ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eshaq Ali MOHAMMADI

DOĞAL TAŞLARIN ÖZELLİKLERİNİN TAHRİBATSIZ TEKNİKLERLE BELİRLENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL TAŞLARIN ÖZELLİKLERİNİN TAHRİBATSIZ TEKNİKLERLE BELİRLENMESİ

Eshaq Ali MOHAMMADI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Yıl : 2022, Sayfa:155
Jüri : Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Prof. Dr. Alaettin KILIÇ
: Dr.Öğr. Üyesi Abdulkadir ÜRÜNVEREN

Doğal taşların fiziko-mekanik özelliklerini karakterize etmek ve belirlemek için genellikle hem sahada hem de laboratuvarda ses dalgası hızı teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler; tahribatsız ve nispeten kolay uygulanabilir olduklarından mühendislik uygulamalarında giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada; P (Vp) ve S (Vs) dalga hızı ile doğal taşların kuru ve doygun durumdaki fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda 10 farklı mermer numunesi üzerinde kimyasal, petrografik ve fiziko-mekanik, analizleri yapılmış ve SPSS programı ile istatistiksel analizler uygulanmıştır. Basit ve çoklu regresyon analizi sonucunda, kuru ve doygun koşullarda Vp-Vs ile fiziko-mekanik özellikler arasında güçlü ilişkiler olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: P dalga hızı, S dalga hızı, fiziko-mekanik özellikler, regresyon analizi, doğal taş

ABSTRACT

MSc THESIS

DETERMINING THE PROPERTIES OF NATURAL STONES BY NON DESTRUCTIVE TECHNIQUES

Eshaq Ali MOHAMMADI

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

Supervisor : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Year: 2022, Pages;155
Jury : Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Prof. Dr. Alaettin KILIÇ
: Assist.Prof. Dr. Abdulkadir ÜRÜNVEREN

Sound wave velocity techniques are generally used, both in the field and in the laboratory, to characterize and determine the physicomechanical properties of natural stones. Since these techniques are non-destructive and relatively easy to apply, they are increasingly being preferred in engineering applications. In this study; the relationship between P (Vp) and S (Vs) wave velocity and physico-mechanical properties of natural stones at dry and saturated condition were investigated. In this context, chemical, petrographic and physco-mechanic analyzes were carried out on 10 different marble samples and statistical analyzes were made with the SPSS program. As a result of simple and multiple regression analysis it was found that there are strong relationships between Vp-Vs and physico-mechanical properties at dry and saturated conditions.

Keywords: P wave velocity, S wave velocity, physico-mechanical properties, regression analysis, natural stones.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Mermer kesilip parlatılabilen, uygun boyutlarda blok halinde kazanılabilen ve ticari değere sahip doğal taşlarından biridir. Mermer tarih boyunca insanoğlu tarafından dayanıklılığı, güzelliği ve çekiciliği nedeniyle yerleşim, idari ve ticari binalarda, türbe ve cami gibi halka açık yerlerde kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe mermerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmada Adana, Adıyaman, Mersin, İskenderun, Sivas, Bilecik, Karaman, Konya ve Diyarbakır gibi Türkiye'nin farklı bölgelerinden on farklı mermer çeşidi örnek olarak toplanıp Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği ve Jeoloji Mühendisliği Bölümlerinin laboratuvarlarında petrografik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. XRD cihazı ile yapılan mineralojik araştırma sonuçları, mermer numunelerinin mineralojik bileşiminin çoğunlukla kalsit olduğunu göstermektedir. XRF cihazı ile yapılan kimyasal araştırma sonuçları, İskenderun ve Diyarbakır mermeri dışında kalan mermer örneklerinin %98'dan fazla $CaCO_3$, geri kalan %2'si ise CuO, Fe_2O_3,SO_3 ve diğer bazı oksitleri içerdiğini göstermektedir. İskenderun ve Diyarbakır mermeri %89'dan fazla $CaCO_3$, %4 Al_2O_3, geri kalan CuO, Fe_2O_3, SO_3 ve diğer bazı oksitlerden oluşmuştur.

Araştırma merkezlerinde doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri genellikle araştırmacılar tarafından klasik ve modern yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Klasik veya tahribatlı yöntemde numuneler önce sahadan laboratuvara getirilerek uygun ölçülerde küp veya dikdörtgen gibi düzgün şekillerde kesildikten sonra test işlemi yapılır. Klasik yöntemde numune toplama ve hazırlama zorluğu, sadece laboratuvarda test yapılması, zaman alması, ekipman maliyetinin yüksek olması vb. bir dizi problem bulunmaktadır. Modern veya tahribatsız yöntemde doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri ultrasonik dalgaların hızına göre değerlendirilir. Tahribatsız yöntem, hızlı test, düşük ekipman

maliyeti, hem sahada hem de laboratuvarda test imkanı gibi bazı avantajlar nedeniyle mühendislik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu araştırma kapsamında kolay bir yöntem elde edebilmek için farklı mermerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri hem tahribatlı hem de tahribatsız olarak belirlenmiştir. Mermerlerin özgül ağırlığı, kuru ve doygun haldeki birim hacim ağırlığı, su emme oranı, gözeneklilik oranı, shore sertliği, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, kuru ve doygun durumdaki P ve S dalga hızı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Numuneler arasında en yüksek gözenekliliğe ve en düşük mukavemete sahip olan Diyarbakır mermeridir.

SPSS ve Minitab yazılımları ile basit ve çoklu regresyon analizi kullanılarak, kuru ve doygun durumdaki P ve S dalga hızı ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Basit regresyon analizinde, lineer, logaritmik, kuadratik, kübik, üstel ve güç gibi çeşitli modeller kullanılmıştır. Modeller, hata kare ortalaması ve korelasyon katsayısının değerine göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bunlardan en küçük hata kare ortalamasına ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan model uygun olarak seçilmiştir.

Sonuç olarak, özgül ağırlık, kuru ve doygun durumdaki birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve shore sertlik ile kuru ve doygun durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişki, doğrudan ilişkili oldukları bulunurken su emme oranı ve gözeneklilik oranı ile kuru ve doygun durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişki, ters ilişkili oldukları bulunmuştur.

Basit ve çoklu regresyon analizi sonucunda fiziko-mekanik özellikler ile ultrasonik dalgaların hızı aralarında yüksek korelasyon katsayısı (R^2) elde edilmiştir. Özgül ağırlık ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %65, %61, %60 ve %57'dir. Doygun birim hacim ağırlık ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %75, %71, %72 ve %70'tir. Kuru birim hacim ağırlık ile doygun P dalga

hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %85, %83, %80 ve %81'dir. Ağırlıkça su emme ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %91, %94, %83 ve %94'tür. Gözeneklilik ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %45, %90, %46 ve %91'dir. Shore sertlik ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %91, %52, %90 ve %84'tür. Tek eksenli basınç dayanımı ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %89, %77, %93 ve %82'dir. Eğilme dayanımı ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %85, %77, %88 ve %79'dur. Darbe dayanımı ile doygun P dalga hızı, kuru P dalga hızı, doygun S dalga hızı ve kuru S dalga hızı aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla %93, %78, %94 ve %82'dir.

TEŞEKKÜR

Madencilik firmaları ve Mermer fabrikaları ile tanışmamı sağlayan, değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, araştırmalarım başından sonuna kadar bana yol gösteren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları ve istatistiksel analizlerde yol gösteren ve diğer faydalı bilimsel bilgilerini paylaşan Sayın Hocam Arş. Gör. Dr. Esma KAHRAMAN'a teşekkür ederim. Petrografi ve mineralojik analizlerde yardım eden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI ile Arş. Gör. Emrah ŞİMŞEK'e teşekkür ederim. Ders aşamasında bana her konuda yardım eden, değerli bilimsel bilgilerini paylaşan Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün tüm değerli Hocalarına teşekkür ederim.

Laboratuvar işlemlerinde bana yardım eden doktora öğrencisi sayın Emir MOHAMMADIYAN'a teşekkür ederim. Bu araştırma örneklerinin temin etmesinde yardım eden İmgi International Marble and Granit, Fimar Mermer, Tecmoron Mermer ve Arımar Mermer fabrikalarının yetkililerine teşekkür ederim. Örneklerin taşımalarında bana yardım eden İSGSEN Genel Başkanı Sayın İrfan SAYAR, Sayın Yılmaz AKBAYAR, Sayın Enes KÜÇÜKOĞLU, Maden Mühendisi Sayın Ersin DİNCEL'e teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili anne ve babama, ayrıca kardeşlerime teşekkür ederim. Özellikle bu yüksek lisans aşamasında beni destekleyen sevgili eşim Aziz Gül MOHAMMADI ve sevgili oğlum Nawidullah MOHAMMADI'ya teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle bana Türkiye'de eğitim görme fırsatını sağlayan YTB'a (Yurtdışı Türkler ve Akraba Toplulukları) çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR VII
İÇİNDEKİLER VIII
ÇİZELGELER DİZİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XVIII
KISALTMALAR ve SİMGELER XXII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL VE METOT 13
3.1. Materyal 13
3.1.1. Çalışma Sahaları 13
3.1.2. Çalışma Sahalarının Jeolojik Özellikleri 14
3.1.2.1. Mersin İli Erdemli ve Silifke İlçelerinin Jeolojik Özellikleri 14
3.1.2.2. Hatay İli İskenderun İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellilieri 15
3.1.2.3. Adıyaman Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 16
3.1.2.4.Diyarbakır İli Hani İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 16
3.1.2.5. Adana İli Pozantı İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 17
3.1.2.6. Karaman Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 17
3.1.2.7. Bilecik İli Söğüt İlçesi ve Çevresinin Jeoljik Özellikleri 18
3.1.2.8. Sivas Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 19
3.1.2.9. Konya İli Yunak İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 20
3.2. Metot 21

3.2.1. Fiziksel Deneyler 21
3.2.1.1. Özgül Ağırlık 21
3.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık 23
3.2.1.3. Ağırlıkça Su Emme 24
3.2.1.4. Gözeneklilik 25
3.2.1.5. Ultrasonik Dalga Hızı 26
3.2.1.6. Kayacın Shore Sertliği 28
3.2.2. Mekanik Deneyler 29
3.2.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı 29
3.2.2.2. Kayacın Darbe Dayanımı 31
3.2.2.3. Kayacın Eğilme Dayanımı 32
3.2.3. Taşların Kimyasal Bileşiminin XRF Cihazı ile Belirlenmesi 34
3.2.4. Taşların Minerallerinin XRD Cihazı ile Tanımlanması 34
3.2.5. Petrografik Analizler 35
3.2.6. İstatistiksel Analiz Yöntemleri 38
3.2.6.1 Basit Regresyon 39
3.2.6.2. Çoklu Doğrusal Regresyon 40
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 43
4.1. Arazi Gözlemleri 43
4.2. Petrografik Analizler 45
4.2.1. Mersin Erdemli Mermerinin Petrografik İncelemesi 46
4.2.2. Sivas Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi 47
4.2.3. Silifke Dolomitik Kireçtaşının Petrografik İncelemesi 49
4.2.4. Adıyaman Dolomitik Kireçtaşının Petrografik İncelemesi 50
4.2.5. İskenderun Siyah Mermerinin Petrografik İncelemesi 52
4.2.6. Bilecik Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi 53
4.2.7. Karaman Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi 55
4.2.8. Konya Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi 56
4.2.9. Adana Mermerinin Petrografik İncelemesi 58

4.3. Mermerlerin Minerallerinin XRD ile İncelenmesi 61
4.4. Uygulanan Deneyler 66
4.4.1. Mermerlerin Kimyasal İçeriklerinin XRF ile İncelenmesi 66
4.4.2 Mermerlerin Fiziksel Özellklerinin Belirlenmesi 67
4.4.3. Mermerlerin Mekanik Özellklerinin Belirlenmesi 74
4.4.4. Mermerlerde Ultrasonik Dalga Hızının Belirlenmesi 80
4.5. İstatistiksel Analiz 86
4.5.1. Ultrasonik Dalga Hızı kullanılarak Basit Regresyon Analiziyle Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Tahmini 86
4.5.1.1. Özgül Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 88
4.5.1.2. Doygun Birim Hacim Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 94
4.5.1.3 Kuru Birim Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 99
4.5.1.4 Su Emme Oranının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 104
4.5.1.5. Gözeneklilik Oranının Doygun ve Kuru Haldaki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 109
4.5.2. Ultrasonik Dalga Hızları Kullanılarak Çoklu Regresyon Analiziyle Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Tahmini 114
4.5.3. Ultraonik Dalga Hızları kullanılarak Basit Regresyon Analiziyle Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Tahmini 117
4.5.3.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P-S Dalga Hızıyla Tahmini 120
4.5.3.2. Eğilme Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 126
4.5.3.3. Darbe Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 131

4.5.3.4. Shore Sertlik Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini 136
4.5.4. Ultraonik Dalga Hızları Kullanılarak Çoklu Regresyon Analiziyle Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Tahmini 141
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 145
KAYNAKLAR 147
ÖZGEÇMİŞ 155

ÇİZELGELER DİZİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Örneklerin Listesi 13

Çizelge 4.1. XRF ile Gerçekleştirilen Numunelerin Kimyasal Test Sonuçları……..……66

Çizelge 4.2. Nununelerin Fizikesel Özelliklerinin Değerleri 68

Çizelge 4.3. Nununelerin Fiziksel Özelliklerinin Ortalma Değerleri 71

Çizelge 4.4. Nununelerin Mekanik Özelliklerinin Değerleri..... 75

Çizelge 4.5. Numunelerin Mekanik Özellikleri Ortalama Değerleri..... 77

Çizelge 4.6. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızının Değerleri 81

Çizelge 4.7. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Ortalma Değerleri..... 83

Çizelge 4.8. Fiziksel Özellikleri ile Doygun P Dalga Hızı (Vp_d) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi 86

Çizelge 4.9. Fiziksel Özellikleri ile Kuru P Dalga Hızı (Vp_k) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi 87

Çizelge 4.10. Fiziksel Özellikleri ile Doygun S Dalga Hızı (Vs_d) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi 87

Çizelge 4.11. Fiziksel Özellikleri ile Kuru S Dalga Hızı (Vs_k) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi 88

Çizelge 4.12. VP_d Otalama Değerleri Kullanılarak Gs Ortalma Değerlerinin Tahmini 90

Çizelge 4.13. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak Gs Ortalma Değerlerinin Tahmini 91

Çizelge 4.14. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak G_S Ortalama Değerlerinin Tahmini 92

Çizelge 4.15. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak G_S Ortalama Değerlerinin Tahmini 93

Çizelge 4.16. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini 95
Çizelge 4.17. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalam Değerlerinin Tahmini 96
Çizelge 4.18. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini 97
Çizelge 4.19. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini 98
Çizelge 4.20. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini 100
Çizelge 4.21. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini 101
Çizelge 4.22. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini 102
Çizelge 4.23. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini 103
Çizelge 4.24. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini 105
Çizelge 4.25. Vp_K Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini 106
Çizelge 4.26. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini 107
Çizelge 4.27. VS_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini 108
Çizelge 4.28. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 110
Çizelge 4.29. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 111

Çizelge 4.30. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 112
Çizelge 4.31. VS_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 113
Çizelge 4.32. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kulnılarak Özgül Ağılığının Tahmini 115
Çizelge 4.33. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Doygun Birim Hacim Ağılığının Tahmini 116
Çizelge 4.34. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Kuru Birim Hacim Ağılığının Tahmini 116
Çizelge 4.35. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Su Emme Oranının Tahmini 117
Çizelge 4.36. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Ortalama Değerleri Kullanılarak Gözeneklilik Oranının Tahmini 117
Çizelge 4.37. Mekanik Özellikler ile Doygun P Dalga Hızı (Vp_d) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmeler 118
Çizelge 4.38.Mekanik Özellikler ile Kuru P Dalga Hızı (Vp_k) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmeler 119
Çizelge 4.39. Mekanik Özellikler ile Doygun S Dalga Hızı (Vs_d) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmeler 119
Çizelge 4.40. Mekanik Özellikler ile Kuru S Dalga Hızı (Vs_k) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmeler 120
Çizelge 4.41. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini 122
Çizelge 4.42. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini 123
Çizelge 4.43. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini 124

Çizelge 4.44. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini 125
Çizelge 4.45. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini 127
Çizelge 4.46. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini 128
Çizelge 4.47. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (σeğ) Ortalama Değerlerinin Tahmini 129
Çizelge 4.48. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini 130
Çizelge 4.49. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 132
Çizelge 4.50. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 133
Çizelge 4.51. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 134
Çizelge 4.52. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini 135
Çizelge 4.53. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini 137
Çizelge 4.54. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini 138
Çizelge 4.55. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini 139
Çizelge 4.56. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini 140
Çizelge 4.57. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Tek Eksenli Basınç Dayanımının Tahmini 142

Çizelge 4.58. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Eğilme Dayanımının Tahmini 142
Çizelge 4.59. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Darbe dayanımının Tahmini 143
Çizelge 4.60. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Shore sertlik Oranının Tahmini 143

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Örneklerin Alındığı Alanlar Numaralandırılmıştır (Google Earth). 13
Şekil 3.2. Özgül Ağırlığının Testi Yapmak İçin Gerekli Ekipmanlar 23
Şekil 3.3. Ultrasonik Dalga Hızı Ölçüm Cihazı 27
Şekil 3.4. Dijital Durometre Cihazı 29
Şekil 3.5. Tek Eksenli Basınç Ölçüm Cihazı 30
Şekil 3.6. Darbe Dayanımı Ölçüm Cihazı 32
Şekil 3.7. Eğilme Dayanımı Ölçüm Cihazı 33
Şekil 3.8. X Işını Flöresans Spektrometresi (XRF) Cihazı 35
Şekil 3.9. X-Işınları Difraksiyonu (XRD) Cihazı 36
Şekil 3.10. İnce Kesiti Test Adımlarının Resimleri 37
Şekil 4.1. Elmas Tel Kesme Yönteminin Şematik Görünümü 43
Şekil 4.2. Pozantı Me rmer Ocağı 44
Şekil 4.3. Erdemli Mermer Ocağı 44
Şekil 4.4. Silifke Mermer Ocağı 45
Şekil 4 5. Erdemli Mermer Yüzey Görüntüsü 46
Şekil 4.6. Erdemli Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 47
Şekil 4.7. Sivas Gri Mermer Yüzey Görüntüsü 48
Şekil 4.8. Sivas Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 48
Şekil 4.9. Silifke Dolomitik Kireçtaşı Yüzey Görüntüsü 49
Şekil 4.10. Silifke Dolomitik Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 50
Şekil 4.11. Adıyaman Dolomitik Kireçtaaşı Yüzey Görüntüsü 51
Şekil 4.12. Adıyaman Dolomitik Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 51
Şekil 4.13. İsekenderun Siyah Mermer Yüzey Görüntüsü 52
Şekil 4.14. İsekenderun Siyah Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 53
Şekil 4.15. Bilecik Gri Mermer Yüzey Görüntüsü 54
Şekil 4.16. Bilecik Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 54

Şekil 4.17. Karaman Gri Mermer Yüzey Görüntüsü 55
Şekil 4.18. Karaman Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü..... 56
Şekil 4.19. Konya Gri Mermer Yüzey Görüntüsü 57
Şekil 4.20. Konya Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü..... 57
Şekil 4.21. Pozantı Kireçtaşı Yüzey Görüntüsü..... 58
Şekil 4.22. Pozantı Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü 59
Şekil 4.23. Diyarbakır Kireçtaşının Yüzey Görüntüsü 60
Şekil 4.24. Diyarbakır Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü..... 60
Şekil 4.25. Erdemli Kireçtaşı XRD Sonucu..... 61
Şekil 4.26. Sivas Gri mermer XRD Sonucu..... 62
Şekil 4.27. Silifke Dolomitik Kireçtaşı XRD Sonucu..... 62
Şekil 4.28. Adıyaman Kireçtaşı XRD Sonucu 63
Şekil 4.29. İskenderun Siyah Mermer XRD Sonucu 63
Şekil 4.30. Bilecik Gri Mermer XRD Sonucu 64
Şekil 4.31. Karaman Gri Mermer XRD Sonucu 64
Şekil 4.32. Konya Gri Mermer XRD Sonucu 65
Şekil 4.33. Adana Kireçtaşı XRD Sonucu 65
Şekil 4.34. Diyarbakır Kireçtaşı XRD Sonucu 66
Şekil 4.35. Fiziko-Mekanik Deneyeleri Gerçekleştirmek için Hazırlanan Numuneler 67
Şekil 4.36. Özgül Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi 71
Şekil 4.37. Doygun Birim Hacim Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi 72
Şekil 4.38. Kuru Birim Hacim Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi 72
Şekil 4.39. Su Emme Ortalama Değerlerinin Değişimi 73
Şekil 4.40. Gözeneklilik Ortalama Değerlerinin Değişimi 74
Şekil 4.41. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi 78
Şekil 4.42. Eğilme Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi 78
Şekil 4.43. Shore Sertlik Ortalama Değerlerinin Değişimi..... 79
Şekil 4.44. Darbe Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi 79

Şekil 4.45. Doygun P Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi 84
Şekil 4.46. Kuru P Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi 84
Şekil 4.47. Doygun S Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi 85
Şekil 4.48. Kuru S Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi 85
Şekil 4.49. Özgül Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 90
Şekil 4.50. Özgül Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 91
Şekil 4.51. Özgül Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 92
Şekil 4.52. Özgül Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 93
Şekil 4.53. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 95
Şekil 4.54. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 96
Şekil 4.55. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 97
Şekil 4.56. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 98
Şekil 4.57. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 100
Şekil 4.58. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki .. 101
Şekil 4.59. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 102
Şekil 4.60. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki .. 103
Şekil 4.61. Su Emme Oranı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 105
Şekil 4.62. Su Emme Oranı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 106
Şekil 4.63. Su Emme Oranı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 107
Şekil 4.64. Su Emme Oranı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 108
Şekil 4.65. Gözeneklilik Oranı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 110
Şekil 4.66. Gözeneklilik Oranı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 111
Şekil 4.67. Gözeneklilik Oranı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki..... 112

Şekil 4.68. Gözeneklilik Oranı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 113
Şekil 4.69. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 122
Şekil 4.70. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Kuru P dalga Hızı Arasındaki İlişki 123
Şekil 4.71. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Doygun S dalga Hızı Arasındaki İlişki 124
Şekil 4.72. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 125
Şekil 4.73. Eğilme Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 127
Şekil 4.74. Eğilme Dayanımı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 128
Şekil 4.75. Eğilme Dayanımı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 129
Şekil 4.76. Eğilme Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 130
Şekil 4.77. Darbe Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 132
Şekil 4.78. Darbe Dayanımı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 133
Şekil 4.79. Darbe Dayanımı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 134
Şekil 4.80. Darbe Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 135
Şekil 4.81. Shore Sertlik ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 137
Şekil 4.82. Shore Sertlik ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki 138
Şekil 4.83. Shore Sertlik ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 139
Şekil 4.84. Shore Sertlik İle Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki 140

KISALTMALAR ve SİMGELER

ASTM : American Society for Testing and Materials

c : Su emme oranı

D_n : Darbe dayanımı

G_s : Özgül Ağırlık

HKO : Hata Kareler Ortalması

ISRM : International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering

n : Gözeneklilik oranı

P : Numunenin tahrip edilmesine neden olan maksimum yük

RQD : Rock Quality Designation (Kaya kalite değeri)

S : Yükün uygulanacağı yüzey alanı

SH : Shore Hardnees

TS : Türk Standardı

Vp_d : Doygun P dalga hızı

Vp_k : Kuru P dalga hızı

Vs_d : Doygun S dalga hızı

Vs_k : Kuru S dalga hızı

XRD : X-Ray Difraktometresi (X-Işını Kırınım)

XRF : X-ray Floresans (X-Işını Flüoresans)

ρ_d : Doygun birim hacim ağırlık

ρ_k : Kuru birim hacim ağırlık

ρ_w : Suyun birim hacim ağırlığı

σ_b : Tek eksenli basınç dayanımı

$\sigma_{eğ}$: Eğilme dayanımı

1. GİRİŞ

Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra ticari olarak işlenebilen en eski inşaat malzemeleridir. Tarih boyunca insanoğlu tarafından dayanıklılığı, güzelliği ve çekiciliği nedeniyle yerleşim, idari ve ticari binalarda, türbe ve cami gibi halka açık yerlerde kullanılmaktadır. Mermer kesilip parlatılabilen, uygun boyutlarda blok halinde kazanılabilen ve ticari değere sahip doğal taşlardan biridir. Mermer antik Yunan'dan beri yapı taşı, kiremit ve dekoratif taş olarak kullanılmaktadır.

Mermer, kalsit veya dolomitten veya bunların kombinasyonundan oluşan metamorfik bir taştır. Kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), magnezyum karbonatın ($MgCO_3$) yanı sıra silisyum dioksit (SiO_2) ile değişik metal oksitleri, silikat mineralleri bulunur. Mineral bileşimi ve minerallerin oranı dikkate alınarak mermerin sınıflandırılması; >%90 kalsit ($CaCO_3$), kuvars ve mika içerenler Mermer, %(60-70) kalsit, daha az oranda klorit, epidot, mika ve lepidolit içerenler Kalkşist, %(70-80) kalsit, az oranda tremolit, diopsit, plajioklaz ve gröna gibi mineralleri içerenler Spolen, %(80-90) kalsit, epidot, diopsit, olivin ve plajioklar gibi mineralleri kapsayanlar Skarn mermerdir (Kördemir, 2018)

Madencilik ve inşaat mühendisliğinde, taşların fiziksel ve mekanik özellikleri projelerin tasarımını etkilemektedir (Khandelwal ve ark, 2013). Madencilik işlemleri başlamadan önce taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, yanı sıra yeraltı yapıları, baraj, taş sütunları, tünel, mağara gibi yapı taşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca eski yapı ve anıtlarda kullanılan taşların fizikco-mekanik özelliklerinin ve erozyon derecesinin bilinmesi özellikle taş yapıların tasarımında taşların mukavemeti ve mukavemet açısından sınıflandırılması özel önem taşımaktadır (Uyanık ve ark, 2015).

Doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri ASTM (American Society for Testing and Materials), ISRM (International Society for Rock Mechanics) ve TSE

(Türk Standardları Enstitüsü) standlarına göre belirlenmektedir. Test ekipmanlarının maliyetinin yüksek olması, numunenin uzun süre hazırlanması, yumuşak taşlarda uyumsuzluğu ve sadece laboratuvarda deneylerin gerçekleştirebilmesi gibi tahribatlı yöntemin dezvantajlarındandır.

Ultrasonik dalga hızı tekniği, inşaat mühendisliği, maden mühendisliği, yeraltı mühendisliği, jeofizik ve jeoteknik mühendisliği alanında malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek için son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik teknik, hem sahada hem de laboratuvarda kullanılan basit ve tahribatsız bir tekniktir. Ulatrsonik dalgalar kayalardan geçtiğinde kayalardaki gözeneklilik, kırılma ve heterojenlik, kaya dokusu ve yapısı, tane boyutu özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlar (Çelik, 2017; Kahraman ve Kesimal; 2013).

Bu çalışma kapsamında Türkiyedeki farklı bölgelerden getirilen farklı mermer numuneleri fiziksel ve mekanik özellikleri tahribatlı ve tahribatsız (P ve S dalga hızı) yöntemleriyle belirlenmiştir. Tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle belirlenen özellikler aralarında istatistiksel analiz yardım ile ilişkileri değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kahraman (2002) yapmış olduğu çalışmada P dalga hızı değerini tahmin etmek için doğrudan ve dolaylı yöntemler arasındaki ilişkiyi incelmiştir. Bu amaçla Türkiye'nin Konya, Antalya, Burdur, Kırşehir, Muğla, Aksaray bölgelerinden aldığı 11 mermer, traverten, kireçtaşı ve granit örnekleri, P dalga hızı açısından doğrudan, yarı doğrudan, dolaylı yöntemlerle incelemiştir. Elde edilen verileri istatistiksel analizinden sonra, direkt, yarı direkt ve dolaylı P dalga hızı arasında yüksek korelasyon değerlere sahip denklemler bulunmuştur.

Chary ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları çalışmada p dalga hızı kullanarak kayaların mühendislik özelliklerinin tahmin edilmesini incelemişlerdir. P dalga hız ile mühendislik özellikleri arasında korelasyonu belirlemek amacıyla Güney Hindistan'daki NLC ve SCCL madenlerinden toplanan 81 kumtaşı numunesini deneye tabi tutmuşlar ve numunelerin P dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, kırılganlık, kırılma direnci ve delinebilme indeksi açısından incelemişlerdir. P dalga hızı ile mühendislik özellikleri arasında orta ve yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemler bulmuşlardır.

Leucci ve Lara (2006) yapmış oldukları çalışmada kaya kırılmalarının ultrasonik dalga hızları üzerindeki etkilerini ve ultrasonik dalga hızları ile kaya parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kaya parametreleri ve ultrasonik dalga hızları arasındaki ilişkiyi araştırmak için, aynı özelliklere sahip dört kalkarenit kayası bloğunda dört yapay kırıklar oluşturup birinci blokta kırıklar hava ile, ikinci blokta kırıklar kuru “terra rossa” ile, üçüncü blokta kırıklar ıslak “terra rossa” ile ve dördüncü blokta kırıklar kil ile doldurmuşlardır. kalkarenit, süreksizlik, kırılma, yoğunluğu, lineer kırılma, kaya kalitesi belirleme(RQD) indeksler, P & S dalga hızı açısından incelemişlerdir. P & S dalga hızı ile süreksizlik, kırılma yoğunluğu ve lineer kırılma gibi indeksler arasında ters ilişkili, ancak kaya kalitesi bilerleme indeks (RQD) ile doğrudan ilişkili olduğunu

bulmuşlardır. Ayrıca ultrasonik dalgalar ile kaya parametreleri arasında yüksek korelasyon değere sahip denklemler bulmuşlardır.

Chaki ve arkadaşları (2007) yapmış oldukları çalışmada ısı zararının granitin fiziksel özellikleri ve P dalga hızı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Isı değeri ile fiziksel özellikler ve P dalga hızı arasında nasıl ilişki olduğunu belirlemek için olağan granülometri graniti 105-600°C'ye kadar maruz bırakılarak 105, 200, 300, 400, 500 ve 600°C sıcaklıkta gözeneklilik, geçirgenlik ve P dalga hız değeri incelemişlerdir. Sıcaklık arttıkça, gözeneklilik, geçirgenlik miktarının arttığını, ancak P dalga hızının azaldığını bulmuşlardır.

Kahraman (2007) yapmış olduğu çalışmada kaylardaki kuru p dalga hızını doygun p dalga hızıyla tahmin edilmesini incelemiştir. Bu amaçla Türkiye'nin değişik bölgelerinden toplanan 41 farklı tortul, metaforik ve magmatik kaya örneği laboratuvar ortamında kuru ve doygun durumda P dalga hızı açısından incelenmiştir. Kuru P dalga hızı ile doygun P dalga hızı arasında yüksek korelasyon olan bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca Gassmann teorisine göre doygun durumdaki P ve S dalgalarının hızlarını da incelenmiştir. Ancak numunelerin düşük gözeneklilik oranı nedeniyle elde edilen rakamlar gerçek rakamlardan tamamen farklıdır. Sonuç olarak, Gassan'ın teorisinin oldukça gözenekli örneklerde uygulanabilir olduğunu söylemiştir.

Kahraman ve Yeken (2008) yapmış oldukları çalışmada P dalga hızıyla karbonatlı kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Türkiye'nin Niğde, Kayseri, Konya ve Antalya bölgelerinde bulunan mermer veya taş işleme tesislerinden aldıkları 14 farklı karbonatlı kayaçları P dalga hızı, gözeneklilik oranı, birim hacim ağırlık ve su emme oranı açısından incelenmiştir. P dalga hızı ile gözeneklilik ve su emme oranı arasındaki ilişkinin ters olduğunu, P dalga hızı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu bulmuştur. Aralarında yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemler bulmuşlardır.

Khandelwal ve Singh (2009) yapmış oldukları çalışmada kömürün mekanik özelliklerinin P dalga hızı ile tahmin edilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla Hindistan'daki dört yeraltı ve yerüstü kömür madeninden aldıkları kömür, şist ve kumtaşı gibi örnekleri P dalga hızı değeri, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, kesme dayanımı, birim hacim ağırlık, Young modülü ve Poisson Oranı açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra, P dalga hızı ile elde edilen mekanik özelliklerin her biri arasındaki ilişkinin doğrudan ve yüksek bir korelasyon katsayısına sahip olduğunu bulmuşlardır.

