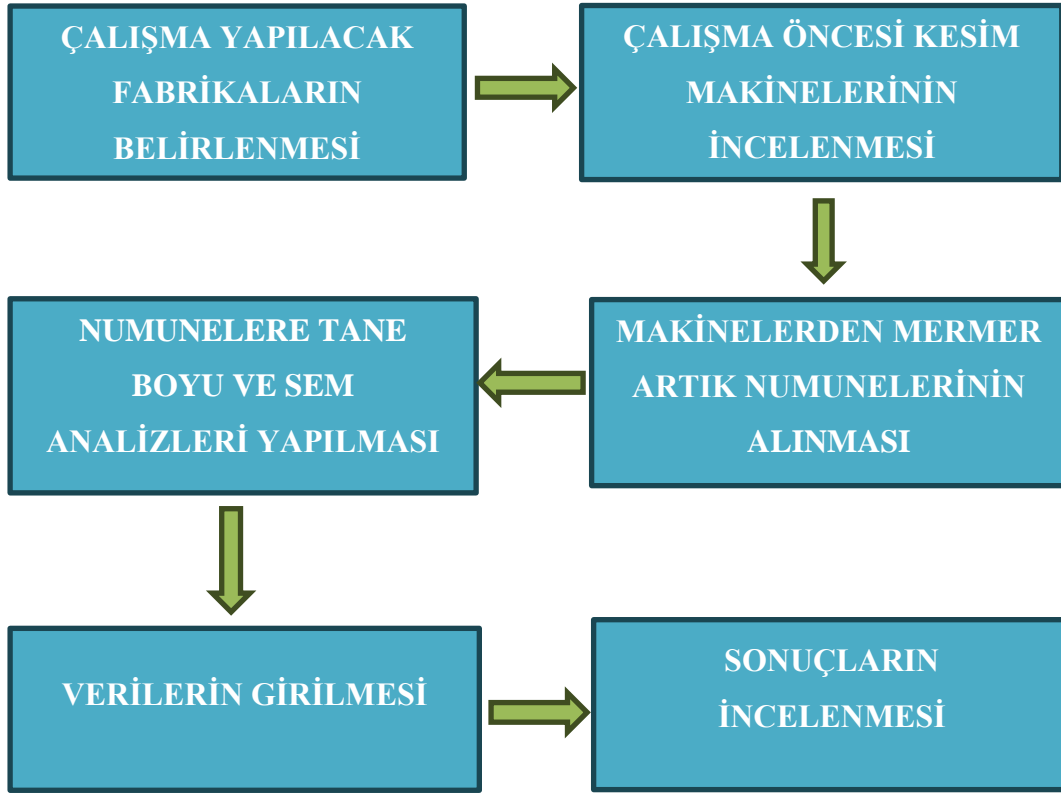
Bu çalışmada, katrok makineleriyle karşılaştırıldığında, ST makineleriyle hem yatay hem de düşey kesim yapılabilđi vurgulanmıştır. 1x1x1 m³ büyüklüğünde bir ham blok ST makinesinde 2 cm. veya 3 cm. kalınlıkta, 30 cm. genişlikte ve serbest boyutta plaka üretimi için kesildiğinde, plakalar arasında 8 mm. düşey kesim kalınlığı olduğu ve 3 kademedede 5 mm. yatay kesim yapılacağı belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında uzun süredir doğal taş madenciliğinin en önemli sorunlarından biri olan, ekonomiye kazandırılması için çaba gösterilen, doğal taş işleme fabrikalarında oluşan toz artıklarının analizleri yapılmış, fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiş, tane boyu dağılımları belirlenmiş ve bu özellikler değerlendirilerek hangi sektörlerde kullanılabileceği konusunda önerilerde bulunulmuştur. Buradaki amaçlardan biri de büyük bir ekonomik değere sahip olan milli servet sayılan doğal taşlarımızı daha fazla sektörde değerlendirmeye teşvik edebilmektir.

3.1. Çalışmada İzlenen Yöntem

Bu tez çalışmasında, doğal taş işleme fabrikalarında farklı kesim makinelerinde farklı doğal taş çeşitleri kesilirken çamur numuneleri ve blok numuneler alınmış, blok numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri çamur numunelerinin ise ortalama tane boyu değerleri belirlenmiştir. Bu numuneler üzerinde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre farklı doğal taş numunelerinin makinelere göre kıyaslaması yapılmıştır. Şekil 3.1'de çalışmada izlenen yöntem şeması verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yöntem

Mermer fabrikalarından alınan sulu numuneleri kuru forma getirmek için her biri numune bulunan şişeler çalkalanıp, farklı kaplara alınmıştır (Şekil 3.2). Farklı kaplara alınan numuneler kabın ortasına denk gelecek şekilde ısıya dayanıklı kaplara alınarak (Şekil 3.3) kuruması için fırına bırakılmıştır (Şekil 3.4.). 80 derecede kurumaya bırakılan numuneler, fırından çıkarıldıktan sonra elekten geçirilerek paketlenmiş, numaralandırılmış ve analizler için laboratuvarlara teslim edilmiştir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.2. Sulu numune örneği.



Şekil 3.3. Numune örneklerinin kaplara alınması.



Şekil 3.4. Numune örneklerinin fırına koyulması.



Şekil 3.5. Numune örneklerinin paketlenmesi.

3.2. Çalışmada Kullanılan Doğal Taş Örnekleri

Tez çalışmasında numunesi alınan doğal taşların ticari isimleri çalışmada firmaların özel verileri sunulması sebebiyle verilmemiştir. Kullanılan kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu verilere firmaların kataloglarından ulaşılmıştır. Çalışmada verilen Kayaç 1, 2, 3, 4 ve 5 numaraları örnekler kireçtaşı numuneleridir. Kayaç 6 traverten, Kayaç 7 ve 8 ise limra numuneleridir. Kayaç 9, 10, 11 ve 12 ise hakiki mermer numuneleridir.

Çizelge 3.1. Numunesi alınan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri

Numuneler	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Gözeneklilik (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
Kayaç 1	2,72	0,197	0,30	7,34	14,11	91,93
Kayaç 2	2,69	0,20	0,30	7,31	13,74	90,71
Kayaç 3	2,70	0,19	0,33	7,27	13,86	91,57
Kayaç 4	2,70	0,20	0,32	7,28	13,94	91,69
Kayaç 5	2,70	0,20	0,32	7,28	13,92	91,71
Kayaç 6	2,57	1,90	1,20	5,7	9,90	59
Kayaç 7	2,34	12,5	4,40	4,1	6,90	45
Kayaç 8	2,70	0,14	0,05	6,53	10,95	49,65
Kayaç 9	2,72	0,15	0,06	5,49	10,98	73,94
Kayaç 10	2,69	0,25	0,12	5,70	13,10	51,45
Kayaç 11	2,69	0,43	0,16	4,77	14,41	65,31

3.3. Çalışmada Numune Alınan Makineler

Doğal taşları işleme tesislerinde, doğal taşları kesmek için farklı makineler kullanılmaktadır. Doğal taş çamuru numunesi alınan makineler aşağıdaki gibidir.

3.3.1. Katrak Kesim Makinesi

Katraklar birçok testeresi bulunan doğal taş kesim makineleridir (Şekil 3.6.). Bir mermer kütlelerinden aynı anda birçok plaka elde edilmesinde kullanılır. İleri geri hareketleriyle birlikte düzgün doğrusal şekilde ilerleyen lamaların uç kısımlarındaki elmas soketlerin bloğu kesmesiyle birlikte plakalar oluşmaktadır. Çalışmada bir tesisten katraktan kesimi yapılan Kayaç 2 numunesi ve Kayaç 5 numunesi, diğer bir tesisten ise Kayaç 7 numunesi alınmıştır (Şekil 3.7.). Kayaç 11 ve Kayaç 12 numuneleri ise diğer fabrikalardan istenmiştir.



Şekil 3.6. Katrak kesim makinesi



Şekil 3.7. Katraktan numune alımı.

3.3.2. ST Blok Kesme Makinesi

ST blok kesme makinesi katraklara kıyasla daha serbest çalışabilen makinelerdir. ST makinelerinde yatay ve dikey testereler bulunmaktadır. Bu makineler doğal taşların

ebatlanmasında kullanılmaktadır. Bu ebatlama mermerleri şeritler (plakalar) halinde hazırlar. Hazırlanan plakalar vakumlu bir araçla alınarak bir sonraki makineye işlem için bırakılır. ST makineleri kesim yaparken (Şekil 3.8.) bir fabrikada Kayaç 1, Kayaç 2 ve Kayaç 4, diğer bir fabrikada ise Kayaç 6 ve Kayaç 7 numuneleri alınmıştır.



Şekil 3.8. ST blok kesme makinesi.

3.3.3. Boy Ebatlama (Kafa Kesme ve Yarma) Makinesi

Boy ebatlama makineleri, ST makinesinde kesilen plakaların daha küçük şekilde ebatlanmasında kullanılır. Bu makinede de yine testereleler kullanılarak ebatlama yapılmaktadır. Boy ebatlama makinesinden bir fabrikadan Kayaç 1 ve Kayaç 3 doğal

taşlardan, diğer fabrikadan ise Kayaç 6 numuneleri alınmıştır (şekil 3.9.). Diğer fabrikalardan Kayaç 10 ve Kayaç 9 numuneleri istenmiştir.



şekil 3.9. Boy ebatlama makinesi.

3.3.4. Plaka Parlatma (Silim) Makinesi

Plaka parlatma makinesi, belirli ebatlara gelmiş plakaların yzeylerinin cilalanması, pürüzlerinden arınması ve silinmesi işleminde kullanılır. Silim kafaları mermer üzerinde dairesel hareketler uygulayıp, gezer köprü sayesinde her noktaya ulaşırlar. Silim

makinelerinden bir fabrikada Kayaç 1 ve Kayaç 8 numunesi, diğerk bir fabrikada ise Kayaç 6 numunesi alınmıştır (şekil 3.10.).



şekil 3.10. Plaka parlatma makinesi.

3.3.5. Köprü Kesim Makinesi

Köprü kesim makinesi projeye bağlı olarak, plakaları istenilen boyutlarda kesmek için kullanılır. Tez çalışmasında bir fabrikada altından Kayaç 1 ve Kayaç 3 numuneleri, diğer bir fabrikada ise Kayaç 6 numunesi alınan köprü kesim makineleri Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Bir fabrikadan ise Kayaç 9 numunesi istenmiştir.



Şekil 3.11. Köprü kesim makinesi.

3.3.6. Çoklu Tel (Multiwire) Blok Kesim Makinesi

Telli katarak olarak da bilinen çoklu tel blok kesme makinesi (Şekil 3.12.), bloklar halindeki doğal taşların daha hızlı kesilmesi için kullanılır. Bu makine altından Kayaç 6 kesilirken numune alınmıştır.



Şekil 3.12. Çoklu tel blok kesim makinesi.

3.4. Çalışmada Yapılan Analizler

Bu tez çalışmasında; alınan numuneler üzerinde tane boyu dağılım analizi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) laboratuvarında SEM ve XRD analizi uygulanmıştır.

3.4.1 Tane Boyu Analizi

Bu tez çalışmasında tane boyu analizi için HÜNİTEK (Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi) bünyesinde bulunan Mastersizer 3000 cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Mastersizer

Mastersizer 3000, malzemelerin parçacık boyutunu ve parçacık boyutu dağılımını ölçmek için lazer kırınımı tekniğini kullanır. Bu ölçümü, bir lazer ışını dağılmış parçacıklı bir numuneden geçerken saçılan ışığın yoğunluğunu ölçerek yapar. Bu veriler daha sonra saçılma modelini oluşturan parçacıkların boyutunu hesaplamak için analiz edilir. Üç ana unsur, sistemin pek çok endüstriyel prosesin etkili bir şekilde işletilmesi için merkezi olan doğru, sağlam partikül boyutlandırma verilerini tutarlı ve güvenilir bir şekilde sunmasını sağlar [23].

İki farklı doğal taş işleme tesisinden alınan ve kuru toz formuna getirilen numunelere Mastersizer cihazı ile tane boyu analizi yapılmıştır. Şekil 3.14.'te Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜNİTEK) tarafından Mastersizer ile yapılan tane boyu analizi sonrasında alınan rapor örneği sunulmuştur. Bu veriler kullanılarak her bir numune için Şekil 3.15.'te gösterilen tane boyu dağılımı grafikleri çizilmiştir.

Analysis

Malvern Instruments

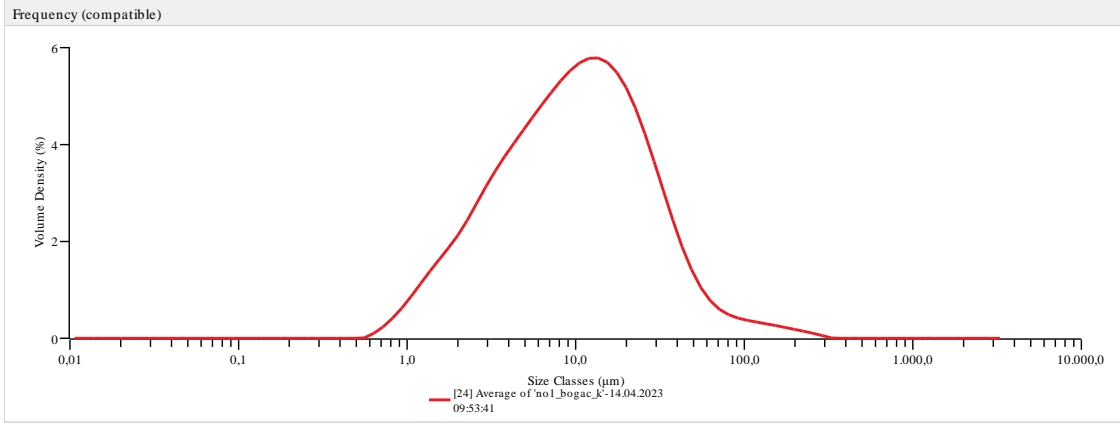


Measurement Details	
Operator Name	MS3000
Sample Name	Average of 'no1_bogac_k'
SOP File Name	HydroEV.cfg

Measurement Details	
Analysis Date Time	14.04.2023 09:53:41
Measurement Date Time	14.04.2023 09:53:41
Result Source	Averaged

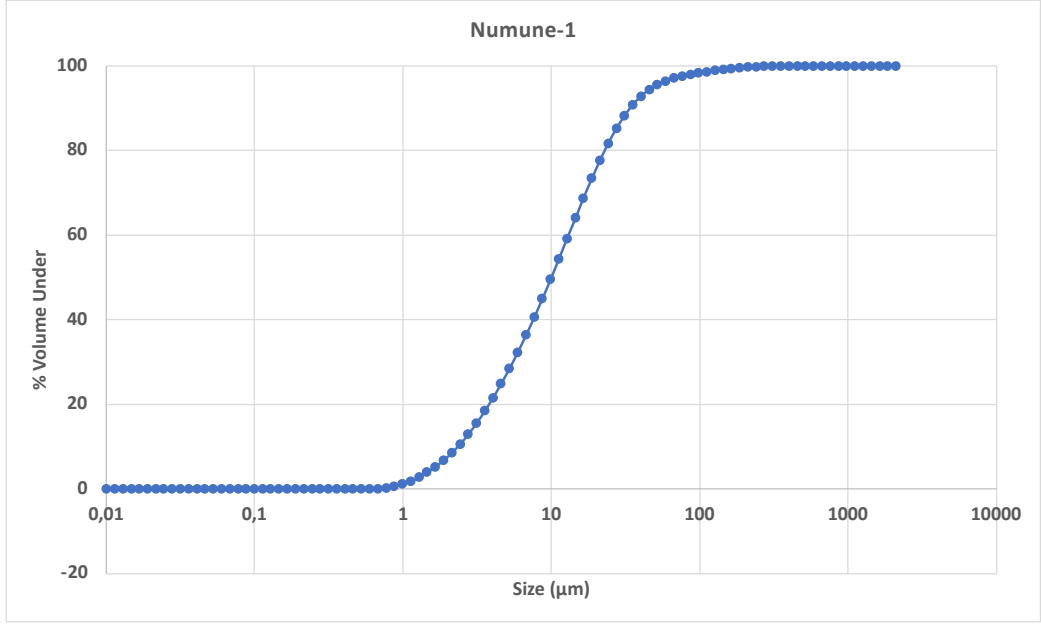
Analysis	
Particle Name	Polypropylene
Particle Refractive Index	1,680
Particle Absorption Index	0,010
Dispersant Name	Water
Dispersant Refractive Index	1,330
Scattering Model	Mie
Analysis Model	General Purpose
Laser Obscuration	9,63 %
Volume Above (1) µm	98,80 %
Volume Above (3) µm	85,23 %
Volume Above (5) µm	72,58 %
Volume Above (10) µm	49,81 %
Residual	0,45 %

Result	
Concentration	0,0061 %
Span	3,176
Uniformity	1,174
Specific Surface Area	396,7 m ² /kg
D [3;2]	5,60 µm
D [4;3]	16,6 µm
Dv (10)	2,32 µm
Dv (50)	9,95 µm
Dv (90)	33,9 µm
Dv (97)	65,6 µm
Volume Above (1) µm	98,80 %



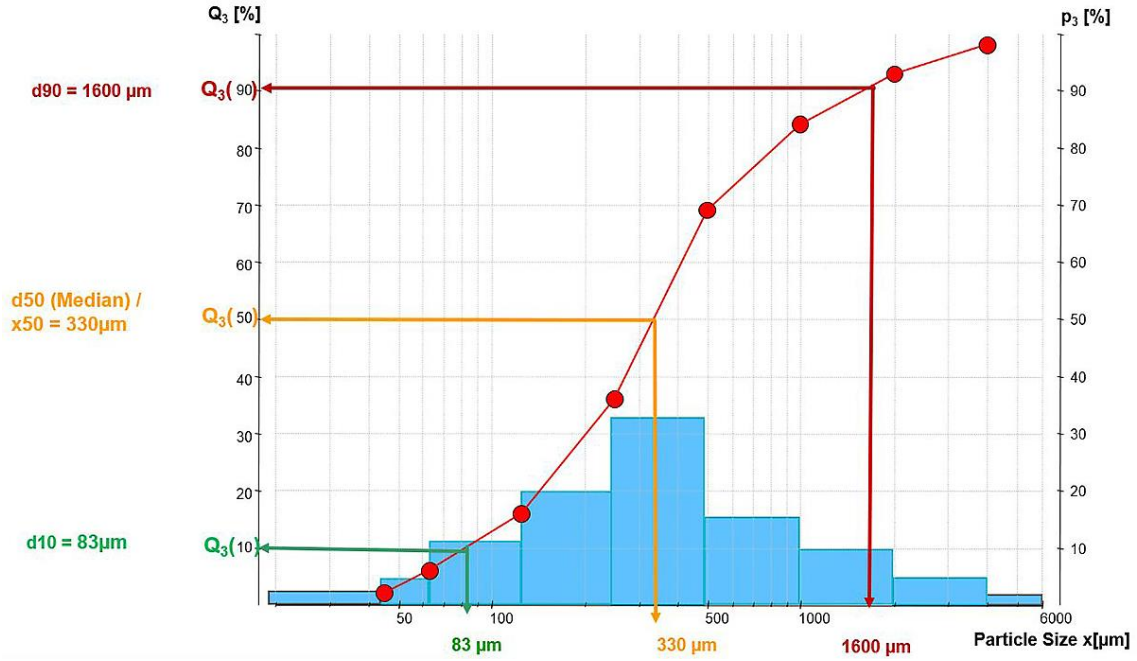
Result											
Size (µm)	% Volume Under	Size (µm)	% Volume Under	Size (µm)	% Volume Under	Size (µm)	% Volume Under	Size (µm)	% Volume Under	Size (µm)	% Volume Under
0.0100	0.00	0.0597	0.00	0.357	0.00	2.13	8.64	12.7	59.22	76.0	100.00
0.0114	0.00	0.0679	0.00	0.405	0.00	2.42	10.67	14.5	64.06	86.4	98.00
0.0129	0.00	0.0771	0.00	0.460	0.00	2.75	12.99	16.4	68.81	98.1	98.34
0.0147	0.00	0.0876	0.00	0.523	0.00	3.12	15.60	18.7	73.40	111	98.65
0.0167	0.00	0.0995	0.00	0.594	0.00	3.55	18.48	21.2	77.73	127	98.93
0.0189	0.00	0.113	0.00	0.675	0.09	4.03	21.61	24.1	81.69	144	99.18
0.0215	0.00	0.128	0.00	0.767	0.28	4.58	24.97	27.4	85.23	163	99.40
0.0244	0.00	0.146	0.00	0.872	0.62	5.21	28.56	31.1	88.27	186	99.59
0.0278	0.00	0.166	0.00	0.991	1.14	5.92	32.36	35.3	90.81	211	99.74
0.0315	0.00	0.188	0.00	1.13	1.86	6.72	36.38	40.1	92.84	240	99.86
0.0358	0.00	0.214	0.00	1.28	2.80	7.64	40.62	45.6	94.41	272	99.95
0.0407	0.00	0.243	0.00	1.45	3.95	8.68	45.05	51.8	95.59	310	100.00
0.0463	0.00	0.276	0.00	1.65	5.31	9.86	49.66	58.9	96.46	352	100.00
0.0526	0.00	0.314	0.00	1.88	6.87	11.2	54.40	66.9	97.10	400	100.00
										454	100.00
										516	100.00
										586	100.00
										666	100.00
										756	100.00
										859	100.00
										976	100.00
										1110	100.00
										1260	100.00
										1430	100.00
										1630	100.00
										1850	100.00
										2100	100.00
										2390	100.00

Şekil 3.14. Tane boyu analiz raporu.



Şekil 3.15. Tane boyu analizi sonrasında oluşturulan tane boyu dağılımı grafiği.

Şekil 3.14.'te örneği verilen rapor sonuçlarından bu tez çalışmasında tane boyu ile ilgili kullanılan parametreler $D_v(10)$, $D_v(50)$, $D_v(90)$, Volume Above 1-3-5-10 μm (1-3-5-10 μm üstünde kalan toplam yüzdeler) ve Span (Dağılım açıklığı) değerleridir. Bu değerler aynı zamanda literatürde $d(10)$, $d(50)$ ve $d(90)$ olarak da gösterilmektedir. Bu değerler doğrudan kümülatif tane boyu dağılımından okunabilen değerlerdir ve %10, %50 ve %90 kümülatif yüzdeye karşılık gelen boyutlardır. Şekil 3.16'da örnek olarak verilen bir tane boyu dağılımı grafiğinde $d(10)$, $d(50)$, $d(90)$ değerleri grafik üzerinden işaretlenmiştir. $D_{10} = 83 \mu\text{m}$, $d_{50} = 330 \mu\text{m}$ ve $d_{90} = 1600 \mu\text{m}$ değerleri, numunenin %10'unun $83 \mu\text{m}$ 'dan, %50'sinin $330 \mu\text{m}$ 'dan ve %90'ının $1600 \mu\text{m}$ 'dan küçük olduğu anlamına gelir [24].



Şekil 3.16. Örnek tane boyu dağılımı grafiği. [24]

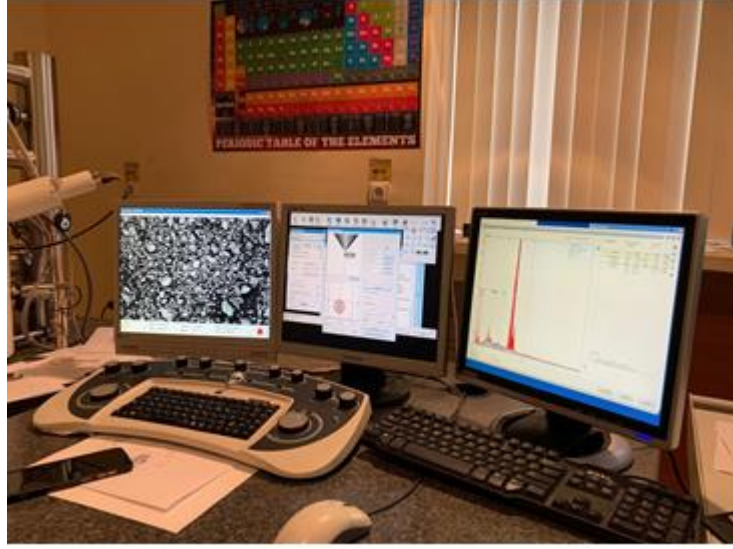
Tipik bir tane boyu dağılımı analiz raporunda (Şekil 3.16.) d₁₀, d₅₀ ve d₉₀ değerine ek olarak bir de “span” (dağılım açıklığı) değeri bulunur. Dağılım açıklığı değerini bulmak için bir formül kullanılır. Eşitlik 3.1.’de hesaplamada kullanılan formül verilmiştir [25].

$$Span = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad \text{Eşitlik (3.1)}$$

Dağılım açıklığı değeri tane boyu dağılımının genişliğini gösteren bir parametredir. Tane boyu dağılımı ile dağılım açıklığı değeri arasında doğrudan bir korelasyon vardır. Dağılım açıklığı değeri ne kadar küçük olursa, tane boyu dağılımı da o kadar dar aralıkta olacaktır.

3.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Numuneler üzerinde yapılan SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizi Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Bruker AXS Microanalysis firmasına ait Quantax taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17.). Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektronları kullanarak numune yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü almaya yarayan sistemdir. Malzemelerin morfolojisini, parçacık boyutunu ve şeklini analiz etmek için kullanılır.



Şekil 3.17. SEM analizi.

Tesislerde farklı noktalardan (ST binası çıkışında ST kesimlerinin toplandığı alandan alınan, arıtılmış sudan ve arıtıldığında oluşan kekten alınan, katrakla kesim esnasında alınan, fabrika çıkışında tüm kesimlerin toplandığı alandan) alınan numuneler SEM ile incelenmiştir.

4. BULGULAR

Çalışmada elde edilen sonuçlar yapılan analizlere göre başlıklar altında toplanmış ve bu bölümde sunulmuştur.

4.1. Tane Boyu Analizi Sonuçları

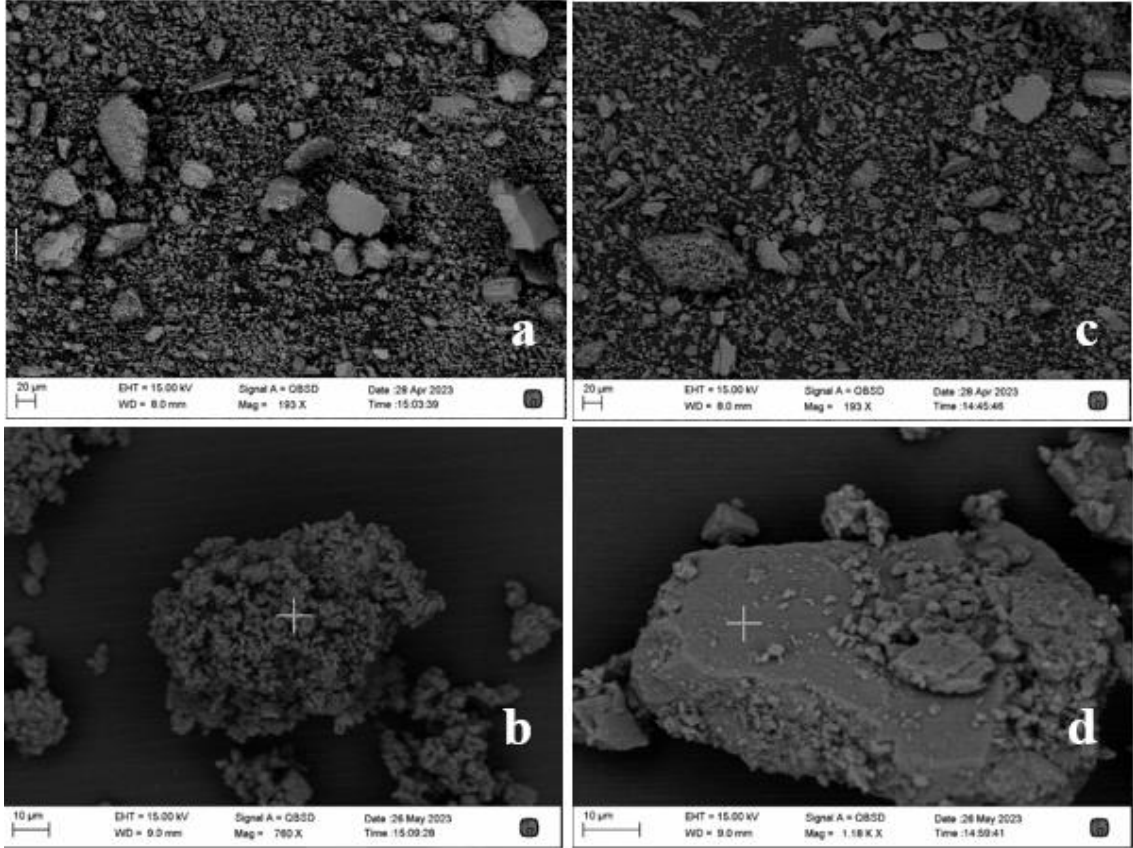
Mastersizer cihazı kullanılarak yapılan analizler sonucunda doğal taşların kesiminde oluşan toz+su karışımlarının farklı tane boyutu değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tane boyu dağılımı analiz sonuçları.

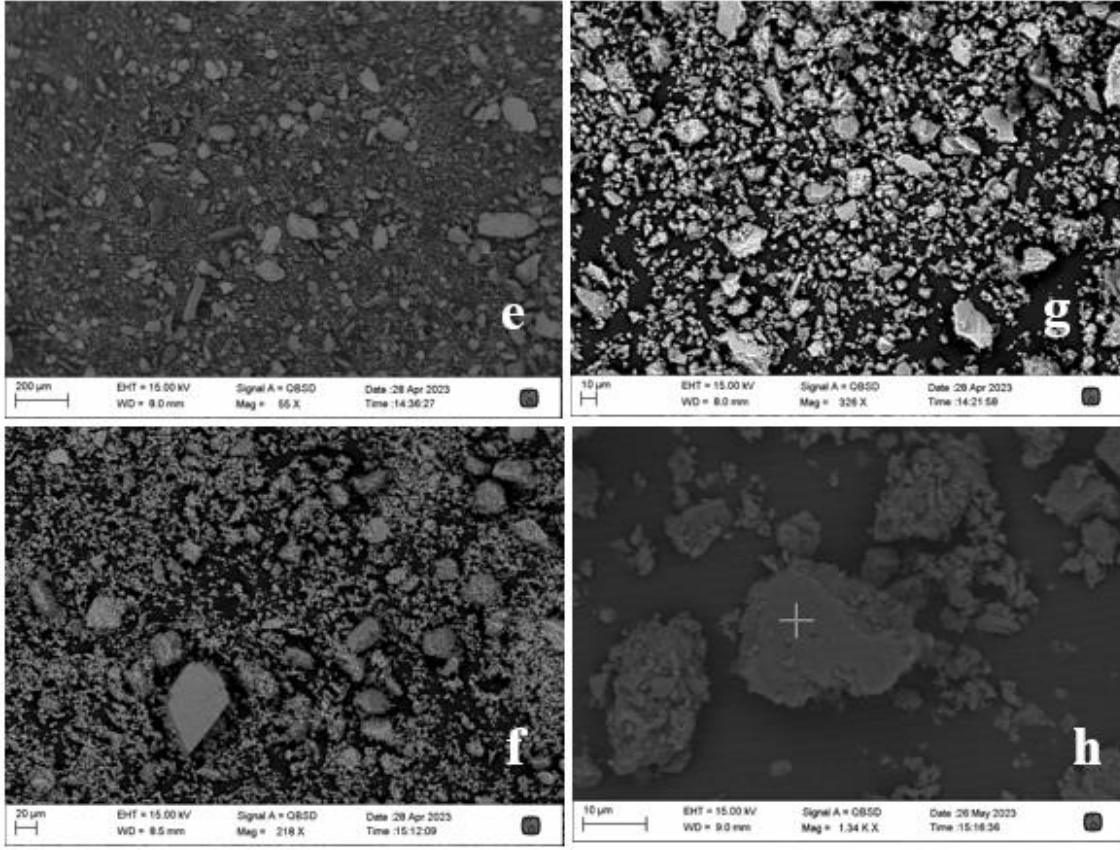
	Makine	Numune	Dv (10)	Dv (50)	Dv (90)
1. TESİS	Köprü Kesim	Kayaç 1	2,32 µm	9,95 µm	33,9 µm
	ST	Kayaç 2	1,99 µm	7,31 µm	34,0 µm
	Kafa Kesim	Kayaç 3	1,89 µm	5,94 µm	27,2 µm
	ST	Kayaç 4	2,33 µm	10,4 µm	141 µm
	Köprü Kesim	Kayaç 3	2,41 µm	8,35 µm	184 µm
	ST	Kayaç 1	2,13 µm	8,39 µm	30,3 µm
	Silim	Kayaç 1	7,52 µm	153 µm	394 µm
	Katrak	Kayaç 3	5,11 µm	60,6 µm	277 µm
	ST ve Katrak	Kayaç 5	3,85 µm	58,8 µm	322 µm
	Kafa Kesim	Kayaç 1	2,52 µm	11,0 µm	158 µm
2. TESİS	Çoklu Tel	Kayaç 6	3,01 µm	13,6 µm	64,9 µm
	Katrak	Kayaç 7	2,24 µm	9,10 µm	44,6 µm
	Köprü Kesim	Kayaç 6	2,10 µm	8,75 µm	32,8 µm
	Yarma Makinesi	Kayaç 6	2,18 µm	10,1 µm	39,8 µm
	Silim	Kayaç 6	2,37 µm	11,8 µm	45,7 µm
	ST	Kayaç 6	4,32 µm	18,7 µm	63,0 µm
	ST	Kayaç 7	4,40 µm	21,3 µm	151 µm
	Silim	Kayaç 8	2,33 µm	11,3 µm	41,4 µm
3. TESİS	Köprü Kesim	Kayaç 9	2,22 µm	9,03 µm	19,91 µm
	Kafa Kesim	Kayaç 10	1,91 µm	14,95 µm	59,91 µm
	Kafa Kesim	Kayaç 9	2,22 µm	9,04 µm	19,91 µm
	Katrak	Kayaç 11	1,63 µm	12,36 µm	39,56 µm
	Katrak	Kayaç 12	1,57 µm	11,65 µm	36,73 µm

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları

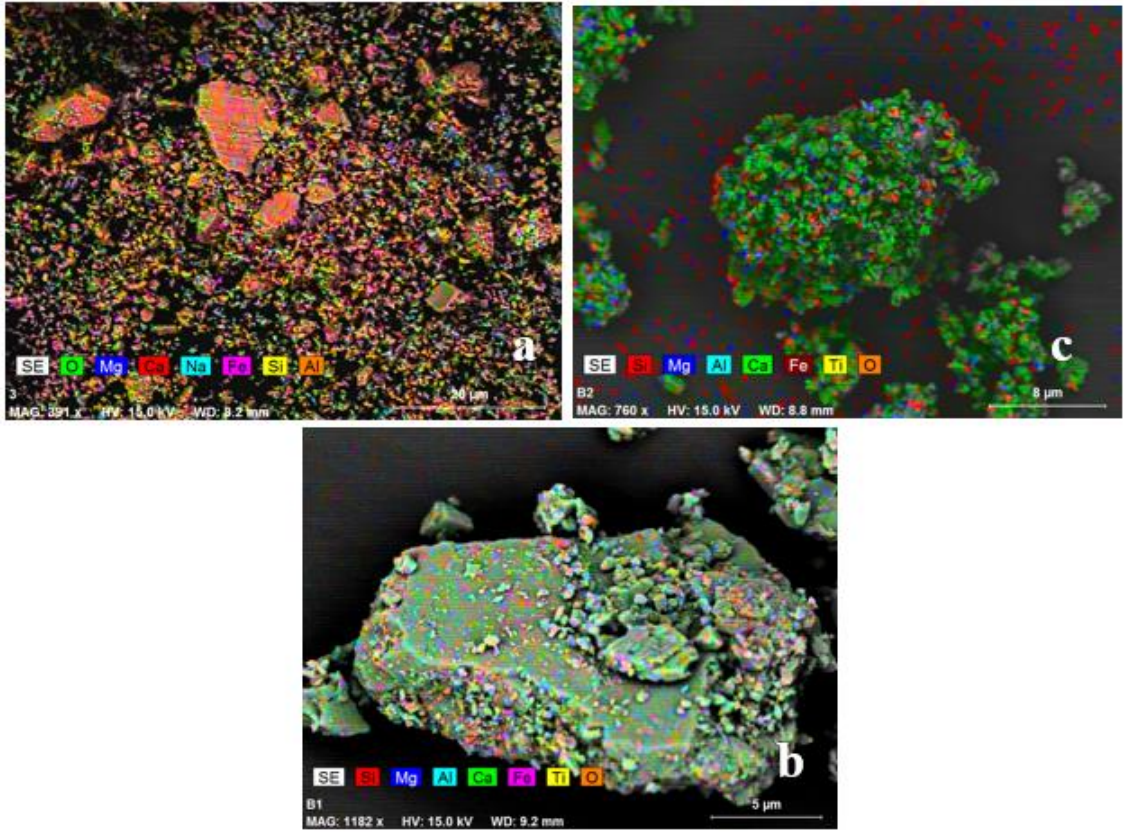
Farklı doğal taşlardan ve farklı makinelerin altlarından alınan çamur numuneleri üzerinde Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak yapılan çekimler görüntüleri Şekil 4.1.'de ve Şekil 4.2.'de; görüntülerde mineralleri gösterir fotoğraflar ise Şekil 4.3.'de ve Şekil 4.4.'de verilmiştir. Tüm örneklerin X-ışını kırınım grafikleri Ek'ler bölümünde verilmiştir.



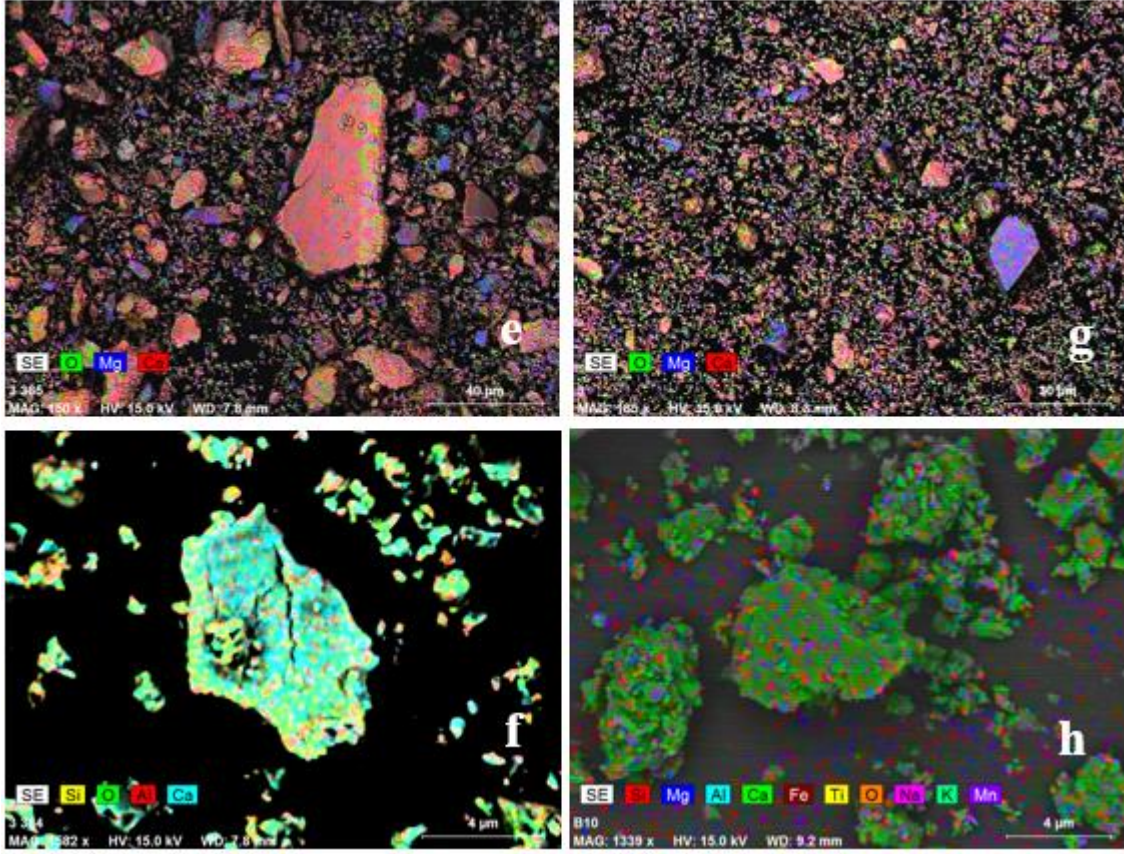
Şekil 4.1. SEM cihazı ile çekilen numunelerin görüntüleri (a: Kayaç 4, b: Katrak-Kayaç 7, c: Katrak-Kayaç 2, d: Çoklu tel-Kayaç 6)



Şekil 4.2. SEM cihazı ile çekilen numunelerin görüntüleri (e: Artırılmış su, f: İlk fabrikadan alınan kek, g: ST-Katrak-Kayaç 5, h: İkinci tesisten alınan kek numunesi)



Şekil 4.3. SEM cihazı ile çekilen numunelerdeki mineralleri gösterir görüntüler (a: ST-Kayaç 4, b: Katrak-Kayaç 7, c: Çoklu tel-Kayaç 6)



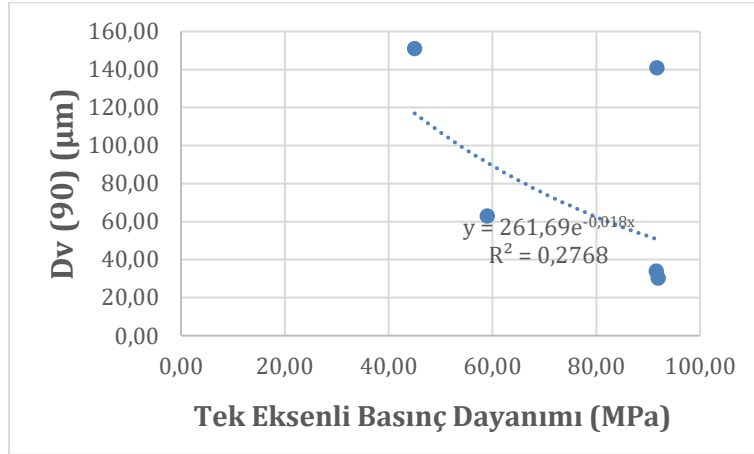
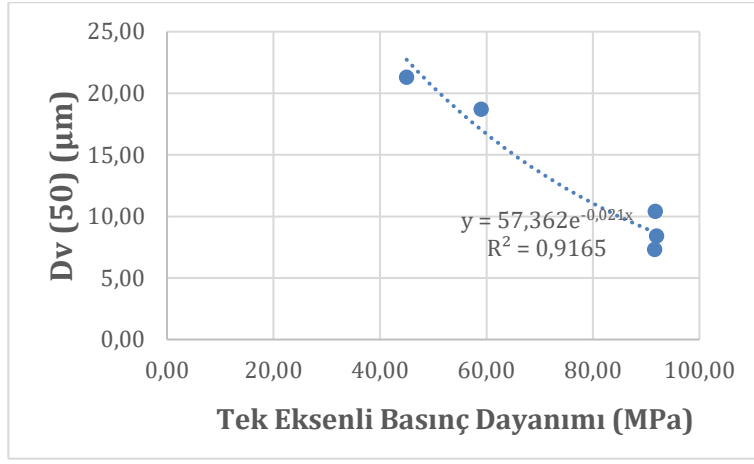
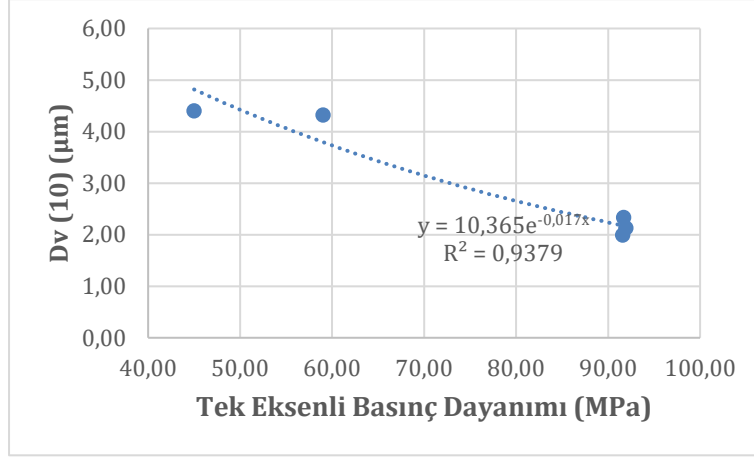
Şekil 4.4. SEM cihazı ile çekilen numunelerdeki mineralleri gösterir görüntüler (e: Arıtılmış su, f: İlk fabrikadan alınan kek, g: ST-Katrak-Kayaç 5, h: İkinci fabrikadan alınan kek numuneleri)

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde her bir makineye göre alt başlıklar halinde yapılmıştır.