Moradian ve Behnia (2009) yapmış oldukları çalışmada P ve S dalga hızıyla tek eksenli basınç dayanımı ve Young modülünün tahmin edilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla İran'ın farklı bölgelerinden toplanan 64 tortul kaya örneğini, ultrasonik dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve statik-dinamik Yong mödülü açısından incelemişlerdir. İstatistik analiz sonucunda P ve S dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı ve Yong mödülleri arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu ve yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Kurtuluş ve arkadaşları (2009) yapmış oldukları çalışmada kumtaşların fiziksel özelliklerinin P dalga hızı ile tahmin edilmesini incelemişlerdir. P dalga hızı ve fiziksel özellikleri arasında korelasyon oluşturmak amacıyla Türkiye Kocaeli iline bağlı İzmit ilçesinin farklı bölgelerinden aldıkları 18 adet kumtaşı örneği P dalga hızı, yoğunluk, porozite, boşluk oranı, su emme oranı ve P dalga hızı değeri açısından incelemişlerdir . P dalga hızı ile porozite, boşluk oranı ve su emme oranı arsındaki ilişkisi ters ancak P dalga hızı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca P dalga hızı ile kumtaşının fiziksel özellikleri arasında yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Sarpün ve arkadaşları (2009) yapmış oldukları çalışmada mermerdeki P ve S dalga hızı ile %CaO'si ve gözeneklilik oranı aralarındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla Türkiye'nin farklı bölgelerinden aldıkları 8 farklı mermer örneğini; P ve

S dalga hızı, gözeneklilik oranı ve kimyasal analizler açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra P ve S dalga hızı ile %CaO'i ve gözeneklilik oranı arasındaki ilişkinin doğrudan olduğun ve yüksek korelasyon katsayısına sahip deknklemler bulmuşlardır.

Kurtuluş ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada kayaçların kırık yoğunluğunun P dalga hızı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla kumtaşı ve kireçtaşı bloklarında yapay kırılmalar oluşturmuşlardır. P dalga hızı ile kırık sayısı arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla P dalga eklemlere dik olarak geçirip eklem sayısına göre P dalga hızı belirlemişlerdir. P dalga hızı ile kırık sayısı arasındaki ilişkinin ters olduğunu ve yüksek korelasyon değere sahip denklemler bulmuşlardır.

Khandelwal ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada doğal taşlardakı Prododiakenov oranı, Cerchar aşındırma oranı, Shore sertlik ve Vickers sertlik oranının P dalga hızıyla tahmin edilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla Hindistan'ın farklı bölgelerinden toplanan 13 farklı tortul, metamorfik ve magmatik kayalar deneye tabi tutmuşlar ve P dalga hızı, Prododiakenov, Cerchar aşındırma, Shore sertliği ve Vickers Sertliğini belirlemişlerdir. P dalga hızı ile elde edilen indeksler arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu ve yüksek korelasyon katsayısına sahip olan denklemler bulmuşlardır.

Karaman ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada örneklerin uzunluğunun ultrasonik dalga hızı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. P dalga hızı ile örneklerin uzunluğu arasındaki nasıl bir ilişki olduğunu belirlemek için sabit çaplı ve değişken uzunluğa sahip (2,5- 5- 7,5- 10 ve 12,5) cm olan killi-kireçtaşı numuneleri kuru ve doygun P dalga hızı açısından belirlemişlerdir. Kuru ve doygun koşullarda numunelerin uzunluğu ile P dalga hızı arasındaki ilişkinin ters olduğunu bulmuşlardır.

Babacan ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları çalışmada P ve S dalga hız ile taşların fiziko-mekanik ve elastik özelliklerinin tahmin edilmesini

araştırmışlardır. Bu amaçla Türkiye'nin Gümüşhane iline bağlı Kelkit ilçesinin Kuzeyinde bulunan kireçtaşı ocağından aldıkları 15 adet numuneyi P&S dalga hızı, Poisson oranı, elastisite modülü, tek eksenli basınç dayanımı, porozite ve su emme oranı açısından doğrudan ve dolaylı yöntemiyle incelemişlerdir. Elde edilen verilerin regresyon analizinden sonra P ve S dalga hızı ile fiziko-mekanik özellikler arasında yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Uyanık ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada ultrasonik dalga hızı ile kayaçların fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu amaçla Türkiye'nin Zonguldak ili ve çevresinde yapılan sondajlardan elde edilen kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı numunelerinin doygun ve kuru durumdaki birim hacim ağırlıkları, poroziteleri, boşluk oranları ve ultrasonik dalga hızları ölçmüşlerdir. Regresyon analizinden sonran P ve S dalga hızı ile doygun ve kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişkinin ters olduğu ancak P ve S dalga hızı ile boşluk ve porozite oranları arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu bulmuşlardır.

Karaman ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada farklı tortul, metamorfik ve magmatik kayaçlarda ultrasonik dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu amaçla Türkiye'nin Trabzon ve Giresun illerinin farklı bölgelerinde bulunan çeşitli kireçtaşları ocağından aldıkları 47 adet numuneyi P dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra P dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu, orta ve yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemler bulmuşlardır.

Boulanouar ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada kayaçların ısıl iletkenliği ve gözenekliliğinin P dalga hızı yardımıyla tahmin edilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla Fas'ın değişik bölgelerinden aldıkları farklı tortul, metamorfik ve magmatik kayaçları, P dalga hızı, ısıl iletkenlik ve gözeneklilik açısından test etmişlerdir. Sonuç olarak P dalga hızı ile ısıl iletkenliği ve gözeneklilik arasında yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Rahmouni ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada kalkarenit taşların gözeneklilik ve yoğunluk oranının P dalga hızı ile tahmin edilmesini araştırmışlardır. Fiziksel özellikleri ile P dalga hızı arasında korelasyonu belirlemek amacıyla Fas'ın Rabat kasabası yakınlarında bulunan kalkarenit taşlarından aldıkları numuneler üzerinde deneyler yapmışalar ve taşları gözeneklilik, yoğunluk ve P dalga hızı değeri açısından incelemişlerdir. P dalga hızı ile gözeneklilik ve yoğunluk oranı arasındaki ilişkinin doğrudan olduğu, yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Khandelwal (2013) yapmış olduğı çalışmada çeşitli tortul, metamorfik ve magmatik kayaçların fiziksel özelliklerinin P dalga hızıyla tahmin edilmesini incelemiştir. Hindistan'ın çeşitli bölgelerinden aldığı farklı kaya numunelerini tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, kesme dayanımı, yoğunluk, Young müdülü ve poisson açısından incelemiştir. Elde edilen fiziko-mekanik özellikleri ve P dalga hızı değerini istatistiksel analizinden sonra yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemler bulmuştur.

Karakul ve Ulusay (2013) yapmış oldukları çalışmada ultrasonik dalga hızı, tek eksenli basınç dayanım ve çekme dayanımı açısından farklı doygunluk derecelerindeki farklı kayaları incelemişlerdir. Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan 14 tortul, volkanik ve volkanik tortul kayaç örneği, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve P dalga hızı açısından farklı doygunluklarda incelemişlerdir. Doygunluk derecesi arttıkça, P dalga hızının ve kayacın dayanımın azaldığını bulmuşlardır.

Ruedrich ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada Almanya'nın Berlin kentinde mermerden yapılmış olan Schlossbrücke heykellerinin ayrışmasını ve sağlamlığını, P dalga hızıyla incelemişlerdir. Heykellerin yapıldığı mermeri porozite oranı ve P dalga hızı değeri açıdan incelemişlerdir. P dalga hızı değeri (V_p) ve gözeneklilik (n) oranına göre taze (V_p>5 km/dak, n<%0,5), düşük (V_p= 3-5

km/dak, n= %0,5-1,3), orta (V_p= 2-3 km/dak, n= %1,3-3) ve tamamen ayrışmış (V_p<1,5 km/dak, n>%5) dört kısma ayırmışlardır.

Özdemir ve arkadaşları (2015) yapmış oldukları çalışmada doğal ve kuru haldeki P dalga hızı ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu amaçla Türkiye'nin Malatya, Adıyaman ve Erzurum illerinde bulunan mermer, bej ve traverten ocaklarından aldıkları numuneleri P dalga hızı, birim hacim ağırlığı, su emme oranı, porozite oranı, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük dayanımı ve çekme dayanımı açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra P dalga hızı ile elde edilen fiziko mekanik özellikleri arasındaki ilişki yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu doygunluk artışıyla bu katsayının azaldığını bulmuşlardır.

Sakcalı ve arkadaşları (2015) yapmış oldukları çalışmada kayaçların bloklarında plaka verimini ultrasonik dalga hızı ile araştırmışlardır. P dalga hızı ile plaka verimi arasında korelasyonu belirlemek amacıyla Türkiye'nin Elazığ, Antalya ve Aksaray illerinde bulunan mermer, bej ve traverten blokları plaka verimi ve p dalga hızı açısından incelemişlerdir. P dalga hızı ile plaka verimi arasında doğru bir ilişki ve yüksek korelasyon değerine sahip denklemler bulmuşlardır.

Çelik (2017) yapmış olduğu çalışmada tüflerin fiziko-mekanik özellikleri ile ultrasonik dalga hızı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu amaçla Türkiye'nin Afyonkarahisar ilinin Ayazini, Seydiler, Seyitgazi ve Döğer bölgelerinden aldığı tüf örnekleri, P dalga hızı, birim hacim ağırlık, porozite, su emme oranı, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra P dalga hızı ile porozite ve su emme oranı arasındaki ilişkinin ters olduğu birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı doğrudan ilişkili olduğunu bulmuşlardır.

Kahraman ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmada, kuru P dalga hızıyla doygun P dalga hızının tahmini incelemişlerdir. Bu amaçla Örnekleme alanı, Orta Anadolu'da bulunan Kapadokya volkanik bölgesinden aldıkları 27 adet

piroklastik kayaçları, laboratuvar ortamında, Gassman ve Wood'un teorilerine göre kuru ve doygun koşullardaki P dalga hızı açısından incelemişlerdir. Regresyon analizinden sonra, kuru P dalga hızı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişkinin yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğunu bulmuşlardır.

Mahmutoğlu (2017) yapmış olduğu çalışmada ultrasonik dalga hızı kullanarak iri taneli mermerlerin ısı değişimiyle aşınmasının tahmin edilmesini incelemiştir. Fiziko-mekanik özellikleri ile ultrasonik dalga hızı arasında korelasyon oluşturmak amacıyla Türkiye'nin Muğla ilinde bulunan 0,5-2 mm'lik tanelere sahip olan mermerlerin üzerinde deneye yapmıştır. Isıtmış ve soğuumuş, doygun ve kuru koşullarda, porozite, su emme, birim hacim ağırlık oranı, P dalga hızı ve S dalga hızı değeri açısından incelemiştir. P ve S dalga hızı ile porozite ve su emme arasındaki ilişkinin ters olduğu, P ve S dalga hızı değerı ile birim hacim ağırlık oranı arasındaki ilişkinin doğrudan olduğunu ve korelasyon katsayıları yüksek olduğunu bulmuştur.

Kılıç ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmada ultrasonik dalga hızıyla kaya blokların kalitesinin belirlemesini incelemişlerdir. Bu amaçla Kozan ve Silifke kireçtaşlarından aldıkları numuneleri Shore sertliği, su emme, tek eksenli basınç dayanımı, özgül ağırlık ve P dalga hızı açısından incelemişlerdir. P dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve özgül ağılık ile doğrudan ilişkili olduğunu ancak su emme ile ters ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca P dalga hızı ile elde edilen fiziko-mekanik özellikleri arasında yüksek korelasyon değere sahip denklemler bulmuşlardır.

Kılıç ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmada kireçtaşı mermerlerinin fiziko-mekanik özellikleri ile P dalga hızı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla Çukurova bölgesinde çıkarılan tüm farklı mermer madenlerinden aldıkları örnekleri tek eksenli basınç dayanımı, su emme oranı, shore sertliği ve özgül ağırlığı açısından incelemişlerdir. P dalga hızı ile shore

sertliği, su emme, tek eksenli basınç dayanımı ve özgül ağılığı arasındaki ilişkinin doğru olduğu ve yüksek korelasyon değere sahip denklemler bulmuşlardır.

Çelik ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmada ultrasonik dalgalar hızı ile travertenlerin bazı fiziko-mekanik özellikleri aralarındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bu amaçla Türkiye'nin Denizli ilinin Kalkık bölgesinden aldıkları 56 traverten örnekleri kuru ve doygun durumdaki birim hacim ağırlık, porozite, tek eksenli basınç dayanımı, P ve S dalga hızı açısından incelemişlerdir. P ve S dalga hızı ile porozite arasındaki ilişki ters ancak P ve S dalga hızı ile birim hacim ağırlık ve tek eksenli basınç dayanımı aralarındaki ilişkinin doğrudan olduğu ve yüksek korelasyon katsayıları değere sahip olduğunu bulmuşlardır.

Uyanık ve arkadaşları (2019) yapmış oldukları çalışmada bazı tortul kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin ultrasonik dalga hızlarıyla tahmin edilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla Türkiye'nin Zonguldak ilinden elde edilen 16 kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı örneği yoğunluk, porozite, boşluk oranı, tek eksenli basınç dayanımı, kayaların kalite belirlemesi (RQD) endeksi ve P & S dalga hızı açısından deneylere tabii tutmuşlardır. P & S dalga hızı ile elde edilen parametreler aralarında yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemeler bulmuşlardır.

Amirkiyaei ve arkadaşları (2020) yapmış oldukları çalışmada donma-çözülme döngüsünde yapı karbonat kayaları P dalga hızı açısından incelemişlerdir. İran'ın farklı bölgelerinden toplanan 22 farklı yapı karbonat taşı örneği, gözeneklilik, kuru ve doygun durumdaki birim hacim ağırlığı, çözülme ve donma durumdaki P dalga hızı açısından incelemişlerdir. Sonuç olarak, donma haldeki P dalga hızının çözülmeden daha yavaş olduğunu bulmuşlardır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Sahaları

Bu çalışma kapsamında kullanılan kireçtaşı mermerleri Türkiye'nin farklı bölgelerinde üretim yapan farklı mermer ocaklarından temin edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Örneklerin Alındığı Alanlar Numaralandırılmıştır (Google Earth).

Çizelge 3.1. Örneklerin Listesi

Örnek Numarası	Kaya Türü	Kaya Sınıfı	Bölge
1	Kireçtaşı	Metamorfik	Erdemli/ Mersin
2	Gri Mermer	Metamorfik	Merkez/ Sivas
3	Kireçtaşı	Metamorfik	Silifke/ Mersin
4	Kireçtaşı	Metamorfik	Merkez/ Adıyaman
5	Siyah mermer	Metamorfik	İskenderun/Hatay
6	Gri Mermer	Metamorfik	Söğüt/ Bilecik
7	Gri Mermer	Metamorfik	Merkerz/ Karaman
8	Gri Mermer	Metamorfik	Yunak/ Konya
9	Mermer	Metamorfik	Pozantı /Adana
10	Kireçtaşı	Metamorfik	Hani /Diyarbakır

3.1.2. Çalışma Sahalarının Jeolojik Özellikleri

3.1.2.1. Mersin İli Erdemli ve Silifke İlçelerinin Jeolojik Özellikleri

Mersin'in stratigrafısı incelendiğinde Namrun Tektonik Dilimi, Hadim Napı, Beyşehir - Hoyran Napı gibi tektonikler bulunmaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru Namrun Tektonik Dilimi, Hadim Napı, Beyşehir-Hoyran Napı sırasıyla birbirinin üstüne yer alınmıştır. Bu birimlerin üzerinde ise açısal uyumsuzluk ile Senozoik örtü kayaçları bulunmaktadır. Beyşehir-Hoyran Napı içinde Mersin Melanjı ve Mersin Ofiyoliti bulunmaktadır. Mersin Melanjı yörede yürütülen çalışmalarda 'Tepeköy Türlüsü', 'Fındıkpınarı Melanjı' ve 'Hacıalanı Melanjı' ile 'Sorgun Ofiyolitli Melanjı' adları altında çalışılmıştır (Keçeli, 2016). Bu çalışmada söz konusu Sorgun yaylası olduğu için Hacıalanı Melanjı ve Sorgun Ofiyolitli Melanjı özellikleri ile ilgili bilgiler toplanmıştır.

Mersin Melanjı'nın altında ve ortasında bulunan Hacıalanı Melanjı Geç Triyas yaşlı ve üstünde bulunan Sorgun Ofiyoliti Geç Kretase yaşlı olduğu belirlenmiştir. Hacıalanı Melanjı büyük ölçüde pelajik, kalsitürbiditler, radyolaryalı, kıvrımlı siyah kireçtaşları ve kumtaşlarından oluşmuştur. Sorgun ofiyoliti oluşum açısından Başpınar Formasyonua bnezemektedir. Başpınar Formasyonu derin deniz radyolaritleri, pelajik kireçtaşları ile volkanit ve serpantinit gibi ofiyolit kökenli kayaçlardan oluşmaktadır (Keçeli, 2016).

İmamuşağı, Mersin ilinin Silifke ilçesine bağlı mahallerinden biridir. Mut - Ermenek – Silifke havzası Jeolojik haritasına göre, Paleozoik ve Mezozoik zamanlara bağlı olan Ovacık, Akdere, Belpınar, Derinçay, Mut ve Köselerli gibi foramasyonlar İmamuaşağı mahallesi ve çevresinde bulunmaktadır. Ordovisiyen yaşlı Ovacık formasyonu, metamorfik şistler gri-yeşil renkte killi şist olmak üzere yer yer muskovitşist, kalkşistler, kuvarsitler ile metamorfik şistlerden oluşmuştur. Devoniyen yaşlı Akderer formasyonu genellikle siyah renkli şeyl-marn ve gri renkli, ince-orta tabakalı kireçtaşları ardalanmasından oluşmuştur. Karbonifer-Permiyen yaşlı Belpınartepe formasyonu çoğunlukla açık veya koyu gri renkli, sert,

orta kalın olan kireçtaşı, bazı yerlerde şeyl, kumtaşı ve kuvarsit bantları da içermektedirler. Jura-Kretase yaşlı Çambaşıtepe formasyonu Krem-bej renkli, orta sert, düzgün orta kalın olan dolomitik ve didolomitik kireçtaşlarından oluşmuştur. Miyosen yaşlı Derinçay formasyonu kırmızı renkli, tabanında marn ve şeyl ara tabakalı kumtaşı ve çakıl taşından oluşmuştur. Resifal kireçtaşlarından oluşan Mut formasyonu ile marn ve şeyllerden oluşan Köselerli formasyonu birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidir (Koç, 2007; Korkmaz ve Gedik, 1990).

3.1.2.2. Hatay İli İskenderun İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellileri

Bu tez kapsamında test edilen siyah mermer, İskenderun Akçay mahallesi yakınında bulunan mermer ocağından alınmıştır. Bu nedenle Jeolojik açıdan çalışma alanı İskenderun sahili ve çevresini kapsanmaktadır. Bu bölgenin stratigrafısı göz önüne alındığında Pre-Miyosen yaşında olan kalkerler temel olarak tanımlanmıştır. Pre-Miyosen üzerinde sırasıyla Kalecik, Horu, Kızılıdere, Haymanseki, Aktepe, Erzin ve Alüvyonlar gibi formasyonlar üst üste yer almıştır (Avcu, 2019).

Kalecik formasyonu, Oligosen-Alt Miyosen yaşlı, kırmızı renkli çakıl taşı ve konglomeradan oluşmuştur. Horu formasyonu, Alt Seravaliyen-Orta Miyosen yaşlı, bej ve tonları renkli olan silttaşı, bol miktarda veya da bazen tamamen bile fosil içeren kireçtaşlarından oluşmuştur. Kızıldere formasyonu, Orta-Geç Miyosen yaşlı, gri renkli orta-kalın katmanlı kumtaşı ve şeyl seviyelerinin ardalanmasından oluşmuştur. Arsuz civarını kapsayan Haymanseki formasyonu Üst Miyosen yaşlı, kirli sarı renkli laminatlı kumlu şeyl, miktarları değişken evaporit ve kumtaşlarından oluşmuştur. Aktepe formasyonu, Alt-Pliyosen yaşlı, gri renkli kiltaşı, kumtaşı ve silttaşından oluşmuştur. Erzin formasyonu Üst-pliyosen yaşlı, kalsit ile çimentolanmış çakıl taşlarından oluşmuştur (Avcu, 2019).

3.1.2.3. Adıyaman Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Toros Orojenik Kuşağının kuzeyinde bulunan Adıyaman bölgesinde farklı dönemlerde meydana gelmiş jeolojik birimler mevcuttur. Bu jeolojik birimleri, alttan üste doğru sıraladığımızda, Mardin grubu (Araban, Sabunsuyu, Derdere ve Karababa Formasyonları), Adıyaman grubu (Karaboğaz ile Sayındere Formasyonları), Şırnak grubu (Kastel, Terbüzek, Besni, Germav Formasyonları ve Koçali ile Karadut karmaşıkları), Midyat grubu (Gercüş ile Hoya Formasyonları) ve Fırat ile Şelmo formasyonları oluşturmaktadır (Koç, 2019).

Adıyaman jeolojik haritasına göre, kömür bölgesi ve çevresinde jeolojik açıdan Midyat grubu (Gercüş ile Hoya Formasyonları) ve Silvan Grubu (Fırat ile Şelmo formasyonları) bulunmaktadır. Gercüş Formasyonunu Paleosen yaşlı, kırmızı renkli çamur taşı, ince dolomit bantları, şeyl, marn, çakıllı kumtaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşmuştur. Hoya Formasyonu Alt-Oligosen, Alt-Eosen yaşlı, krem renkli, orta kalın tabakalı, dik yerler oluşturan, sert ve iri bentonik foraminiferli kireçtaşları ve dolomitlerden oluşmuştur. Fırat Formasyonu Akitoniyen-Burdigaliyen, Alt-Miyosen yaşlı krem ve bej renkli, çatlaklı, yer yer dolomit kristalli kireçtaşlarından oluşmuştur (Koç.2019). Şelmo Formasyonu Üst-Miyosen ve Alt-Pliyosen yaşlı, sarı, pembe ve kahve renkli, çakıllı zayıf-orta çimentolu çakıl taşı, açık gri, beyaz, kirli sarı, kahve renkli kumtaşı, kirli sarı, bordo renkli silttaşı açık gri beyaz renkli şeyl ve sarımsı, gri, kahve renkli marn ardalanmasından oluşmuştur (Koç, 2019).

3.1.2.4. Diyarbakır İli Hani İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Hani ilçesi ve çevresi jeolojik açıdan üç farklı formasyon bulunmaktadır. Silvan Grubuna ait en altta Fırat formasyonu, ortada Lice formasyonu ve en üstte Şelmo formasyonu bulunmaktadır (Haspolad, 2013).

Fırat formasyonu Alt-Miyosen yaşlı, kirli beyaz, açık gri ve krem renkli konglomera, killi-tebeşirli kireçtaşı, plaketli kireçtaşı ve sert kireçtaşlarından

oluşmuştur (Yılmaz ve Duran, 1997). Lice Formasyonu Orta-Miyosen yaşlı, tabanda krem, bej, sarımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, yer yer plaketli, bol algli ve kumlu kireçtaşlarından, bunların üzerinde gri, yeşilimsi gri, bej, boz renkli, silttaşı, marn, şeyl ardalanması ile bunlar arasında ince bantlar, açık gri renkli, ince tabakalı, kumlu, fosilli kireçtaşlarından oluşmuştur. Şelmo Formasyonu, Üst-Miyosen ve Alt-Pliyosen yaşlı, grimsi yeşil, pembe, yer yer kahve renkli kumtaşı, şeyl, kumlu silttaşı, ara tabakalı, çimentolu karbonat, üstte kalın ve tabakalı, sertçe kumtaşından oluşmuştur (Haspolad, 2013).

3.1.2.5. Adana İli Pozantı İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Bu tez kapsamında test edilen numunelerinden biri Adana Belemedik köyü yakınında bulunan mermer ocağından temin edilmiştir. Bu nedenle belemedik köyü ve civarında bulunan sahalar jeolojik açıdan araştırılmıştır. Bu bölgedeYerköprü, Karahamzauşağı, Demirkazık, Mazmılı Ofiyoliti gibi formasyonlar bulunmaktadır (Keskin ve ark, 2009).

Yerköprü Formasyonu Geç Devoniyen Erken Karbonifer yaşlı tabandan tavana bol fosilli kumlu kireçtaşı, Brakipodlu kireçtaşı ile yer yer dolomitik kireçtaşı, kuvars kumtaşı-kuvarsit, ince çakıllı kumtaşından oluşmuştur. Karahamzauşağı formasyonu, Permo-Karbonifer yaşlı, sarı-gri, koyu-gri ve kahverengi-gri renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmuştur. Demirkazık formasyonu, Geç-Triyas-Kretase yaşlı , koyu gri, sarımsı gri renkli mikritik kireçtaşı, ince kumtaşı-silttaşı ara katmanlı dolomitize kireçtaşı ve kumlu-siltli kireçtaşından oluşmuştur. Mazmılı Ofiyoliti Geç-Kretase yaşlı gabro, piroksenit, peridotit (dünit, harzburjit, lerzolit ve verlit) gibi kayaçlardan oluşmuştur (Keskin ve ark, 2009).

3.1.2.6. Karaman Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Bu çalışmada test edilen numunelerden biri Karamanda bulunan gri mermer ocağından temin edilmiştir. Bunun için Karaman ve çevresindeki bölgeleri

jeolojik açıdan incelenmiştir. Karaman ve çevresinin stratigrafisi incelendiğinde Mut, Kalif, Üçbaş ve Hotamış gibi formasyonlar bulunnaktadır (Şafak, 1997; Şafak, 1998).

Orta Miyosen yaşlı Mut formasyonu, krem renkli, kalın katmanlı, resifal özellikli kireçtaşından oluşmuştur. Geç Miyosen yaşlı Kalif formasyonu fosilli killi kireçtaşları, kumlu kireçtaşı, marn, çamurtaşı, kiltaşı ve şeylden oluşmuştur. Pliyosen yaşlı Üçbaş formasyonu, plaketli, erime boşluklu, beyazımsı renkli, killi kireçtaşları, ayrıca içinde yer yer mercekli katmansız kumtaşı, sillttaşı ve konglomeradan oluşmuştur. Pleistosen yaşlı Hotamış formasyonu, çakıl, kum, ince kum, silt ve killi düzeylerden oluşmuştur (Şafak, 1997; Şafak, 1998).

3.1.2.7. Bilecik İli Söğüt İlçesi ve Çevresinin Jeoljik Özellikleri

Bu tez kapsamında test edilen numunelerden biri Bilecik Söğüt ilçesinde bulunan gri mermer ocağından temin edilmiştir. Bunun için Bilecik ve çevresindeki bölgeleri jeolojik açıdan araştırılmıştır. Bilecik ve çevresinin stratigrafisi incelendiğinde Söğüt Metamorfitleri, Sarıcakaya Granitoyiti, Bayırköy, Bilecik kireçtaşı, Soğukçam, Vezirhan, Yenipazar, Kızılçay, Güvenç, Gemiciköy, Haniçli, Akköy ve Önericik gibi formasyonlar bulunmaktadır(Başegen, 2012; Aydın, 2005).

Söğüt Metamorfitleri formasyonu Alt-Paleozoyik yaşlı, siyah-koyu kahve renkli, orta taneli biyotitmuskovit, şist, amfibol biyotitler, biyotit gnayslardan oluşmuştur. Sarıcakaya Granitoyiti formasyonu ise Alt Paleozoyik yaşlı, kırmızı-pembe ve yeşil renkli, iri ve ince taneli granit ve granodiyorit kompleksinden oluşmuştur. Bayırköy formasyonu ise Alt Jura yaşlı, Kahverengi, sarı-boz, kaba dokulu, boylanmalı veya çakıllı olarak kötü boylanmalı, orta-kalın katmanlı sert ve dayanımlı Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl, marn, çakıltaşı, yumrulu kireçtaşından oluşmuştur. Bilecik kireçtaşı ve Soğukçam formasyonları ise Orta-Üst Jura yaşlı, beyaz, krem, bej, gri ve pembe renkli tek düze kireçtaşlarından oluşmuştur. Vezirhan formasyonu ise Üst Kretase yaşlı, pembe ve bej renkli, ince ve orta

tabaklı kireçtaşı, kumtaşı ve şeylden oluşmuştur. Yenipazar formasyonu ise kretase yaşlı ince ve orta tabakalı kumtaşı ardalanması, yeşil ve kahve renklı volkanik kayaçlar, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, pembe, gri renkli ve ince tabakalı kireçtaşından oluşmuştur. Kızılçay formasyonu ise paleosen yaşlı, yeşilimsi beyaz renkli, ince orta tabakalı killi kieçtaşı, çapraz tabaklanmalı, kırmızı renkli ve kötü boylanmalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmuştur. Güvenç ve Gemiciköy formasyonları ise Eosen yaşlı, yer yer beyaz-boz, yer yer de kırmızımsı renkli iri çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve gölsel kireçtaşlarından oluşmuştur. Akköy ve Önericik fromasyonları ise Pliyosen yaşlı, kumtaşı, kiltaştı, şeyl, gölsel kireçtaşı konglomeradan oluşmuşladır (Apaydin Poşluk, 2013; Başegen, 2012; Aydın, 2005; Kart, 2005).

3.1.2.8. Sivas Merkezi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Bu çalışma kapsamında test edilen numunelerden biri Sivas ilinde bulunan gri mermer ocağından temin edilmiştir. Bunun için sivas ve çevresindeki bölgeleri jeolojik açıdan incelenmiştir. Sivas Tersiyer havzasının stratigrafisine göre, alttan üste doğru; Gülandere, Selimiye, Kemah, Hafik, İncesu, gibi formasyonlar yer almıştır (Ayaz,2013).

Eeosen yaşlı, Gülandere formasyonu kumtaşı, kil taşı, konglomera, miltaşı, tüf ve aglomera ardalanmasından ibaret olup, andezitik ve bazaltik lav seviyeleri de içermektedir (Çolakoğlu ve ark, 2012). Selimiye formasyonu ise Oligosen yaşlı, kırmızı, gri, yeşilimsi, beyaz renkli kumtaşı, kiltaşı, çamurtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Kemah formasyonu ise Alt Miyosen yaşlı, genellikle çakıl taşı silttaşı, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşmuştur. .Orta Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu ise beyaz, yer yer alacalı renkli, tabakalı ya da masif jipsler ile jips ve kireçtaşı ara düzeyli çakıl taşı, kumtaşı, silttaşı, kil taşı, çamur taşı ardalanmasından oluşmuştur. Geç Miyosen yaşlı İncesu Formasyonu ise, çakıl taşı, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, marn ve gölsel kireçtaşlarından ve fosilli linyit

tabakalarından oluşmuştur (Aktimur, 1990, Çolakoğlu ve ark, 2012, Çolakoğlu ve ark, 2012).

3.1.2.9. Konya İli Yunak İlçesi ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Bu tez kapsamında test edilen numunelerinden biri Konya ili, Yunak ilçesi, Yeşiloba Mahallesinde bulunan mermer ocağından temin edilmiştir. Bunun için Yunak ilçesi jeolojik özellikleri incelenmektedir. Konya çevresi ve Ilgın kuzeyinin stratigrafisi incelendiğinde alttan üste Bozdağ, Bağrıkurt, Ardıçlıtepe, Karadağ, Bahçecik, Ertuğrul, Kızılören, Lorasdağı, Ulumuhsine ve Tekeler gibi formasyonlar görülmektedir (Uygun,2010).

Bozdağ formasyonu, Silüriyen - Alt-Karbonifer yalı, beyaz, kirli beyaz, siyah, koyu gri, açık gri ve mavimsi gri renkli, dolomit ve dolomitlik kireçtaşlarından oluşmuştur. Bağrıkurt formasyonu ise, Karbonifer yaşlı, açık yeşil, yeşil, koyu yeşil, mavimsi yeşil, açık kahve siyah renkli fillitten, açık gri, gri ve grimsi yeşil renkli meta kumtaşından ve içindeki yeniden kristalleşmiş kireçtaşlarından oluşmuştur. Ardıçlıtepe formasyonu ise, Devoniyen-Alt- Permiyen yaşlı, koyu gri-siyah meta karbonatlardan ve büyük taneli, alacalı, pembe ve mor renkli kırıntılılar, dolomitik kireçtaşlarından meydana gelmiştir. Karadağ formasyonu ise, Devoniyen-Devoniyen-Alt-Permiyen yaşlı, yeşil, koyu yeşil, mavimsi yeşil ve siyahımsı renklerde magmatiklerden oluşmuştur. Bahçecik formasyonu ise, Alt-Trias yaşlı, mor renkli meta konglomera, meta kumtaşı, fillit, kırmızı renkli kil taşı, silttaşı kimi zaman da çakıl taşı ile başlar ve içerisinde kireçtaşı bantları bulunmaktadır. Ertuğrul formasyonu ise, Alt-triyas yaşlı, Sarı, pembe renkli orta kalın tabakalı dolomitli kireçtaşından oluşup içerisinde kumtaşı ve şeyl tabakaları yer almaktadır. Kızılören formasyonu ise, Üst-Triyas- Alt-Jura yaşlı koyu mavi, lacivert renkli, orta kalın tabaklı, bitüm kokulu ve dolomitik kireçtaşından oluşmuştur. Lorasdağı formasyonu ise, Alt-Kretase yaşlı, açık mavi, gri renkli ancak bölüm bölüm kızıl renkli, orta kalın tabakalı dolomotik kireçtaşı ve

kahve renkli metaçörtlü kireçtaşından oluşmuştur. Ulumuhsine formasyonu ise, üst Miyosen-alt Pliyosen yaşlı sarı krem, kirli beyaz, bej ve gri renkli kireçtaşı, kahve, kırmızı çakıl taşı, kumtaşı ve çamur taşından oluşmuştur. Tekeler formasyonu ise, üst Pliyosen yaşlı olup karbonat ve kil çimentolu, blok ve kum boyutlu malzeme içeren konglomeradan oluşmuştur(Tekin, 2020; Ahmed, 2020; Hüseyince, 2005; Uygun,2010).