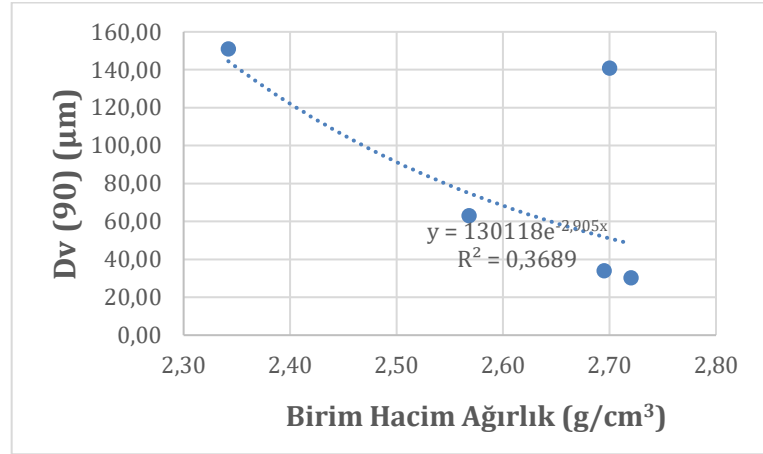
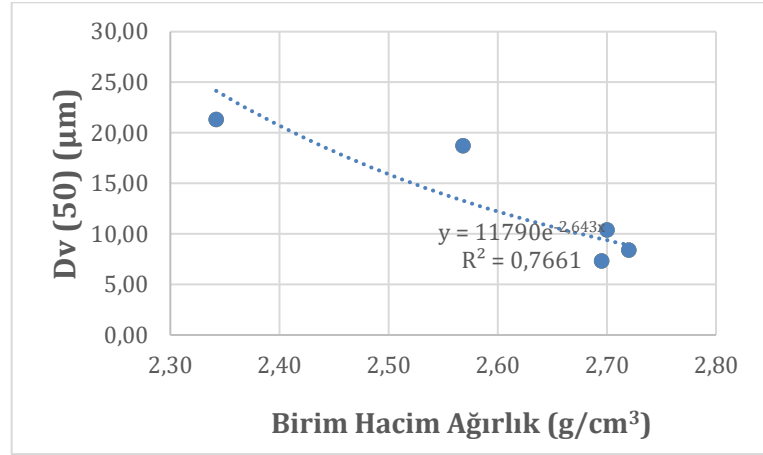
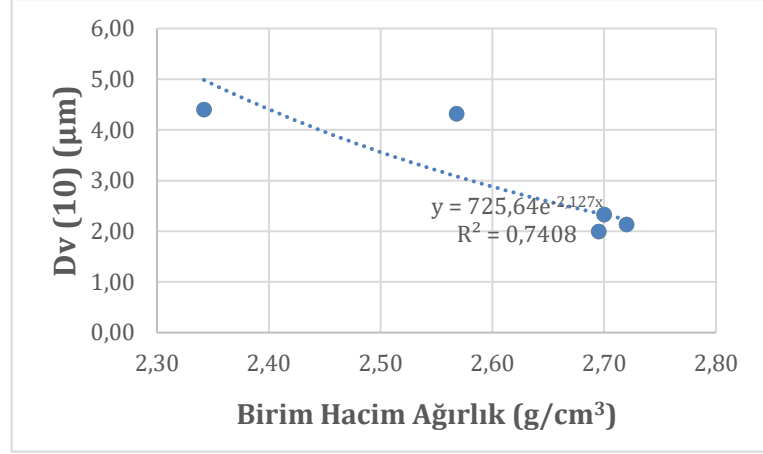
5.1. ST için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ile ST kesim sonucu oluşan Kayaç 1, Kayaç 2, Kayaç 4, Kayaç 6 ve Kayaç 7'nin çamur örneklerinin ortalama tane boyları arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.1.'de; birim hacim ağırlık ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.2.'de; gözeneklilik ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.3.'de; su emme değerleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.4.'de; dolaylı çekme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.5.'de ve eğilme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.1. ST Numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

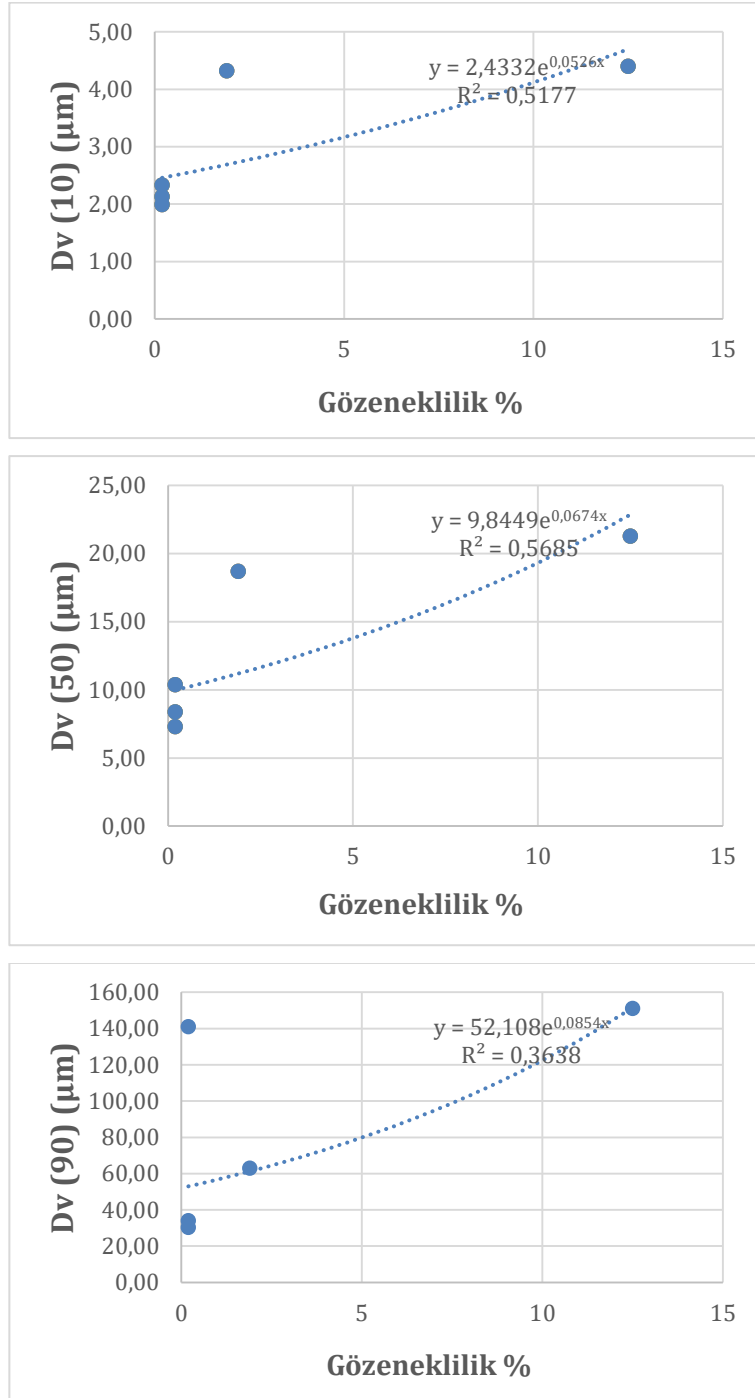
Şekil 5.1. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için tek eksenli basınç dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azaldığı görülmektedir. d10 ve d50 için bu ilişkinin çok daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. ST Numunelerin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.2. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için numunelerin birim hacim ağırlık değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azalma

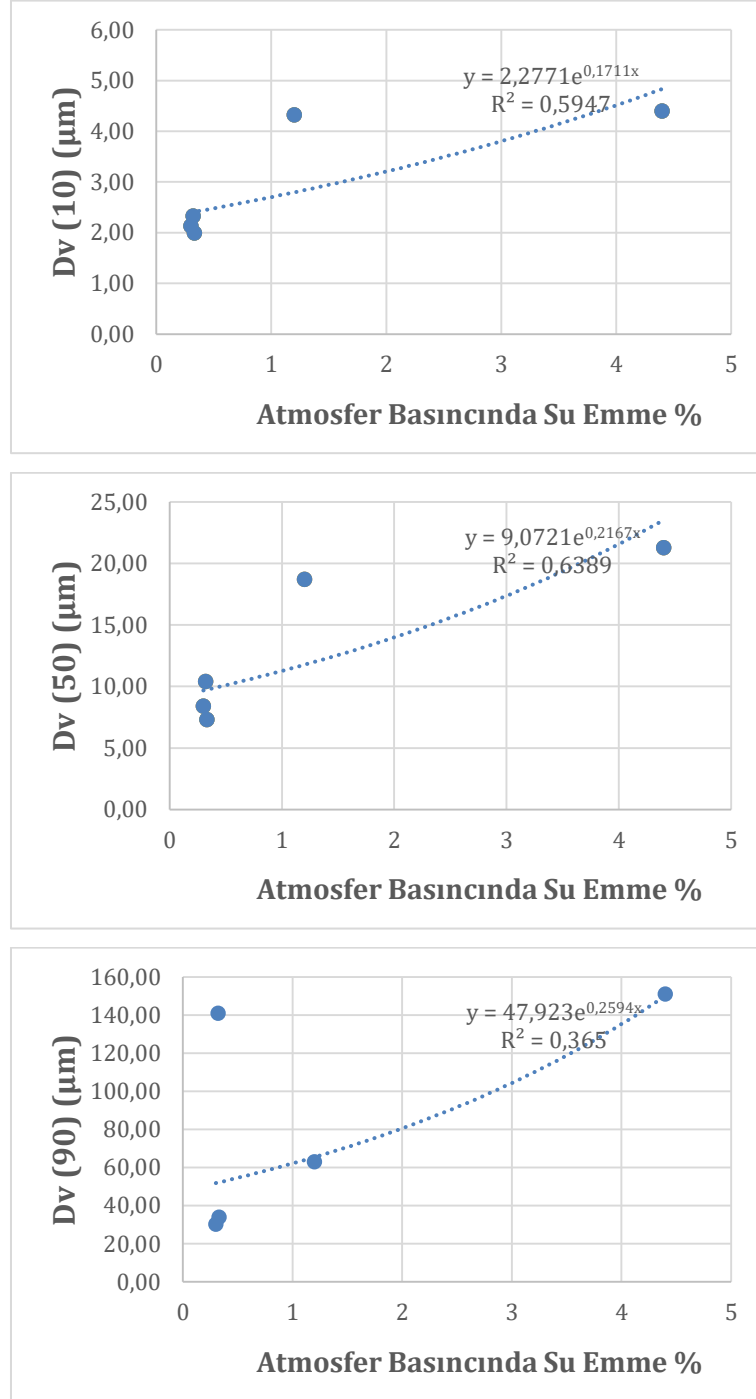
eğiliminde olduğu görülmektedir. d10 ve d50 için bu ilişkinin çok daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. ST Numunelerin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

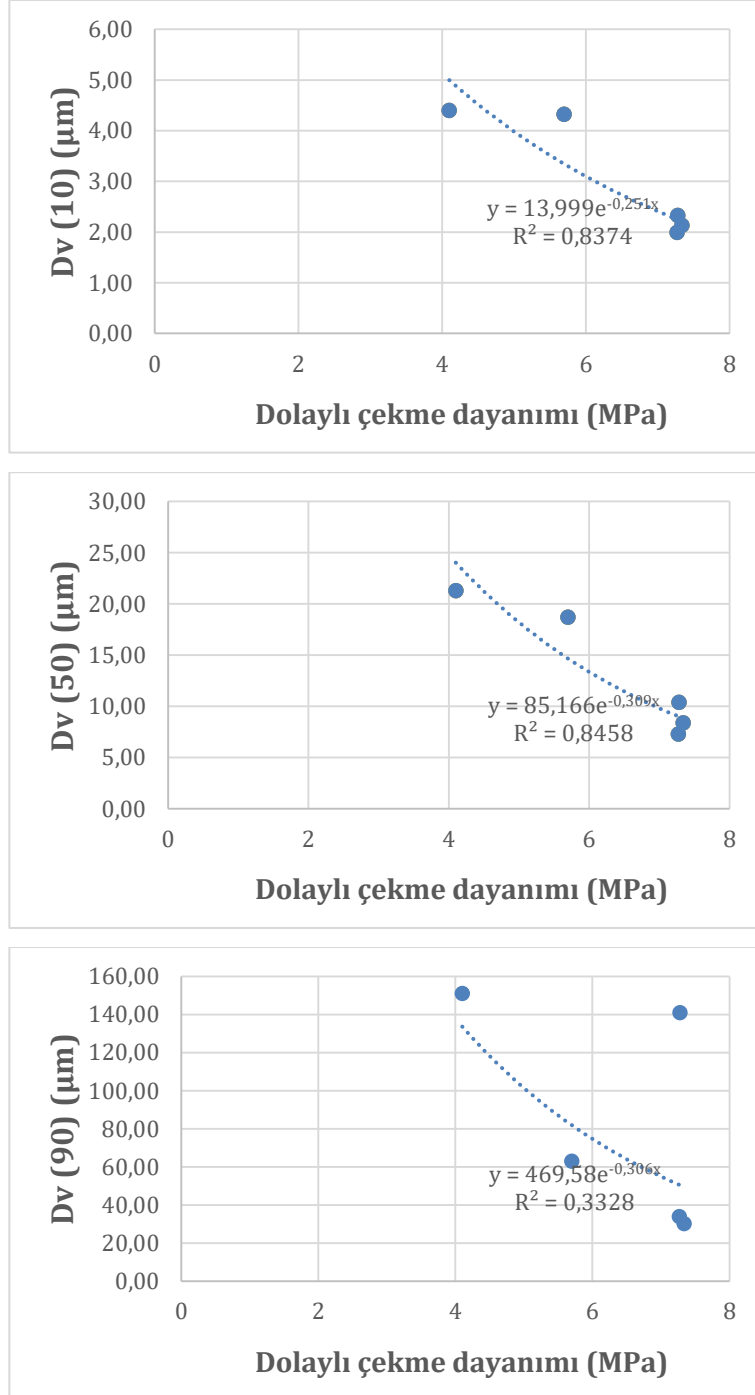
Şekil 5.3. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için numunelerin gözeneklilik değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Kayaç 7 örneğinin gözeneklilik değerinin çok yüksek olması

sebebiyle o veri çıkarılıp tekrar analiz edildiğinde d10 ve d50 için R² değerlerinin çok daha yükseldiği görülmüştür.



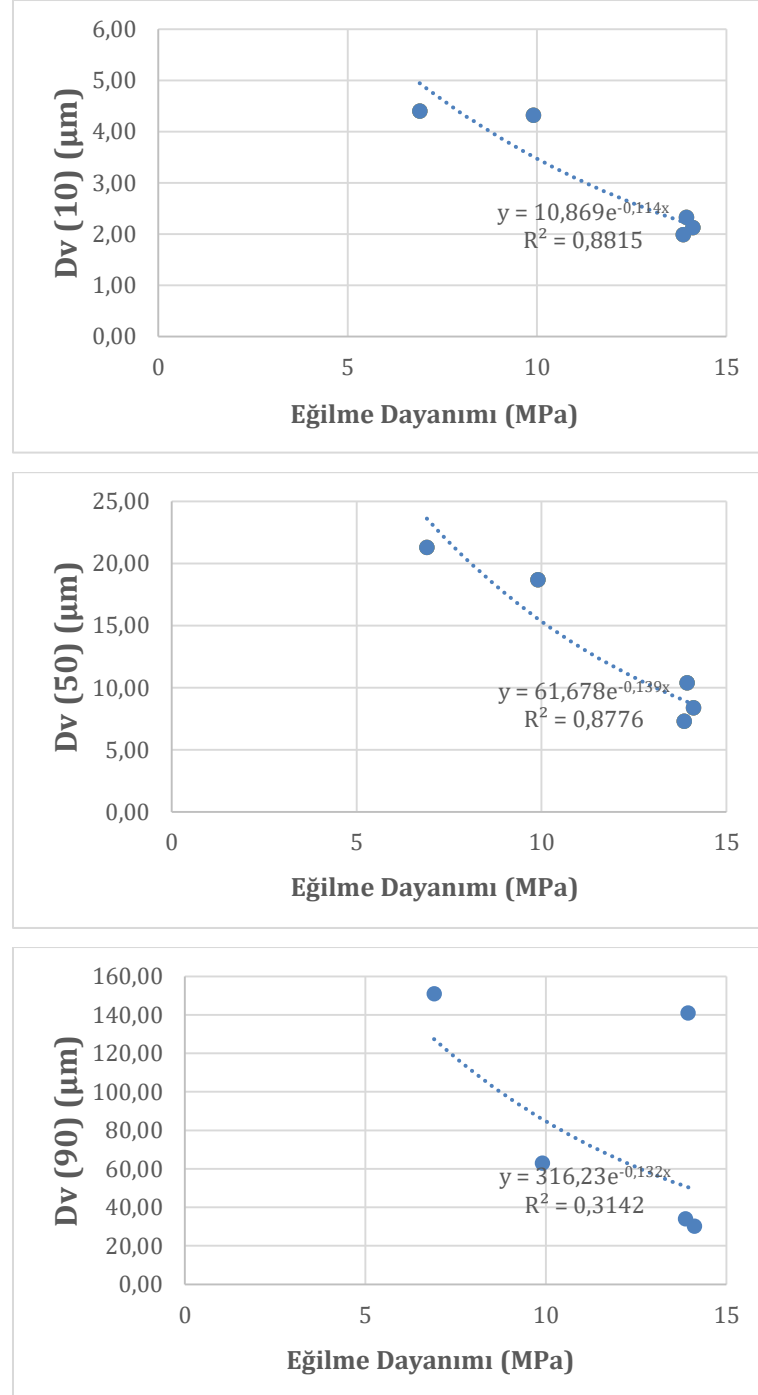
Şekil 5.4. ST Numunelerin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.4. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için numunelerin su emme değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükseldiği görülmektedir.



Şekil 5.5. ST Numunelerin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.5. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azaldığı görülmektedir. d10 ve d50 için bu ilişkinin çok daha kuvvetli olduğu görülmektedir.

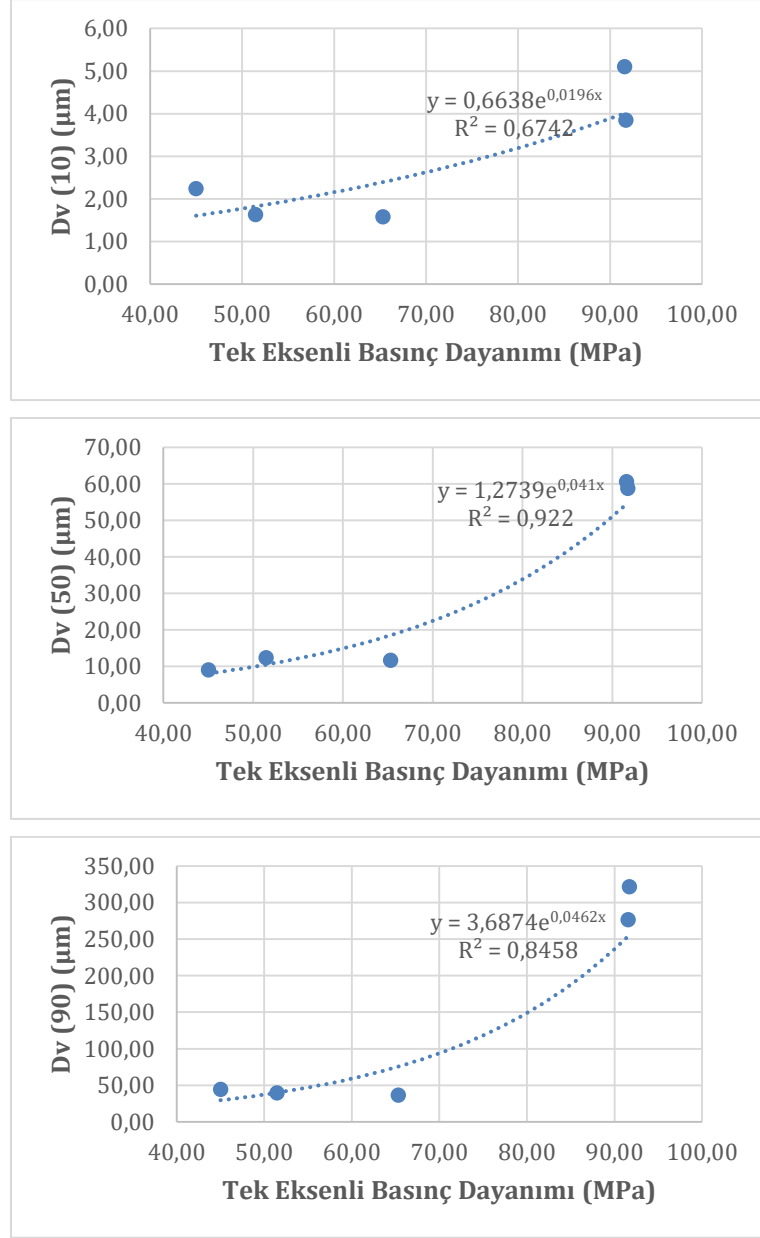


Şekil 5.6. ST Numunelerin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.6. incelendiğinde ST ile yapılan kesimler için eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azaldığı görülmektedir. d10 ve d50 için bu ilişkinin çok daha kuvvetli olduğu görülmektedir.

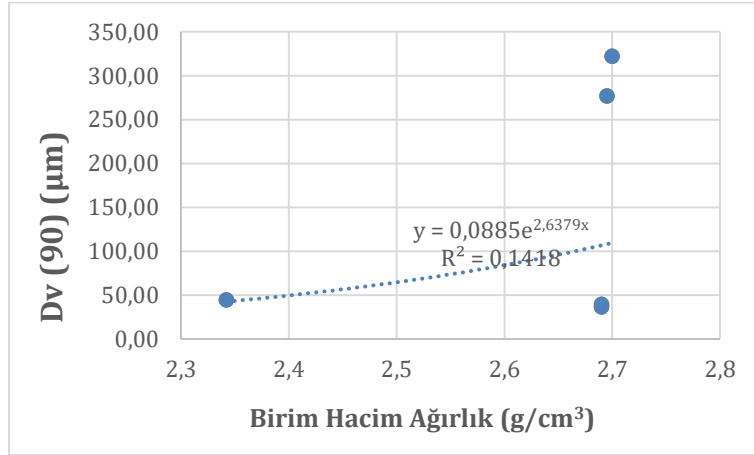
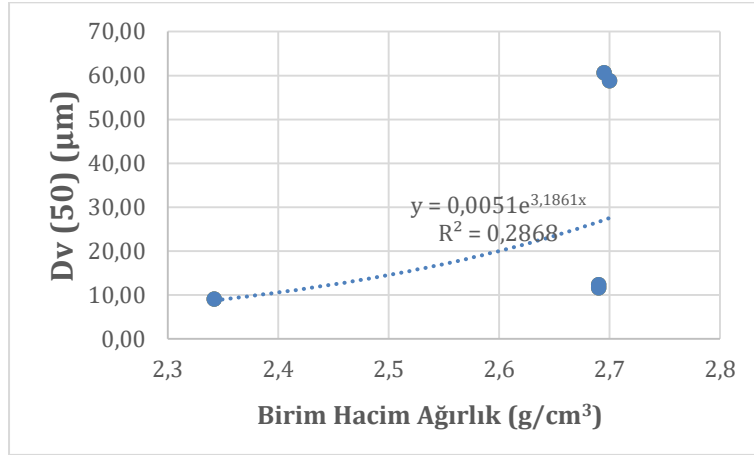
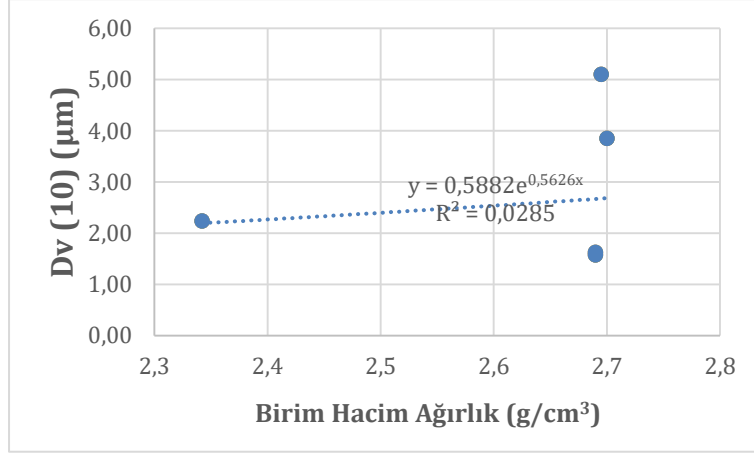
5.2. Katrak için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ile katrak kesim sonucu oluşan Kayaç 3, Kayaç 5, Kayaç 7, Kayaç 11 ve Kayaç 12'nin çamur örneklerinin ortalama tane boyları arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.7.'de; birim hacim ağırlık ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.8'de; gözeneklilikleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.9'da; su emme değerleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.10'da; dolaylı çekme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.11'de ve eğilme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.12'de verilmiştir.



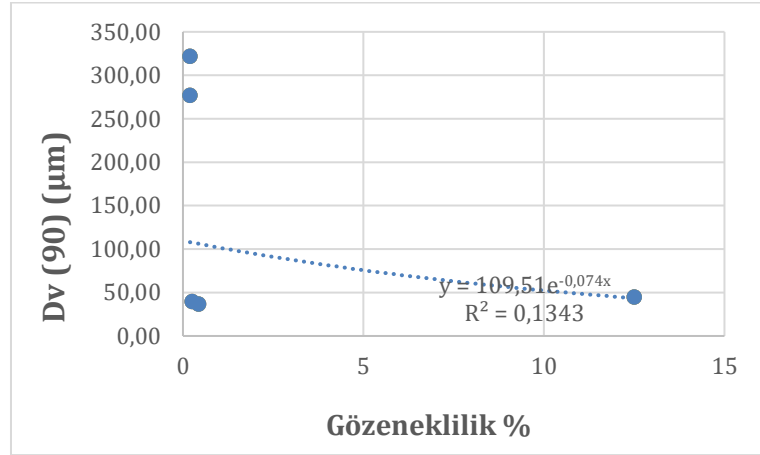
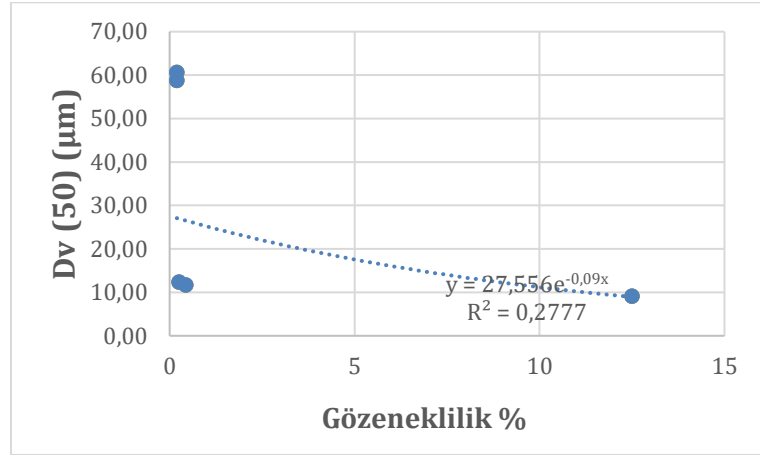
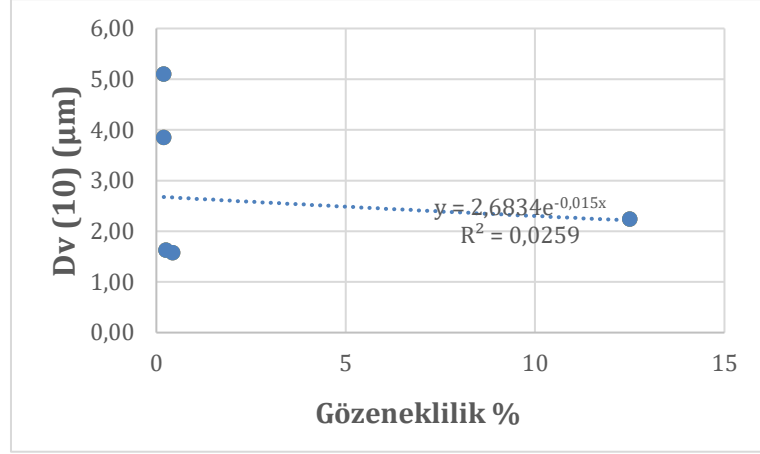
Şekil 5.7. Katak numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.7. incelendiğinde katak ile yapılan kesimler için tek eksenli basınç dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükseldiği görülmektedir. d50 ve d90 için bu ilişkinin çok kuvvetli olduğu görülmektedir.



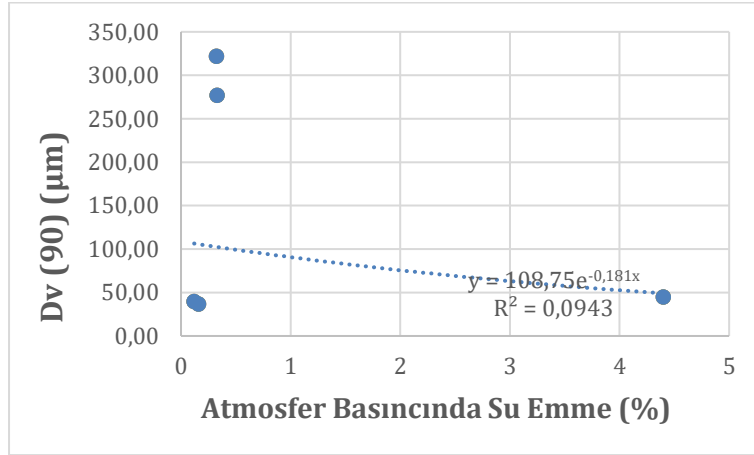
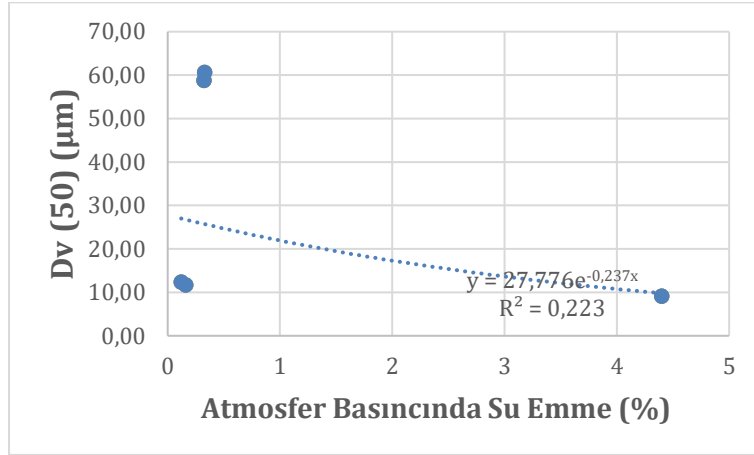
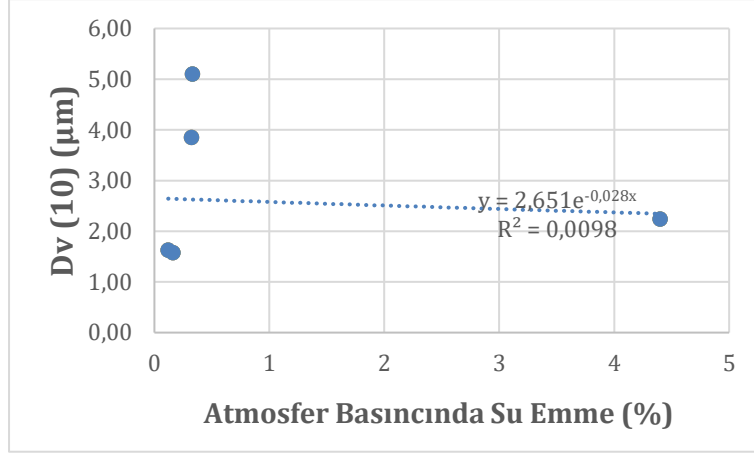
Şekil 5.8. Katrak numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.8. incelendiğinde katrak ile yapılan kesimler için birim hacim ağırlık değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir.



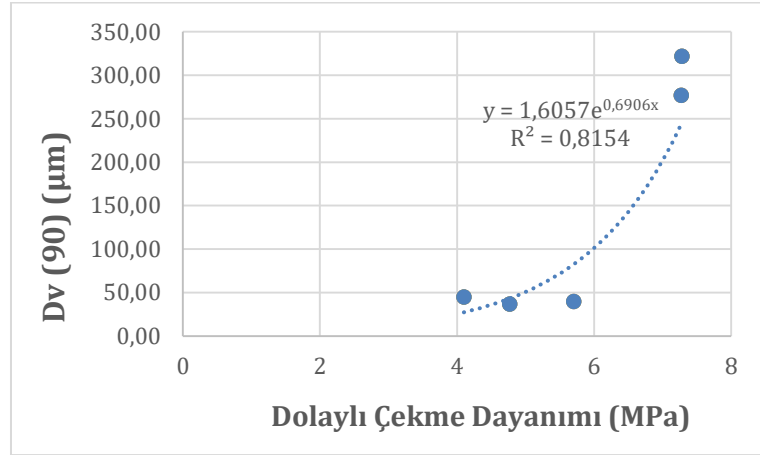
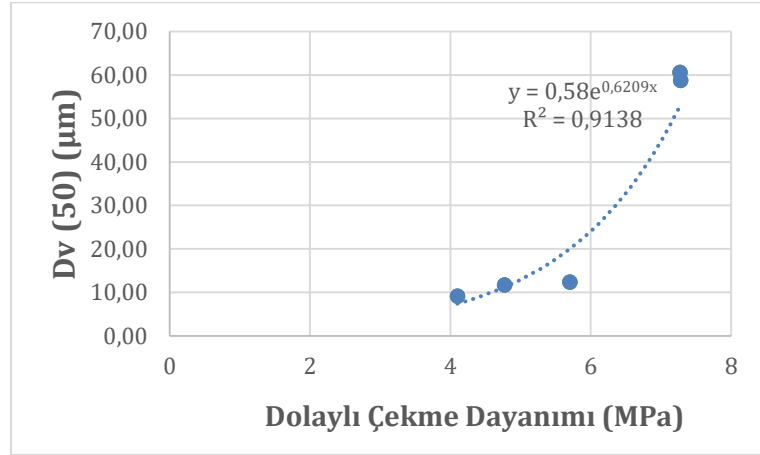
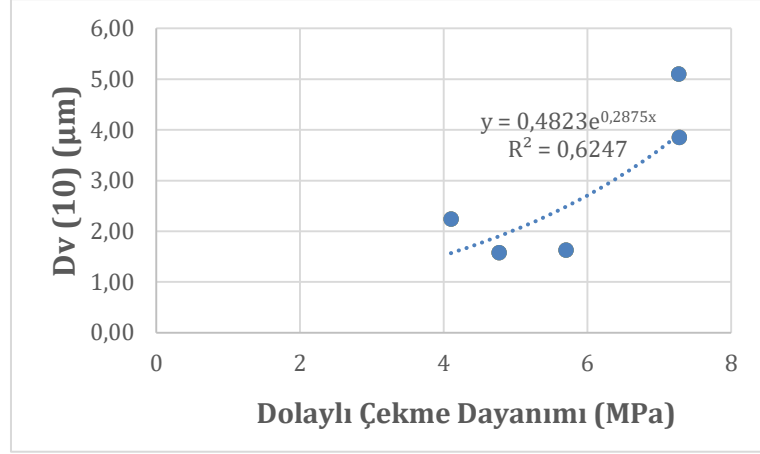
Şekil 5.9. Katrak numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.9. incelendiğinde katrak ile yapılan kesimler için gözeneklilik değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Kayaç 7 numunesine ait veriler çıkarılıp analiz tekrar yapıldığında ilişkinin çok daha net olduğu görülmektedir.



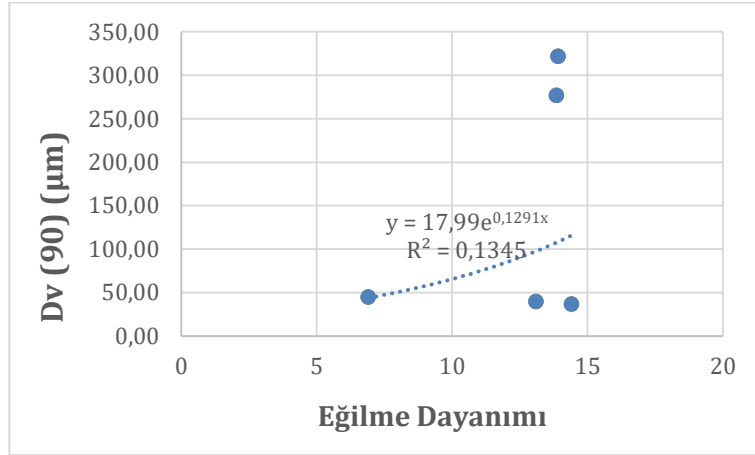
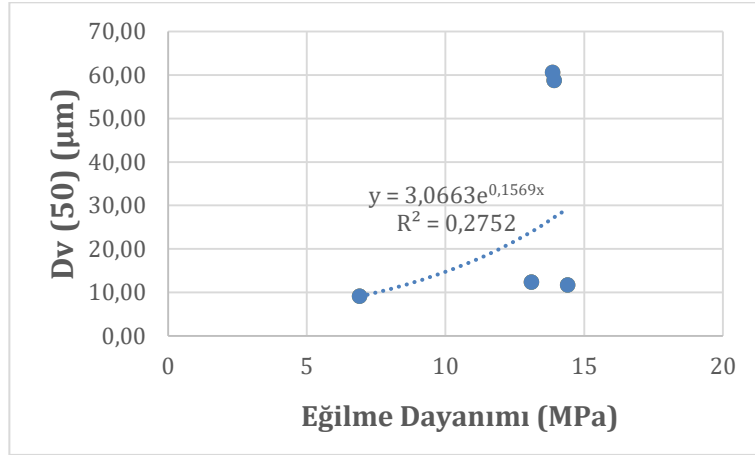
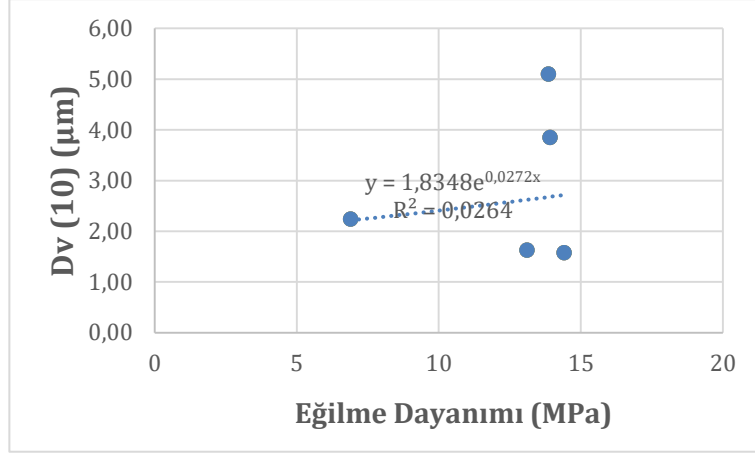
Şekil 5.10. Katak numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.10. incelendiğinde katak ile yapılan kesimler için su emme değeri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



Şekil 5.11. Katak numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.11. incelendiğinde katak ile yapılan kesimler için dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. d50 ve d90 için bu ilişkinin çok kuvvetli olduğu görülmektedir.

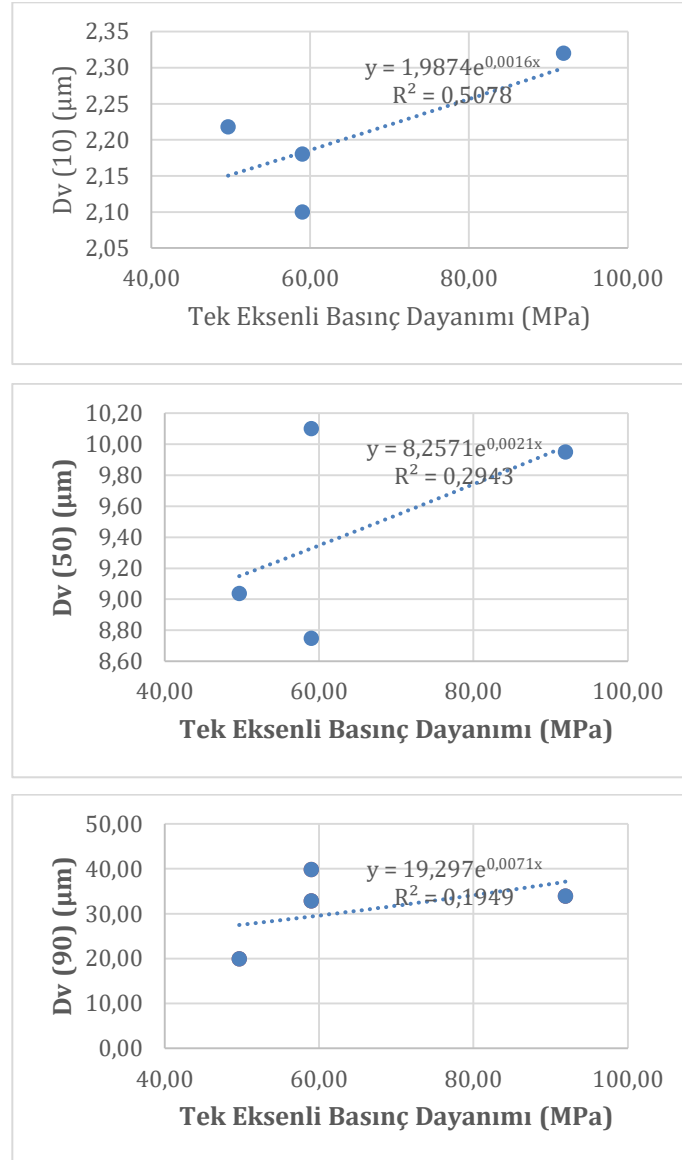


Şekil 5.12. Katrak numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.12. incelendiğinde katrak ile yapılan kesimler için eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin artma eğiliminde olduğu söylenebilir.