3.2. Metot

Sahadan toplanan numunelerin petrofrafi, fiziksel, mekanik ve kimyasal analizleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği ve Jeoloji Mühenisliği Bölümleri laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Fiziksel ve mekanik deneylerin gerçekleştirilebilmesi için numuneler ihtiyaca göre farklı boyutlarda küp ve prizma şeklinde kesilmiştir.

3.2.1. Fiziksel Deneyler

Numunelerin özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, su emme oranı ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri Türk Standartları Enstitüsü standartlarına göre belirlenmiştir.

3.2.1.1. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, bir maddenin ağırlığının, aynı madde tarafından yer değiştiren suyun ağırlığına oranıdır. Aslında taşların özgül ağırlığının belirlenmesi, bağıl yoğunluk ile ilgilidir. TS-699 standardına göre özgül ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden toplanan numuneler kırıcıda ayrı ayrı kırıldıktan sonra elektrikli havanda 125 mikrona öğütülmüştür. Öğütülmüş malzeme 105±5 °C'ye ayarlanmış fırında sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulup desikatörün içinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Deney esnasında; piknometre, pipet, etüv, terazi ve desikatör kullanılmıştır (Şekil 3.2).

Özgül ağırlık testini yapmak için aşağıdaki adımlara dikkate edilmesi gerekmektedir; boş ve kuru piknometre 0,1 g hassasiyette bir terazi ile tartılır (W_1), demirli pipet yardım ile 5-20 g öğütülmüş ve kurutulmuş malzeme piknometre içine konulup tartılır (W_2), Piknometrenin yarısı saf su ile doldurulduktan sonra hava kabarcıkları gidermek amacıyla iyice karıştırılır. Piknometre içindeki suyun kabarcıkları kalmadığından emin olduktan sonra ağzına kadar su ile doldurulur ve üst kısmındaki köpüğü gidermek için kapağı kapatılır. Piknometre yüzeydeki suyu havlu ile temizlendikten sonra tartılır (W_3). Piknometre daha sonra tamamen boşaltılır ve iyice temizlendikten sonra ağızına kadar saf su ile doldurularak kapağı kapatılır. Yüzeydeki suyu temizlendikten sonra terazi ile tartılır (W_4). İşlemlerin güveliğini sağlamak için adımlar birkaç kez tekrarlamk gerekmektedir. Yukarıdaki işlemlere dikkat alınarak özgül ağırlk eşitlik 3.1 yardımıyla elde edilmektedir.

$$G_S = \frac{(W_2 - W_1)}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} \tag{3.1}$$

Burada;

Gs: Özgül ağırlık ,
W1: Piknometre ağırlığı (g),
W2: (Piknometre+deney numunesi) ağırlığı (g),



Şekil 3.2. Özgül Ağırlığının Testi Yapmak İçin Gerekli Ekipmanlar

3.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık

Bir maddenin birim hacim ağırlığı, ağırlık ve hacminin oranıdır. Numunenin birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla numuneler, küp ve dikdörtgen prizma gibi şekillerde hazırlanmaktadır. Birim hacim ağırlık testi gerçekleştirebilmesk için saf su (500 ml), 0,1 mm hassasiyette kumpas, 0,1 g hassasiyette terazi ve 105±5 °C kapasiteli fırın gibi cihazlar gerekmektedir. Öncelikle numunelerin boyutları kumpas ile tek tek ölçülür, ardından çarpma işlemi uygulanarak hacimleri belirlenmektedir. Kuru ve doygun koşullarda numunelerin birim hacim ağırlığını belirlemek için kuru ağırlığı (w_k) ve doygun ağırlığı (w_d) belirlenmek gerekmektedir. Bunun için numuneler en az 12 saat

boyunca, 105±5°C'ye ayarlanmış bir fırın içine konularak kurutulmaktadır. Kurmuş numune, desikatörde Soğutulduktan sonra nemi emmeden önce tartılmalıdır. Numuneler en az 48 saat boyunca saf suda bırakılarak veya 800 Pa basınç altında suyla doyurulması gerekmektedir. Numunenin yüzeyindeki suyu havlu ile silindikten sonra tartılır. Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3 yardımıyla numunenin kuru ve doygun birim hacim ağırlığı elde edilmektedir.

$$\rho_k = \frac{w_k}{V} \tag{3.2}$$

$$\rho_d = \frac{w_d}{V} \tag{3.3}$$

Burada;

ρ_k:Numunenin kuru birim hacim ağırlığı (g/cm^3),

ρ_d:Numunenin doygun birim hacim ağırlığı (g/cm^3),

w_k : Numunenin kuru ağırlığ (g),

w_d : Numunenin doygun ağırlığ (g),

V: Numunenin hacmi(cm^3)' dir.

3.2.1.3. Ağırlıkça Su Emme

Kayalar yağmur, kar gibi farklı iklim koşullarına maruz kaldığından, su emme miktarının belirlenmesi son derece önemlidir. Kayaların boşluklarında depolanan su miktarını belirlemek için su emme deneyi yapılması gerekmektedir. Su emme deneyi yapmak için 0,1 mm hassasiyette kumpas, 0,1 g hassasiyette terazi, 105±5°C kapasiteli fırın ve 450 ml saf su gerekmektedir. Numuneler küp veya prizma şeklinde hazırlanmalıdır. İlk olarak, küp veya prizma şeklinde hazırlanmış olan numunelerin boyutları kumpas ile ölçülür ardından çarpma işlemi

yapılarak hacimleri belirlenmektedir. Kuru ağırlığını (w_k) elde etmek için numuneler en az 12 saat, 105°C'ye ayarlanmış bir fırında kurutulur ve daha sonra desikatörde soğutulur. Numune Soğutulduktan sonra nemi emmeden önce tartılmalıdır. Doygun ağırlığı (w_d) elde etmek için numunelerin en az 48 saat boyunca saf suya bırakılması gerekmektedir. Numuneler saf sudan çıkar çıkmaz yüzeyindeki su havlu ile silinerek tartılmaktadır. Eşitlik 3.4 yardımıyla ağırlıkça su emme oranı elde edilmektedir;

$$c = \frac{w_d - w_k}{w_k} \times 100 \tag{3.4}$$

Burada;

c : Su emme oranı (%),
w_k : Numunenin kuru ağırlığı (g),
w_d : Numunenin doygun ağırlığı (g)'dır.

3.2.1.4. Gözeneklilk

Gözenekliliği belirleme amacı, taştaki toplam boşluk (porozite) yüzdesini elde etmektir. Gözeneklilik deneyi yapmak için 0,1 mm hassasiyete kumpas, 0,1 g hassasiyette bir terazi, desikatör, 450 ml saf su ve 105±5°C ısı kapasiteli fırın gibi cihazlar gerekmektedir. Deneyin gerçekleştirilmesi için numuneler küp veya prizma şeklinde hazırlanmalıdır. Öncelikle hazırlanmış numunelerin boyutları kumpas ile ölçülür, ardından hacmi hesaplanmaktadır. Kuru ağırlığını (w_k) elde etmek için numune en az 12 saat, 105°C'ye ayarlanmış bir fırında kurutulur ve daha sonra desikatörde soğutulmaktadır. Soğutulduktan sonra numune nem emmeden önce tartılmalıdır. Doygun ağırlığı (w_d) elde etmek için numunenin en az 48 saat boyunca saf suya bırakılması veya 800 Pa basınç altında suya doyurulması

gerekmektedir. Numuneyi saf sudan çıkarıldıktan sonra yüzeyindeki su havlu ile silinerek tartılmaktadır. Eşitlik 3.5 ve 3.6 yardımıyla numunelerin gözenekliliği elde edilmektedir.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \tag{3.5}$$

$$V_v = \frac{w_d - w_k}{p_w} \tag{3.6}$$

Burada;

n : Gözeneklilik oranı (%),

V_v : Gözenekliliğin hacmi (cm^3),

V: Numunenin toplam hacmi (cm^3),

w_d: Doygun durumda numunenin ağırlığı (gr),

w_k: Kuru durumda numunenin ağırlığı (gr),

ρ_w : Suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm^3),

3.2.1.5. Ultrasonik Dalga Hızı

Ultrasonik dalga hızı yöntemi, P dalgası (Primary ya da pressure) ve S dalgası (secondary ya da shear) hızının ölçülmesine dayanan tahribatsız bir yöntemdir. P ve S dalgaları arasındaki temel fark;

- P dalgası S dalgasından daha hızlı hareket eder,

- P dalgası 1-14 km/sn hızla hareket ederken, S dalgaları 1-8 km/sn arasında daha yavaş hareket eder,
- P dalgası katı, sıvı ve gazlar gibi maddelerden basınçla doğrusal geçerken, S dalgası yalnız katı maddelerden yukarı ve aşağı eğriler (sinüs grafiği) gibi hareket eder.

Kayalardaki ultrasonik dalgaların hız değeri, kaya türü, mineralojik bileşimi, kaya dokusu ve yapısı, tane boyutu ve şekli, yoğunluk, gözeneklilik, anizotropi gözenekteki su, ayrışma ve erozyon bölgesi, ısı ve basınç gibi faktörlere bağlıdır (Çelik, 2017; Kahraman ve Kesimal 2013). Ultrasonik dalgaları ölçen cihaz, verici, alıcı ve zamanı gösteren monitör gibi parçalardan oluşmaktadır. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ultrasonik Dalga Hızı Ölçüm Cihazı

Ultrasonik dalga hızı açısından incelenen numuneleri, düzgün yüzeylere sahip kübik veya silindirik şekilde hazırlamak gerekmektedir. Dönüştürücü ile numune yüzeyi arasında tamamlayıcı bir temasa sahip olmak için temas alanı tamamen pürüzsüz olmalıdır. Dalgaların kaçmasını önlemek için, numunenin temas yüzeyi ile dönüştürücü (alıcı ve verici) arasında gres yağı sürülmesi gerekmektedir. Ultrasonik dalga hızı (Eşitlik 3.7) yardımı ile elde edilmektedir.

$$v = \frac{L}{t} \tag{3.7}$$

Burada ;

v: Ultrasonik dalgaların hızı (m/sn),
L: Verici ve alıcı arasındaki mesafe (mm),
t: Dalgaların etkin ilerleme zamanı (sn)'dır.

3.2.1.6. Kayacın Shore Sertliği

Shore sertliği testi tahribatsız bir test olup taşların mineralojisi ve çimentolaşma derecesi, matriks tipi ve elastikiyeti ile ilgili bilgiler sağlar. Shore sertliğini belirlemek için araştırmacılar tarafından numunelerin değişik boyutları önerilmiştir. Hacmi 80 cm^3'ten büyük olan numunelerde Shore sertliği değerinin değişmediği belirlenmiştir. Shore sertliği deneyi yapıldığında numunenin hacmi minimum 80 cm^3 olması gerekmektedir (Güney ve ark, 2004).

Shore sertliğini ölçemek için genellikle C-2 tipi Shore Scleroscope'u, dijital durometre ve dijital Shore sertliği cihazı gibi ölçüm cihazları

kullanılmaktadır. Bu çalışmada örnekler 5cmx5cmx5cm boyutlu ($V=125cm^3$) kübik şekilde hazırlanmıştır. ISRM standardı uygulanarak dijital durometre cihaz kullanılarak her numunede 10 test gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dijital Durometre Cihazı

3.2.2. Mekanik Deneyler

3.2.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı, malzemenin doğru eksenli basınç yüklerine karşı maksimum dayanma kapasitesidir. Tek eksenli basınç dayanımı genellikle evrensel test makinesi (Universal Testing Machine) yardımıyla belirlenmektedir (Şekil 3.5).

Deneyin gerçekleştirilebilmesi için numunelerin düzgün geometrik küp, prizma veya silindirik şekilde hazırlanması gerekmektedir. ASTM standardına göre, silindirik numunesi boy/çap oranı 2-2,5 ve minimum çapı 47 mm belirlenmiştir. ISRM standardına göre silindirik numune boy/çap oranı 2,5-3 ve

minimum çapı 54 mm belirlenmiştir. Numunenin üç yüzeyi paralel olmalı ve pürüzlülüğü 0,25 mm'yi geçmemelidir. Ek olarak, numunenin iki ucu uzun dikey eksenden 0,25 dereceden fazla sapmamalıdır. Numunenin kenarları düzgün ve tekdüze olmalıdır.



Şekil 3.5.Tek Eksenli Basınç Ölçüm Cihazı

Tek eksenli basınç dayanımını test etmek için hidrolik pres bir makine, 0,1 mm hassasiyette bir kumpas ve (105±5 °C) ısı kapasiteli bir fırın gibi ekipmanlar gereklidir. Hidrolik makinesiyle yük, fırında kurumuş numune üzerinde dik olarak kırılana kadar uygulanmaktadır. Yük miktarı cihazda takılmış olan bilgisayar tarafından kaydedilir. Numunenin boyutları kumpas ile ölçülür. (Eşitlik 3.8) yardımıyla tek eksenli basınç dayanımı elde edilmektedir.

$$\sigma_b = \frac{P}{S} \tag{3.8}$$

Burada;

$\sigma_{b:}$ kayaların basınç mukavemeti (kgrf/ cm^2),

P: Numune tahrip etmesine neden olan maksimum yük (kgrf),

S: Yükün uygulanacağı yüzey alanı (cm^2)'

3.2.2.2. Kayacın Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı, standart boyutlu kaya örneklerinin belirli bir yönde uygulanan darbeye karşı gösterdiği dirençtir. Kayaların darbe dayanımının belirlemesi için (40x40x40) mm^3 küp şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Darbe dayanımını belirlemek için deney düzeneği kullanılarak test işlemi (Şekil 3.6)'e göre gerçekleştirilmiştir. Numuneyi darbe deney düzeneğine yerleştirilerek üzerine bir çelik plaka ile darbe uygulanmaktadır. Çelik plaka düşme yüksekliği (Eşitlik 3.9) yardımıyla darbe dayanımı ise (Eşitlik 3.10) yardımıyla, Birinci, ikinci, üçüncü ve n. vuruşların yüksekliği Eşitlik 3.11) yardım ile elde edilir. Numune kırılana kadar darbeye devam edilir. Numunenin üstüne darbe vurulduktan sonra kırılma, çatlama veya pullanma gibi belirtiler ortaya çıktığında deney numunesi kırılmış sayılır.

$$H = 0.04 \times V \tag{3.9}$$

$$D_n = n \times (n+1) \tag{3.10}$$

$$H_n = n \times H \tag{3.11}$$

Burada;

H: Çelik plaka düşme yüksekliği (cm),

V: Numunenin hacmi (cm^3),

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

n: Kırılmaya sebep olan darbe sayısı,

H_n: n'inci darbe yüksekliği (cm) dir.



Şekil 3.6. Darbe Dayanımı Ölçüm Cihazı

3.2.2.3. Kayacın Eğilme Dayanımı

Eğilme durumunda kırılmadan önce bir malzemenin basınç veya çekme kuvvetlerine karşı maksimum dayanma kapasitesine eğilme mukavemeti (bükülme dayanımı veya parçalanma modülü), denilmektedir. Eğilme dayanımı testi, metal, plastik, seramik, beton ve doğal taşlar gibi malzemelere uygulanabilir. Yapılarda belli ölçülerde plaklar şeklinde doğal taşlar kullanılmaktadır. Bu malzemeler için

eğilme dayanımı testi çok önemlidir. Çünkü, plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe, kayacın eğilme dayanımına göre tespit edilebilmektedir. Eğilme dayanımı testinin yapılabilmesi için (Şekil 3.7)'da gösterilen cihaz kullanılmaktadır.

Numuneler 50×50×300 mm prizma şeklinde hazırlanmaktadır (TS 10449). Mesnetler üzerinde numunenin tam yerleşmesi ve oturması sağlandıktan sonra orta kısmına yük uygulanmaktadır. Eğilme dayanımı (Eşitlik 3.12) ile elde edilmektedir;



Şekil 3.7. Eğilme Dayanımı Ölçüm Cihazı

$$\sigma_{eğ} = \frac{3 \times p \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (3.12)$$

Burada;

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

P: Numunenin kırılmasına neden olan maksimum yük (kg),

L:Numunenin destek noktaları arasındaki mesafe (cm),

b: Deney numunesinin genişliği (cm),

h: Deney numunesinin kalınlığı (cm)

3.2.3. Taşların Kimyasal Bileşiminin XRF Cihazı ile Belirlenmesi

X Işınları Flüoresans spektrometresi (XRF), maddenin element ve kimyasal analizi için en yaygın kullanılan analitik cihazlardan biridir. Katı, sıvı, toz, gaz durumlarında uygulanabilmektedir. XRF, kısa, düşük maliyetli, malzemeye zarar vermeden, hızlı, hassas ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilen bir ölçüm tekniğidir. XRF, atom numarası 9-92 arasında olan elementleri kantitatif analiz edilir. Atom numarası 9'un altında olan elementleri inceleyemez. Numune bir kırıcıda kırıldıktan sonra öğütücü yardımıyla öğütme hale getirilmelidir. Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan Panalytical Minipal 4 marka XRF cihazı yardımıyla deney gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).

3.2.4. Taşların Minerallerinin XRD Cihazı ile Tanımlanması

X-Işınları difraksiyonu (XRD), maddenin kristal yapısını ve mineral bileşimini analiz etmek için kullanılan bir cihazdır (Şekil 3.9). Optik mikroskop yöntemleri ile tanımlanamayacak kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bir tekniktir.

XRD çalışmasının temeli aşağıdaki gibidir; çok kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardan oluşan X ışınları numuneye girer ve atomlarına çarptıktan sonra yansır. Yansıyan ışınlar tarafından örnekler mineralojik açıdan analiz edilmektedir. XRD cihazı malzemeye zarar vermeden analiz eder. sıvı, toz, kristal ve ince film gibi malzemelerin az miktarda bile analizi sağlanmaktadır. Numuneler kırıcı ile kırıldıktan sonra elektronik havan ile öğütülür. Öğütülmüş malzeme laboratuvarda bulunan XRD cihazı ile analiz edilmiştir.

3.2.5. Petrografik Analizler

Optik mineraloji ve petrografide ince kesit laboratuvarın bir parçasıdır. İnce kesit laboratuvarda, kayalar, cevherler, toprak, kemik ve metal gibi örnekleri incelemek için polarize ve elektron mikroskopları kullanılır. Örneklerin mikroskop ile mineralojik ve petrografik analiz etmesi için metalik örnekler parlak kesitler ve metalik olmayan numuneler ince kesitler hazırlanmalıdır. Taşların ince kesiti hazırlandıktan sonra mikroskop altında incelenmekte ve kayacın içeriği, yapısı ve dokusu ile ilgili bilgiler sağlanmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.8. X Işını Flöresans Spektrometresi (XRF) Cihazı



Şekil 3.9. X-Işınları Difraksiyonu (XRD) Cihazı



Şekil 3. 10. İnce Kesiti Test Adımlarının Resimleri

İnce kesitleri test etme adımları aşağıdaki gibidir;

- ✓ Numuneler küçük boyutlarda (4×2×0,5) cm^3 kesilir.
- ✓ Numune yüzeyinin tamamen parlatılması için silikon karbür tozu kullanılırarak dönen tava üzerine sürtülür.
- ✓ Parlatılmış numuneyi cam plakasıyla Devcon yapıştırıcı ile yapıştırılır.
- ✓ Tamamen kuruyana kadar beklernir.

- ✓ Cam plaka yapıştırılmış numune makine yardımıyla bir milimetrenin altına inecek kadar inceltilir.
- ✓ Hazırlanan ince kesit mikroskop altında incelenir

3.2.6. İstatistiksel Analiz Yöntemleri

İstatistiksel analizi doğru bir şekilde anlamak için öncelikle istatistik terimini tanımlamak gerekmektedir. İstatistik, verileri ve bilgileri sınıflandırma, mantığa dayalı karar verme, dikkatli planlama ve gözlemlerden anlaşılabilecek şeyleri ifade etme bilimi olarak tanımlanmaktadır. Tabloları, istatistiksel grafikleri ve bunların analizini ve yorumlanmasını içeren bir rapora istatistiksel analiz denir (Sözbilir, 2010). İstatistiğin birkaç bölümü vardır, ancak bu çalışmada regresyon analizi kullanılmıştır.

Regresyon, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen istatistiksel bir analizdir. Regresyon ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında, ilişkinin varlığı, ilişkinin gücü ve ilişkinin türü ayrıca bağımsız tarafından bağımlı değişken tahmin etme olasılığı belirlenmektedir. Regresyon modelleri aşağıdaki bileşenleri içermektedir (Eşitlik3.13);

$$f(X_i, \beta) = \beta_0 + \beta_1 X_j + ... + \varepsilon \tag{3.13}$$

Burada;

- ✓ Genellikle skaler veya vektörel miktarı β ile,
- ✓ Bağımsız değişkenler, viktörel olarak X_i ile,
- ✓ Bağımlı değişken genellikle skaler olarak Y_i ile,

- ✓ Ve hata terimleri, doğrudan verilerde gözlenmemekte, skaler olarak ε ile ifade edilmektedir (Fahrmeir ve ark, 2013).

3.2.6.1. Basit Regresyon

İki niceliksel değişken arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için basit regresyon kullanılmaktadır. Genellikle basit regresyon analiziyle aşağıdaki konulara değinilmektedir;

- İki değişken arasındaki ilişkinin ne kadar güçlü olduğu (örneğin, yağış ve toprak erozyonu arasındaki ilişki).
- Bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin ne tür olduğu (örneğin, belirli bir yağış seviyesindeki toprak erozyonu miktarı).
- Bağımlı değişkenin bağımsız değişkenle tahmin edilmesi.

Bu çalışmada mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ultrasonik dalgaların hızı arasındaki ilişki doğrusal, logaritmik, kuadratik, kübik, güç ve üstel gibi çeşitli basit regresyon modelleri ile incelenmiştir.

Doğrusal denklemin genel formülü (Eşitlik 3.14)'te, logaritmik denklemin genel formülü (Eşitlik 3.15)'te, kuadretik denklemin genel formülü (Eşitlik 3.16)'da, kübik denklemin genel formülü (Eşitlik 3.17)'de, güç denklemin genel formülü (Eşitlik 3.18)'de ve üstel denklemin genel formülü (Eşitlik 3.19)'de, verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta \times X \tag{3.14}$$

$$Y = \beta_0 + \beta \times \ln X \tag{3.15}$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \beta_2 \times X^2 \quad (3.16)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X + \beta_2 \times X^2 + \beta_3 \times X^3 \quad (3.17)$$

$$Y = \beta_0 \times X^{\beta} \quad (3.18)$$

$$Y = \beta_0 \times e^{\beta \times X} \quad (3.19)$$

Burada;

Y: Bağımlı değişken,
X: Bağımsız değişken,
β_o: Sabit terimi,
β, β_1, β_2 ve β_3 bilinmeyen parametrelerdir.

Bağımlı Değişken (y): Bağımlı değişken, regresyon modelinde açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır (Görgül, 2020).

Bağımsız Değişken (x): Bağımsız değişken, regresyon modelinde açıklayıcı değişken olup, bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılır (Görgül, 2020).

3.2.6.2. Çoklu Doğrusal Regresyon

Bir bağımlı değişkeni tahmin etmek için iki veya daha fazla bağımsız değişkeni kullanan istatistiksel bir yöntemdir. Çoklu doğrusal regresyon genel formülü (Eşitlik 3.20)'de verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + ...\beta_i X_i + \varepsilon \quad (3.20)$$

Burada;

Y: Bağımlı değişken,

X_i: Bağımsız değişkenler

β_o: Sabit terimi,

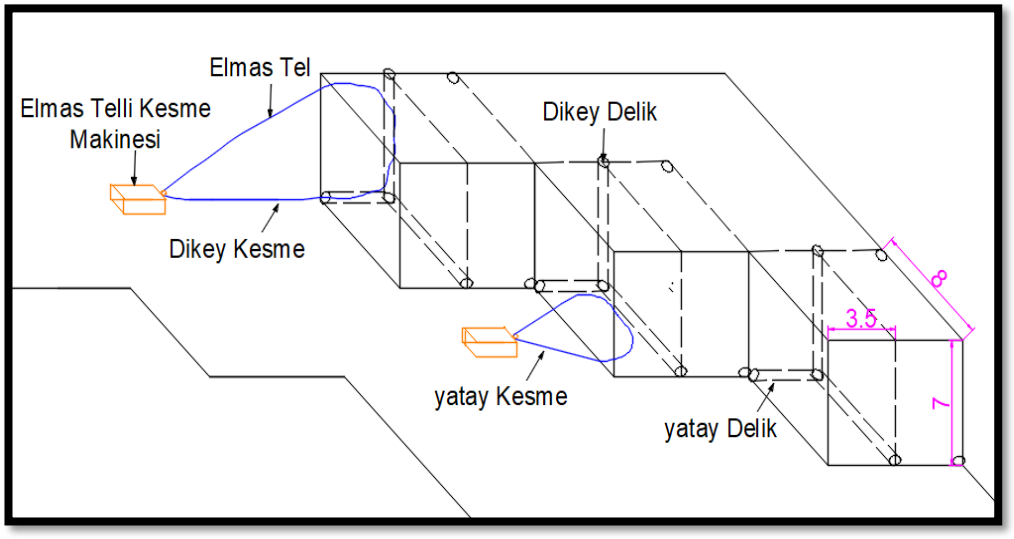
β_i: Her açıklayıcı değişken için eğim katsayıları,

ve Ɛ ise: modelin hata terimidir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Arazi Gözlemleri

Deney örnekleri hazırlamak için Adana Pozantı ilçesi Belemedik mahallesi yakınında bulunan mermer ocağına ve Mersin'e bağlı Silifke ve Erdemli ilçelerinde bulunan mermer ocaklarına gidilip tüm üretim işlemleri yakından gözlenmiştir (Şekil 4.2; Şekil 4.3; Şekil 4.4). Bu ocaklarda basamak yüksekliği (7-10) metre, genişliği (8-10) metre ve uzunluğu (15-20) metredir. Ocağın yüzeye yakın olan basamaklarında kırılmalar, çatlaklar, boşluk, yer yer bazı kısımlarda fosiller görülmektedir ve faylardan dolayı oluşan kırılmalar yüzeyden tabana doğru gitmektedir. Kesme işleminde elmaslı tel kesme (ETK) yöntemi kullanılmaktadır. Mermer, çoklu elmaslı tel makinesi ile blok şeklinde (8×7×3,5) m^3 boyutlarda ana taşlardan ayrılmaktadır. Blokların fabrikaya taşınmasını sağlamak için daha küçük boyutlara kesilir. Elmas tel kesme yönteminin üç boyutlu şematik görünümü (Şekil 4.1)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elmas Tel Kesme Yönteminin Şematik Görünümü



Şekil 4.2. Pozantı Mermer Ocağı



Şekil 4.3. Erdemli Mermer Ocağı



Şekil 4.4. Silifke Mermer Ocağı

4.2. Petrografik Analizler

Mermer yüzeylerdeki renklerin farklı şekilde yayıldığı ve dağılımlarının bazen homojen bazen de heterojen olduğu bir gerçektir. Bunlar mermerin çekiciliğini etkiler. Satıcılar, müşterinin isteğine göre mermerin rengini ve tasarımını hazırlamaya çalışırlar. Kayaçların renkleri, içeriklerine göre farklı olmaktadır. Farklı mineraller, farklı kimyasal bileşimlerinden dolayı farklı renkleri yansıtır, bu nedenle görünümü de farklı görünmektedir. Farklı mermerlerin rengi ve dokusu içindeki minerallerin farklı dağılımına ve oluşum ortahminın koşullarına göre değişmektedir. Mermer örneklerini oluşturan minerallerin bilinmesi için ince kesit analizi kullanılmıştır. Bu çalışmada, Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Leica mikroskobu altında numunelerin ince kesitleri incelenmiştir.

4.2.1. Mersin Erdemli Mermerinin Petrografik İncelemesi

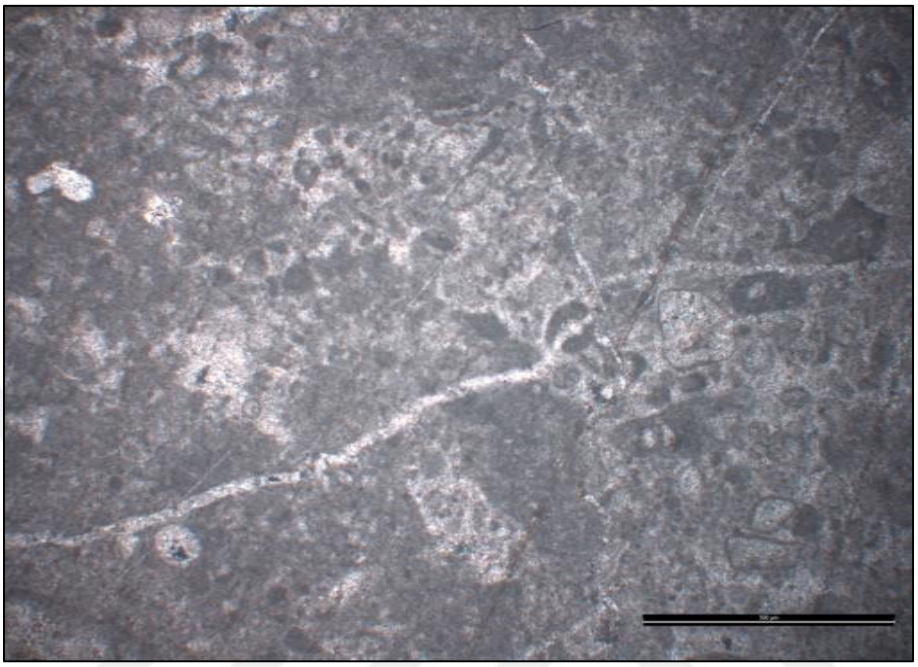
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde açık gri renkte olduğu, ince kristalli (sakkoridal) yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunmadığı görülmüştür (Şekil 4.5).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.6)'te verilmiştir.

İncelenen kesitte kalsit minerali matriks ve damar dolgusu şeklinde gözlenmektedir. Kayaç içerisinde bol miktarda bulunan fosil kavkıları ileri derecede kalsitleşmişlerdir. Demir kayaç içerisinde mineralize olmamıştır. Kayaç biyomiktirk kireçtaşıdır.



Şekil 4.5. Erdemli Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.6. Erdemli Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.2. Sivas Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi

Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde açık gri renkte olduğu, ince kristalli (sakkoridal) yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunmadığı görülmüştür (Şekil 4.7).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.8)'de verilmiştir.
İncelenen kesitte kayacın iri taneli bir yapıda olduğu görülmektedir. Kesitlerde basınç ikizleri gözlenmiştir. Taneler kalsit minerallerinden meydana gelmiş olup kayaç granoblastik dokuya sahiptir. Fosil gözlenmemiştir ve mafik mineral miktarı %1'in altındadır. Kayaç "mermer" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.7. Sivas Gri Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.8. Sivas Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

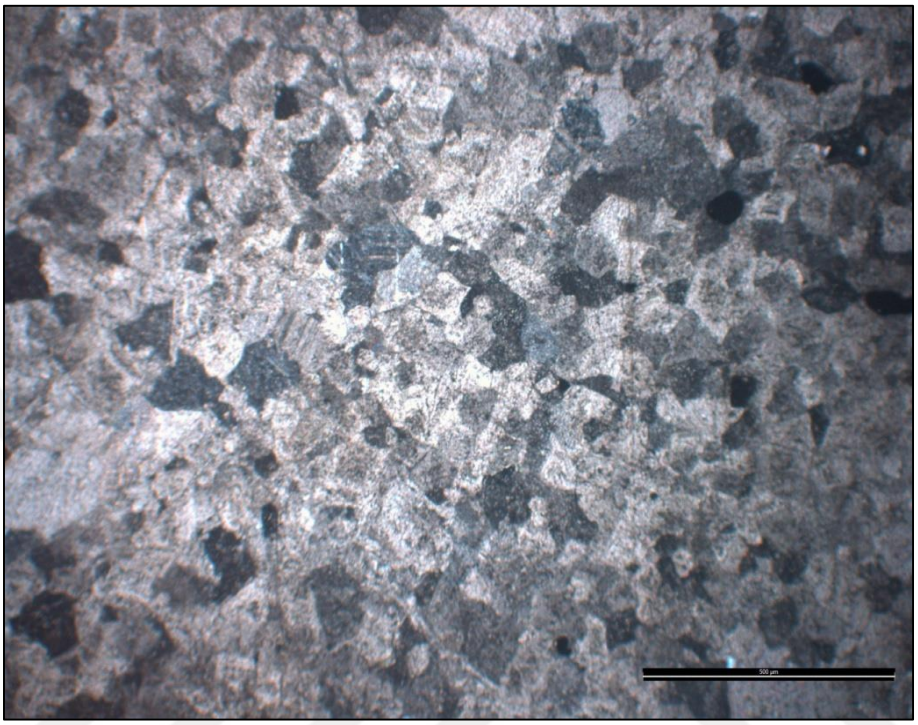
4.2.3. Silifke Dolomitik Kireçtaşının Petrografik İncelemesi

Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde kahve renkte olduğu, iri kristalli yapıda ve homojen olduğu ve görünür gözenekli olduğu görülmüştür (Şekil 4.9).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.10)'da verilmiştir.
Kayaç kalsit ve dolomit minerallerinden oluşmuştur. Kalsit iri kristalli, basınç ikizli, dolomit idiyotropik ve ksenotopik dokulu iri kristallidir. Yüksek rölieflidir. Mikro fosil kavkı izleri az orandadır. Demir opakları ve demir boyaması az oranda gözlenmiştir. Kayaç dolomitik kireçtaşıdır.



Şekil 4.9. Silifke Dolomitik Kireçtaşı Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.10. Silifke Dolomitik Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.4. Adıyaman Dolomitik Kireçtaşının Petrografik İncelemesi

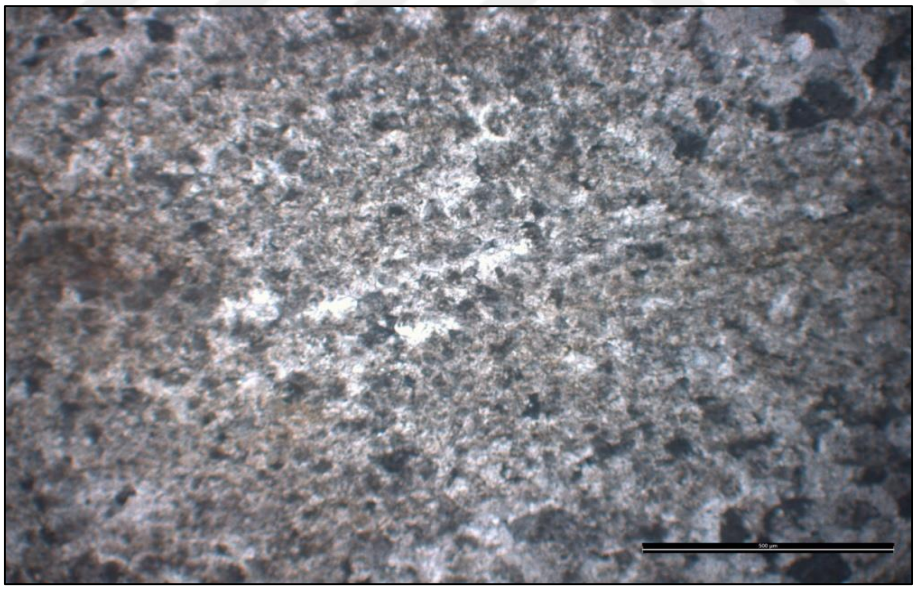
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde kahve renkte olduğu, ince kristalli (sakkoridal) yapıda ve homojen olduğu ve görünür gözenekli olduğu görülmüştür (Şekil 4.11).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.12)'de verilmiştir.

İnce kristalli kalsit ve dolomit kristallerinden oluşmaktadır. Demir mineral formunda gözlenmemektedir. Her iki mineralde eş boyutludur. Kayaç dolomitik kireçtaşıdır.



Şekil 4.11. Adıyaman Dolomitik Kireçtşı Yüzey Görüntüsü



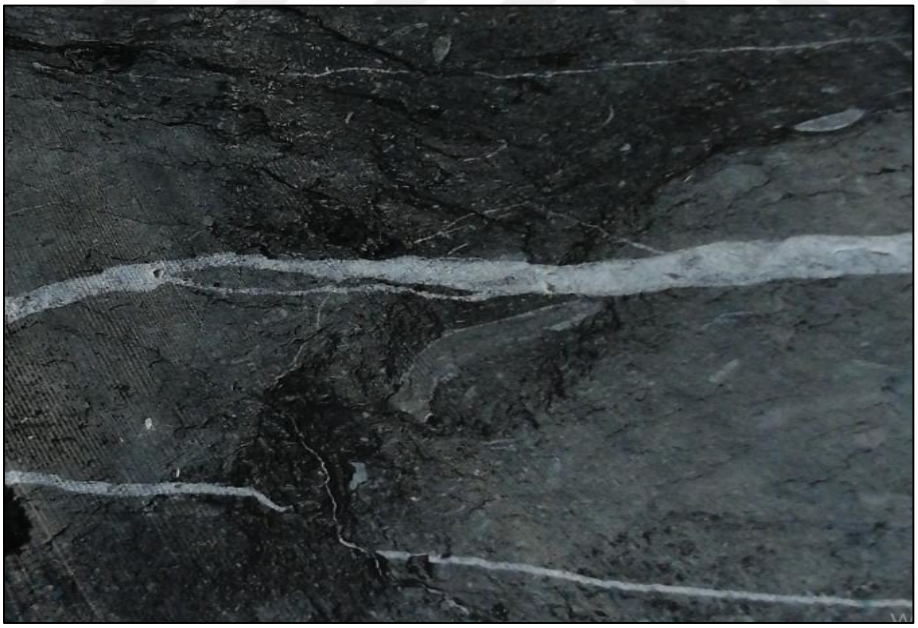
Şekil 4.12. Adıyaman Dolomitik Kireçtşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.5. İskenderun Siyah Mermerinin Petrografik İncelemesi

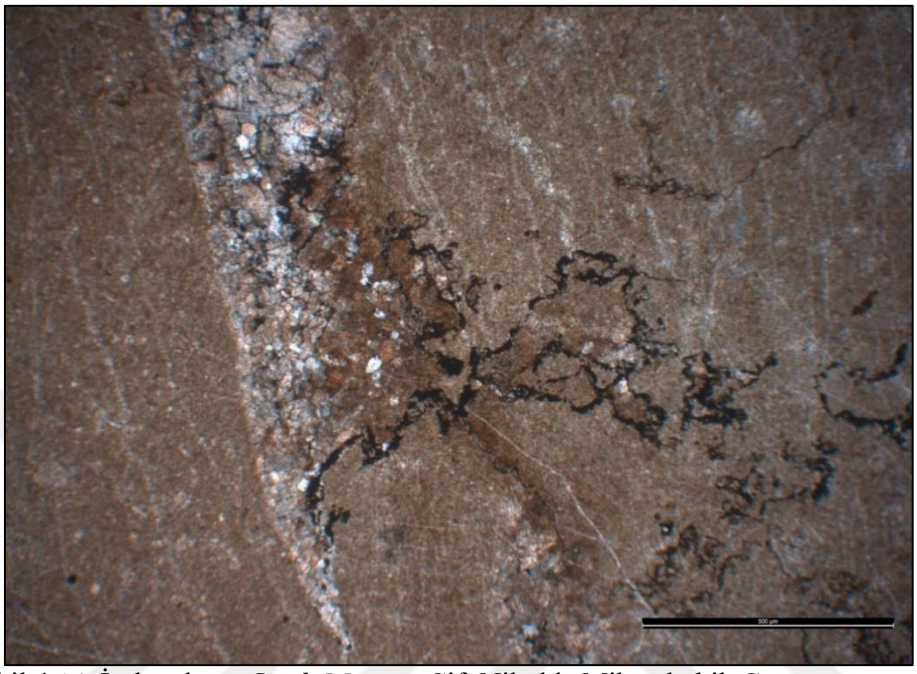
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde siyah, beyaz damarlı renkte olduğu, iri kristalli yapıda ve homojen olmadığı ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunduğu görülmüştür(Şekil 4.13).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.14)'de verilmiştir.

Biyo mikritik matriks içerikli ve ikincil kalsit kristallerinden oluşmaktadır. İkincil oluşumlar kalın damar dolgusu şeklinde basınç ikizli görünümdedir. Demir oluşumu daha çok alterasyon şeklinde damar içlerinde boyamalar halinde ve Stilolit oluşumları şeklindedir. Matriks içerisinde ileri derecede kalsitleşmiş fosil izleri bulunmaktadır.



Şekil 4.13. İsekenderun Siyah Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.14. İsekenderun Siyah Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.6. Bilecik Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi

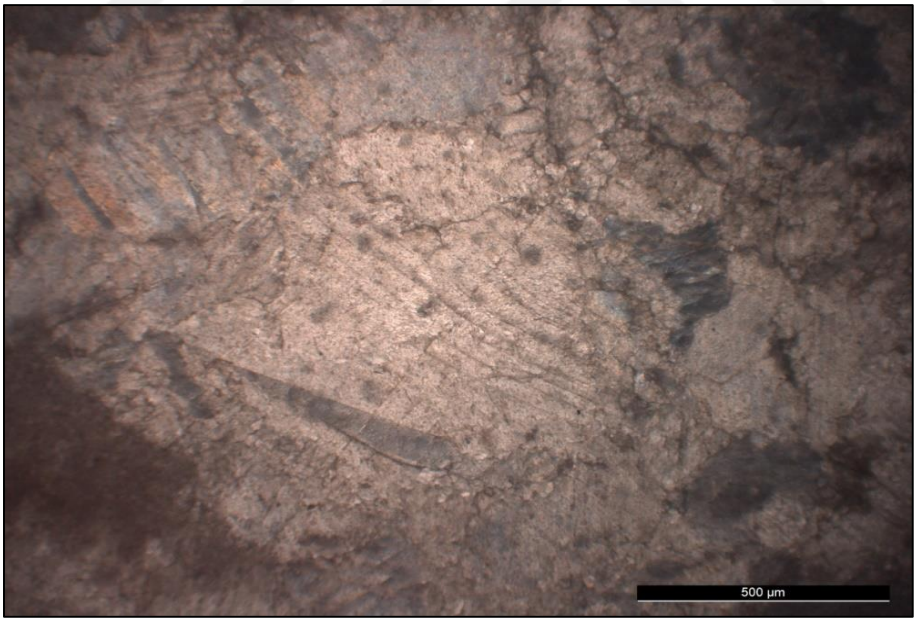
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde açık gri renkte olduğu, iri kristalli yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunmadığı görülmüştür (Şekil 4.15).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü Şekil (4.16)'te verilmiştir.

İncelenen kesitlerde kayacın iri taneli bir yapıda olduğu görülmektedir Kesitlerde basınç ikizleri gözlenmiştir. Taneler kalsit minerallerinden meydana gelmiş olup kayaç granoblastik dokuya sahiptir. Fosil gözlenmemiştir ve mafik mineral miktarı %1'in altındadır. Kayaç "mermer" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.15. Bilecik Gri Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.16. Bilecik Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.7. Karaman Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi

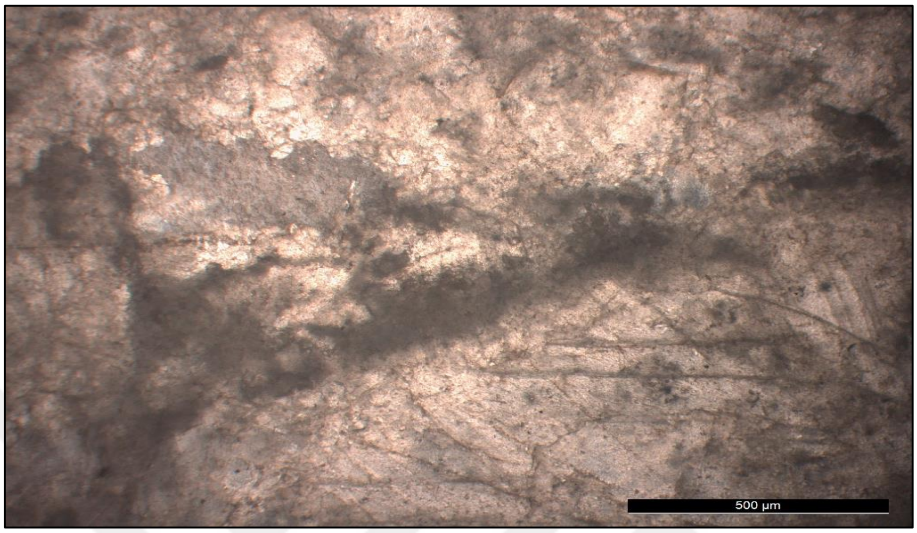
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde koyu gri renkte olduğu, iri kristalli yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunmadığı görülmüştür (Şekil 4.17).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.18)'de verilmiştir.

Yapılan mikroskobik incelemede incelenen numunenin hacimsel olarak boşluk miktarının az olduğu görülmüştür. Petrografik incelemeler neticesinde getirilen numunenin kalsit minerallerinden oluştuğu anlaşılmıştır. İncelenen kesitlerde kayacın iri taneli kalsit minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Kayaç granoblastik bir dokuya sahip olup, %99 kalsit ve <%1 oranında opak minerallerden oluşmuştur. Kayaç "mermer" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.17. Karaman Gri Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.18. Karaman Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.8. Konya Gri Mermerinin Petrografik İncelemesi

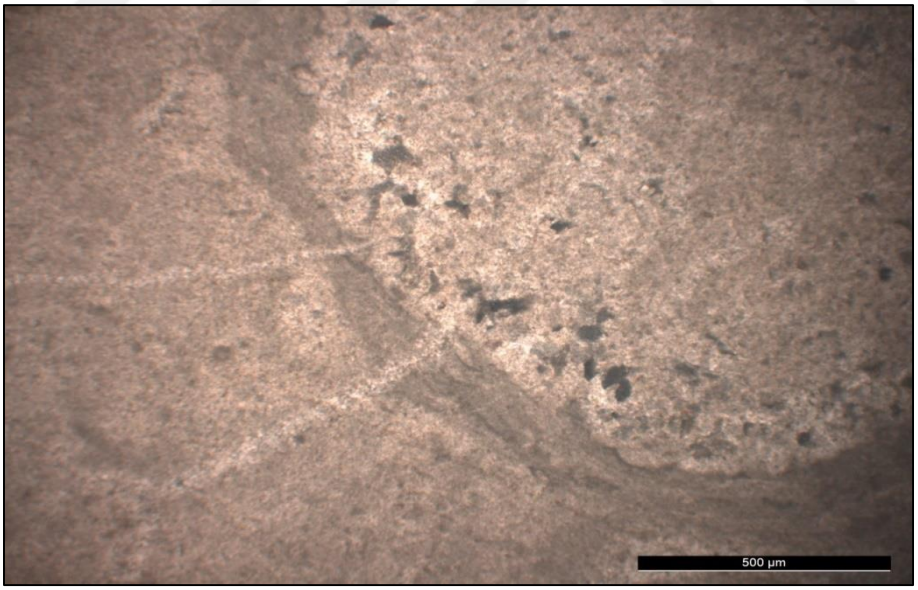
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde açık gri renkte olduğu, iri kristalli yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.19).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.20)'de verilmiştir.

İncelenen kesitlerde kayaçta ince taneli mikritik dokulu biyosparit kalsit minerallerinin mevcut olduğu görülmüştür. Kayacı boydan boya kesen ince damarlarda iri taneli sakkoridal kalsitlerin ve ikincil olarak yerleşen detritik unsurların oluştuğu görülmüştür. Demir mineral formunda gözlenmektedir. Numunenin hacimsel olarak boşluk miktarı azdır. Etkili bir gözeneklilik söz konusu değildir. Petrografik incelemeler neticesinde getirilen numunenin kalsit minerallerinden oluştuğu anlaşılmıştır. Kayaç "mermer" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.19. Konya Gri Mermer Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.20. Konya Gri Mermer Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.9. Adana Mermerinin Petrografik İncelemesi

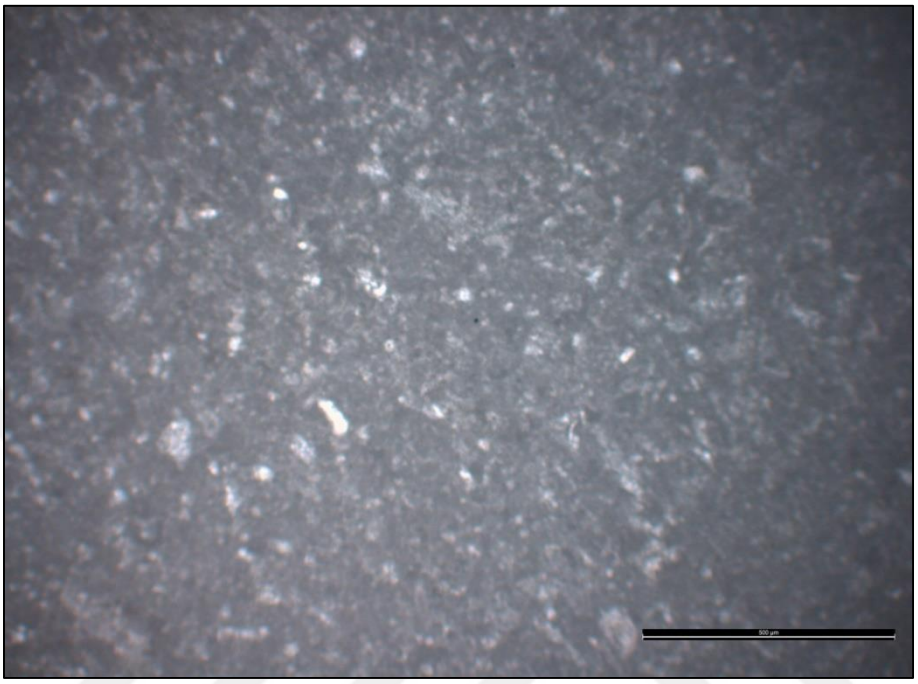
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde açık gri renkte olduğu, ince kristalli (sakkoridal) yapıda ve homojen olduğu ve ikincil oluşmuş damar dolguları bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.21).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir.İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.22)'de verilmiştir.

Biyomikritik kireçtaşıdır. Kalsit kristalleri eş boyutlu ve mikrolit halindedir. Fosil belirgin olmamakla beraber yer yer izleri gözlenmektedir. İkincil kalsit dolgu halinde sparit şeklinde gözlenmiştir. Demir opak olarak gözlenmemiştir.



Şekil 4.21. Pozantı Kireçtaşı Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.22. Pozantı Kireçtaşı Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.2.10. Diyarbakır kireçtaşının Petrografik İncelemesi

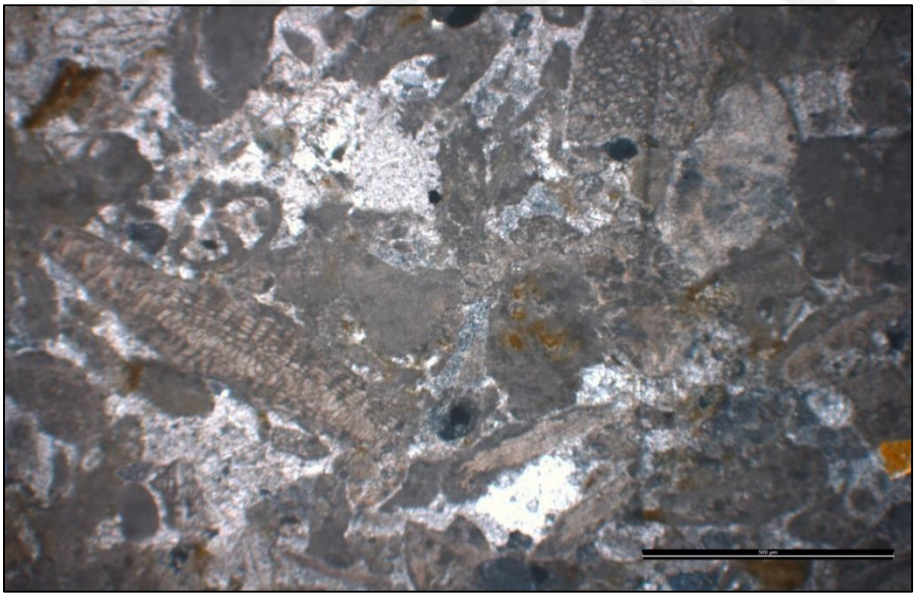
Mermerin gözle yapılan makroskopik incelemesinde krem renkte olduğu, iri kristalli (sakkoridal) yapıda ve homojen olduğu, ikincil oluşmuş damar dolguları bulunduğu ve görünür gözenekli görülmüştür (Şekil 4.5).

Hazırlanan ince kesitlerin polarizan mikroskop ile incelenmesi ile mermerin petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen örnekten hazırlanan ince kesitin çift nikolde çekilen mikroskop görüntüsü (Şekil 4.23)'te verilmiştir.

Mikritik kalsit kristalli matriks ve iri kalsit kavkılı farklı orijinli kavkı içeriklidir. Demir stilolit ve boyama şeklinde gözlenmektedir. Kayaç oldukça gözeneklidir. Fosillerin bir kısmı kalsitleşmiş olup bazıları formlarını korumuştur. Kayaç biyomikritik kireçtaşıdır.



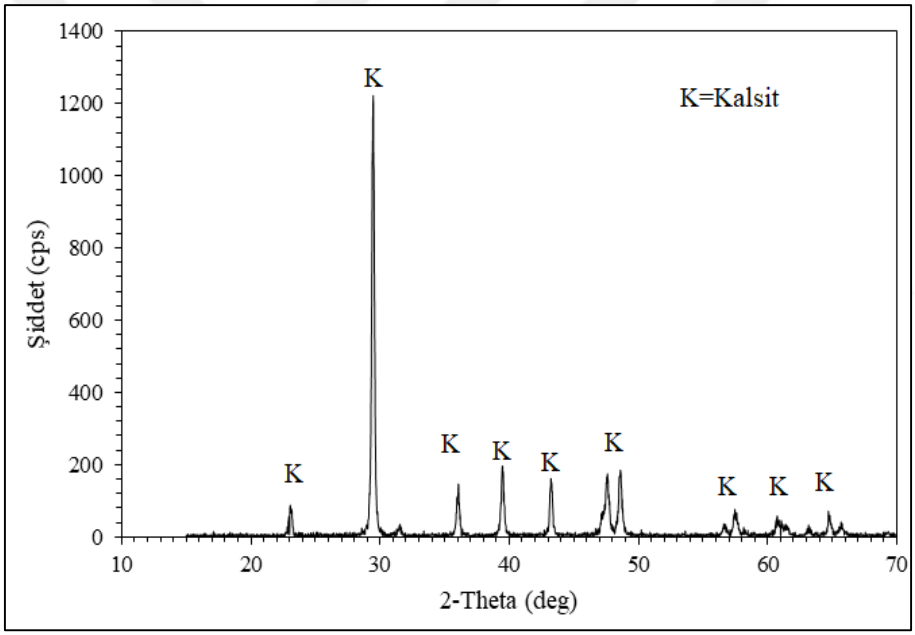
Şekil 4.23. Diyarbakır Kireçtaşının Yüzey Görüntüsü



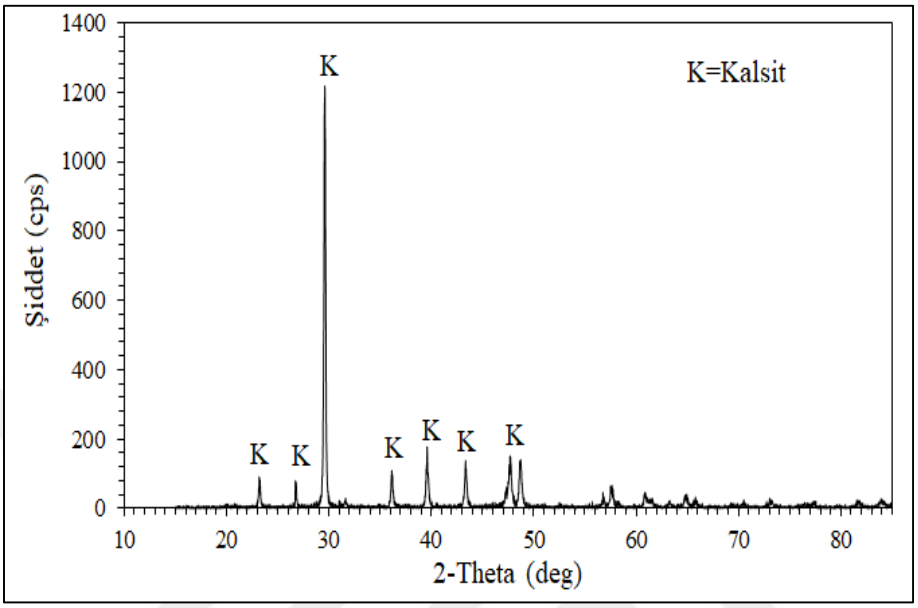
Şekil 4.24. Diyarbakır Kireçtaşının Çift Nikolde Mikroskobik Görünümü

4.3. Mermerlerin Minerallerinin XRD ile İncelenmesi

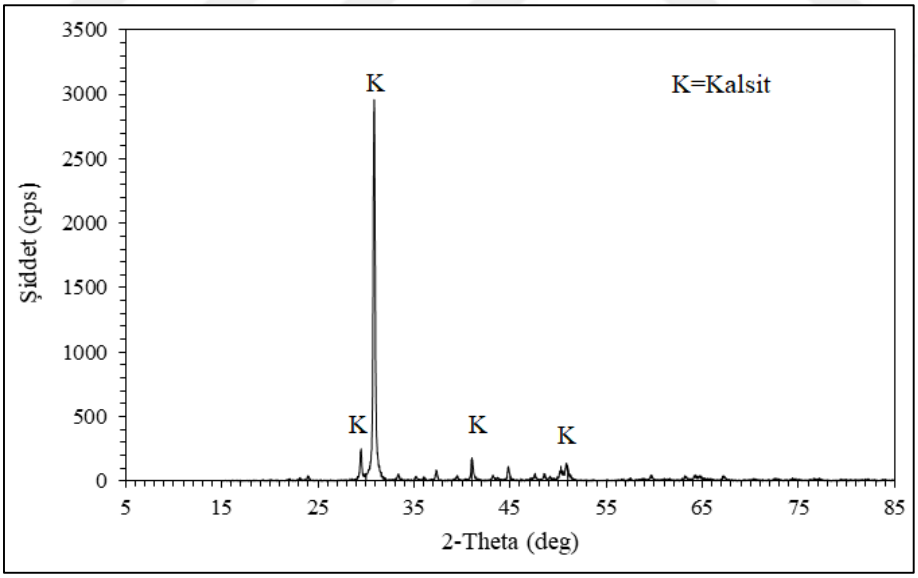
Mermerlerin minerallerini X-Işınları difraksiyon (XRD) cihazıyla belirlemek için numuneler iyice öğütülmüş ve laboratuvarda bulunan Rigaku Flex II X-Işını Difraktometresi ile deneye gerçekleştirilmiştir. Taramalar $5^{o}<2\Theta$ aralığında 0,05 derece steple ve dakikada 1 derecelik hızla kaydedilmiştir. Şekil (4.25-4.35)'te XRD deneylerinin sonuçları, tüm mermer örnekleri temel minerallerinin kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) olduğunu göstermiştir.



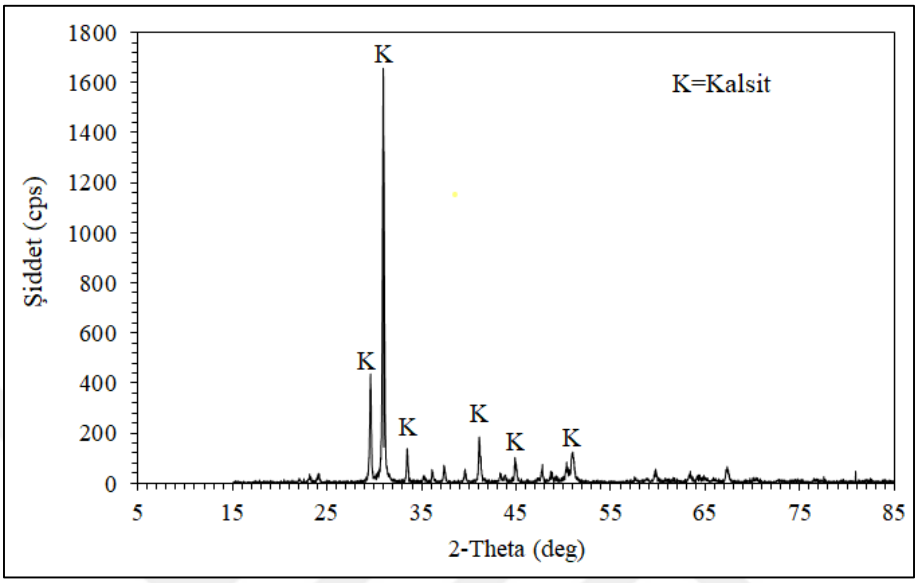
Şekil 4.25. Erdemli Kireçtaşı XRD Sonucu



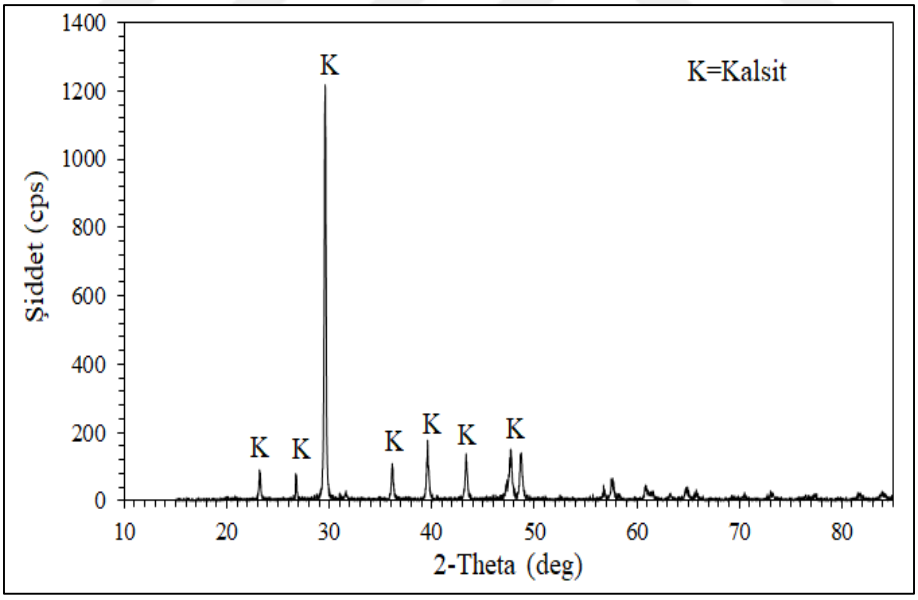
Şekil 4.26. Sivas Gri mermer XRD Sonucu



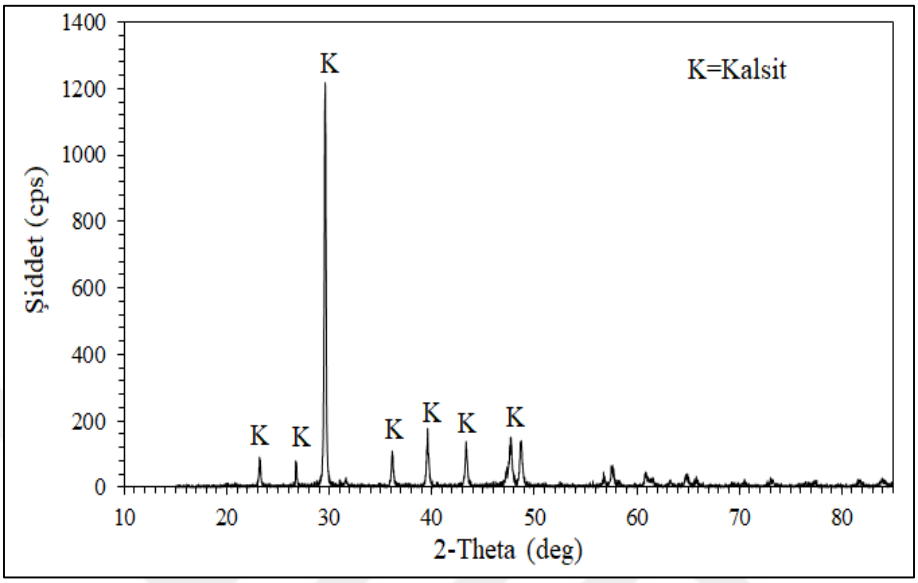
Şekil 4.27. Silifke Dolomitik Kireçtaşı XRD Sonucu



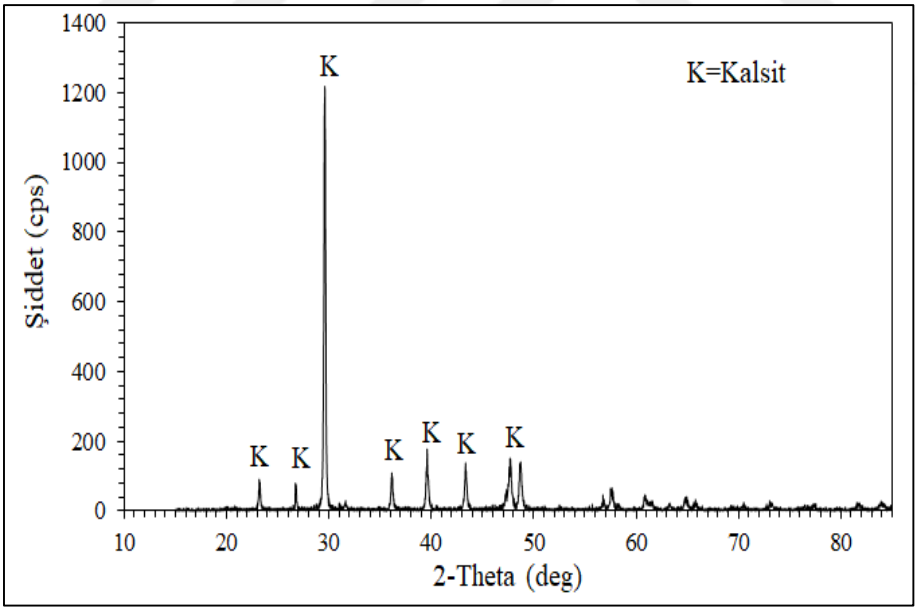
Şekil 4.28. Adıyaman Kireçtaşı XRD Sonucu