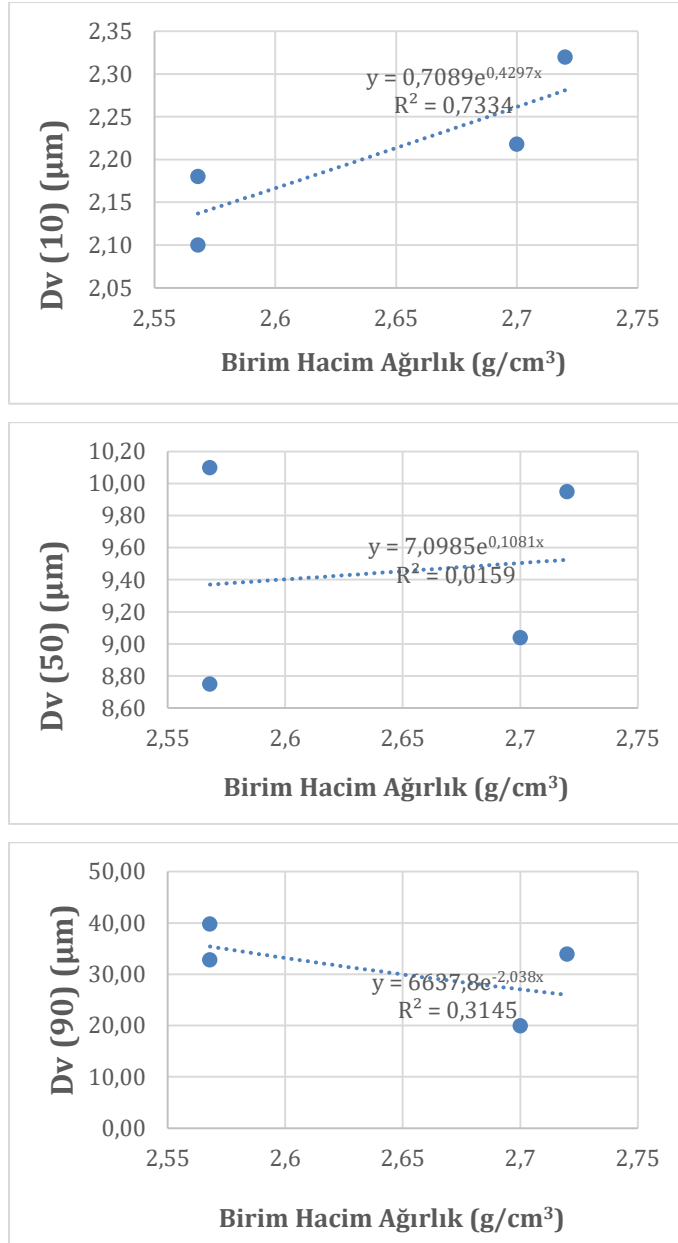
5.3. Köprü Kesim için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ile köprü kesim makinası ile yapılan kesimler sonucu oluşan Kayaç 1, Kayaç 6 ve Kayaç 9'un çamur örneklerinin ortalama tane boyları arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.13.'de; birim hacim ağırlık ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.14.'de; gözeneklilikleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.15.'de; su emme değerleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.16.'da; dolaylı çekme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.17.'de ve eğilme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.18.'de verilmiştir.



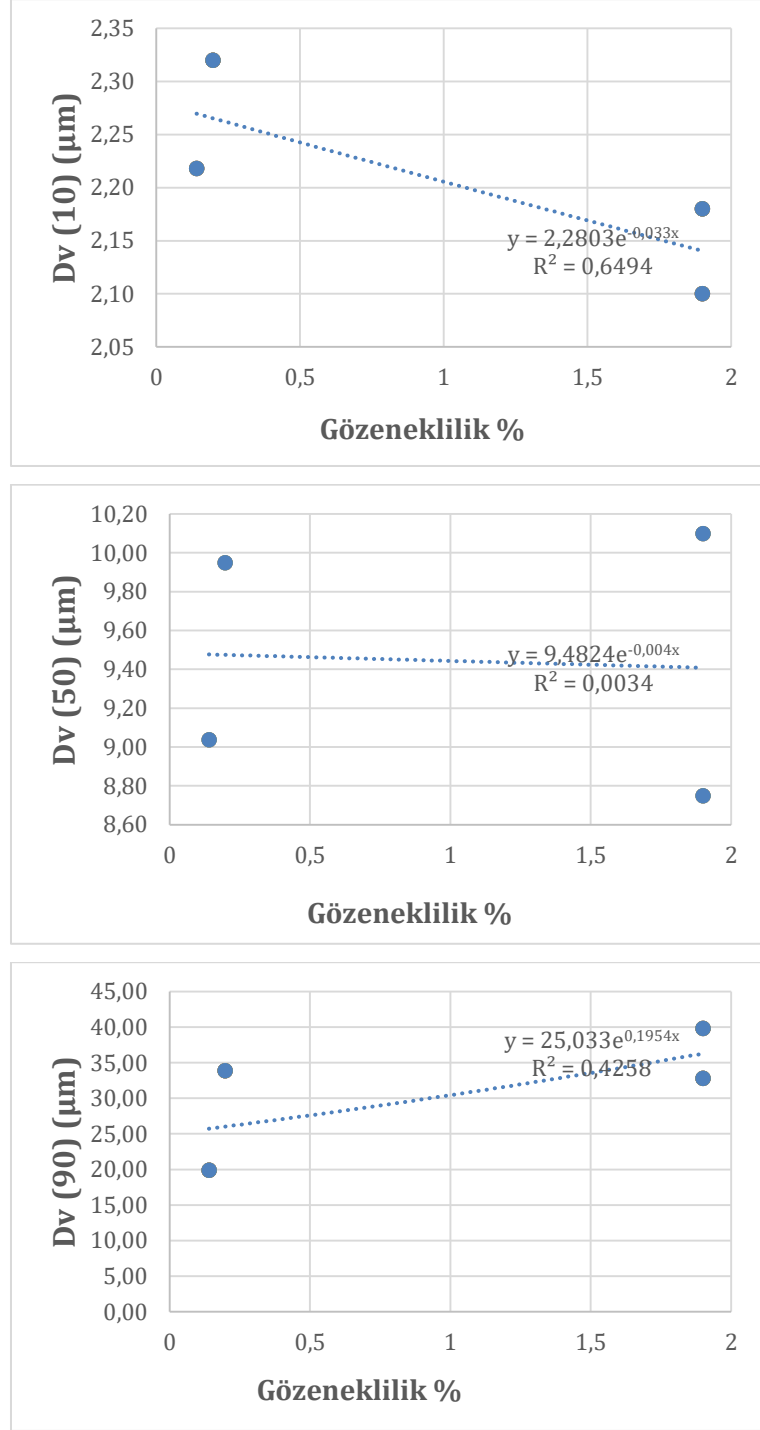
Şekil 5.13. Köprü kesim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.13. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için tek eksenli basınç dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Daha ince tane boyu olan d10 için bu ilişkinin daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



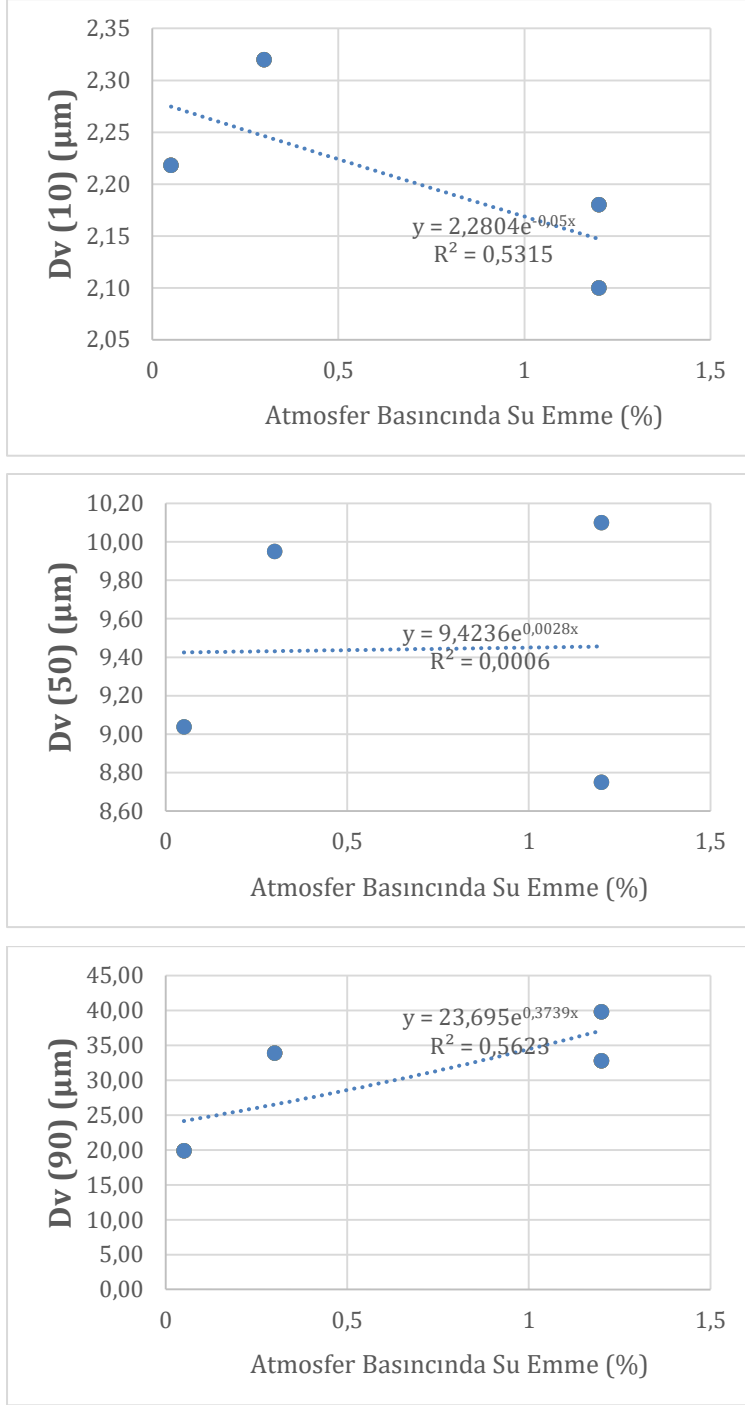
Şekil 5.14. Köprü kesim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.14. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için birim hacim ağırlık değerleri ile kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



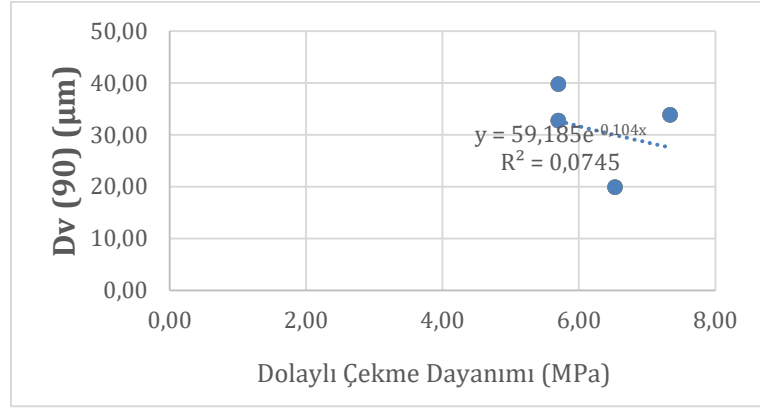
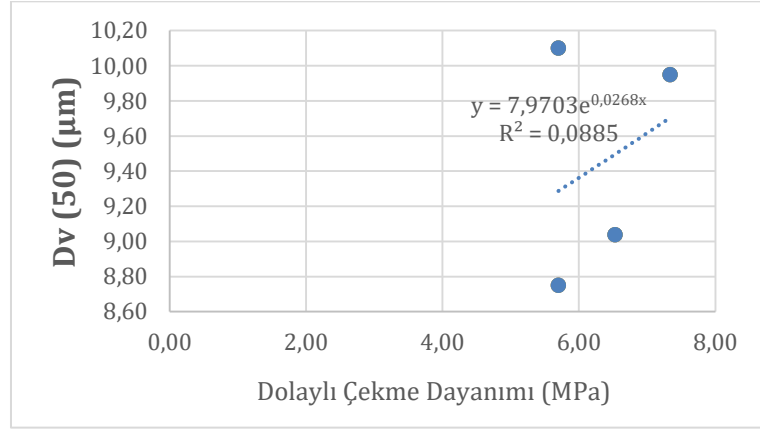
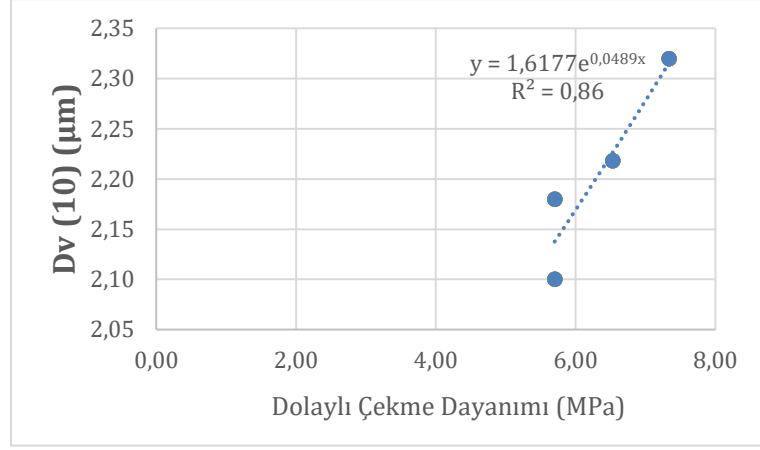
Şekil 5.15. Köprü kesim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.15. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için gözeneklilik değerleri ile kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



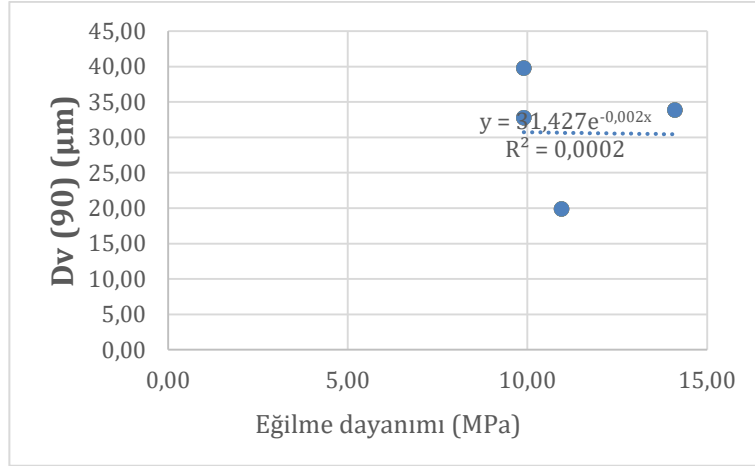
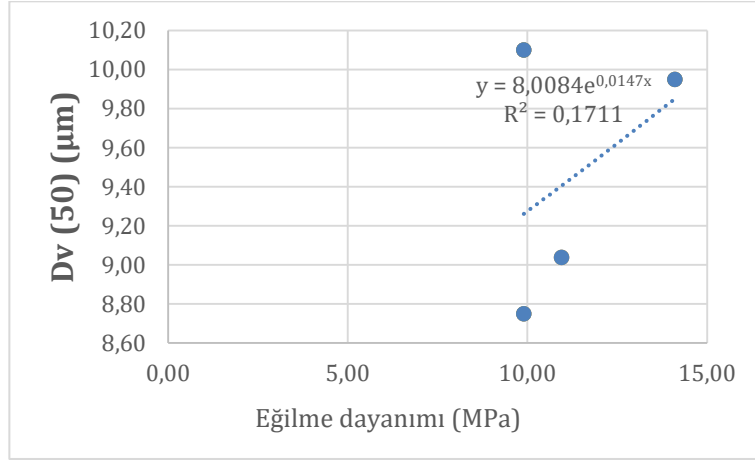
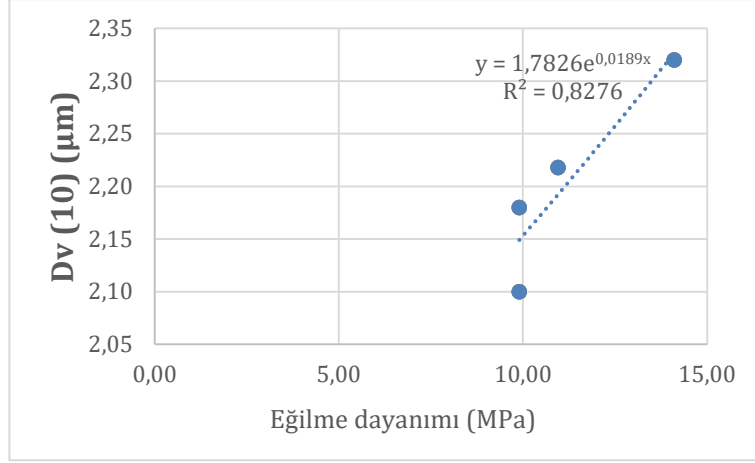
Şekil 5.16. Köprü kesim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.16. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için düşük tane boyu aralıklarında su emme değeri yükseldikçe kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin düştüğü, yüksek ortalama tane boylarında ise su emme değeri yükseldikçe kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Ara değerler için bir ilişki tespit edilmemiştir.



Şekil 5.17. Köprü kesim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.17. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin d10 için yükseldiği görülmektedir. d50 ve d90 için herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

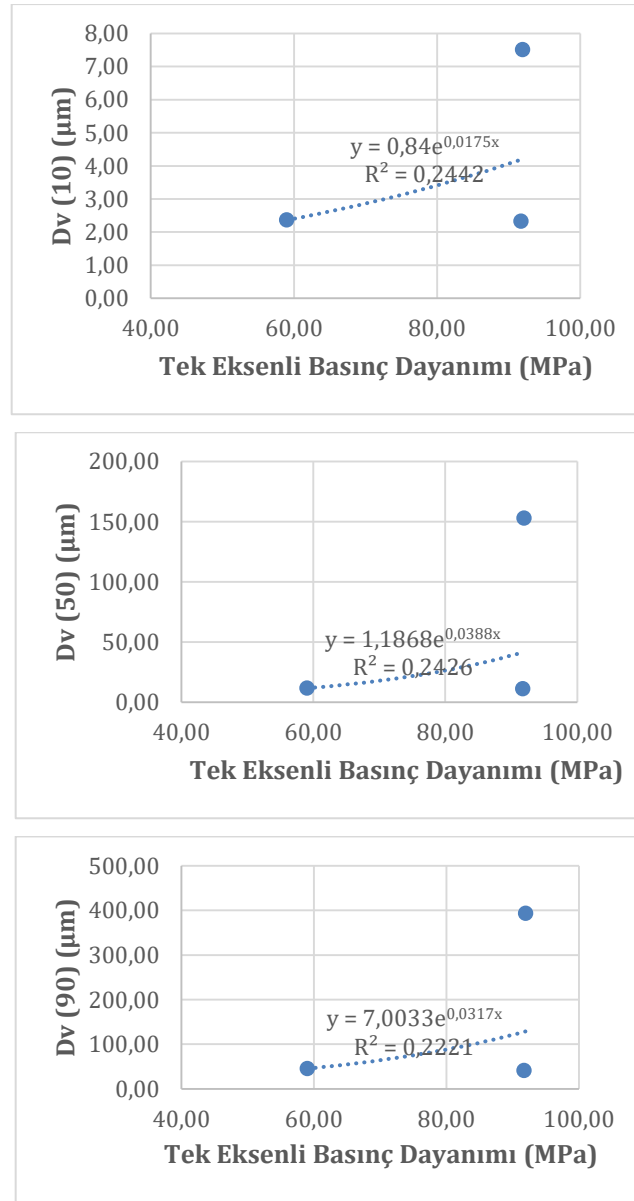


Şekil 5.18. Köprü kesim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.18. incelendiğinde köprü kesim makinası ile yapılan kesimler için eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin d10 için yükseldiği görülmektedir. d50 ve d90 için herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

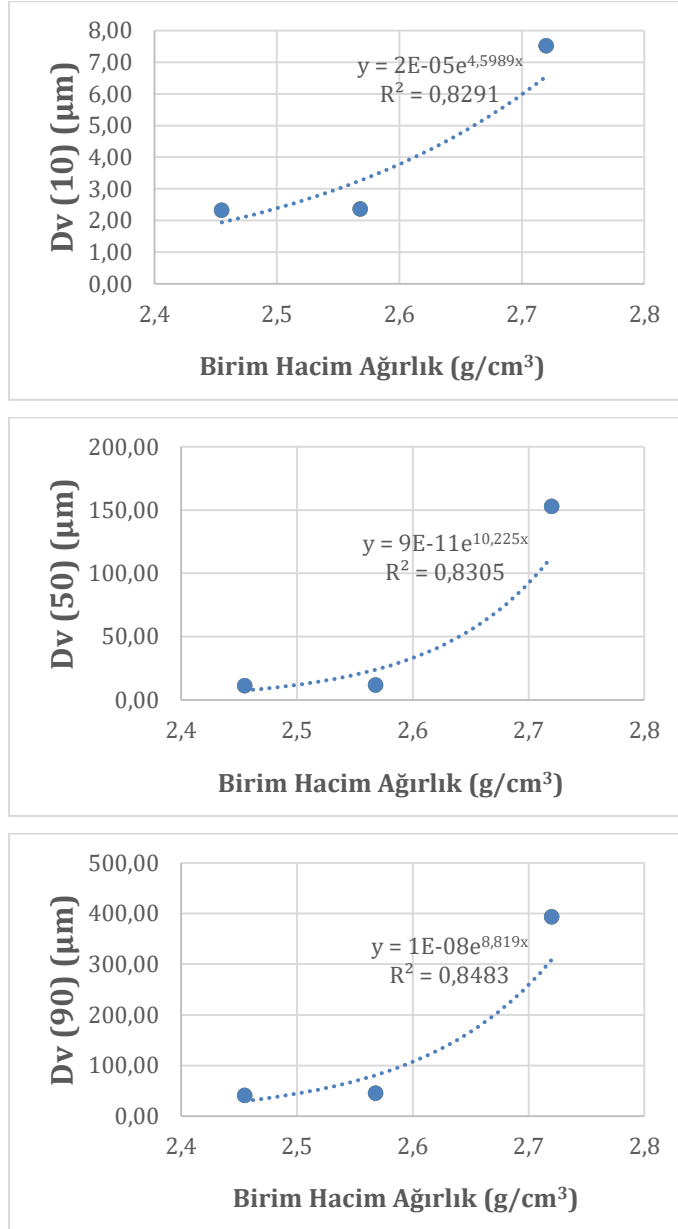
5.4. Silim Makinası için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ile silim işlemi sonucu oluşan Kayaç 1, Kayaç 6 ve Kayaç 8'in çamur örneklerinin ortalama tane boyları arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.19'da; birim hacim ağırlık ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.20.'de; gözeneklilikleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.21'de; su emme değerleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.22.'de; dolaylı çekme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.23.'de ve eğilme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.24.'de verilmiştir.