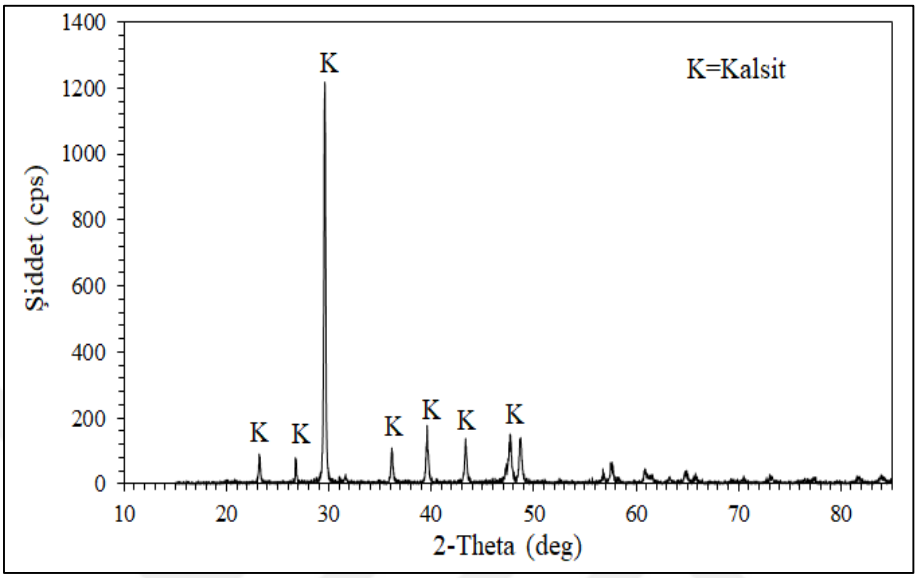
Şekil 4.29. İskenderun Siyah Mermer XRD Sonucu



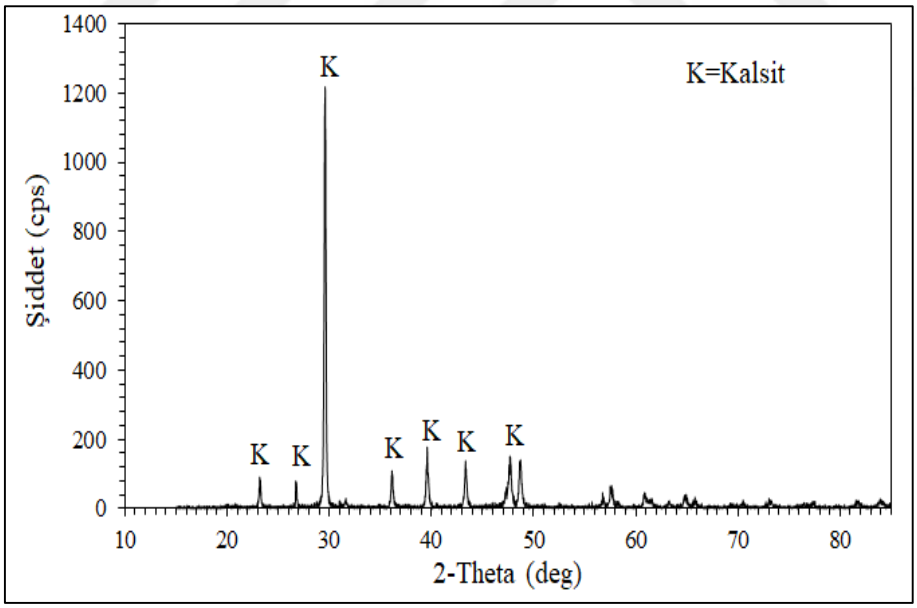
Şekil 4.30. Bilecik Gri Mermer XRD Sonucu



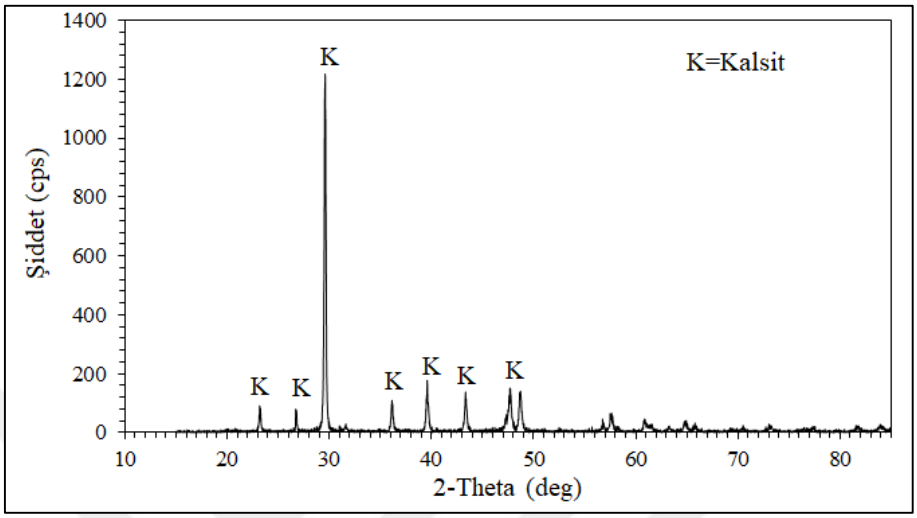
Şekil 4.31. Karaman Gri Mermer XRD Sonucu



Şekil 4.32. Konya Gri Mermer XRD Sonucu



Şekil 4.33. Adana Kireçtaşı XRD Sonucu



Şekil 4.34. Diyarbakır Kireçtaşı XRD Sonucu

4.4. Uygulanan Deneyler

4.4.1. Mermerlerin Kimyasal İçeriklerinin XRF ile İncelenmesi

Kimyasal analizleri gerçekleştirmek için XRF cihazı kullanılmıştır. Bu amaçla numuneler kırıcı ile kırıldıktan sonra elektronik havan ile 125 mikrona kadar öğütülmüştür. Öğütülmüş numunelerden 10g alınarak 2g bağlayıcılarla birleştirilerek hidrolik pres altında sıkıştırmıştır. Hazırlanan örnekler Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Panalytical Minipal 4 marka XRF cihazı içine yerleştirilerek kimyasal içerikleri belirlenmiştir. XRF testinin sonuçları, numunelerin bileşiminin CaCO3, CuO, Fe2O3, SO3 ve diğer bazı oksitleri içerdiğini göstermektedir. İskenderun ve Diyarbakır mermer örneklerinin bu oksitlere ek olarak bileşimlerinde Al2O3 de içerdiğini belirtmek gerekir. Çizelge 4.1'de kimyasal analiz sonuçları gösterilmektedir: 1.Erdemli kireçtaşı, 2.Sivas gri mermer 3.Silifke dolomitik kireçtaşı, 4.Adıyaman dolomitik kireçtaşı, 5.İsekenderun siyah mermer, 6.Bilecik gri mermer, 7.Karaman gri mermer, 8.Konya gri mermer, 9.Pozantı kireçtaşı ve 10.Diyarbakır kireşataşıdır.

Çizelge 4.1. XRF ile Gerçekleştirilen Numunelerin Kimyasal Test Sonuçları

%	$CaCO_3$	SO_3	Fe_2O_3	CuO	Al_2O_3	Diğrer	Top
1	99,47	0,3	0,083	0,054	---	0,093	100
2	99,535	0,3	---	0,06	---	0,105	100
3	98,865	0,5	0,17	0,059	--	0,406	100
4	98,96	0,7	0,068	0,093	---	0,179	100
5	89,78	0,8	3,956	0,055	2	0,709	100
6	99,481	0,34	---	0,061	---	0,118	100
7	99,222	0,35	0,218	0,057	---	0,153	100
8	99,45	0,3	0,102	0,032	---	0,116	100
9	99,54	0,2	0,042	0,06	---	0,158	100
10	95,54	0,4	0,66	0,05	2	0,164	100

4.4.2. Mermerlerin Fiziksel Özellklerinin Belirlenmesi

Fiziksel testleri yapmak için öncelikle sahadan getirilen numuneler Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan kesme makinesiyle $(5\times5\times5)cm^3$ ve $(4\times4\times4)cm^3$ boyutlarda kesilmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Fiziko-Mekanik Deneyeleri Gerçekleştirmek için Hazırlanan Numuneler

Hazırlanan numunelerin Özgül ağırlığı (G_s), doygun birim hacim ağırlığı (ρ_d,), kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k), su emme oranı (c) ve gözeneklilik ornaı (n) gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Her numune üzerinde on test yapılmıştır. Fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri (Çizelge 4.3)'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Mermerlerin Fizikesel Özelliklerinin Test Sonuçları

Numune	Deney Sayısı	G_s (Birimsiz)	ρ_d (g/cm^3)	ρ_k, (g/cm^3)	c (%)	n (%)
Erdemli Kireçtaşı	1	2,708	2,710	2,697	0,119	0,192
	2	2,710	2,709	2,697	0,120	0,192
	3	---	2,706	2,697	0,120	0,197
	4	---	2,704	2,697	0,124	0,198
	5	---	2,704	2,696	0,124	0,204
	6	---	2,703	2,695	0,125	0,215
	7	---	2,703	2,693	0,125	0,217
	8	---	2,701	2,691	0,125	0,235
	9	---	2,699	2,690	0,128	0,241
	10	---	2,696	2,690	0,128	0,277
Sivas Gri Mermer	1	2,698	2,698	2,689	0,243	0,640
	2	2,688	2,695	2,689	0,252	0,651
	3	---	2,694	2,688	0,271	0,711
	4	---	2,694	2,687	0,275	0,732
Silifke Dolomitik Kireçtaşı	1	2,742	2,718	2,692	0,568	1,674
	2	2,741	2,717	2,692	0,590	1,695
	3	---	2,707	2,692	0,591	1,676
	4	---	2,706	2,691	0,595	1,666
	5	---	2,706	2,691	0,596	1,652
	6	---	2,704	2,691	0,517	1,617
	7	---	2,700	2,690	0,519	1,680
	8	---	2,699	2,689	0,521	1,675
	9	---	2,698	2,687	0,521	1,668
	10	---	2,698	2,683	0,531	1,636

Çizelge 4.2'inin devamı

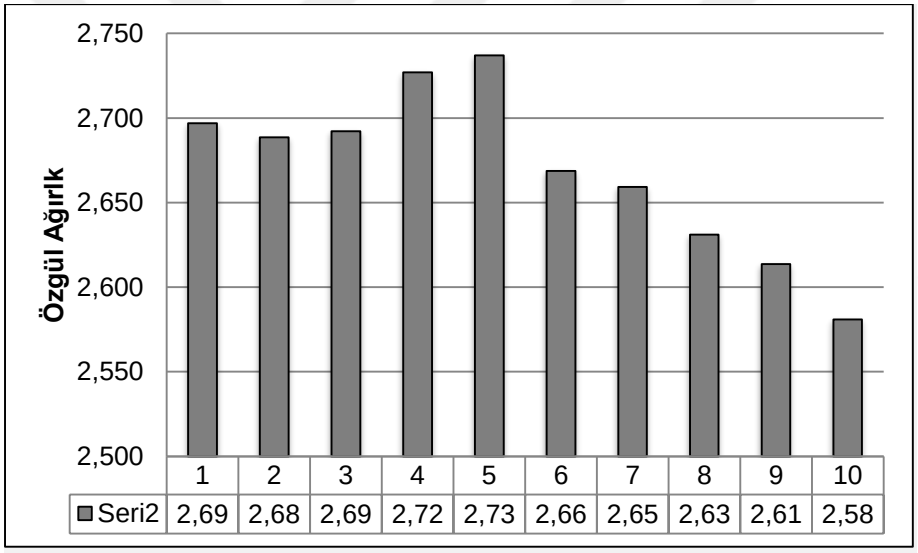
Adıyaman Dolomitik Kireçtaşı	1	2,732	2,697	2,674	0,630	1,705
	2	2,722	2,697	2,673	0,637	1,721
	3	---	2,696	2,683	0,640	1,730
	4	---	2,695	2,673	0,653	1,787
	5	---	2,695	2,673	0,658	1,736
	6	---	2,692	2,672	0,669	1,778
	7	---	2,684	2,672	0,670	1,743
	8	---	2,681	2,671	0,672	1,727
	9	---	2,687	2,670	0,652	1,753
	10	---	2,681	2,668	0,617	1,716
İskenderun Siyah Mermer	1	2,743	2,739	2,737	0,144	0,415
	2	2,743	2,740	2,736	0,143	0,438
	3	---	2,739	2,736	0,150	0,438
	4	---	2,739	2,731	0,154	0,440
	5	---	2,734	2,736	0,155	0,459
	6	---	2,737	2,729	0,157	0,465
	7	---	2,733	2,728	0,157	0,466
	8	---	2,733	2,727	0,161	0,475
	9	---	2,730	2,727	0,164	0,508
	10	---	2,721	2,719	0,165	0,520
Bilecek Gri Mermer	1	2,682	2,670	2,669	0,306	0,612
	2	2,678	2,669	2,668	0,308	0,623
	3	---	2,667	2,666	0,312	0,624
	4	---	2,666	2,666	0,322	0,626
	5	---	2,666	2,664	0,324	0,637
	6	---	2,666	2,665	0,331	0,648
	7	---	2,665	2,653	0,338	0,656
	8	---	2,665	2,664	0,356	0,666
	9	---	2,665	2,663	0,376	0,686
	10	---	2,664	2,662	0,385	0,688
	11	---	2,664	2,663	0,394	0,690
	12	---	2,663	2,661	0,400	0,691

Çizelge 4.2'inin devamı

Karamandaki Gri Mermer	1	2,672	2,660	2,660	0,455	0,851
	2	2,665	2,659	2,659	0,466	0,886
	3	---	2,659	2,657	0,468	0,894
	4	---	2,655	2,657	0,475	0,896
	5	---	2,654	2,656	0,476	0,896
	6	---	2,653	2,656	0,485	0,896
	7	---	2,653	2,656	0,485	0,909
	8	---	2,650	2,654	0,485	0,913
	9	---	2,655	2,651	0,486	0,917
Konya Gri Mermer	1	2,662	2,678	2,639	0,511	0,923
	2	2,657	2,669	2,624	0,521	0,925
	3	---	2,669	2,623	0,521	0,925
	4	---	2,666	2,622	0,524	0,926
	5	---	2,666	2,618	0,524	0,926
	6	---	2,658	2,617	0,527	0,927
	7	---	2,658	2,617	0,530	0,928
	8	---	2,657	2,617	0,539	0,928
Pozantı Kireçtaı	1	2,651	2,656	2,615	0,627	0,926
	2	2,648	2,645	2,612	0,647	0,928
	3	---	2,645	2,608	0,647	0,936
	4	---	2,634	2,604	0,647	0,939
	5	---	2,632	2,601	0,649	0,946
	6	---	2,629	2,599	0,654	0,954
	7	---	2,628	2,596	0,654	0,959
	8	---	2,628	2,594	0,657	0,985
	9	---	2,628	2,586	0,671	0,988
	10	---	2,628	2,585	0,673	1,085
Diyarbakır Kireçtaşı	1	2,638	2,626	2,582	2,285	6,019
	2	2,621	2,626	2,580	2,358	6,138
	3	---	2,625	2,568	2,435	6,210
	4	---	2,624	2,562	2,470	6,317
	5	---	2,623	2,557	2,509	6,356
	6	---	2,622	2,554	2,582	6,472
	7	---	2,621	2,553	2,584	6,559
	8	---	2,616	2,549	2,606	6,636
	9	---	2,616	2,540	2,638	6,644
	10	---	2,613	2,521	2,964	6,989

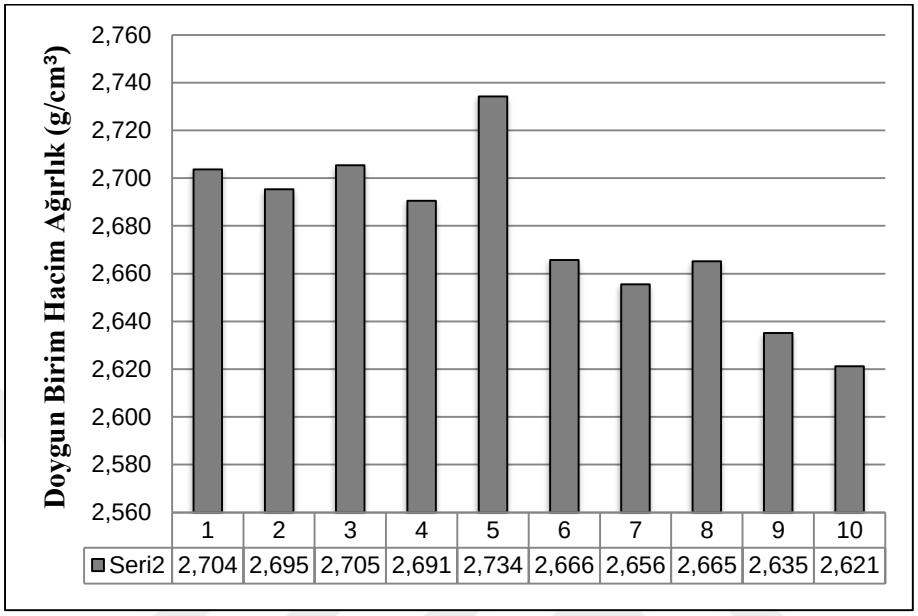
Çizelge 4.3. Nununelerin Fiziksel Özelliklerinin Ortalma Değerleri

No	G_s (birimsiz)	ρ_d (g/cm^3)	ρ_k (g/cm^3)	c (%)	n (%)
1	2,697	2,704	2,694	0,124	0,217
2	2,689	2,695	2,688	0,260	0,684
3	2,692	2,705	2,690	0,555	1,664
4	2,727	2,691	2,673	0,650	1,740
5	2,737	2,734	2,731	0,155	0,462
6	2,669	2,666	2,664	0,346	0,654
7	2,659	2,656	2,656	0,476	0,895
8	2,631	2,665	2,622	0,524	0,926
9	2,614	2,635	2,600	0,653	0,965
10	2,581	2,621	2,557	2,543	6,434

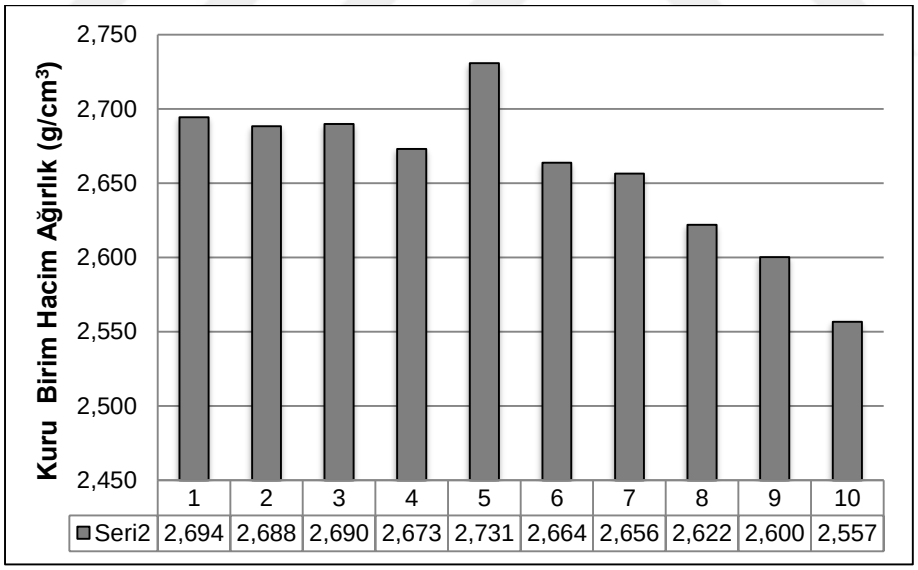


Şekil 4.36. Özgül Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi

(Şekil 4.36)'da görüldüğü gibi mermerlerin özgül ağırlık değerleri ortalama olarak (2,581-2,737) aralığında değişmektedir. Diyarbakır kireçtaşı en düşük özgül ağırlığı değerine ve İskenderun siyah mermeri en yüksek özgül ağırlığı değerine sahiptir.

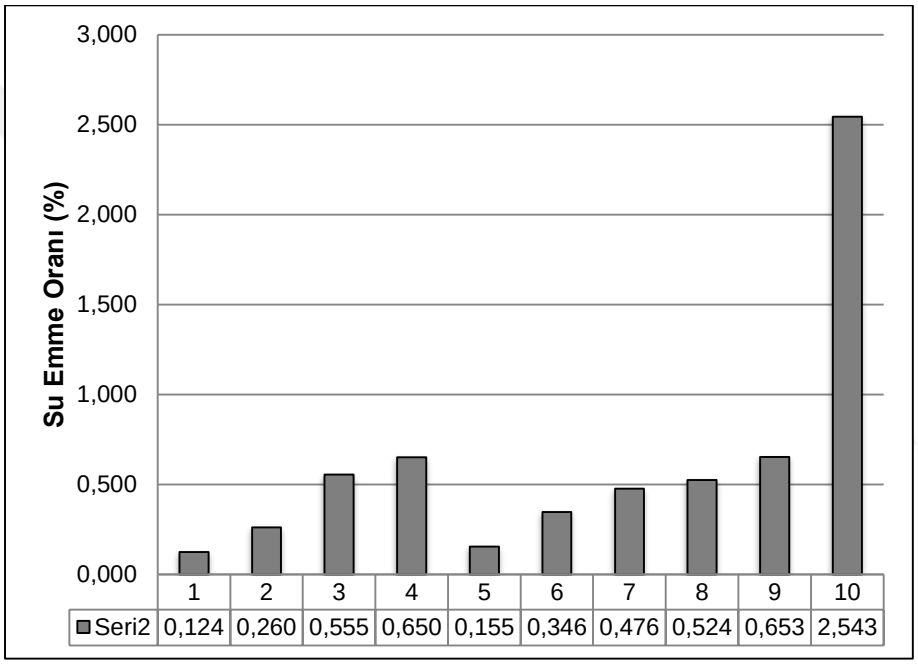


Şekil 4.37. Doygun Birim Hacim Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi



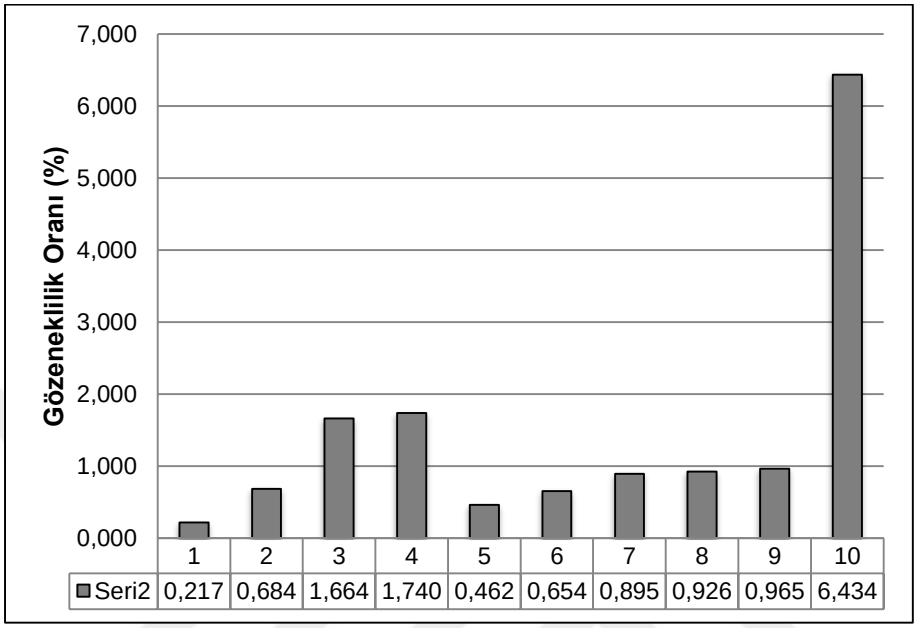
Şekil 4.38. Kuru Birim Hacim Ağırlığı Ortalama Değerlerinin Değişimi

Şekil (4.37-4.38)'de görüldüğü gibi doygun birim hacim ağırlık değeri ortalama olarak (2,581-2,737) g/cm^3 aralığında ve kuru birim hacim ağırlık değeri ortalama olarak (2,557-2,731) g/cm^3 değişmektedir. Diyarbakır kireçtaşı en düşük ve İskenderun siyah mermeri en yüksek doygun ve kuru birim hacim ağırlığı değerine sahiptir.



Şekil 4.39. Su Emme Ortalama Değerlerinin Değişimi

Şekil (4.39-4.40)'te görüldüğü gibi Diyarbakır kireçtaşı gözenekliliği yüksek olduğu için su emme oranı da yüksektir. Numunelerin su emme oranı değerleri %(0,124-2,543) aralığında ve gözeneklilik oranı değerleri %(0,217-6,434) aralığında değişmektedir. Erdemli kireçtaşı en düşük ve Diyarbakır kireçtaşı en yüksek su emme ve gözeneklilik değerlerine sahiptir.



Şekil 4.40. Gözeneklilik Ortalama Değerlerinin Değişimi

4.4.3. Mermerlerin Mekanik Özellklerinin Belirlenmesi

Mekanik deneyleri gerçekleştirilmesini sağlamak için öncelikle sahadan getirilen numuneleri Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan kesme makinesi ile (5×5×5) cm^3, (4×4×4) cm^3 (5×5×30) cm^3 boyutlarda kesilmiştir (Şekil 4.35). Hazırlanan numuneleri, tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) için, eğilme dayanımı ($\sigma_{eğ}$), darbe dayanımı (Dn) ve Shore sertliği (SH) açıdan test edilmiştir. Darbe dayanımı dışında diğer parametreler için 10 test yaptırılmıştır (Çizelge 4.4). Mekanik Özellikleri değerlerinin ortalaması alınarak (Çizelge 4.5)'te verilmiştir.

Şekil 4.41'de gösterildiği gibi, numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ortalama olarak (55,11-107,42) Mpa aralığında değişmektedir. Erdemli kireçtaşı en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük tek eksenli basınç dayanımı değerlerine sahiptir.

Çizelge 4.4. Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Test Sonuçları

Numune	Deney Sayısı	σ_b (Mpa)	$\sigma_{eğ}$ (Mpa)	SH	D_n (Mpa)
Erdemli Kireçtaşı	1	114,62	11,02	42,50	20,00
	2	113,21	10,57	41,50	20,00
	3	112,63	10,44	41,50	20,00
	4	109,22	10,27	40,50	20,00
	5	108,26	10,90	40,50	12,00
	6	106,24	10,89	40,00	---
	7	105,24	10,87	40,00	---
	8	102,86	10,66	39,50	---
	9	101,05	10,66	39,00	---
	10	100,91	10,36	39,00	---
Sivas Gri Mermer	1	99,60	9,52	38,60	20,00
	2	98,50	9,52	38,50	20,00
	3	98,70	9,54	37,50	20,00
	4	97,80	9,60	37,00	12,00
	5	97,80	9,60	37,00	12,00
Silifke Dolomitik Kireçtaşı	1	92,16	9,37	36,80	20,00
	2	96,39	9,33	36,80	20,00
	3	95,82	9,27	36,70	12,00
	4	95,81	9,22	36,50	12,00
	5	95,37	9,20	36,20	12,00
	6	94,61	9,20	36,10	---
	7	93,19	9,20	36,00	---
	8	92,94	9,11	35,80	---
	9	91,89	9,11	35,60	---
	10	91,64	9,10	35,50	---
Adıyaman Dolomitik Kireçtaşı	1	84,67	8,39	35,80	20,00
	2	84,11	8,39	35,80	12,00
	3	83,95	8,24	35,60	12,00
	4	84,12	8,14	35,40	12,00
	5	86,42	8,04	35,20	12,00
	6	83,65	8,00	35,10	---
	7	86,43	7,99	34,90	---
	8	83,13	7,98	34,80	---
	9	85,58	7,83	34,50	---
	10	87,41	7,66	34,20	---

Çizelge 4.4'ün devamı

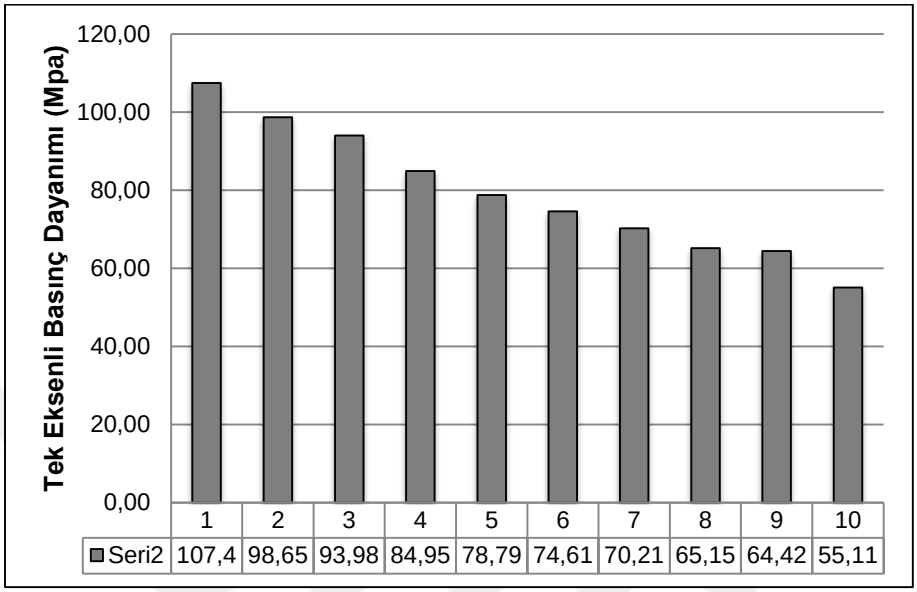
İskenderun Siyah Mermer	1	82,17	7,66	40,80	12,00
	2	82,14	7,58	40,50	12,00
	3	81,11	7,56	40,30	12,00
	4	80,13	7,46	40,20	6,00
	5	77,82	7,43	40,00	6,00
	6	77,73	7,40	39,80	---
	7	76,97	7,33	39,60	---
	8	76,86	7,21	39,50	---
	9	76,84	7,20	39,50	---
	10	76,18	7,19	39,50	---
Bilecek Gri Mermer	1	75,83	7,15	31,80	12,00
	2	75,82	7,15	31,60	12,00
	3	75,63	7,10	31,50	6,00
	4	75,53	7,03	31,20	6,00
	5	75,47	7,01	30,60	6,00
	6	74,92	7,01	30,50	---
	7	74,53	7,01	30,50	---
	8	74,44	7,00	30,00	---
	9	74,12	7,00	29,80	---
	10	73,43	7,00	29,60	---
	11	73,43	6,99	29,50	---
	12	72,23	6,98	29,50	---
Karaman Gri Mermer	1	72,15	6,98	29,30	12,00
	2	71,26	6,96	29,20	6,00
	3	70,55	6,93	29,00	6,00
	4	70,22	6,93	28,80	6,00
	5	70,18	6,92	28,70	2,00
	6	69,86	6,91	28,60	---
	7	69,64	6,91	28,60	---
	8	69,44	6,87	28,50	---
	9	68,63	6,86	28,00	---
Konya Gri Mermer	1	68,43	6,86	27,90	6,00
	2	67,25	6,86	27,60	6,00
	3	67,13	6,86	27,60	6,00
	4	67,01	6,82	27,50	2,00
	5	65,61	6,82	27,30	2,00
	6	65,18	6,82	27,00	---
	7	60,43	6,76	26,90	---
	8	60,13	6,76	26,50	---

Çizelge 4.4'ün devamı

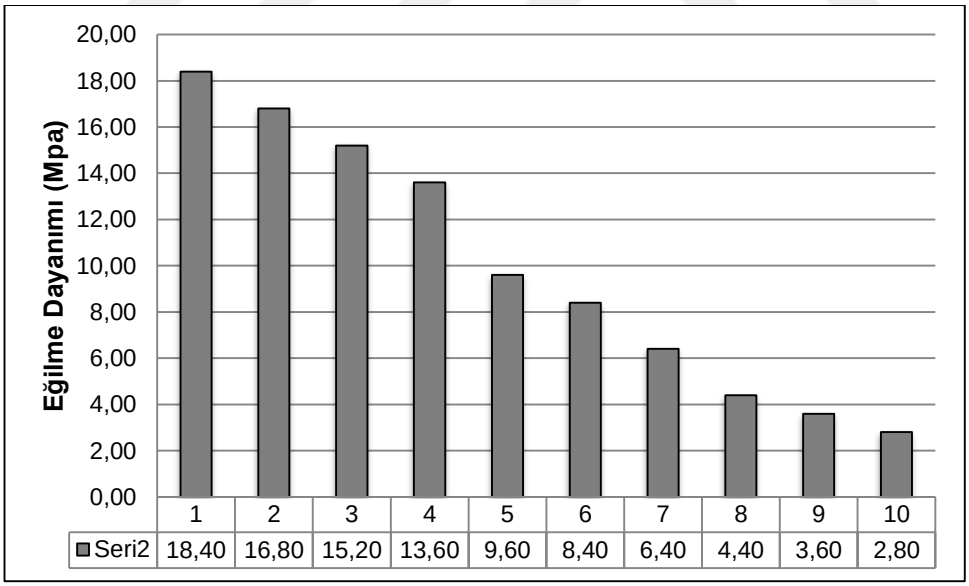
Pozantı Kireçtaşı	1	66,24	6,73	26,30	6,00
	2	65,78	6,73	26,20	6,00
	3	65,59	6,62	26,20	2,00
	4	65,39	6,60	26,00	2,00
	5	65,33	6,59	25,80	2,00
	6	64,45	6,58	25,50	---
	7	64,00	6,53	25,50	---
	8	63,56	6,53	25,30	---
	9	62,43	6,48	25,20	---
	10	61,42	6,21	25,00	---
Diyarbakır Kireçtaşı	1	56,79	5,99	23,20	6,00
	2	56,78	5,89	23,00	2,00
	3	56,24	5,58	22,60	2,00
	4	55,99	5,50	22,50	2,00
	5	55,92	5,43	22,50	2,00
	6	55,49	5,40	22,00	---
	7	55,24	5,35	21,80	---
	8	54,69	5,30	21,60	---
	9	52,86	5,15	21,50	---
	10	51,13	5,15	21,00	---

Çizelge 4.5. Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Ortalama Değerleri

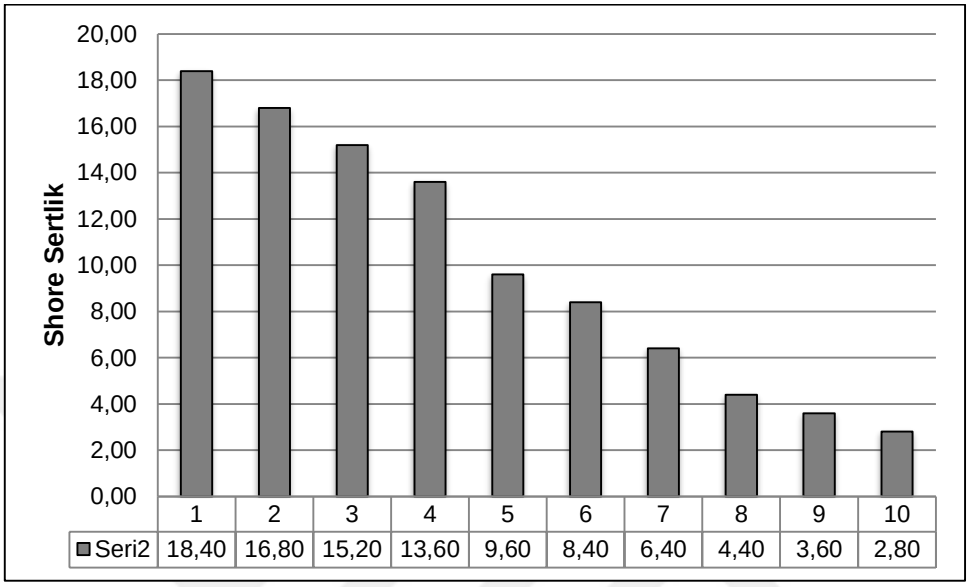
No	σ_b (Mpa)	$\sigma_{eğ}$ (Mpa)	SH	D_n, (Mpa)
1	107,42	10,66	40,40	18,40
2	98,65	9,55	37,90	16,80
3	93,98	9,21	36,20	15,20
4	84,94	8,06	35,13	13,60
5	78,79	7,40	39,97	9,60
6	74,61	7,03	30,51	8,40
7	70,21	6,92	28,74	6,40
8	65,14	6,82	27,29	4,40
9	64,41	6,56	25,70	3,60
10	55,11	5,47	22,17	2,80



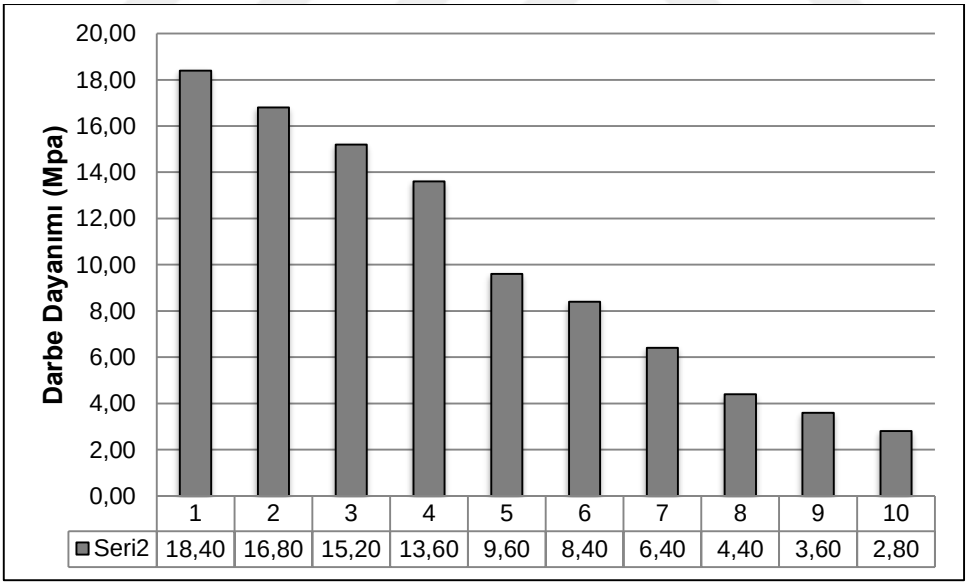
Şekil 4.41. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.42. Eğilme Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.43. Shore Sertlik Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.44. Darbe Dayanımı Ortalama Değerlerinin Değişimi

Şekil 4.42'de gösterildiği gibi, numunelerin eğilme dayanımı ortalama olarak (5,47-10,66) Mpa aralığında değişmektedir. Erdemli kireçtaşı en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük eğilme dayanımı değerine sahiptir.

Şekil 4.43'te gösterildiği gibi, numunelerin Shore sertliği ortalama olarak (22,17-40,4) aralığında değişmektedir. Erdemli kireçtaşı en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük shore sertliği değerine sahiptir.

Şekil 4.44'te gösterildiği gibi numunelerin darbe dayanımı ortalama olarak (2,8-18,4) Mpa aralığında değişmektedir. Erdemli kireçtaşı en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük darbe dayanımı değerine sahiptir.

4.4.4. Mermerlerde Ultrasonik Dalga Hızının Belirlenmesi

Numuneleri doygun ve kuru P-S dalga hızı açıdan incelemek için kesme makinesi ile (5×5×5) cm^3 ve (4×4×4) cm^3 boyutlarda kesilmiştir (Şekil 4.35). Kesilen numunelerin yüzeyleri tamamen düzleştirildikten sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Her numune üzerinde 10 test yapılmıştır (Çizelge 4.6). Doygun P dalga hızı (Vp_d), kuru P dalga hızı (Vp_k), doygun S dalga hızı (Vs_d) ve kuru S dalga hızı (Vs_k) değerleri ortalama olarak (Çizelge 4.7)'de verilmiştir.

(Şekil 4.45 ve Şekil 4.46)'da gösterildiği gibi, doygun P dalga hızı ortalama olarak (4,613-6,483) km/sn ve kuru P dalga hızı ortalama olarak (3,945-6,407) km/sn aralığında değişmektedir. Sivas gri mermer en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük (Vp_d) ve (Vp_k) değerlerine sahiptir.

(Şekil 4.47 ve Şekil 4.48)'de gösterildiği gibi, doygun S dalga hızı ortalama olarak (2,92-4,246) km/sn ve kuru S dalga hızı ortalama olarak (2,497-4,191) km/sn aralığında değişmektedir. Sivas gri mermer en yüksek ve Diyarbakır kireçtaşı en düşük (Vs_d) ve (Vs_k) değerlerine sahiptir

Çizelge 4.6. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızının Test Sonuçları

Numune	Deney Sayısı	Vp_d (Km/sn)	Vp_k (Km/sn)	Vs_d (Km/sn)	Vs_k (Km/sn)
Erdemli Kireçtaşı	1	6,568	6,427	4,321	4,228
	2	6,493	6,408	4,272	4,216
	3	6,474	6,398	4,259	4,209
	4	6,462	6,397	4,251	4,208
	5	6,452	6,382	4,245	4,199
	6	6,429	6,382	4,230	4,199
	7	6,428	6,358	4,229	4,183
	8	6,416	6,324	4,221	4,161
	9	6,410	6,321	4,217	4,158
	10	6,410	6,312	4,217	4,153
Sivas Gri Mermer	1	6,498	6,413	4,219	4,164
	2	6,487	6,410	4,213	4,163
	3	6,482	6,405	4,209	4,159
	4	6,466	6,401	4,199	4,157
Silifke Dolomitik Kireçtaşı	1	6,325	6,107	4,054	3,914
	2	6,318	6,106	4,050	3,914
	3	6,284	6,106	4,028	3,914
	4	6,284	6,106	4,028	3,914
	5	6,205	6,106	3,977	3,914
	6	6,195	6,105	3,971	3,914
	7	6,192	6,105	3,969	3,913
	8	6,189	6,105	3,967	3,913
	9	6,183	6,103	3,964	3,912
	10	6,168	6,101	3,954	3,911
Adıyaman Dolomitik Kireçtaşı	1	6,123	6,096	3,900	3,883
	2	6,120	6,093	3,898	3,881
	3	6,113	6,087	3,894	3,877
	4	6,112	6,084	3,893	3,875
	5	6,110	6,083	3,892	3,874
	6	6,110	6,082	3,892	3,874
	7	6,110	6,074	3,892	3,869
	8	6,108	6,073	3,891	3,868
	9	6,108	6,061	3,890	3,861
	10	6,105	6,039	3,889	3,846

Çizelge 4.6'ının devamı

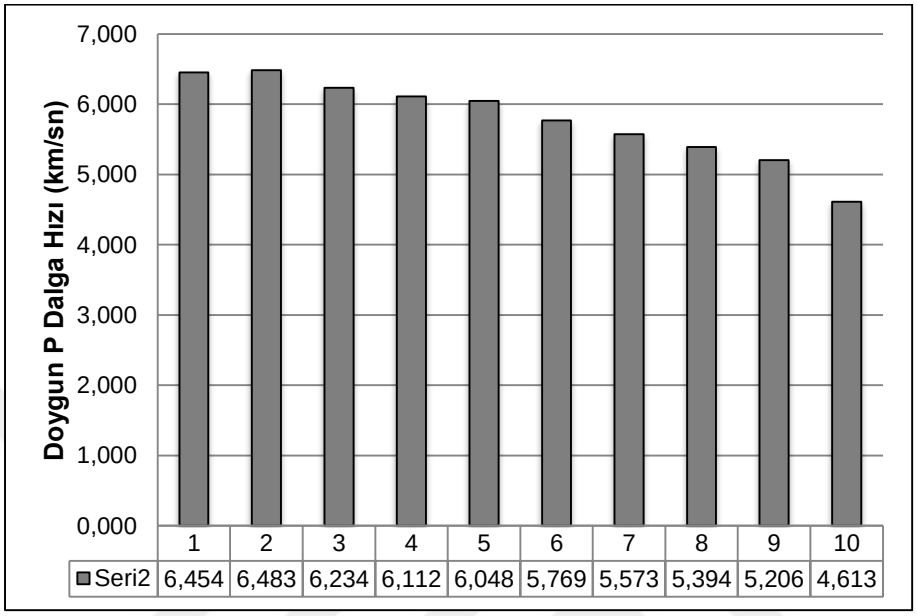
İskenderun Siyah Mermer	1	6,097	6,090	3,859	3,854
	2	6,083	6,077	3,850	3,846
	3	6,077	6,067	3,846	3,840
	4	6,077	6,056	3,846	3,833
	5	6,070	6,055	3,842	3,832
	6	6,064	6,055	3,838	3,832
	7	6,053	6,045	3,831	3,826
	8	5,996	5,927	3,795	3,751
	9	5,992	5,893	3,792	3,731
	10	5,975	5,883	3,782	3,730
Bilecek Gri Mermer	1	5,968	5,857	3,777	3,684
	2	5,965	5,844	3,775	3,675
	3	5,925	5,822	3,750	3,661
	4	5,864	5,813	3,711	3,656
	5	5,827	5,798	3,688	3,647
	6	5,722	5,713	3,621	3,593
	7	5,722	5,712	3,621	3,592
	8	5,682	5,636	3,596	3,545
	9	5,657	5,624	3,581	3,537
	10	5,639	5,615	3,569	3,531
	11	5,633	5,613	3,565	3,530
	12	5,629	5,543	3,563	3,486
Karaman Gri Mermer	1	5,616	5,488	3,554	3,473
	2	5,615	5,485	3,554	3,472
	3	5,605	5,476	3,548	3,466
	4	5,603	5,468	3,546	3,461
	5	5,600	5,468	3,544	3,461
	6	5,574	5,466	3,528	3,460
	7	5,564	5,465	3,522	3,459
	8	5,549	5,464	3,512	3,458
	9	5,433	5,412	3,439	3,425
Konya Gri Mermer	1	5,524	5,452	3,496	3,451
	2	5,482	5,410	3,470	3,424
	3	5,482	5,356	3,470	3,390
	4	5,384	5,335	3,408	3,376
	5	5,352	5,329	3,388	3,373
	6	5,343	5,290	3,382	3,348
	7	5,293	5,265	3,350	3,332
	8	5,288	5,255	3,347	3,326

Çizelge 4.6'ının devamı

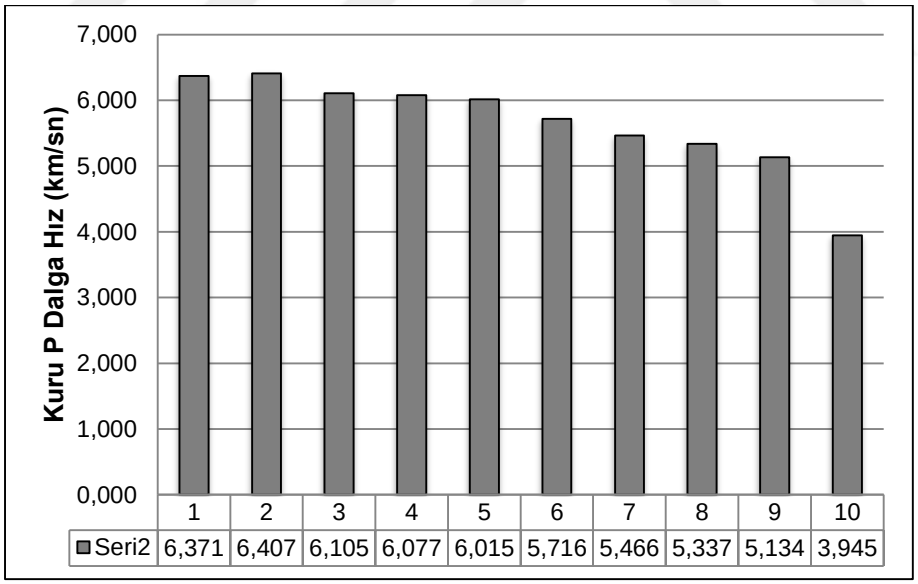
Pozantı Kireçtaşı	1	5,263	5,234	3,331	3,313
	2	5,258	5,182	3,328	3,280
	3	5,256	5,181	3,326	3,279
	4	5,234	5,164	3,313	3,269
	5	5,226	5,164	3,307	3,269
	6	5,217	5,143	3,302	3,255
	7	5,181	5,122	3,279	3,242
	8	5,168	5,121	3,271	3,241
	9	5,151	5,021	3,260	3,178
	10	5,106	5,006	3,232	3,168
Diyarbakır Kireçtaşı	1	4,863	4,195	3,078	2,655
	2	4,731	4,063	2,994	2,572
	3	4,731	4,063	2,994	2,571
	4	4,667	3,999	2,954	2,531
	5	4,588	3,920	2,904	2,481
	6	4,570	3,902	2,893	2,470
	7	4,551	3,883	2,880	2,458
	8	4,542	3,874	2,875	2,452
	9	4,468	3,800	2,828	2,405
	10	4,418	4,418	2,796	2,796

Çizelge 4.7. P ve S Dalga Hızının Ortalma Değerleri

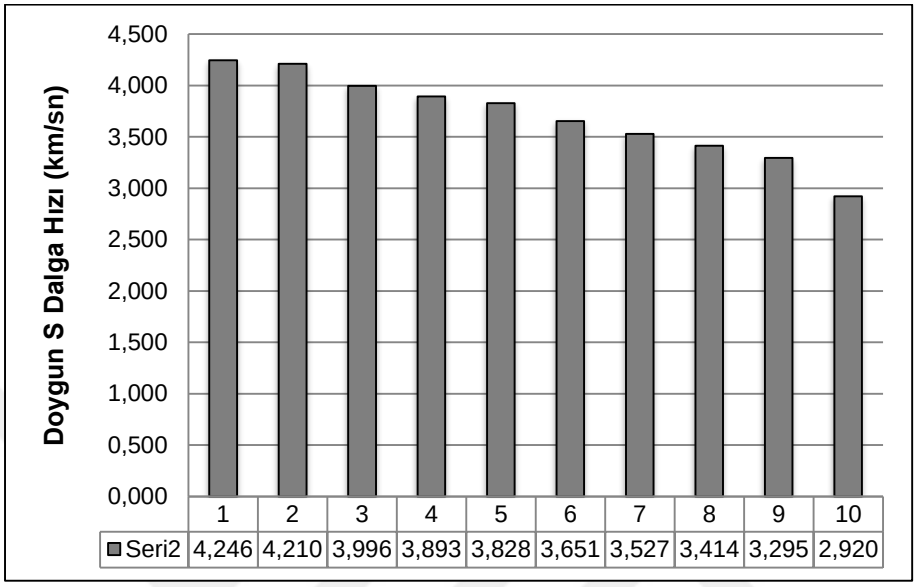
No	**Vp_d (Km/sn)**	**Vp_k (Km/sn)**	**Vs_d (Km/sn)**	**Vs_k, (Km/sn)**
1	6,454	6,371	4,246	4,191
2	6,483	6,407	4,210	4,161
3	6,234	6,105	3,996	3,913
4	6,112	6,077	3,893	3,871
5	6,048	6,015	3,828	3,808
6	5,769	5,716	3,651	3,595
7	5,573	5,466	3,527	3,459
8	5,394	5,337	3,414	3,378
9	5,206	5,134	3,295	3,249
10	4,613	3,945	2,920	2,497



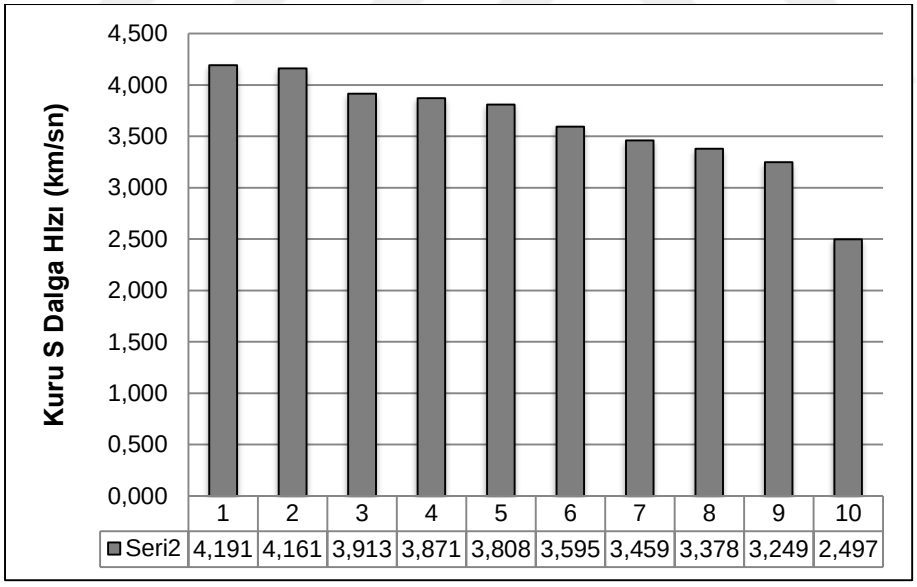
Şekil 4.45. Doygun P Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.46. Kuru P Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.47. Doygun S Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi



Şekil 4.48. Kuru S Dalga Hızı Ortalama Değerlerinin Değişimi

4.5. İstatistiksel Analiz

4.5.1. Ultrasonik Dalga Hızı kullanılarak Basit Regresyon Analiziyle Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Tahmini

Farklı mermerlerin özgül ağırlığı (Gs), doygun birim hacim ağırlığı (ρ_d), kuru birim hacım ağırlığı (ρ_k), su emme oranı (c), gözeneklilik oranı (n) ile doygun ve kuru P dalga hızı, doygun ve kuru S dalga hızı arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla basit regresyon analizi kullanılarak doğrusal, logaritmik, kuadratik, kübik, üstel ve güç gibi modeller ile tek tek incelenmiştir. Modellerin anlamlı olup olmadığını belirlenmek için analiz soncunda oluşan varyans tablosundaki değerler tek tek incelenmiştir. Tüm modellerde p değeri (p= 0,05)'ten küçük olduğunda %95 güvenli olduğunu bulunmuştur. Modeller birbirleriyle hata kareler ortalaması (HKO) ve korelasyon katsayısı (R^2) değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.8. Fiziksel Özellikleri ile Doygun P Dalga Hızı (Vp_d) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	HKO ve R^2	Bağımlı Değişken				
		G_s	ρ_d	ρ_k	c	n
Doğrusal	HKO	$5{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}03\cdot10^{-4}$	$4{,}4\cdot10^{-4}$	0,182	1,677
	R^2	64,06	74,73	82,9	62,1	47,79
Logaritmik	HKO	$1\cdot10^{-3}$	$3{,}1\cdot10^{-4}$	$5{,}05\cdot10^{-4}$	0,16	1,513
	R^2	64,6	74	84,3	66,6	52,9
Kuadratik	HKO	$6{,}1\cdot10^{-4}$	$3{,}07\cdot10^{-4}$	$3{,}7\cdot10^{-4}$	0,066	0,677
	R^2	60,71	74,74	85,7	86,3	78,69
Kübik	HKO	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$	0,0421	0,553
	R^2	83,81	79,47	85,9	**91,13**	87,1
Güç	HKO	$\mathbf{7{,}4\cdot10^{-5}}$	$4{,}3\cdot10^{-5}$	$\mathbf{5.7\cdot10^{-5}}$	**0,255**	**0,434**
	R^2	**65,1**	74,5	**84,7**	63,5	**45,8**
Üstel	HKO	$7{,}5\cdot10^{-5}$	$\mathbf{4{,}2\cdot10^{-5}}$	$6.2\cdot10^{-5}$	0,264	0,449
	R^2	64,4	**74,9**	83,3	62,2	44
Seçilen model		**Güç**	**Üstel**	**Güç**	**kübik**	**Güç**

Çizelge 4.9. Fiziksel Özellikleri ile Kuru P Dalga Hızı (Vp_k) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	**HKO ve R^2**	**Bağımlı Değişken**				
		G_s	**ρ_d**	**ρ_k**	**c**	**n**
Doğrusal	HKO	$6{,}1\cdot10^{-4}$	$3{,}51\cdot10^{-4}$	$4{,}39\cdot10^{-4}$	0.1079	1.113
	R^2	60,61	70,5	82,75	77,23	64,98
Logaritmik	HKO	0,001	$3{,}95\cdot10^{-4}$	$4{,}7\cdot10^{-4}$	0,081	0,908
	R^2	58,2	67,2	81,5	83,0	71,4
Kuadratik	HKO	$6{,}7\cdot10^{-4}$	$3{,}08\cdot10^{-4}$	$4{,}4\cdot10^{-4}$	0.0322	0,362
	R^2	56,44	74,1	82,7	93,21	88,85
Kübik	HKO	$3\cdot10^{-4}$	$2{,}6\cdot10^{-4}$	$3{,}52\cdot10^{-4}$	**0.0282**	**0,293**
	R^2	80,9	78,1	86,1	**94,04**	**90,78**
Güç	HKO	$8{,}7\cdot10^{-5}$	$5{,}4\cdot10^{-5}$	$6{,}5\cdot10^{-5}$	0.221	0.362
	R^2	58,8	67.7	82,4	68,1	54,4
Üssel	HKO	**$8{,}2\cdot10^{-5}$**	**$4{,}9\cdot10^{-5}$**	**$6{,}1\cdot10^{-5}$**	0.222	0,376
	R^2	**61,1**	**71.0**	**83,4**	68.0	52,6
Seçilen model		**Üstel**	**Üstel**	**Üstel**	**Kübik**	**Kübik**

Çizelge 4.10. Fiziksel Özellikleri ile Doygun S Dalga Hızı (Vs_d) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmeler

Modeller	**HKO ve R^2 Değerleri**	**Bağımlı Değişken**				
		G_s	**ρ_d**	**ρ_k**	**c**	**n**
Doğrusal	HKO	$6{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}51\cdot10^{-4}$	$5{,}89\cdot10^{-4}$	0,2071	1,797
	R^2	57,73	70,53	76,85	56,31	43,45
Logaritmik	HKO	$1\cdot10^{-3}$	$3{,}4\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	0,179	1,62
	R^2	59,6	71,1	79,9	62,3	49
Kuadratik	HKO	$6{,}1\cdot10^{-4}$	$3{,}3\cdot10^{-4}$	$3{,}8\cdot10^{-4}$	**0,0682**	1,464
	R^2	59,94	71,85	84,97	**83,51**	53,9
Kübik	HKO	$2{,}2\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}1\cdot10^{-4}$	0,078	0,47
	R^2	85,53	78,28	87,52	92	85,35
Güç	HKO	**$8{,}4\cdot10^{-5}$**	**$4{,}7\cdot10^{-5}$**	**$7{,}2\cdot10^{-5}$**	0,255	**0,427**
	R^2	**60,02**	**71,6**	**80,3**	63,1	**46,1**
Üssel	HKO	$8{,}9\cdot10^{-5}$	$7{,}8\cdot10^{-5}$	$8{,}2\cdot10^{-5}$	0,267	0,441
	R^2	58	70,9	77,6	61,5	44,3
Seçilen model		**Güç**	**Güç**	**Güç**	**Kuadratik**	**Güç**

Çizelge 4.11. Fiziksel Özellikleri ile Kuru S Dalga Hızı (Vs_k) Arasındaki İlişkinin Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	HKO ve R^2	Bağımlı Değişken				
		G_s	ρ_d	ρ_k	c	n
Doğrusal	HKO	$6{,}1\cdot10^{-4}$	$3{,}64\cdot10^{-4}$	$5{,}16\cdot10^{-4}$	0,1284	1,244
	R^2(%)	57,41	69,41	79,7	72,91	60,84
Logaritmik	HKO	$1\cdot10^{-4}$	$3{,}93\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	0,095	1,009
	R^2(%)	56,6	66,9	80	79,9	68,3
Kuadratik	HKO	$7{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$	0,0371	0,435
	R^2(%)	51,39	69,76	80,04	92,18	86,32
Kübik	HKO	$2{,}2\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}59\cdot10^{-4}$	**0,0266**	**0,26**
	R^2(%)	85,66	78,95	86,35	**94,38**	**91,84**
Güç	HKO	$9{,}1\cdot10^{-5}$	$5{,}4\cdot10^{-5}$	$\mathbf{7{,}1\cdot10^{-5}}$	0,215	0,355
	R^2(%)	57,2	67,4	**80,6**	68,9	55,3
Üssel	HKO	$\mathbf{8{,}9\cdot10^{-5}}$	$\mathbf{5\cdot10^{-5}}$	$7{,}2\cdot10^{-4}$	0,219	0,37
	R^2(%)	**57,8**	**69,7**	80,4	68,3	53,4
Seçilen Model		**Üstel**	**Üstel**	**Güç**	**Kübik**	**Kübik**

Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın olan R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun model olarak karar verilmiştir. Mermerin fiziksel özellikleri ile Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için uygulanan farklı modeller Çizelge (4.8-4.11) 'de verilmiştir.

4.5.1.1. Özgül Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelge (4.8-4.11) birinci sütunlarınd farklı regresyon modelleri ile incelenen özgül ağırlık ile doygun ve kuru durumdaki P-S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, daha yüksek hata kareler ortalaması (HKO) nedeniyle

seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Özgül ağırlık ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $7{,}4\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %61,1) sahip olan güç modeli, Özgül ağırlık ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $8{,}2\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %65,1) sahip üstel modeli, Özgül ağırlık ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $8{,}4\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %60,02) sahip olan güç modeli ve Özgül ağırlık ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $8{,}9\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %57,8) sahip olan üstel modeliξ ygun model olarak seçilmiştir.

eşitlik (4.1-4.4)'ta sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızları bağımısız değişken olarak kullanılmış ve özgül ağırlığı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.49-4.52)'de, özgül ağırlığının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.12-4.15)'te doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen özgül ağırlık değerini göstermektedir.