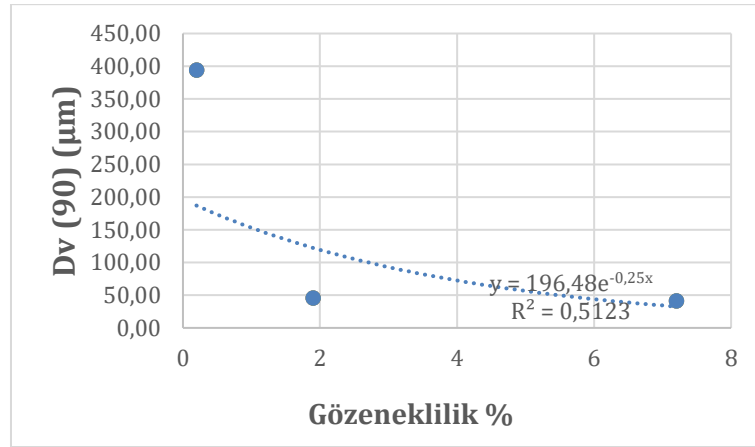
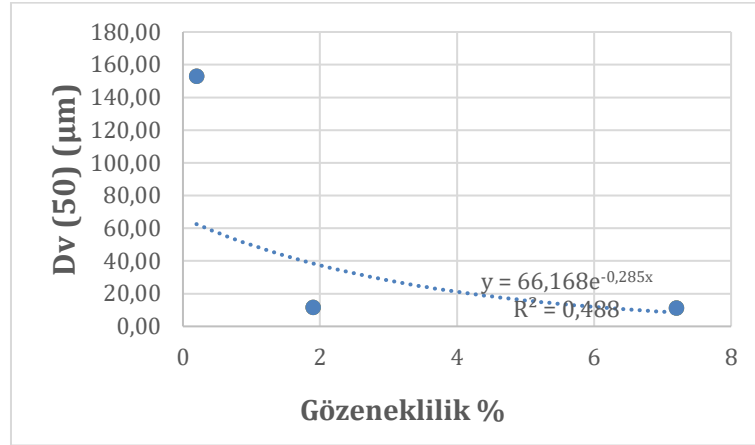
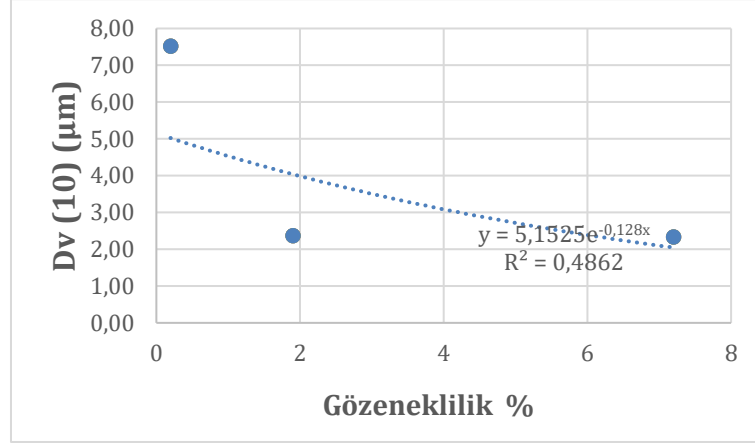
Şekil 5.19. Silim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.19. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için tek eksenli basınç dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak veri sayısı az olduğu için bu konuda yorum yapabilmek için daha fazla sayıda numune alınması gerekmektedir.



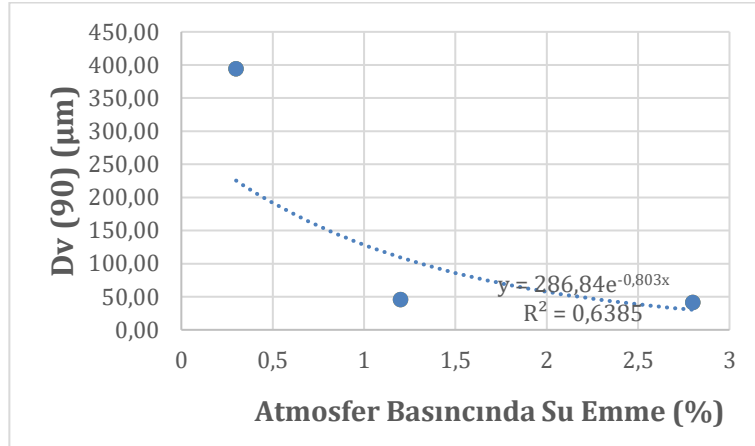
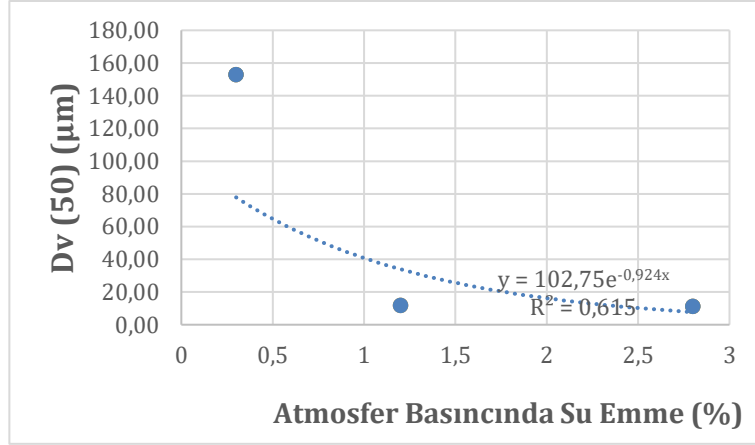
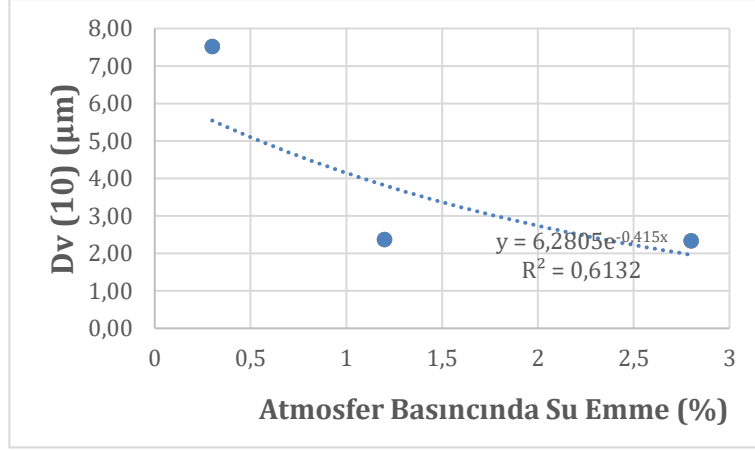
Şekil 5.20. Silim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.20. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için birim hacim ağırlık değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükseldiği görülmektedir.



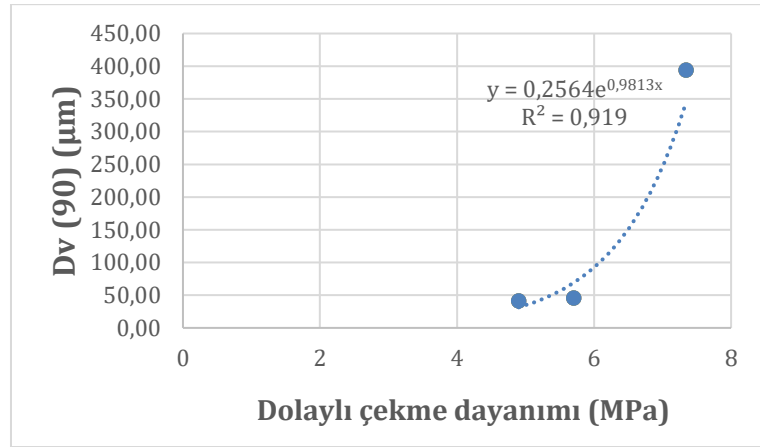
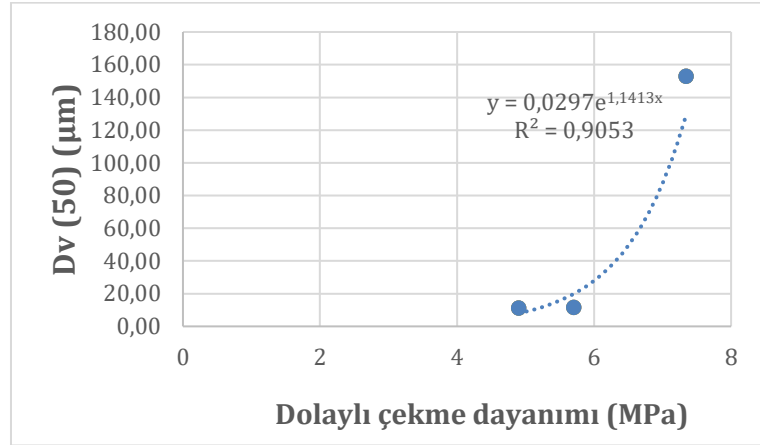
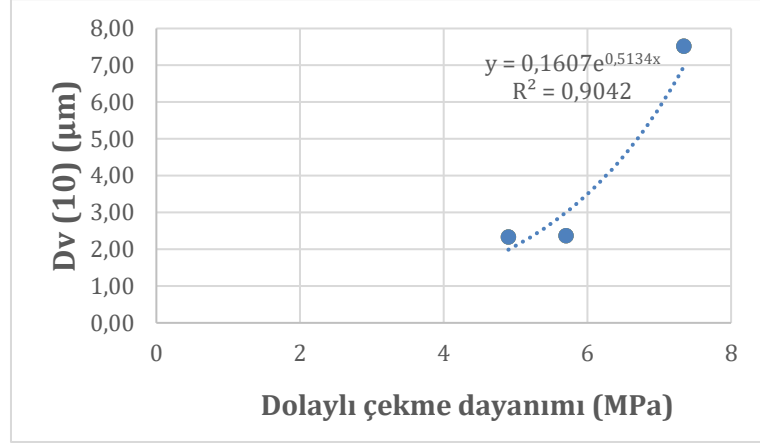
Şekil 5.21. Silim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.21. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için gözeneklilik değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



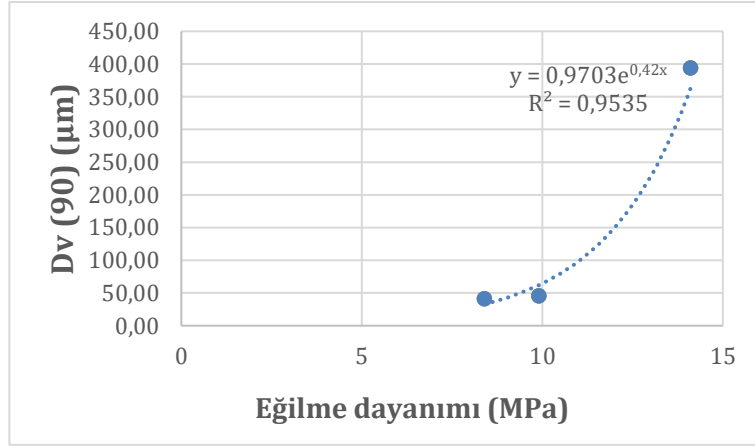
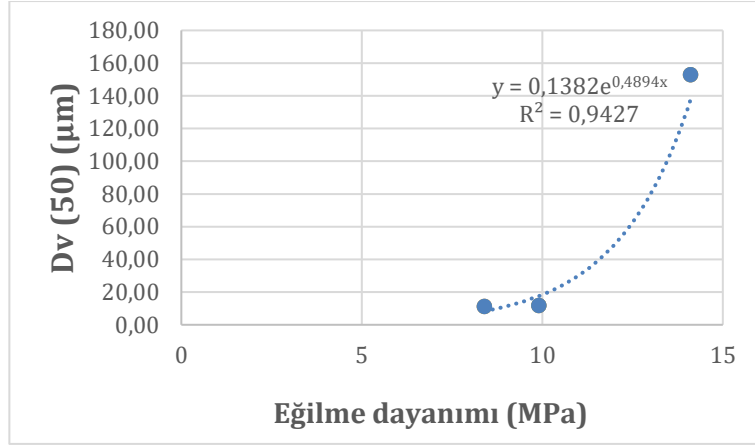
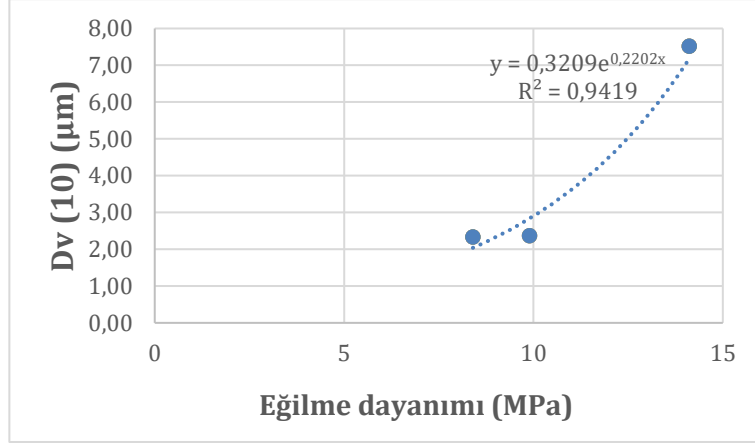
Şekil 5.22. Silim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.22. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için su emme değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.23. Silim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.23. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin de yükseldiği görülmektedir.

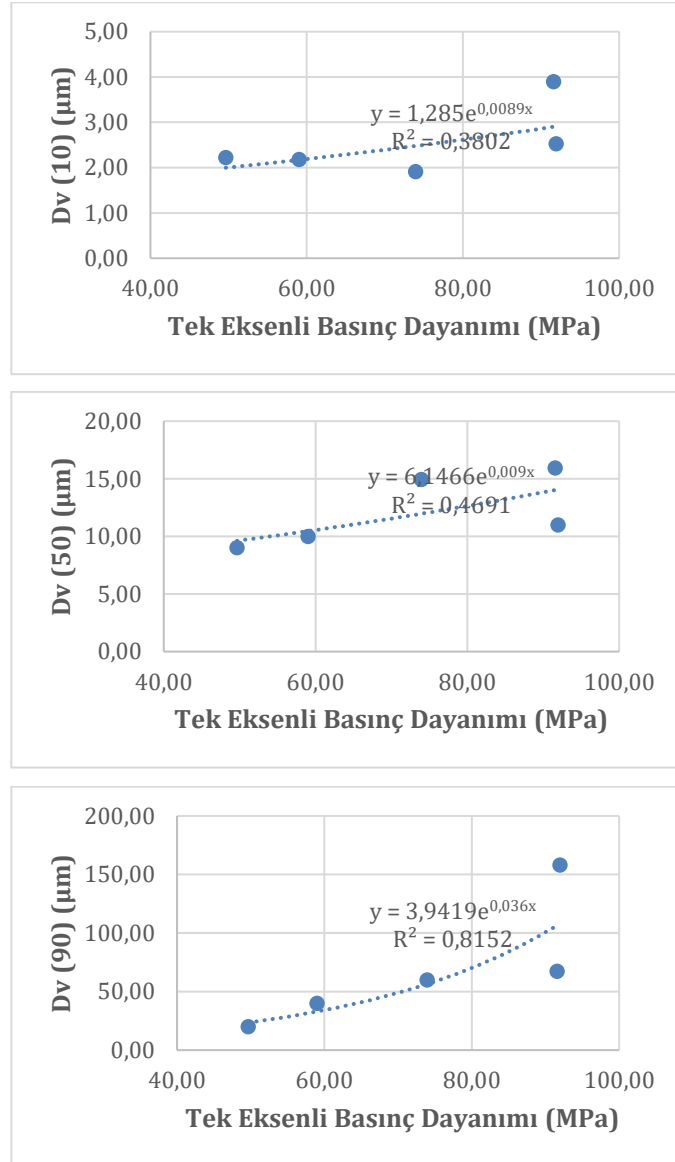


Şekil 5.24. Silim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.24. incelendiğinde silim makinası çıkışından alınan örnekler için eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin de yükseldiği görülmektedir.

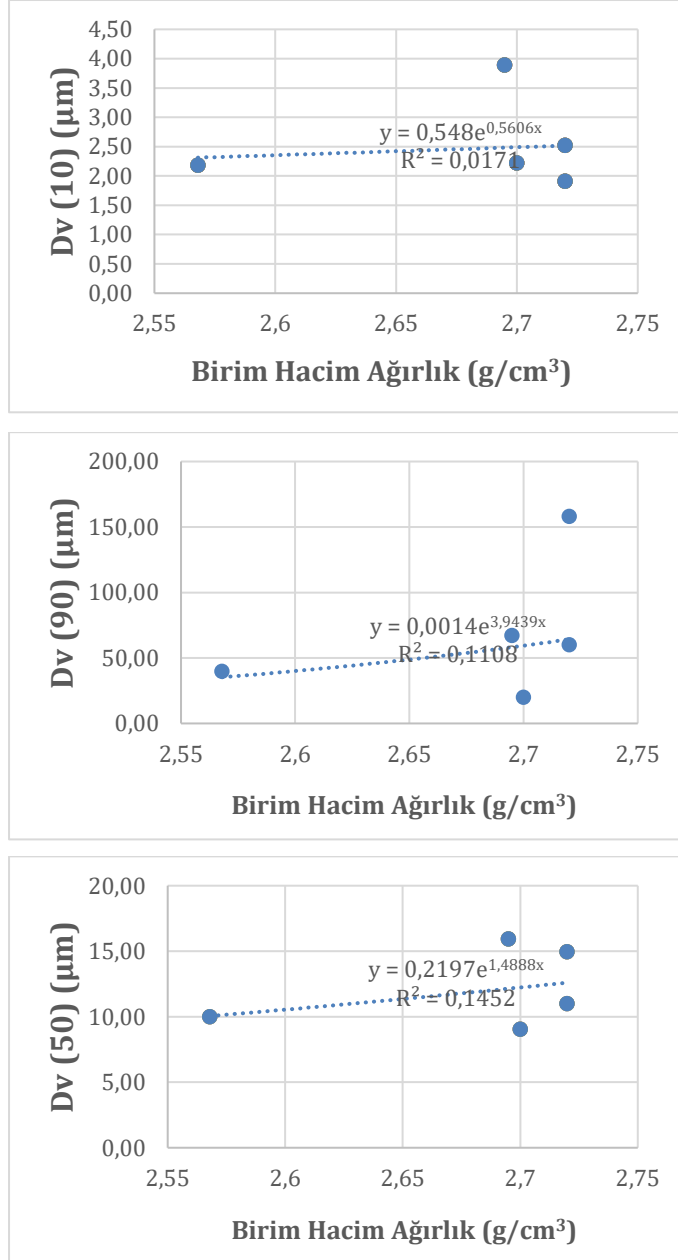
5.5. Kafa Kesim Makinası için Kayaç Özellikleri ile Ortalama Çamur Tane Boyu Arasındaki İlişkiler

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ile kafa kesim sonucu oluşan Kayaç 1, Kayaç 3, Kayaç 6, Kayaç 9 ve Kayaç 10'un çamur örneklerinin ortalama tane boyları arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.25.'de; birim hacim ağırlık ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.26.'da; gözeneklilikleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.27.'de; su emme değerleri ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.28'de; dolaylı çekme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.29'da ve eğilme dayanımı ile ortalama tane boyları arasındaki ilişkiler Şekil 5.30.'da verilmiştir.