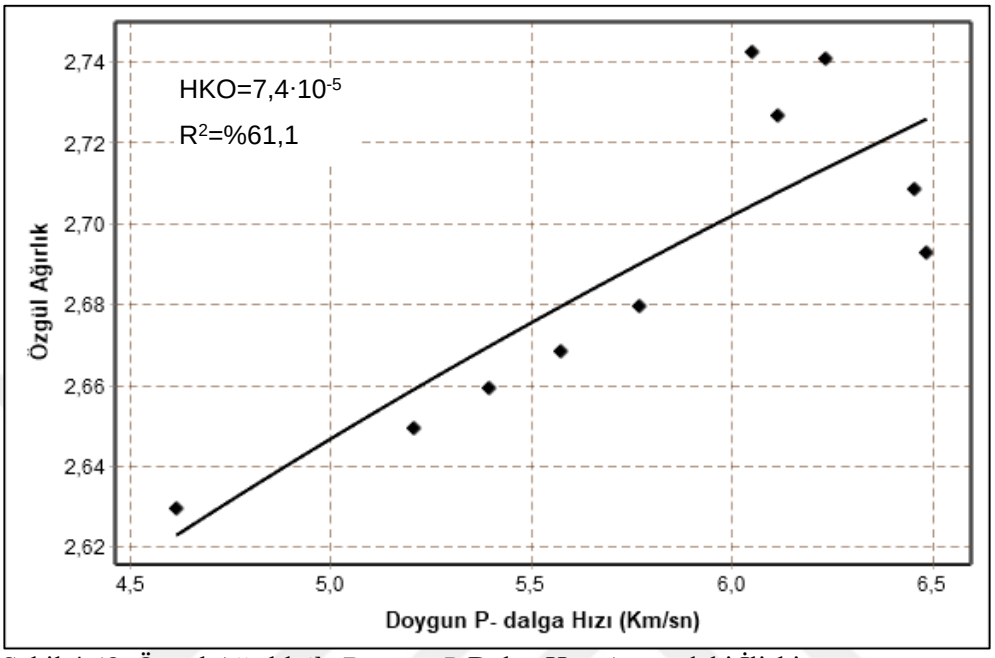
Not: Daha önce bahsedildiği gibi, ultrasonik dalga hızı her numunede on test gerçekleştirilirken, özgül ağırlığı her numunede iki test yaptırılmıştır. Bu durumda P ve S dalga hızı ile özgül ağırlık arasında basıt regresyon analiz ile ilişki bulamadığı için ortalamasını alındıktan sonar aralarındaki ilişkiyi incelenmiştir.

$$G_s = 2{,}209 \times Vp_d{}^{0{,}112} \tag{4.1}$$

$$G_s = 2{,}459 \times e^{0{,}016 \times Vp_k} \tag{4.2}$$

$$G_s = 2{,}362 \times Vs_d{}^{0{,}1} \tag{4.3}$$

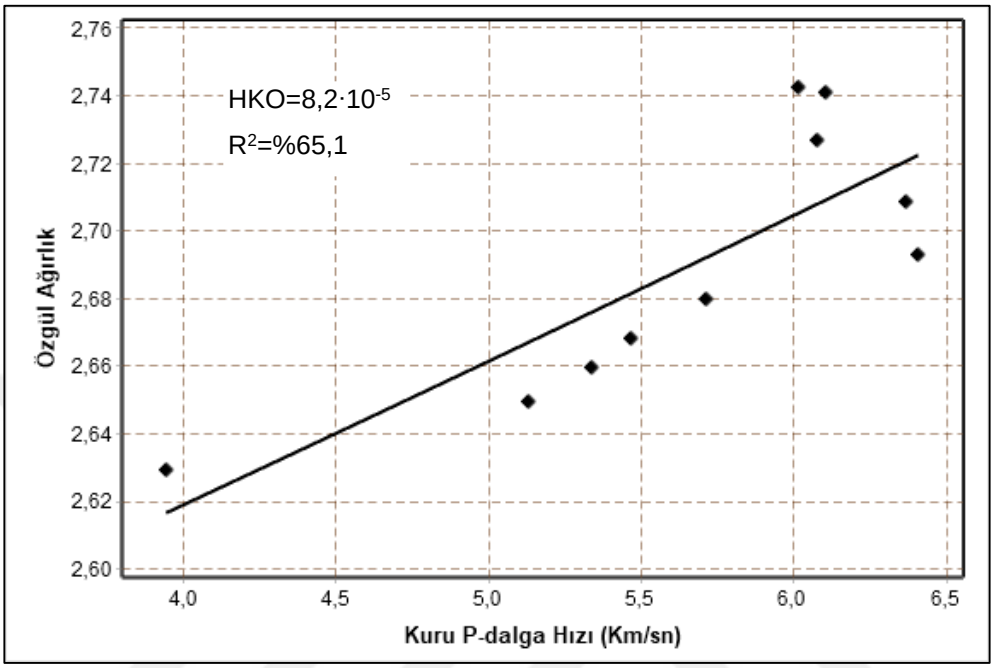
$$G_s = 2{,}477 \times e^{0{,}023 \times Vs_k} \tag{4.4}$$



Şekil 4.49. Özgül Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.12. Vp_d Otalama Değerleri Kullanılarak Gs Ortalma Değerlerinin Tahmini

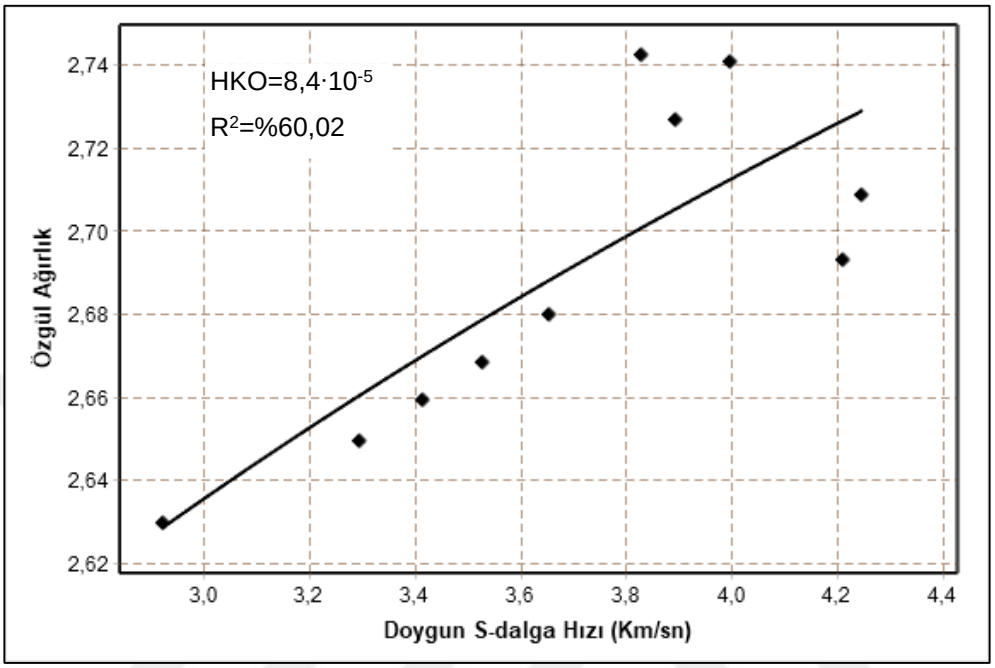
No	Ölçülen, Vp_d (km/sn)	Ölçülen, Gs	Tahmin Edilen, G_s	Artık
1	6,454	2,709	2,722	-0,013
2	6,483	2,693	2,723	-0,030
3	6,234	2,741	2,712	0,030
4	6,112	2,727	2,705	0,022
5	6,048	2,743	2,702	0,040
6	5,769	2,680	2,688	-0,008
7	5,573	2,669	2,678	-0,009
8	5,394	2,660	2,668	-0,008
9	5,206	2,650	2,657	-0,008
10	4,613	2,630	2,622	0,008



Şekil 4.50. Özgül Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.13. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak Gs Ortalma Değerlerinin Tahmini

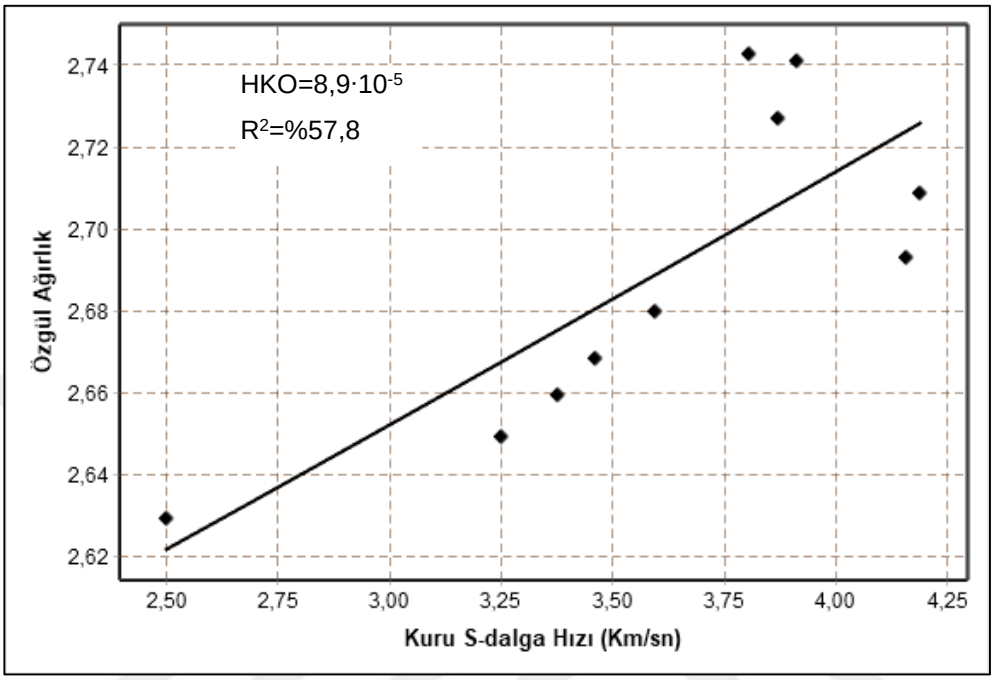
No	Ölçülen, Vp_k (km/sn)	Ölçülen, G_S	Tahmin Edilen, G_S	Artık
1	6,371	2,709	2,763	-0,054
2	6,407	2,693	2,765	-0,072
3	6,105	2,741	2,750	-0,009
4	6,077	2,727	2,748	-0,021
5	6,015	2,743	2,745	-0,002
6	5,716	2,680	2,730	-0,050
7	5,466	2,669	2,718	-0,049
8	5,337	2,660	2,711	-0,052
9	5,134	2,650	2,701	-0,052
10	3,945	2,630	2,643	-0,014



Şekil 4.51. Özgül Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.14. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak G_S Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_d (km/sn)	Ölçülen, G_S	Tahmin Edilen, G_S	Artık
1	4,246	2,709	2,729	-0,054
2	4,210	2,693	2,727	-0,072
3	3,996	2,741	2,713	-0,009
4	3,893	2,727	2,706	-0,021
5	3,828	2,743	2,701	-0,002
6	3,651	2,680	2,689	-0,050
7	3,527	2,669	2,679	-0,049
8	3,414	2,660	2,671	-0,052
9	3,295	2,650	2,661	-0,052
10	2,920	2,630	2,629	-0,014



Şekil 4.52. Özgül Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.15. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak G_S Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_k (km/sn)	Ölçülen, G_S	Tahmin Edilen, G_S	Artık
1	4,191	2,709	2,721	-0,012
2	4,161	2,693	2,720	-0,027
3	3,913	2,741	2,707	0,034
4	3,871	2,727	2,705	0,022
5	3,808	2,743	2,702	0,041
6	3,595	2,680	2,690	-0,010
7	3,459	2,669	2,682	-0,014
8	3,378	2,660	2,678	-0,018
9	3,249	2,650	2,670	-0,020
10	2,497	2,630	2,618	0,012

4.5.1.2. Doygun Birim Hacim Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelge (4.8-4.11) ikinci sütunlarınd farklı regresyon modelleri ile incelenen doygun birim hacim ağırlığ ile doygun ve kuru durumdaki P-S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, daha yüksek hata kareler ortalaması (HKO) nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan modeli seçilmiştir. doygun birim hacim ağırlık ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $4{,}2\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %74,9) sahip olan üstel model, doygun birim hacim ağırlık ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $4{,}9\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %71,0) sahip olan üstel model, doygun birim hacim ağırlık ile doygun S ,dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $4{,}7\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %71,6) sahip olan güç model ve doygun birim hacim ağırlık ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5\cdot10^{-5}$) ve (R^2=%69,7) sahip olan üstel modeli uygun model olarak seçilmiştir.

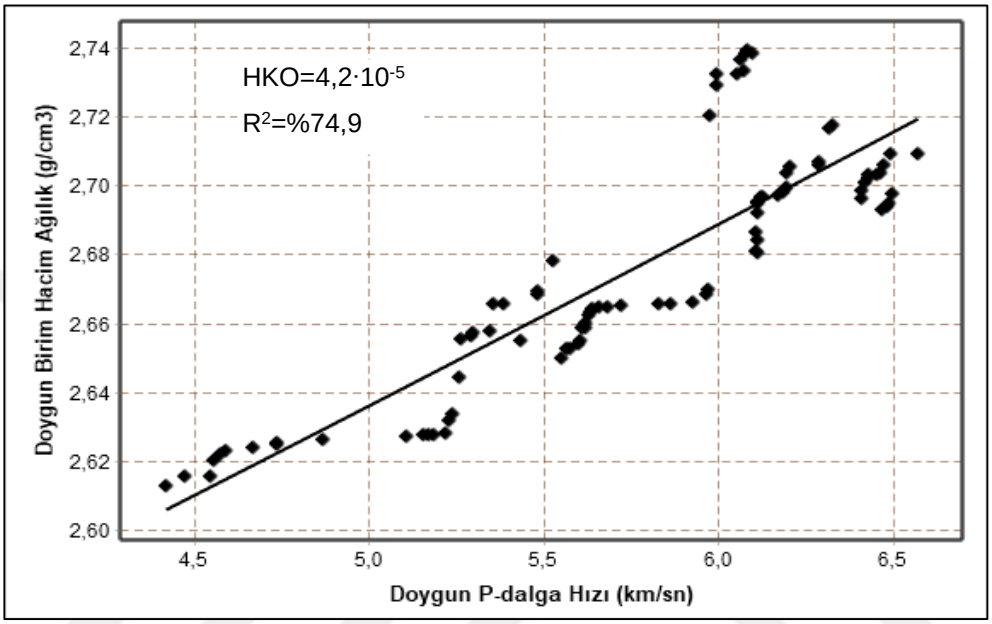
Eşitlik (.45-4.8)'de sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızları bağımısız değişken olarak kullanılmış ve doygun birim hacim ağırlığı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.53-4.56)'da, doygun birim hacim ağırlığının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.16-4.19)'da doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen doygun birim hacim ağırlık değerini göstermektedir.

$$\rho_d = 2{,}391 \times e^{0{,}02 \times Vp_d} \tag{4.5}$$

$$\rho_d = 2{,}457 \times e^{0{,}015 \times Vp_k} \tag{4.6}$$

$$\rho_d = 2{,}359 \times Vs_d^{\,0{,}098} \tag{4.7}$$

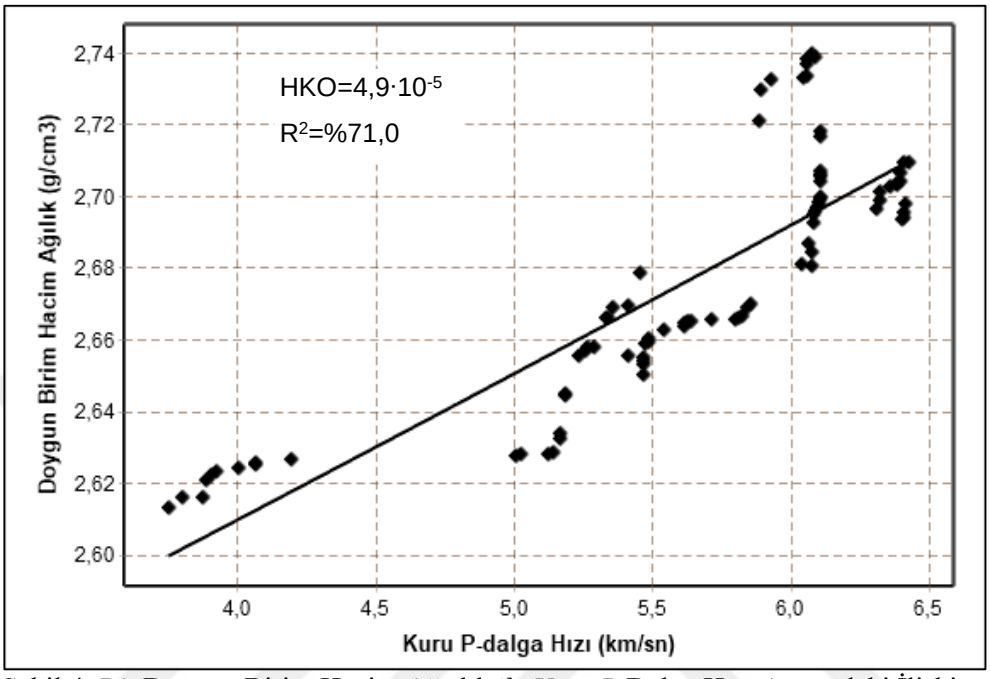
$$\rho_d = 2{,}47 \times e^{0{,}022 \times Vs_k} \quad (4.8)$$



Şekil 4.53. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.16. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini

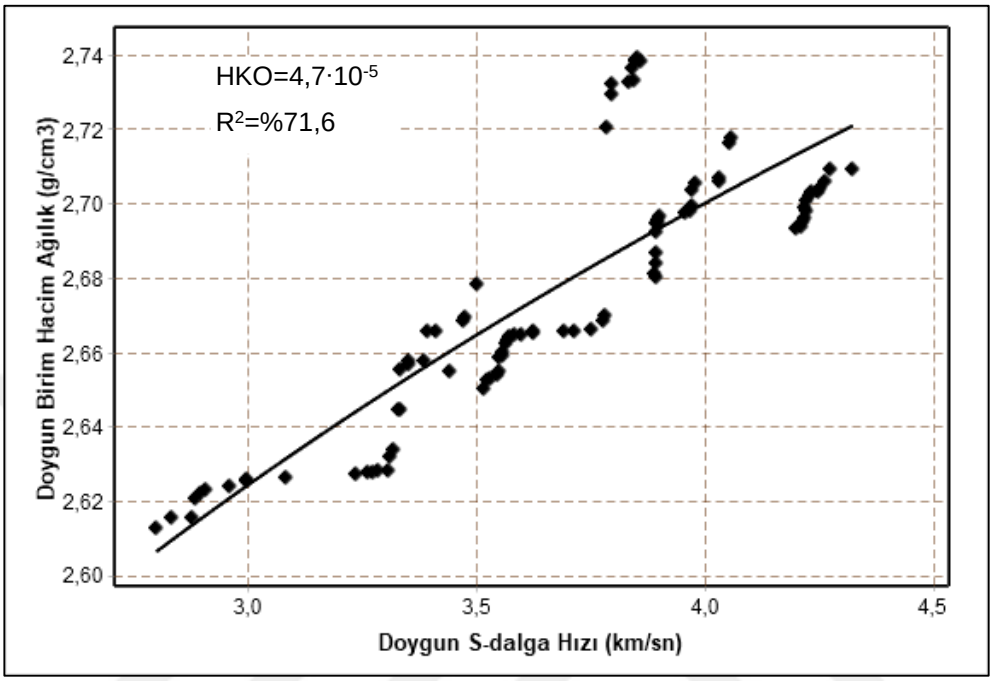
No	Ölçülen, Vp_d (km/sn)	Ölçülen ρ_d (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_d (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	6,454	2,704	2,772	-0,068
2	6,483	2,695	2,773	-0,078
3	6,234	2,705	2,758	-0,052
4	6,112	2,691	2,750	-0,059
5	6,048	2,734	2,746	-0,012
6	5,769	2,666	2,728	-0,063
7	5,573	2,656	2,716	-0,061
8	5,394	2,665	2,705	-0,040
9	5,206	2,635	2,694	-0,058
10	4,613	2,621	2,657	-0,036



Şekil 4. 54. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.17. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalam Değerlerinin Tahmini

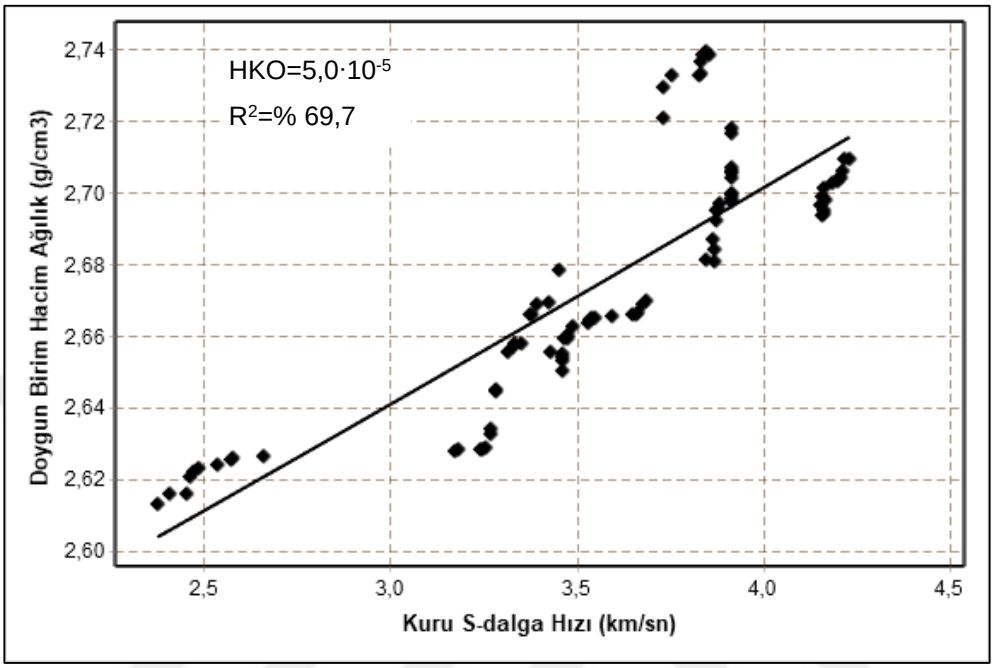
No	Ölçülen, Vp_k (km/sn)	Ölçülen ρ_d (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_d (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	6,371	2,704	2,741	-0,037
2	6,407	2,695	2,743	-0,047
3	6,105	2,705	2,728	-0,023
4	6,077	2,691	2,727	-0,037
5	6,015	2,734	2,724	0,010
6	5,716	2,666	2,710	-0,045
7	5,466	2,656	2,699	-0,043
8	5,337	2,665	2,693	-0,028
9	5,134	2,635	2,683	-0,048
10	3,945	2,621	2,629	-0,008



Şekil 4.55. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.18. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, VS_d (km/sn)	Ölçülen ρ_d (g/cm^3)	Tahmin edilen ρ_d (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	4,246	2,704	2,718	-0,015
2	4,210	2,695	2,716	-0,021
3	3,996	2,705	2,702	0,003
4	3,893	2,691	2,695	-0,005
5	3,828	2,734	2,691	0,044
6	3,651	2,666	2,678	-0,012
7	3,527	2,656	2,669	-0,014
8	3,414	2,665	2,661	0,005
9	3,295	2,635	2,651	-0,016
10	2,920	2,621	2,620	0,001



Şekil 4.56. Doygun Birim Hacim Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.19. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_d Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_k (km/sn)	Ölçülen ρ_d (g/cm^3)	Tahmin edilen ρ_d (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	4,191	2,704	2,745	-0,041
2	4,161	2,695	2,743	-0,047
3	3,913	2,705	2,726	-0,020
4	3,871	2,691	2,723	-0,032
5	3,808	2,734	2,718	0,016
6	3,595	2,666	2,704	-0,038
7	3,459	2,656	2,695	-0,039
8	3,378	2,665	2,689	-0,024
9	3,249	2,635	2,681	-0,045
10	2,497	2,621	2,630	-0,009

4.5.1.3. Kuru Birim Ağırlığının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelge (4.8-4.11) üçüncü sütunlarınd farklı regresyon modelleri ile incelenen kuru birim hacim ağırlığ ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, daha yüksek hata kareler ortalaması (HKO) nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5{,}7\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %84,7) sahip olan güç modeli, kuru birim hacim ağırlık ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO=$6{,}1\cdot10^{-5}$) ve (R^2=%83,4) sahip olan üstel modeli, kuru birim hacim ağırlık ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $7{,}2\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %80,3) sahip olan güç modeli ve kuru birim hacim ağırlık ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $7{,}1\cdot10^{-5}$) ve (R^2= %80,6) sahip olan güç modeli uygun model olarak seçilmiştir.

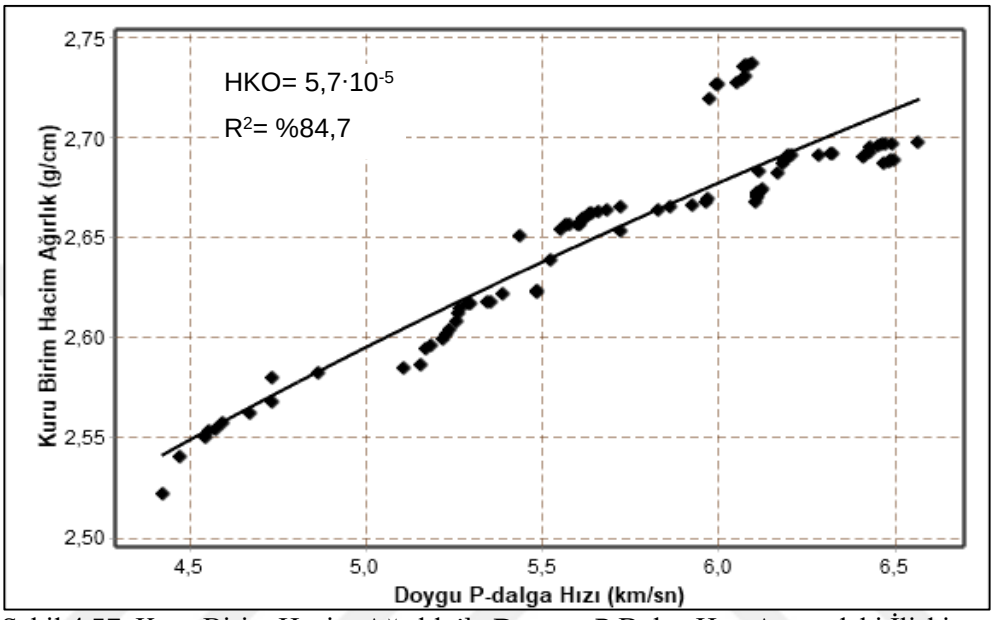
Eşitlik (.49-4.12)'de sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızlarını bağımısız değişken olarak kullanılmış ve kuru birim hacim ağırlığı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.57-4.60)'ta, kuru birim hacim ağırlığının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.20-4,23)'te doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen kuru birim hacim ağırlık değerini göstermektedir.

$$\rho_k = 1{,}976 \times Vp_d^{\,0{,}17} \tag{4.9}$$

$$\rho_k = 2{,}314 \times e^{0{,}025 \times Vp_k} \tag{4.10}$$

$$\rho_k = 2{,}178 \times Vs_d^{\,0{,}153} \tag{4.11}$$

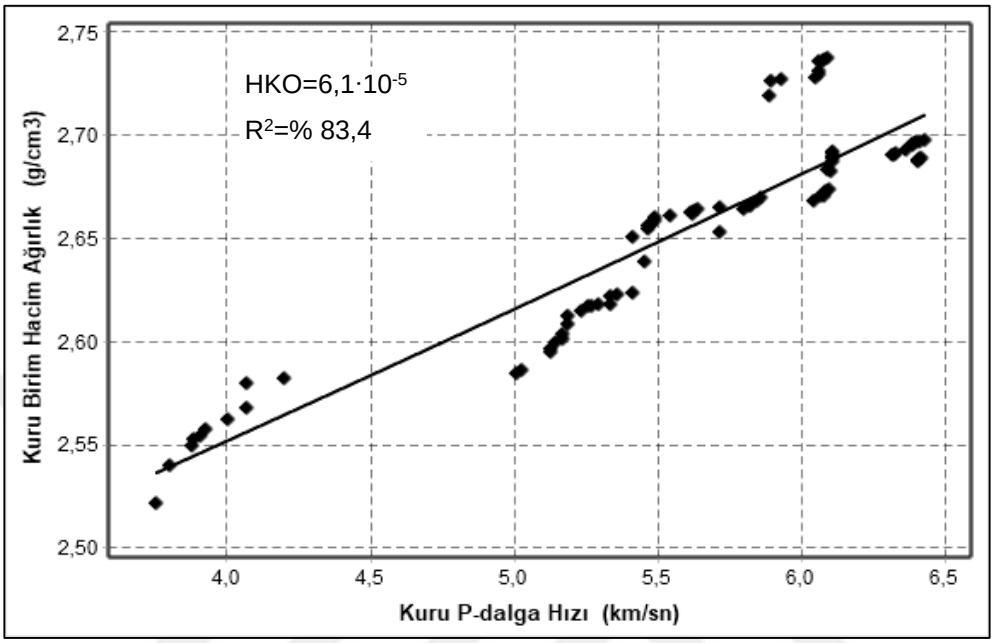
$$\rho_k = 2{,}292 \times Vs_k^{\,0{,}116} \quad (4.12)$$



Şekil 4.57. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.20. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini

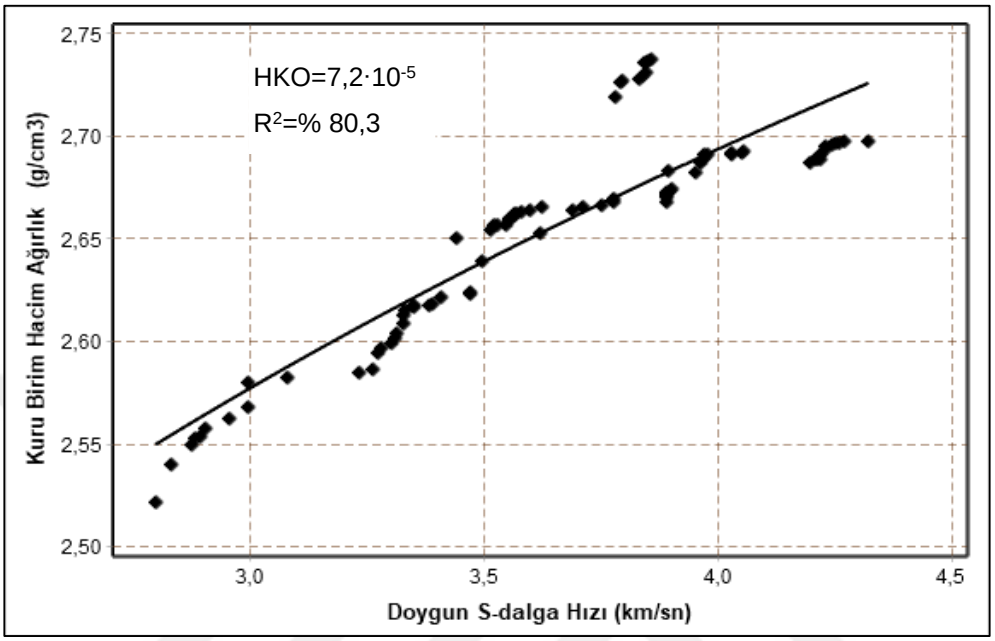
No	Ölçülen, Vp_d (km/sn)	Ölçülen ρ_k (g/cm³)	Tahmin Edilen ρ_d (g/cm³)	Artık (%)
1	6,454	2,694	2,713	-0,019
2	6,483	2,688	2,715	-0,027
3	6,234	2,690	2,697	-0,007
4	6,112	2,673	2,688	-0,015
5	6,048	2,731	2,683	0,047
6	5,769	2,664	2,662	0,002
7	5,573	2,656	2,646	0,010
8	5,394	2,622	2,632	-0,010
9	5,206	2,600	2,616	-0,016
10	4,613	2,557	2,562	-0,006



Şekil 4.58. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.21. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini

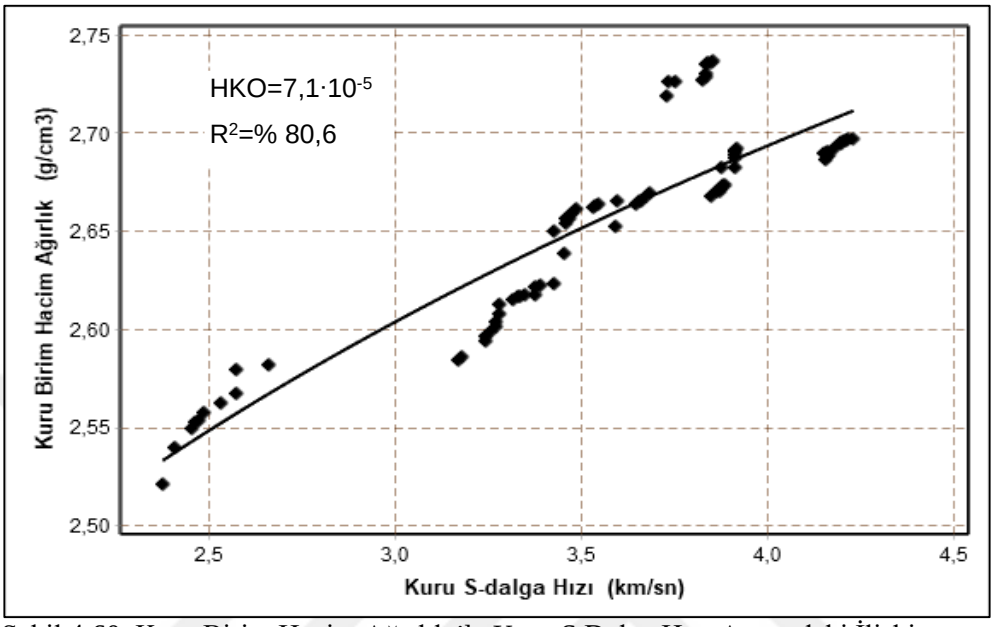
No	Ölçülen, Vp_k (km/sn)	Ölçülen ρ_k (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_k (g/cm^3)	Artık (%)
1	6,371	2,694	2,777	-0,082
2	6,407	2,688	2,779	-0,091
3	6,105	2,690	2,756	-0,066
4	6,077	2,673	2,753	-0,080
5	6,015	2,731	2,748	-0,018
6	5,716	2,664	2,725	-0,061
7	5,466	2,656	2,706	-0,049
8	5,337	2,622	2,696	-0,074
9	5,134	2,600	2,680	-0,080
10	3,945	2,557	2,590	-0,034



Şekil 4.59. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.22. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_d (km/sn)	Ölçülen ρ_k (g/cm^3)	Tahmin Edilen P_k (g/cm^3)	Artık (%)
1	4,246	2,694	2,717	-0,023
2	4,210	2,688	2,714	-0,025
3	3,996	2,690	2,692	-0,002
4	3,893	2,673	2,681	-0,008
5	3,828	2,731	2,675	0,056
6	3,651	2,664	2,655	0,008
7	3,527	2,656	2,641	0,015
8	3,414	2,622	2,628	-0,006
9	3,295	2,600	2,614	-0,014
10	2,920	2,557	2,566	-0,009



Şekil 4.60. Kuru Birim Hacim Ağırlık ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.23. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak ρ_k Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_k (km/sn)	Ölçülen ρ_k (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_k (g/cm^3)	Artık (%)
1	4,191	2,694	2,707	-0,012
2	4,161	2,688	2,704	-0,016
3	3,913	2,690	2,685	0,005
4	3,871	2,673	2,682	-0,009
5	3,808	2,731	2,677	0,054
6	3,595	2,664	2,659	0,005
7	3,459	2,656	2,647	0,009
8	3,378	2,622	2,640	-0,018
9	3,249	2,600	2,628	-0,028
10	2,497	2,557	2,549	0,008

4.5.1.4. Su Emme Oranının Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelge (4.8-4.11) dördüncü sütunlarınd farklı regresyon modelleri ile incelenen su emme oranı ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, daha yüksek hata kareler ortalaması (HKO) nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Su emme oranı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,0255) ve (R^2= %91,13) sahip olan kübik model, su emme oranı ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,0282) ve (R^2= %94,04) sahip olan kübik model, su emme oranı ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,068) ve (R^2= %83,5) sahip olan Kuadratik model ve su emme oranı ile kuru Sdalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,0266) ve (R^2= %94,38) sahip olan kübik model seçilmiştir.