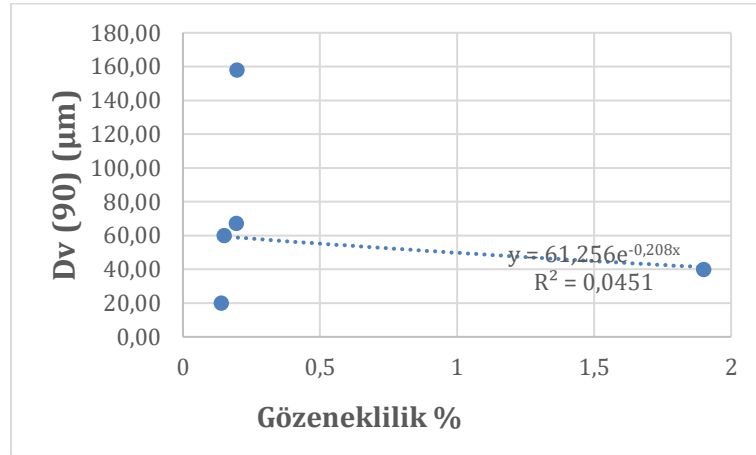
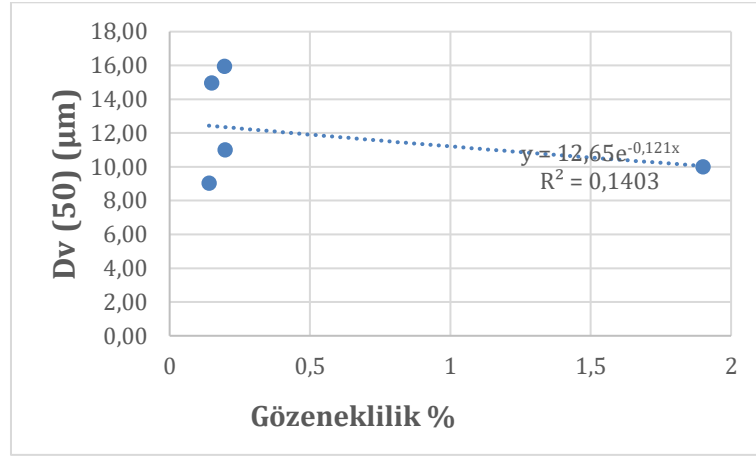
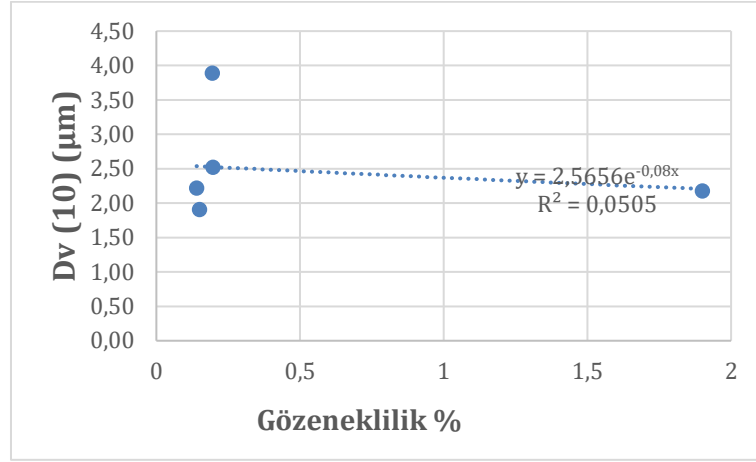
Şekil 5.25. Kafa kesim numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.25. incelendiğinde kafa kesim makinası için tek eksenli basınç dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin yükseldiği görülmektedir. d90 için bu ilişkinin daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



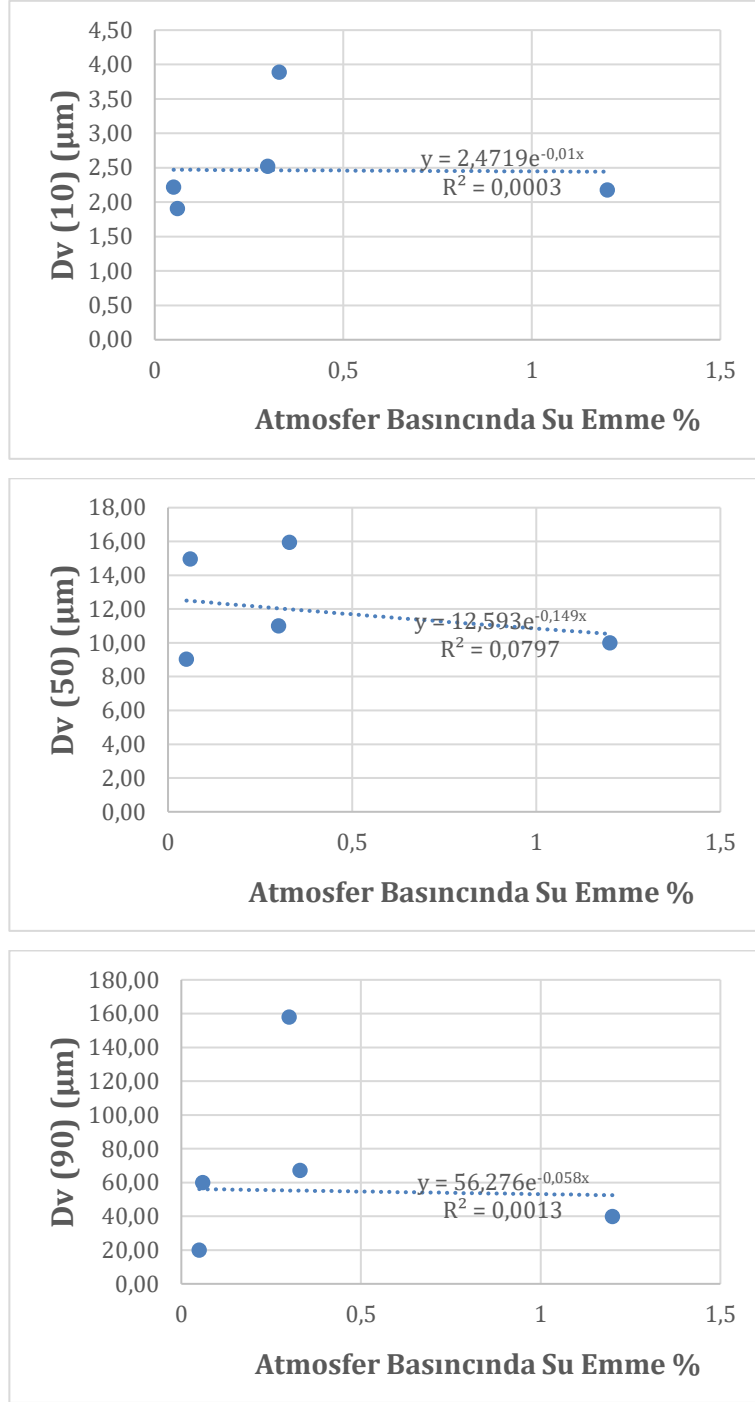
Şekil 5.26. Kafa kesim numunelerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.

Şekil 5.26. incelendiğinde kafa kesim makinası için birim hacim ağırlık değerleri ile kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



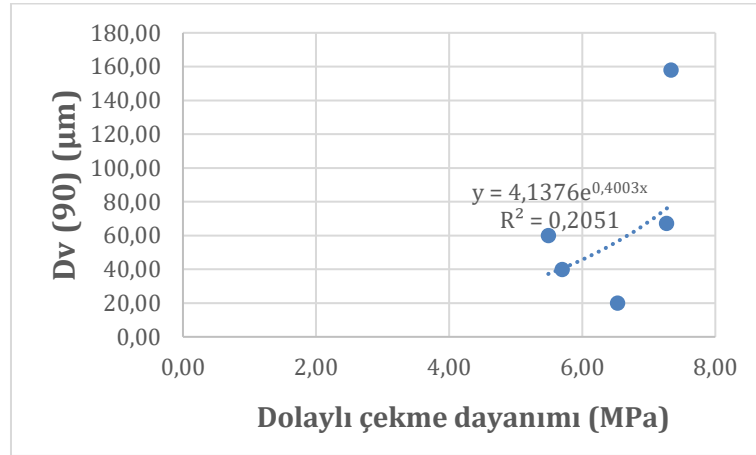
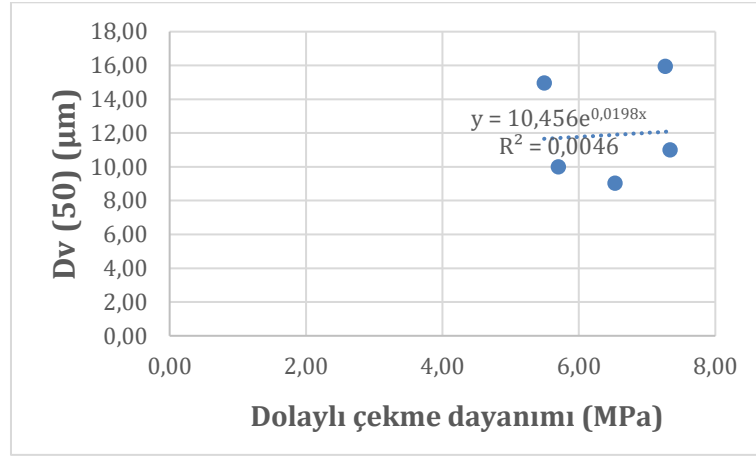
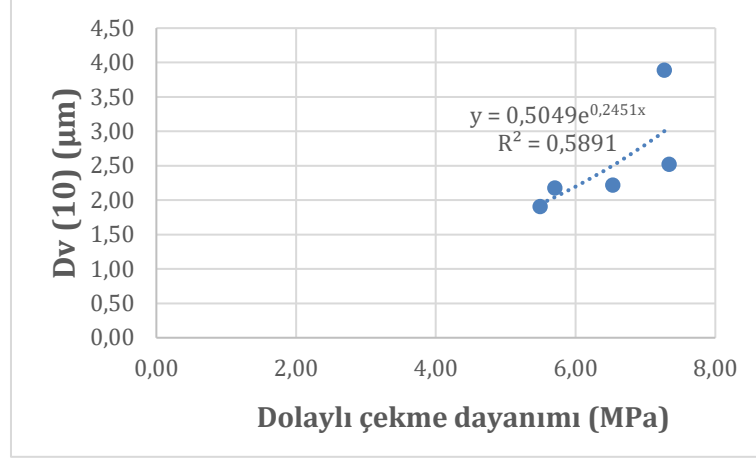
Şekil 5.27. Kafa kesim numunelerinin gözeneklilik değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.

Şekil 5.27. incelendiğinde kafa kesim makinası için gözeneklilik değerleri ile kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



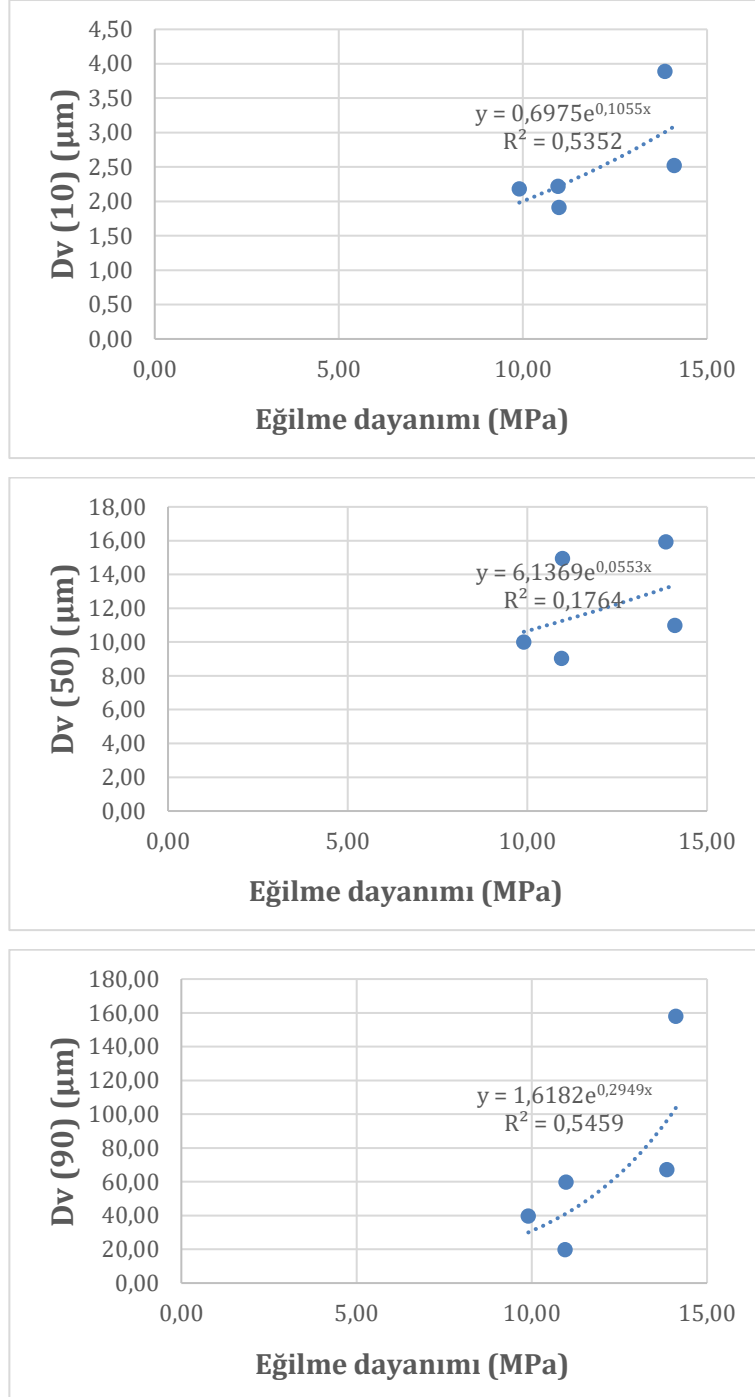
Şekil 5.28. Kafa kesim numunelerinin su emme değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.

Şekil 5.28. incelendiğinde kafa kesim makinası için su emme değerleri ile kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.



Şekil 5.29. Kafa kesim numunelerinin dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler

Şekil 5.29. incelendiğinde kafa kesim makinası için dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin d10 ve d90 için yükseldiği görülmektedir. d50 için ise net bir ilişki bulunmamıştır.

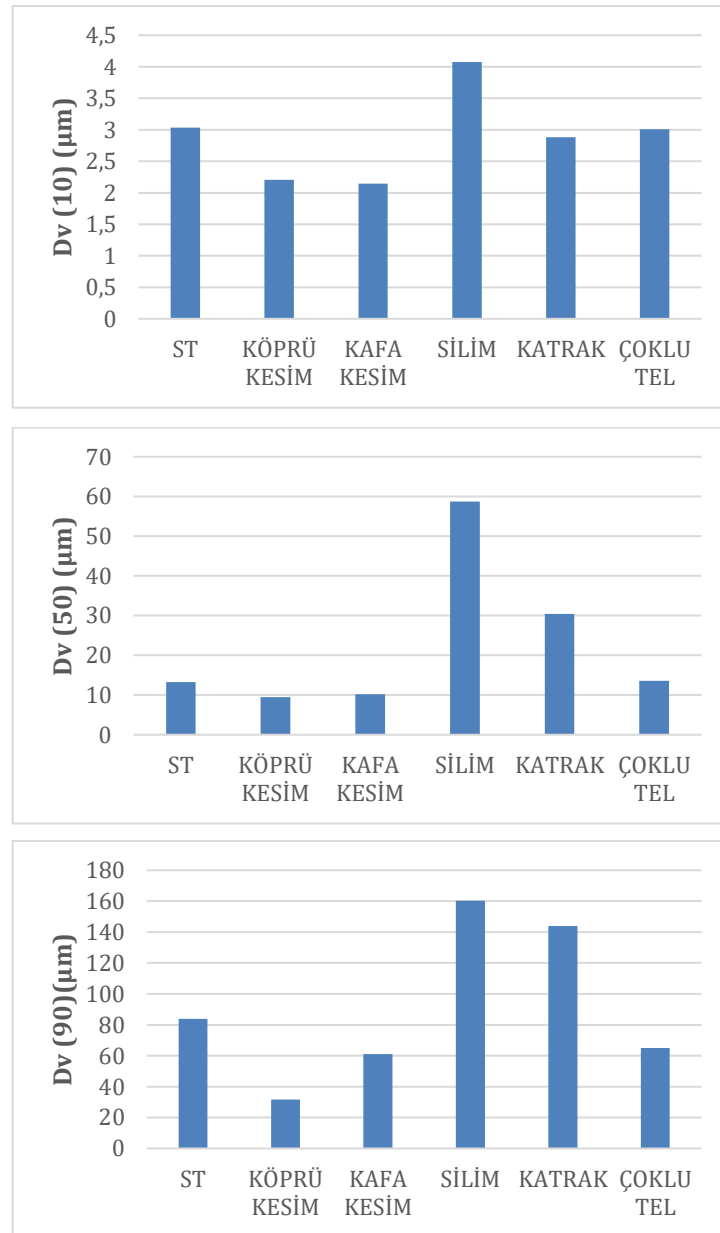


Şekil 5.30. Kafa kesim numunelerinin eğilme dayanımı değerlerine bağlı olarak ortalama çamur tane boylarındaki değişimler.

Şekil 5.30. incelendiğinde kafa kesim makinası için eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. d10 ve d90 için kuvvetli bir ilişki bulunmuştur.

5.6. Ölçüm Alınan Makinalar için Ortalama Tane Boyu ve Dağılım Açıklığı Değeri Değişimleri

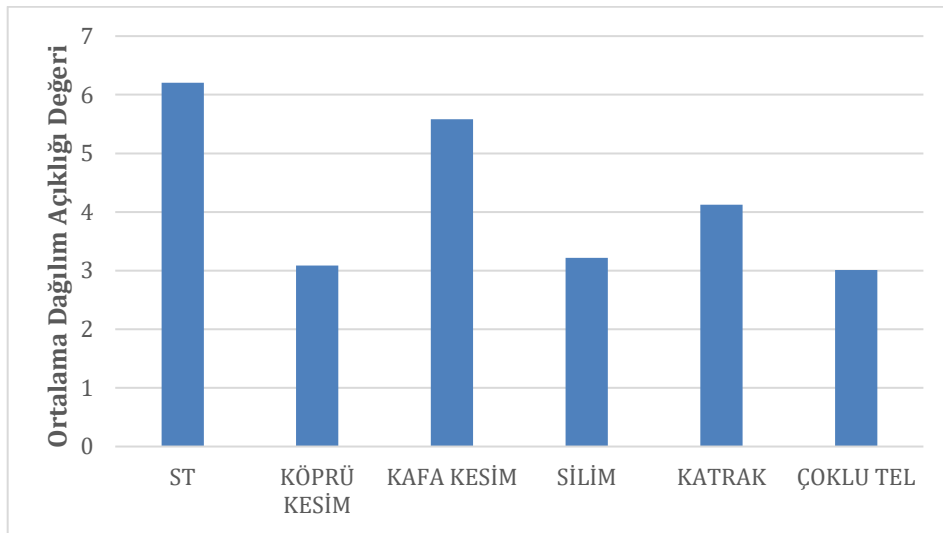
Kesimlerde makinalara bağlı olarak numunelerin ortalama tane boyu değişimleri Şekil 5.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Farklı makine çıkışlarından alınan numunelerin d10-d50-d90 ortalama tane boyları

Şekil 5.31.'de gösterilmiş olan grafikler incelendiğinde makinalar arasında en düşük ortalama d10 ve d50 tane boylarının “Kafa Kesim” ve “Köprü Kesim” makinaları çıkışından alınan numunelerde elde edildiği görülmektedir. d90 için ise en düşük tane boyu değeri “Köprü Kesim” makinasından alınan çamurda görülmektedir. En yüksek tane boyu değerlerinin ise silim makinası çıkışından alınan çamur örneğinde olduğu anlaşılmaktadır. Silim çıkışından alınan numunedeki ortalama tane boyunun yüksek çıkmasının sebebinin; analiz için alınan örnek içerisinde bulunan silim kafalarına ait iri taneler olabileceği düşünülmektedir.

Kesimlerde makinalara bağlı olarak dağılım açıklığı (span) değerindeki değişimler Şekil 5.32.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.32. Farklı makine çıkışlarından alınan numuneler için ortalama dağılım açıklığı değerleri.

Şekil 5.32. incelendiğinde tane boylarındaki en az değişimin ve en düzgün dağılımlı numunelerin “Köprü Kesim” makinasından alınan numunelerde olduğu görülmektedir. Köprü Kesim, Katrak ve Çoklu Tel makinalarından alınan numunelerin dağılım açıklığı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En yüksek dağılım açıklığının ise “ST” makinasından alınan çamur numunesinde olduğu anlaşılmaktadır.

5.7. Çamur Numunelerinin Element Yüzdelerinin İncelenmesi

Tesislerin farklı noktalarından kesim çıkışında alınan örneklerin içeriklerini gösterir tablo Çizelge 5.1’de verilmiştir.

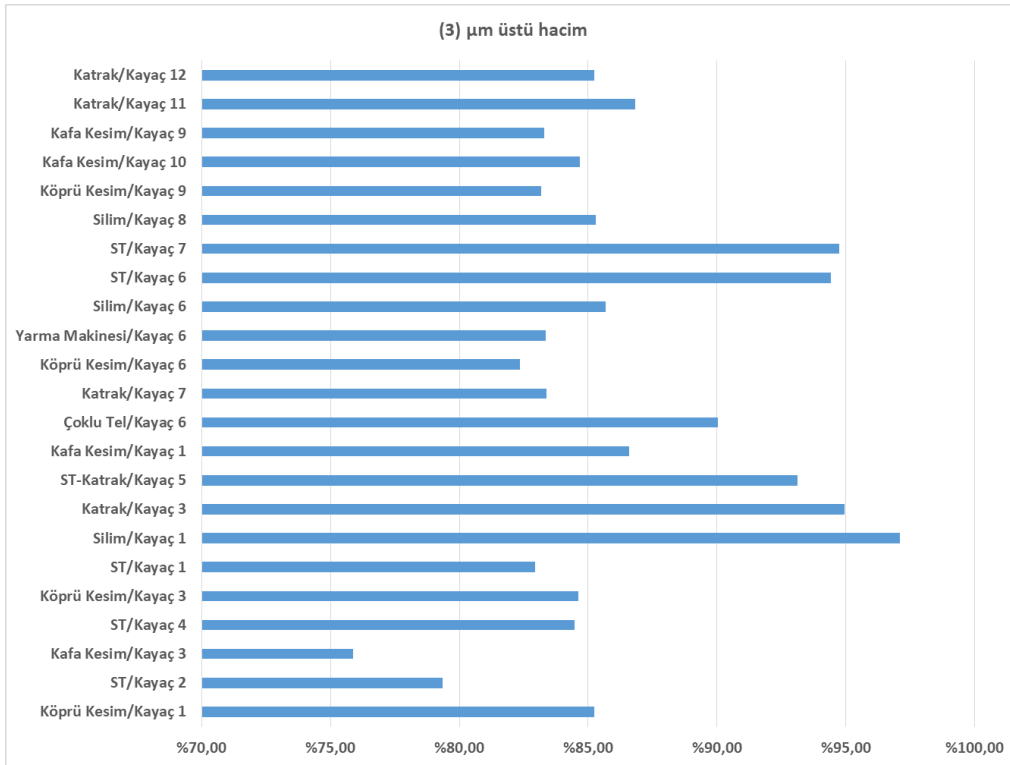
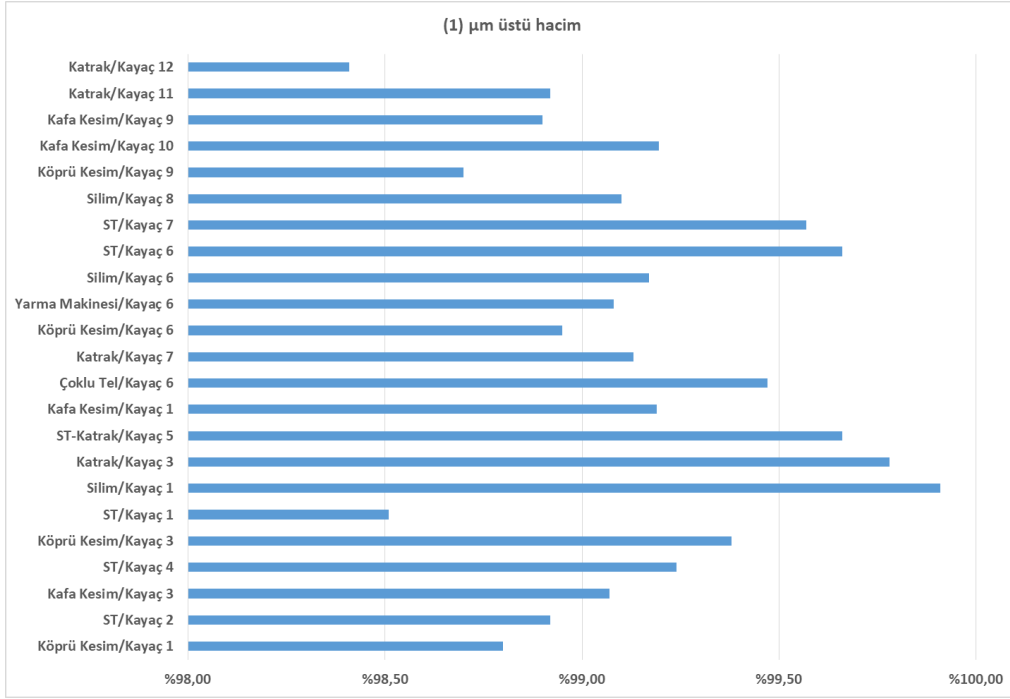
Çizelge 5.1. Çamur numunelerinin element yüzdeleri

Element	ST Kayaç 4 (%)	Katrak Kayaç 2 (%)	Çoklu Tel Kayaç 6 (%)	Katrak Kayaç 7 (%)
Sodyum	1,16	0,44	1,37	0,09
Magnezyum	1,33	0,92	0,36	0,53
Alüminyum	0,55	0,87	0,89	0,01
Silikon	0,44	0,19	1,98	0,01
Kalsiyum	47,18	49,05	34,75	16,50
Demir	0,01	0,01	0,03	0,04
Oksijen	46,95	32,27	30,60	82,76
Potasyum	-	0,25	0,79	0,01
Titanyum	-	0,68	0,16	0,02
Manganez	-	0,01	0,03	0,03
Na ₂ O	2,18	0,80	3,17	0,50
MgO	3,07	2,05	1,03	3,60
Al ₂ O ₃	1,45	2,21	2,90	0,06
SiO ₂	1,31	0,56	7,26	0,13
CaO	91,96	92,41	83,41	95,14
FeO	0,02	0,02	0,07	0,20
K ₂ O	-	0,40	1,63	0,05
TiO ₂	-	1,54	0,46	0,14
MnO	-	0,02	0,07	0,18

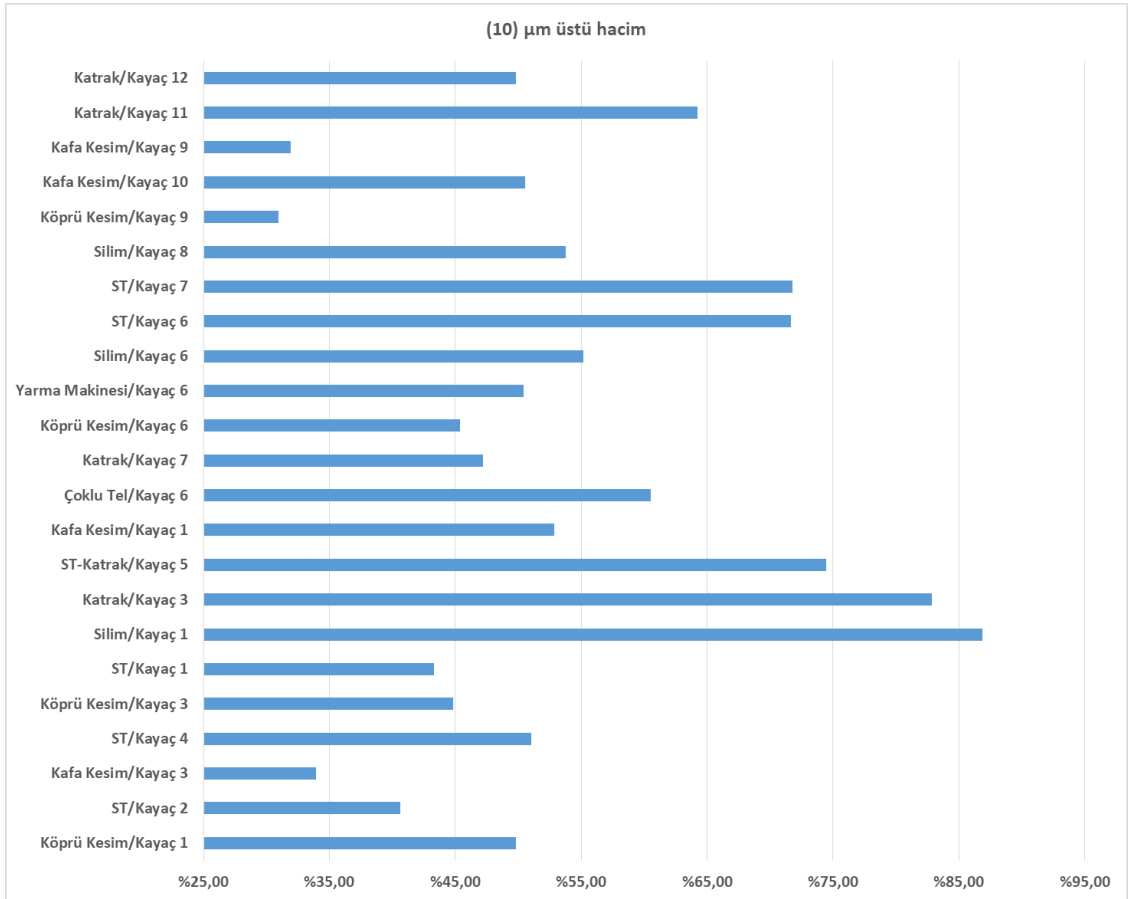
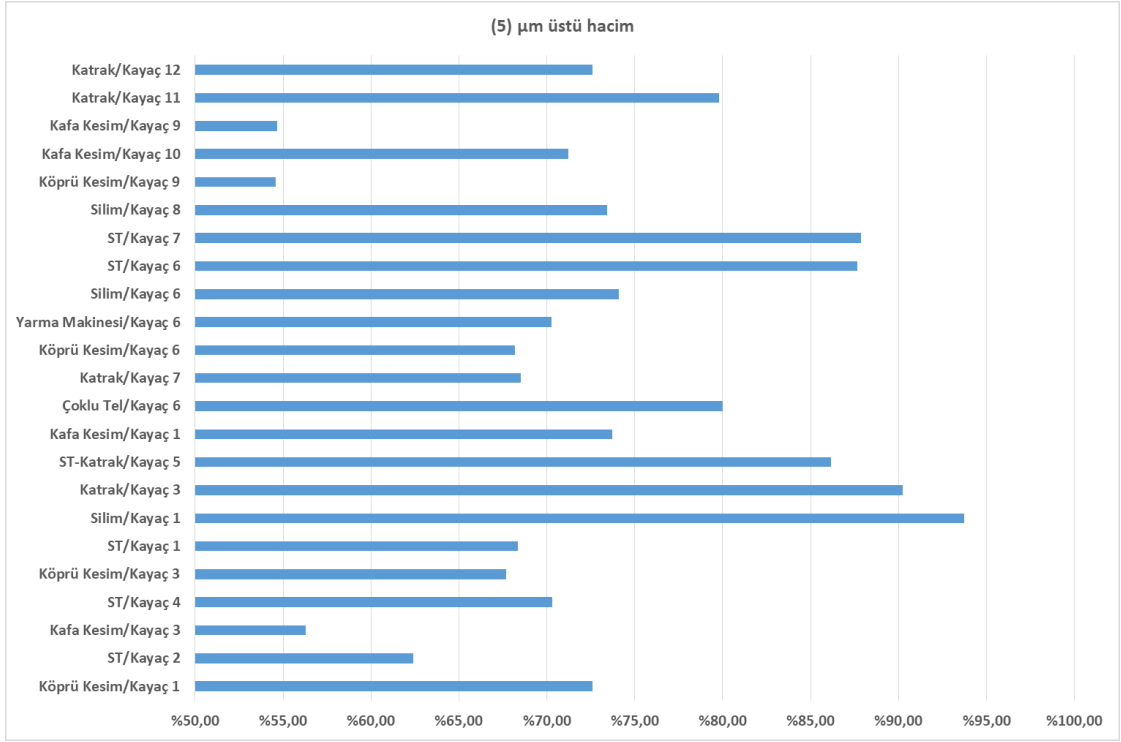
Literatürdeki çalışmalar ile değerlendirildiğinde içeriklerindeki elementlere göre mermer toz artıkları farklı alanlarda kullanım imkanı bulabilmektedir. Çizelgede verilen analiz sonuçlarına göre; doğal taş çamurlarının yüksek oranda CaO içerdiği ve bu oranların en yükseklerinin % 95,14 ile Kayaç 7 numunesine, en düşüğünün ise % 83,41 ile Kayaç 6 numunesine ait olduğu gözlenmiştir.

5.8. Numunelerin Toplam Tane Boyuna Göre Belirlenen İlişkiler

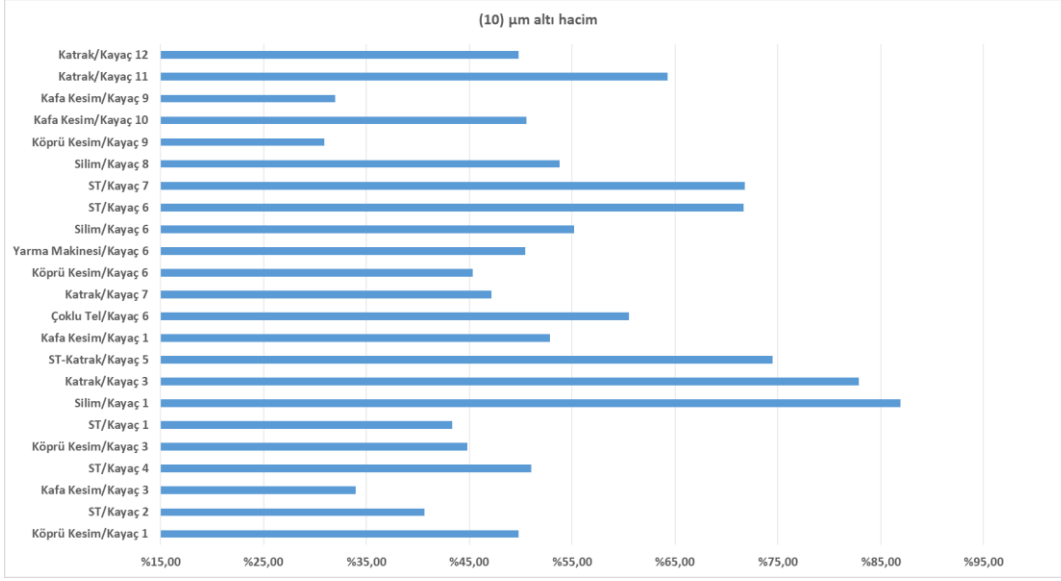
Test edilen numunelerin içerisindeki 1 µm, 3 µm, 5 µm ve 10 µm üstünde kalan toplam materyal yüzdeleri Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de, 10 µm altında kalan toplam yüzdeler ise Şekil 5.35.’de verilmiştir.



Şekil 5.33. Test edilen numuneler içerisinde 1 μm ve 3 μm üstünde kalan toplam yüzdeler.



Şekil 5.34. Test edilen numuneler içerisinde 5 μm ve 10 μm üstünde kalan toplam yüzdeler.



Şekil 5.35. Test edilen numuneler içerisinde 10 μ m altında kalan toplam yüzdeler

Şekil 5.33., 5.34. ve 5.35. incelendiğinde, Kayaç 9'un köprü kesim ve kafa kesim makinaları ile kesiminde oluşan çamurun yaklaşık %68'inin; Kayaç 3'ün kafa kesim makinası ile kesiminde ise çamurun % 66'sının tane boyunun 10 μ m'un altında kaldığı görülmektedir. Bu veri, ince taneli numune gereken sektörlerde bu makinaların çıkışındaki çamurların kullanımının düşünülebileceği anlamına gelmektedir. Şekil 5.34. incelendiğinde ise Kayaç 3'ün katrak makinası ile kesiminde oluşan çamurun %83'ünün tane boyunun 10 μ m'un üstünde kaldığı ve diğer numunelere göre daha iri taneli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, oluşan artıkların doğrudan kullanımının mümkün olmadığı durumlarda (örn. yüksek tane boyuna sahip çamur) öğütme gibi ek işlemleri uygulayarak kullanım alanları oluşturulabilir.

6. TARTIŞMA

Çalışmada farklı tesislerden alınan mermer artık numunelerinin üzerinde analizler uygulanmıştır ve sonuç olarak bu analizler değerlendirilmiştir. Bu bölümde, numuneler üzerinde uygulanan analizlerin sonuçları değerlendirilmekte, sektöre ve literatüre katkısı ele alınmaktadır.

Tesislerde doğal taşların kesim, parlatma ve cilalama işlemleri esnasında ve arıtma işlemi sonucu oluşan kekten alınan numuneler testlere tabii tutulmuş ve bu testler sonucunda veriler elde edilmiştir. ST ile yapılan kesimler sonucunda ortaya çıkan çamur doğal taş artıklarının tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arttıkça ortalama tane boyu değerlerinin azalma eğiliminde olduğu, d10 ve d50 değerleri için bu ilişkinin d90 değerine göre daha kuvvetli olduğu belirlenmiştir. Katrak, köprü kesim, silim ve kafa kesim ile yapılan kesimler sonucunda ortaya çıkan çamur mermer artıklarının tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arttıkça kesimde oluşan çamuru ortalama tane boyu değerlerinin artma eğiliminde olduğu, d10 ve d50 değerleri için bu ilişkinin d90 değerine göre daha kuvvetli olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde kullanımı araştırılan mermer artıklarının tane boyları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu tez çalışmasında ortalama tane boyu dağılımları belirlenen artıkların farklı sektörlerde kullanılabilirlikleri tane boyu değerleri açısından Çizelge 6.1’e göre incelenmiştir. Çalışmanın bu aşamasındaki değerlendirmeler numunelerin kullanılabilirliğinin sadece tane boyu açısından incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Farklı sektörlerde kullanılan mermer artıklarının tane boyu değerleri. [6, 14, 15, 16, 18]

Sektör	İstenilen Tane Boyu
Karo Üretimi	< 0,5 mm
Derz Dolgu	< 250 mikron
Seramik	150 mikron - 2 mm.
Porselen	150 mikron - 2 mm.
Çimento	1-1200 mikron arası
Metalurji (Metal-Çelik)	12.5-4.16 mm.
Boya Endüstrisi	0.77-44 mikron
Plastik Üretimi	< 40 mikron
Tarım	İnce tane boyunda olması beklenir.
Hayvancılık	< 2 mm.
Kozmetik	2-10 mikron
Kağıt Sanayi	< 2 mikron

Çizelge 6.1. baz alınarak bu tez çalışmasında alınan numunelerin d50 ortalama tane boyuna göre kullanılabilecekleri sektörler belirlenmiş ve Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. d50 ortalama tane boyu değerlerine göre kullanım alanları

	Makine	Numune	Karo Üretimi	Derz Dolgu	Seramik	Porselen	Çimento	Metalurji	Boya Endüstrisi	Plastik Üretimi	Tarım	Hayvancılık	Kozmetik	Kağıt Sanayi
Dv(50)	Köprü Kesim	Kayaç 1	√	√			√		√	√	√	√	√	
	ST	Kayaç 2	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Kafa Kesim	Kayaç 3	√	√			√		√	√	√	√	√	
	ST	Kayaç 4	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Köprü Kesim	Kayaç 3	√	√			√		√	√	√	√	√	
	ST	Kayaç 1	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Silim	Kayaç 1	√	√	√	√	√				√	√		
	Katrak	Kayaç 3	√	√			√				√	√		
	ST ve Katrak	Kayaç 5	√	√			√				√	√		
	Kafa Kesim	Kayaç 1	√	√			√		√	√	√	√		
	Çoklu Tel	Kayaç 6	√	√			√		√	√	√	√		
	Katrak	Kayaç 7	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Köprü Kesim	Kayaç 6	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Yarma Makinesi	Kayaç 6	√	√			√		√	√	√	√		
	Silim	Kayaç 6	√	√			√		√	√	√	√		
	ST	Kayaç 6	√	√			√		√	√	√	√		
	ST	Kayaç 7	√	√			√		√	√	√	√		
	Silim	Kayaç 8	√	√			√		√	√	√	√		
	Köprü Kesim	Kayaç 9	√	√			√		√	√	√	√	√	
	Kafa Kesim	Kayaç 10	√	√			√		√	√	√	√		
Kafa Kesim	Kayaç 9	√	√			√		√	√	√	√	√		
Katrak	Kayaç 11	√	√			√		√	√	√	√			
Katrak	Kayaç 12	√	√			√		√	√	√	√			

Bu tez çalışmasında kullanılan mermer artıklarının d50 ortalama tane boyları, literatürde kullanım alanları incelenen mermer artıklarının tane boyları ile karşılaştırıldığında metalurji endüstrisi ve kağıt sanayi haricinde diğer sektörlerde yer yer kullanım alanı bulabileceği görülmektedir.

Mineral içerikleri incelendiğinde ise yüksek kalsiyum oksit (CaO) oranına sahip numuneler, seramik sektöründe, porselen üretiminde, cam üretiminde, kalsiyumlu gübrelerin üretimlerinde ve hayvancılık sektöründe yem olarak kullanılabilir. Aynı zamanda kalsiyum oksit (CaO) içeriğine ek olarak, silika (SiO₂) oranına göre cam ve sır üretiminde de kullanılabilir. Bu sektörlerde net olarak kullanılabilir olduklarının söylenebilmesi için tane boyu analizi dışında birçok farklı analizin de (örn. beyazlık, parlaklık, içerdiği safsızlıkların belirlenmesi gibi) gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bunlara ek olarak, oluşan artıkların yüksek tane boyuna sahip olması gibi doğrudan kullanımının mümkün olmadığı durumlarda öğütme gibi ek işlemler uygulanarak kullanım alanları oluşturulabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal taşların oluşumdan ve makinelerin farklı kesimlerinden kaynaklı olarak tane boyları ve içeriklerindeki elementler değişiklik göstermektedir. Farklı fabrika ve makinelerden alınan numunelerin tane boyu, SEM ve XRD analizleri yapılarak ve literatür ile karşılaştırılarak ilerlenen bu tez çalışmasında, mermer artıklarına kullanım alanı bulunabileceği kullanılması istenen endüstriye göre ek analizlerin yapılması sonrası kullanımının mümkün olabileceği ve atık olarak kalmaması gerektiği tespit edilmiştir.

Doğal taş artıklarının farklı sektörlere tekrar kazandırılması artıkların, atık olarak kalmamasını sağlayacak aynı zamanda çevre ve görüntü kirliliğinin de önüne geçecektir. Ekonomik değere sahip bu artıkların farklı sektörlere kazandırılması, bu sektörlerde hammadde ve katkı maddesi ihtiyacının bir kısmını da karşılamış olacaktır.

8. KAYNAKLAR

- [1] İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, Doğal Taş Sektör Raporu, Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı (2021).
- [2] D.S. Karahan, Dünyada ve Türkiye’de Doğal Taşlar, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı (2018).
- [3] E. Özkan, Z.E. Sayın, B. Ersoy, Katrak ile Kesim Sonucunda Çıkan Mermer Toz Atıklarının Karakterizasyonu ve Endüstride Kullanılabilirliği, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 11, No:1 (2015) 11-17
- [4] B. Demirel, K.E.Alyamaç, Waste Marble Powder/Dust, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete (2018) 181-197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00006-7>
- [5] N. Careddu, G. Marras, G. Siotto, C. Internicola, Recovery and Reuse of Marble powder by-Product, Department of Geoenvironment and Environmental Technologies, University of Cagliari (2010). <https://www.researchgate.net/publication/265683697>
- [6] H. Ceylan, Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Artıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta (2000).
- [7] İ.S. Büyüksağış, Doğaltaş İşleme Tesislerinde Toz Artıklarının Oluşumu ve Azaltma Yöntemlerinin İrdelenmesi, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, Diyarbakır (2009). 180-193
- [8] M.Y. Çelik, E. Sabah, Geological and Technical Characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) Marble Deposits and The Impact of Marble Waste on Environmental Pollution, Journal of Environmental Management 87, (2008). 106–116
- [9] V. Vijayalakshmi, S. Singh ve D. Bhatnagar, “Marble Slurry-A New Perspective”, Technology Information, Forecasting and Assessment Council, 2001 Golden Jubile Year, M.B.M. Engineering College National Seminar on Small Scale Mining Jodhpur, Rajasthan, New Delhi, India. (2001).
- [10] B. Ersoy, Z.E. Sayın, Z. Arsoy ve Ü. Sayın, Yeterince Farkında Olmadığımız Atıl Kaynağımız: Doğaltaş Ocak ve Fabrika Atıkları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar (2015).
- [11] T. Onargan, Mermer Madenciliğinde Çevre Yönetimi, II. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Başkanlığı, Ankara (2007).
- [12] V. Vijayalakshmi, S. Singh, D. Bhatnagar, Marble Slurry: A New Resource Material For Entrepreneurs, Science Tech Entrepreneur Project, 9, India (2001).

- [13] M. Bilensoy, Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir (2010).
- [14] Ö. Yıldız, Ş. Eskikaya, Afyon Mermeri Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Türkiye 1. Mermer Sempozyumu Kitabı, Ankara, (1995) 45-52.
- [15] A. Şentürk, L. Gündüz, Y.İ. Tosun, A. Sarıışık, Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta (1996).
- [16] İ. Demir, Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması, 6. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyon (2008) 327.
- [17] M. Öztürk, Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara (2018).
- [18] Ş. Geçgil, İlaç, Gıda ve Kozmetik Konuları ile İlgili Yasa Yönetmelik Kararnamesi ve Bildirgeler, Marmara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, İstanbul (1988).
- [19] Y. Taşgın, Mermer, Ferrokrom Cürufu ve Cam Atıklarının Asfalt Beton Kaplamalarında Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tunceli (2014).
- [20] A.H. Yıldız, Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatlarında Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta (2008).
- [21] U.Ş. Çavuş, Mermer Parça Atıklarının Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları Islah Yapılarında Kullanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta (2015).
- [22] H. Elçi, R. Hacımustafaoğlu, M. Yılmaz, Ö. Yılmaz, Ham Madde Kaynağı Olarak Doğal Taş Artıkları Torbalı-İzmir Örneği, İzmir, (2017).
<https://www.researchgate.net/publication/320474723>
- [23] Anonim, Mastersizer, <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000> (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2023).
- [24] Anonim, <https://www.microtrac.com/knowledge/particle-size-distribution/> (Erişim tarihi: 9 Eylül 2023).
- [25] Anonim, <https://www.acttr.com/en/en-faq/en-faq-particle-size-analyzer/411-en-faq-particle-span-meaning.html> (Erişim tarihi: 9 Eylül 2023).