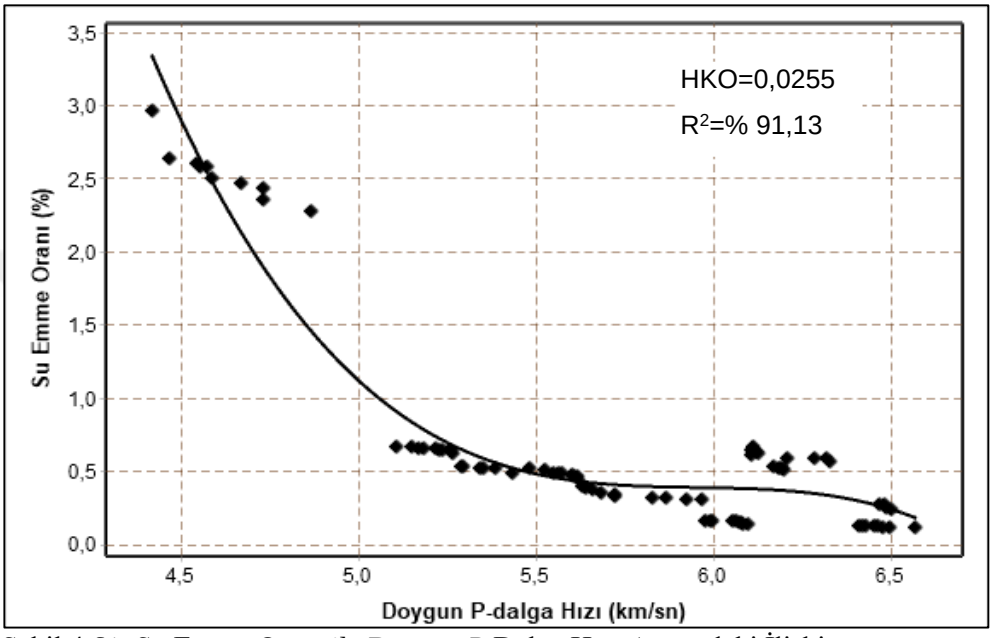
Eşitlik (.413-4.16)'de sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızları bağımısız değişken olarak kullanılmış ve su emme oranı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.61-4.64)'ta, su emme oranının P ve S dalgalarının hızı ile ters ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.24-4.27)'de doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen su emme oranı değerini göstermektedir.

$$c = 169{,}3 - 85{,}03 \times Vp_d + 14{,}28 \times {Vp_d}^2 - 0{,}7995 \times {Vp_d}^3 \quad (4.13)$$

$$c = 47{,}82 - 23{,}68 \times Vp_k + 3{,}975 \times {Vp_k}^2 - 0{,}2243 \times {Vp_k}^3 \quad (4.14)$$

$$c = 31.86 - 16.16 \times Vs_d + 2.062 \times {Vs_d}^2 \quad (4.15)$$

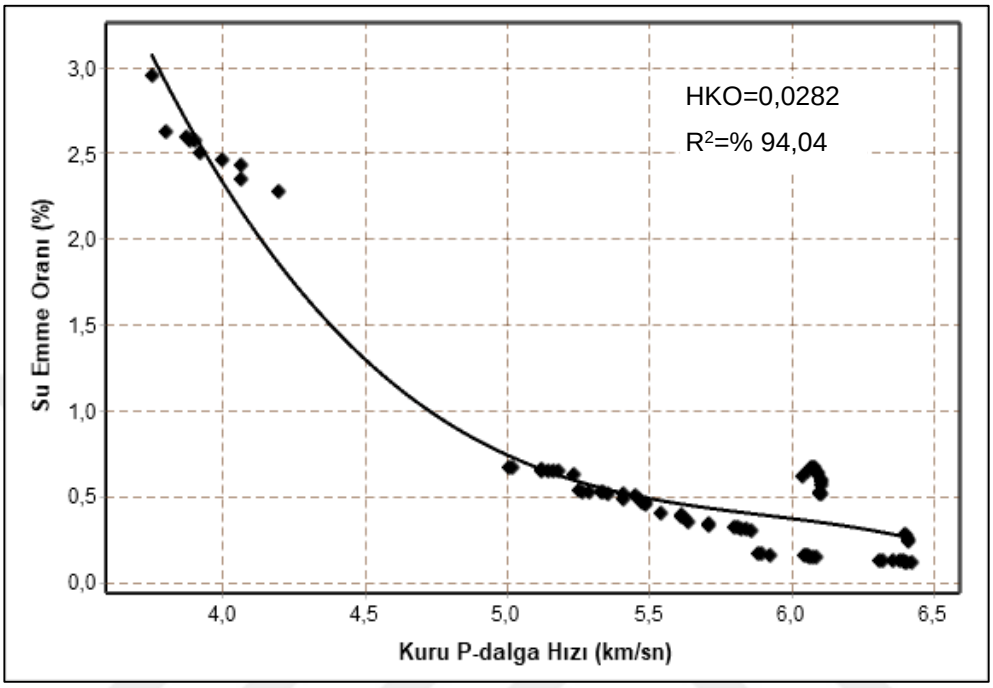
$$c = 51{,}1 - 40{,}34 \times Vs_k + 10{,}76 \times Vs_k^{\,2} - 0{,}9621 \times Vs_k^{\,3} \qquad (4.16)$$



Şekil 4.61. Su Emme Oranı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.24. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini

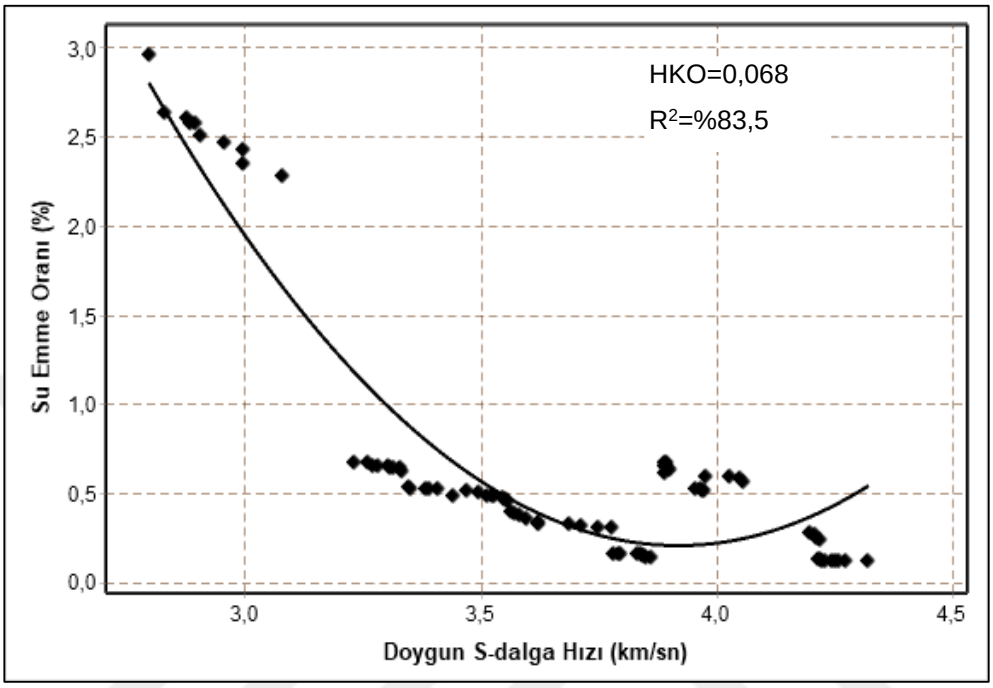
No	Ölçülen, Vp_d (km/sn)	Ölçülen c (%)	Tahmin Edilen, c (%)	Artık (%)
1	6,454	0,124	0,403	-0,279
2	6,483	0,260	0,384	-0,124
3	6,234	0,555	0,488	0,067
4	6,112	0,650	0,504	0,146
5	6,048	0,155	0,507	-0,352
6	5,769	0,346	0,516	-0,170
7	5,573	0,476	0,557	-0,081
8	5,394	0,524	0,655	-0,131
9	5,206	0,653	0,851	-0,199
10	4,613	2,543	2,450	0,093



Şekil 4.62. Su Emme Oranı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.25. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini

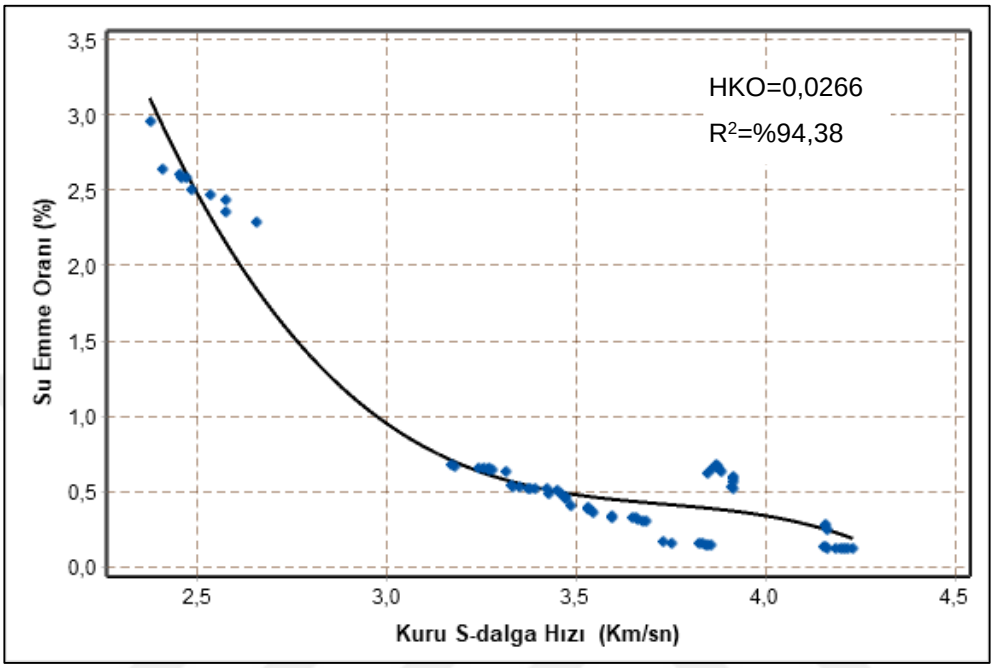
No	Ölçülen, Vp_k (km/sn)	Ölçülen, c (%)	Tahmin Edilen c (%)	Artık (%)
1	6,371	0,124	0,295	-0,172
2	6,407	0,260	0,282	-0,022
3	6,105	0,555	0,369	0,186
4	6,077	0,650	0,375	0,275
5	6,015	0,155	0,388	-0,233
6	5,716	0,346	0,449	-0,103
7	5,466	0,476	0,517	-0,041
8	5,337	0,524	0,565	-0,040
9	5,134	0,653	0,667	-0,015
10	3,945	2,543	2,495	0,048



Şekil 4.63. Su Emme Oranı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.26. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_d (km/sn)	Ölçülen c (%)	Tahmin Edilen c (%)	Artık (%)
1	4,246	0,124	0,420	-0,296
2	4,210	0,260	0,373	-0,113
3	3,996	0,555	0,211	0,344
4	3,893	0,650	0,200	0,450
5	3,828	0,155	0,215	-0,060
6	3,651	0,346	0,345	0,001
7	3,527	0,476	0,514	-0,038
8	3,414	0,524	0,724	-0,199
9	3,295	0,653	1,000	-0,348
10	2,920	2,543	2,256	0,287



Şekil 4.64. Su Emme Oranı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.27. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (c) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_k (km/sn)	Ölçülen c (%)	Tahmin Edilen c (%)	Artık (%)
1	4,191	0,124	0,206	-0,082
2	4,161	0,260	0,231	0,029
3	3,913	0,555	0,359	0,196
4	3,871	0,650	0,372	0,279
5	3,808	0,155	0,388	-0,233
6	3,595	0,346	0,439	-0,093
7	3,459	0,476	0,486	-0,011
8	3,378	0,524	0,528	-0,003
9	3,249	0,653	0,621	0,031
10	2,497	2,543	2,482	0,061

4.5.1.5. Gözeneklilik Oranının Doygun ve Kuru Haldaki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelge (4.8-4.11) beşinci sütunlarınd farklı regresyon modelleri ile incelenen gözeneklilik oranı ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, daha yüksek hata kareler ortalaması (HKO) nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Gözeneklilik oranı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,434) ve (R^2= %45,8) sahip olan güç model, gözeneklilik oranı ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO=0,293) ve (R^2=%90,78) sahip olan kübik model, gözeneklilik oranı ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,427) ve (R^2= %46,1) sahip olan güç model ve gözeneklilik oranı ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= 0,26) ve (R^2= %91,84) sahip olan kübik model seçilmiştir.

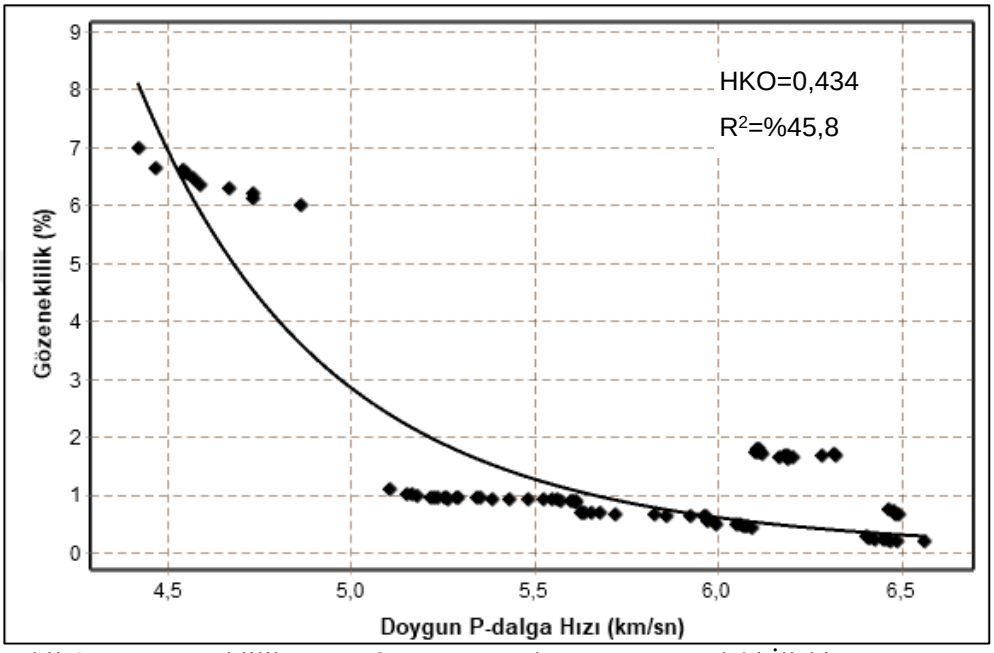
Eşitlik (.417-4.20) de sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k değerlerini bağımısız değişken olarak kullanılmış ve gözeneklilik oranı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.65-4.68)'de, gözeneklilik oranının P ve S dalgalarının hızı ile ters ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.28-4,31)'de doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen gözeneklilik oranı değerini göstermektedir.

$$n = 24474{,}087 \times Vp_d^{\,-5{,}808} \tag{4.17}$$

$$n = 175{,}6 - 91{,}41 \times Vp_k + 15{,}94 \times Vp_k^{\,2} - 0{,}926 \times Vp_k^{\,3} \tag{4.18}$$

$$n = 48258{,}6 \times Vs_d^{\,-8{,}45304} \tag{4.19}$$

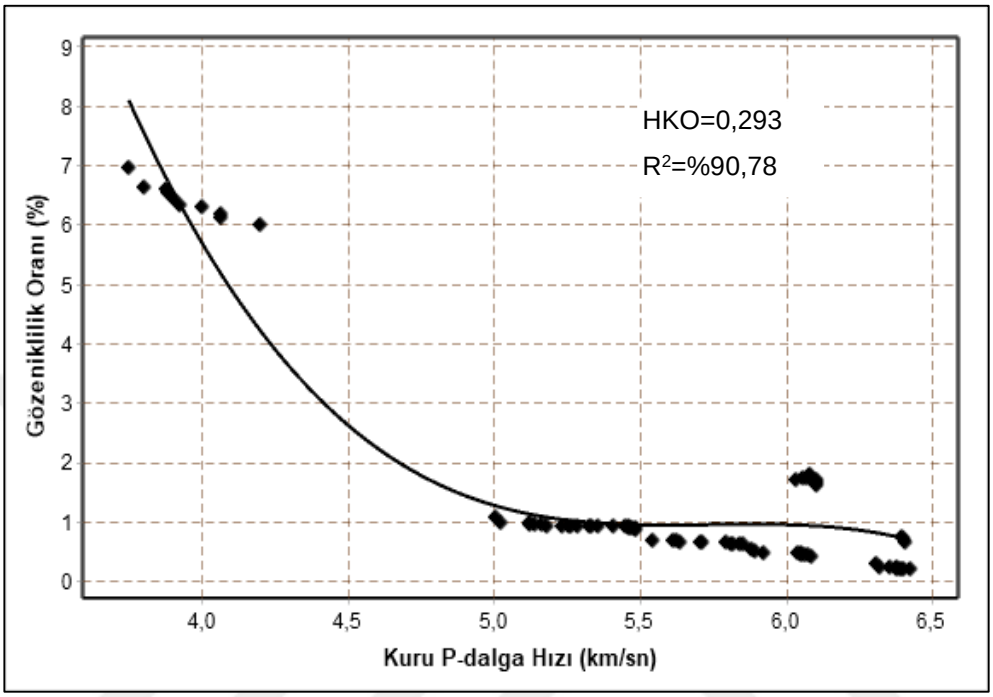
$$n = 186{,}5 - 154{,}2 \times Vs_k + 42{,}6 \times Vs_k{}^2 - 3{,}913 \times Vs_k{}^3 \quad (4.20)$$



Şekil 4.65. Gözeneklilik Oranı ile Kuru S-Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.28. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

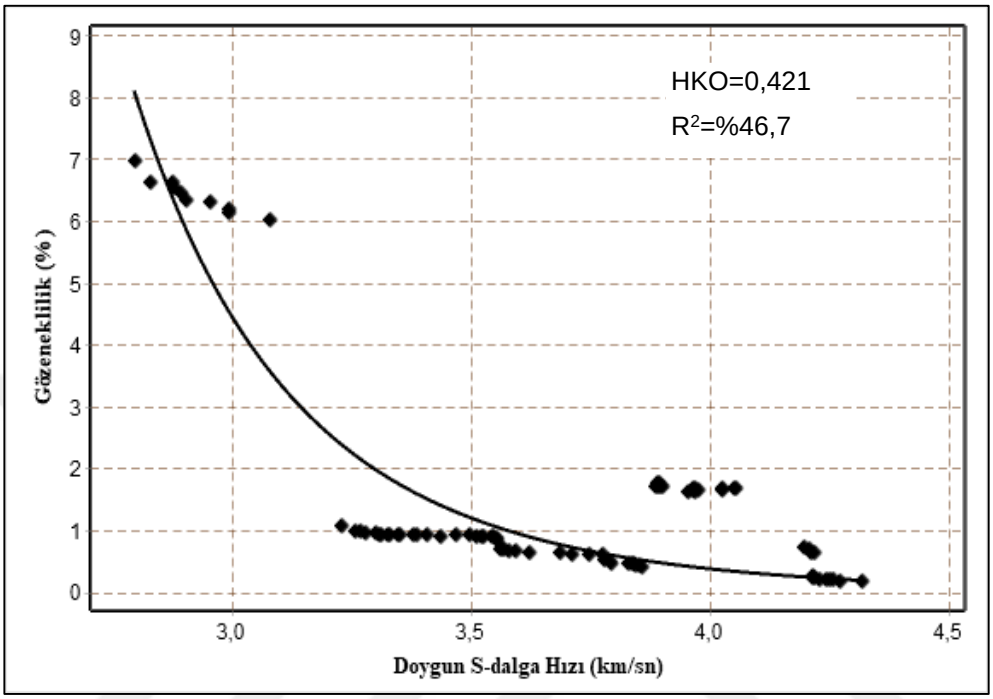
No	Ölçülen, Vp_d (km/sn)	Ölçülen, n (%)	Tahmin Edilen, n (%)	Artık (%)
1	6,454	0,217	0,484	-0,267
2	6,483	0,684	0,472	0,212
3	6,234	1,664	0,592	1,071
4	6,112	1,740	0,665	1,075
5	6,048	0,462	0,706	-0,244
6	5,769	0,654	0,929	-0,275
7	5,573	0,895	1,136	-0,241
8	5,394	0,926	1,374	-0,448
9	5,206	0,965	1,688	-0,723
10	4,613	6,434	3,406	3,028



Şekil 4.66. Gözeneklilik Oranı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.29. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

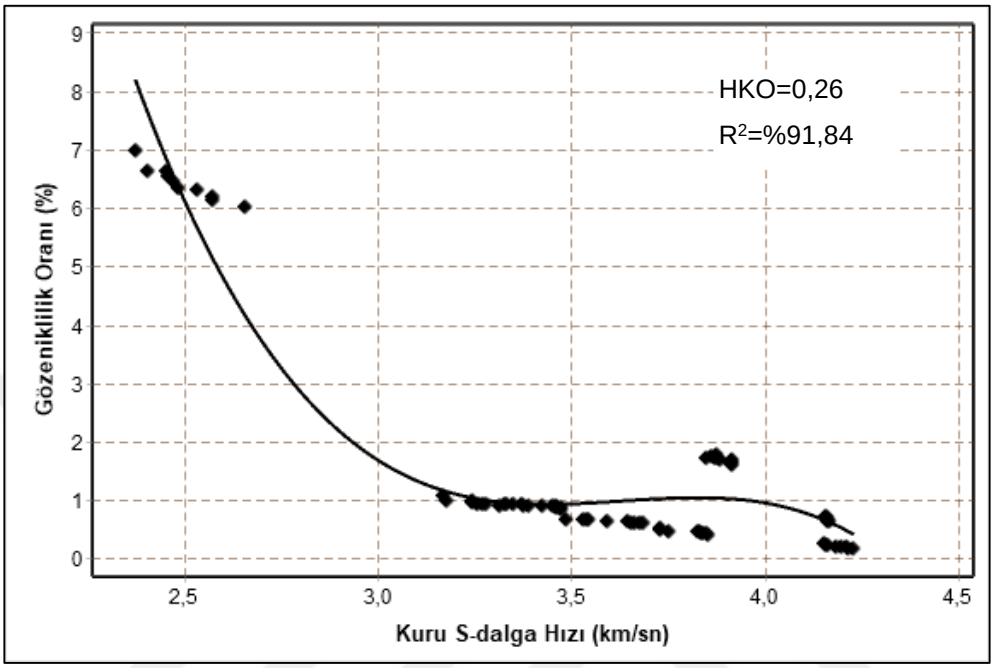
No	Ölçülen, Vp_k (km/sn)	Ölçülen, n (%)	Tahmin Edilen, n (%)	Artık (%)
1	6,371	0,217	0,765	-0,548
2	6,407	0,684	0,724	-0,041
3	6,105	1,664	0,940	0,723
4	6,077	1,740	0,949	0,791
5	6,015	0,462	0,962	-0,499
6	5,716	0,654	0,966	-0,312
7	5,466	0,895	0,971	-0,076
8	5,337	0,926	1,006	-0,080
9	5,134	0,965	1,139	-0,175
10	3,945	6,434	6,211	0,223



Şekil 4.67. Gözeneklilik Oranı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.30. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_d (km/sn)	Ölçülen, n (%)	Tahmin Edilen, n (%)	Artık (%)
1	4,246	0,217	0,237	-0,020
2	4,210	0,684	0,255	0,429
3	3,996	1,664	0,396	1,268
4	3,893	1,740	0,494	1,245
5	3,828	0,462	0,570	-0,108
6	3,651	0,654	0,849	-0,195
7	3,527	0,895	1,137	-0,242
8	3,414	0,926	1,501	-0,575
9	3,295	0,965	2,024	-1,060
10	2,920	6,434	5,626	0,808



Şekil 4.68. Gözeneklilik Oranı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.31. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen, Vs_k (km/sn)	Ölçülen, n (%)	Tahmin Edilen, n (%)	Artık (%)
1	4,191	0,217	0,447	-0,230
2	4,161	0,684	0,543	0,141
3	3,913	1,664	0,944	0,720
4	3,871	1,740	0,962	0,778
5	3,808	0,462	0,970	-0,508
6	3,595	0,654	0,909	-0,255
7	3,459	0,895	0,875	0,020
8	3,378	0,926	0,886	0,040
9	3,249	0,965	0,988	-0,023
10	2,497	6,434	6,157	0,277

4.5.2. Ultrasonik Dalga Hızları Kullanılarak Çoklu Regresyon Analiziyle Mermerlerin Fiziksel Özelliklerinin Tahmini

Örneklerin Özgül ağırlığı (Gs), doygun birim hacim ağırlığı (ρ_d), kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k), su emme oranı (c) ve gözeneklilik oranı (n) gibi fiziksel özelliklerini çoklu regresyon analiziyle tahmin etmek için doygun P dalga hızı (Vp_d), kuru P dalga hızı (Vp_k), doygun S dalga hızı (Vs_d) ve kuru S dalga hızını (Vs_k) çoklu değişken olarak kullanılmıştır. Çoklu regresyon analizi anlamlı olup olmadığını belirlemek için analiz soncunda oluşalan varyans tablosundaki değerler tek tek incelenmiştir. P değerinin (p= 0,05)'ten küçük olduğu için %95 güvenilir olduğunu bulunmuştur.

Çoklu regresyon sonucunda elde edilen denklemler, özgül ağırlık için (HKO= $3{,}64\cdot10^{-4}$) ve (R^2= %76,5) eşitlik 4.21'de, doygun birim hacim ağırlık için (HKO= $2{,}07\cdot10^{-4}$) ve (R^2= %81,88) eşitlik 4.22'de, kuru birim hacim ağırlık için (HKO= $2{,}44\cdot10^{-2}$)) ve (R^2= %89,08) eşitlik 4.23'te, su emme oranı için (HKO= $3{,}27\cdot10^{-2}$) ve (R^2= %93,11) eşitlik 4.24'te ve gözeneklilik oranı için (HKO= $2{,}75\cdot10^{-1}$) ve (R^2= %91,35) eşitlik 4.25'te verilmiştir. Çizelge (4.32-4.35)'te doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre çoklu regresyonu ile tahmin edilen özgül ağırlığı, doygun birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, su emme oranı ve gözeneklilik değerini gösterilmektedir.

$$G_s = 2{,}096 + 1{,}097 \times Vp_d - 0{,}678 \times Vp_k - 1{,}445 \times Vs_d + 0{,}948 \times Vs_k \qquad (4.21)$$

$$\rho_d = 2{,}2411 + 0{,}825 \times Vp_d - 0{,}587 \times Vp_k - 1{,}128 \times Vs_d + 0{,}873 \times Vs_k \qquad (4.22)$$

$$c = 1{,}805 + 6{,}24 \times Vp_d - 5{,}89 \times Vp_k - 5{,}82 \times Vs_d + 4{,}86 \times Vs_k \qquad (4.23)$$

$$\rho_k = 2{,}0576 + 0{,}513 \times VP_d - 0{,}18 \times VP_k - 0{,}625 \times VS_d + 0{,}265 \times VS_k \quad (4.24)$$

$$n = -0{,}46 + 22{,}88 \times Vp_d - 18{,}96 \times Vp_k - 21{,}93 \times Vs_d + 16{,}02 \times Vs_k \quad (4.25)$$

Çizelge 4.32. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kulnılarak Özgül Ağılığının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen G_s	Tahmin Edilen G_s	Artık
1	6,454	6,371	4,246	4,191	2,709	2,694	0,015
2	6,483	6,407	4,210	4,161	2,693	2,725	-0,032
3	6,234	6,105	3,996	3,913	2,741	2,731	0,010
4	6,112	6,077	3,893	3,871	2,727	2,725	0,002
5	6,048	6,015	3,828	3,808	2,743	2,731	0,012
6	5,769	5,716	3,651	3,595	2,680	2,681	-0,001
7	5,573	5,466	3,527	3,459	2,669	2,686	-0,018
8	5,394	5,337	3,414	3,378	2,660	2,664	-0,004
9	5,206	5,134	3,295	3,249	2,650	2,645	0,004
10	4,613	3,945	2,920	2,497	2,630	2,630	0,000

Çizelge 4.33. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Doygun Birim Hacim Ağılığının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen ρ_d (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_d (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	2,704	2,695	0,008
2	6,483	6,407	4,210	4,161	2,695	2,712	-0,017
3	6,234	6,105	3,996	3,913	2,705	2,709	-0,004
4	6,112	6,077	3,893	3,871	2,691	2,704	-0,014
5	6,048	6,015	3,828	3,808	2,734	2,706	0,028
6	5,769	5,716	3,651	3,595	2,666	2,665	0,001
7	5,573	5,466	3,527	3,459	2,656	2,672	-0,016
8	5,394	5,337	3,414	3,378	2,665	2,656	0,009
9	5,206	5,134	3,295	3,249	2,635	2,642	-0,007
10	4,613	3,945	2,920	2,497	2,621	2,618	0,004

Çizelge 4.34. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Kuru Birim Hacim Ağılığının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen ρ_k (g/cm^3)	Tahmin Edilen ρ_k (g/cm^3)	Artık (g/cm^3)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	2,694	2,683	0,011
2	6,483	6,407	4,210	4,161	2,688	2,706	-0,018
3	6,234	6,105	3,996	3,913	2,690	2,700	-0,010
4	6,112	6,077	3,893	3,871	2,673	2,696	-0,023
5	6,048	6,015	3,828	3,808	2,731	2,698	0,033
6	5,769	5,716	3,651	3,595	2,664	2,663	0,001
7	5,573	5,466	3,527	3,459	2,656	2,649	0,008
8	5,394	5,337	3,414	3,378	2,622	2,629	-0,007
9	5,206	5,134	3,295	3,249	2,600	2,609	-0,009
10	4,613	3,945	2,920	2,497	2,557	2,554	0,003

Çizelge 4.35. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Su Emme Oranının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen c (%)	Tahmin Edilen c (%)	Artık (%)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	0,124	0,202	-0,079
2	6,483	6,407	4,210	4,161	0,260	0,231	0,029
3	6,234	6,105	3,996	3,913	0,555	0,500	0,055
4	6,112	6,077	3,893	3,871	0,650	0,295	0,355
5	6,048	6,015	3,828	3,808	0,155	0,336	-0,181
6	5,769	5,716	3,651	3,595	0,346	0,351	-0,005
7	5,573	5,466	3,527	3,459	0,476	0,664	-0,188
8	5,394	5,337	3,414	3,378	0,524	0,568	-0,044
9	5,206	5,134	3,295	3,249	0,653	0,659	-0,007
10	4,613	3,945	2,920	2,497	2,543	2,488	0,056

Çizelge 4.36. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızı Ortalama Değerleri Kullanılarak Gözeneklilik Oranının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen n (%)	Tahmin Edilen n (%)	Artık (%)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	0,217	0,446	-0,229
2	6,483	6,407	4,210	4,161	0,684	0,722	-0,039
3	6,234	6,105	3,996	3,913	1,664	1,484	0,180
4	6,112	6,077	3,893	3,871	1,740	0,795	0,944
5	6,048	6,015	3,828	3,808	0,462	0,931	-0,469
6	5,769	5,716	3,651	3,595	0,654	0,683	-0,029
7	5,573	5,466	3,527	3,459	0,895	1,489	-0,594
8	5,394	5,337	3,414	3,378	0,926	1,011	-0,085
9	5,206	5,134	3,295	3,249	0,965	1,110	-0,146
10	4,613	3,945	2,920	2,497	6,434	6,261	0,173

4.5.3. Ultraonik Dalga Hızları kullanılarak Basit Regresyon Analiziyle Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Tahmini

Farklı mermerlerin tek eksenli basınç dayanım (σ_b), eğilme dayanımı ($\sigma_{eğ}$), darbe dayanımı (Dn), Shore sertlik (SH) oranı ile doygun ve kuru P-S dalga hızı arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla basit regresyon analizi kullanılarak

doğrusal, logaritmik, kuadratik, kübik, üstel ve güç gibi modeller ile tek tek incelenmiştir. Modeller anlamlı olup olmadığını belirlemek için analiz soncunda oluşan varyans tablosundaki değerleri tek tek incelenmiştir. Tüm modellerde p değerinin p= 0,05'ten küçük olduğu için %95 güvenli olduğunu bulunmuştur. Modeller birbirleriyle hata kareler ortalaması (HKO) ve korelasyon katsayısı (R^2) değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Hata kareler ortalaması en küçük ve 1'e en yakın olan R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun model olarak karar verilmiştir. Mermerin mekanik özellikleri ile Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k dalga hızı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için uygulanan farklı modeller Çizelge (4.37-4.40) 'te verilmiştir.

Çizelge 4.37. Mekanik Özellikler ile Doygun P Dalga Hızı (Vp_d) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmsi

Modeller	**HKO ve R^2**	**Bağımlı Değişkenler**			
		σ_b	**$\sigma_{eğ}$**	**D_n**	**SH**
Doğrusal	HKO	33,70	0,46	4,64	4,34
	R^2 (%)	86,50	79,43	85,91	88,45
Logaritmik	HKO	43,15	0,54	5,87	5,18
	R^2 (%)	82,70	75,80	82,20	86,20
Kuadratik	HKO	13,50	0,27	1,30	3,84
	R^2 (%)	94,80	87,88	96,06	89,77
Kübik	HKO	9,94	0,15	1,43	3,54
	R^2 (%)	96,00	93,21	95,65	90,57
Güç	HKO	**$3 \cdot 10^{-3}$**	$6 \cdot 10^{-3}$	**$3 \cdot 10^{-2}$**	**$3 \cdot 10^{-3}$**
	R^2 (%)	**89,5**	83,4	**93,3**	**90,9**
Üstel	HKO	$5 \cdot 10^{-3}$	**$5 \cdot 10^{-3}$**	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
	R^2 (%)	92	**85,8**	95	92
Seçilen model		**Güç**	**Üstel**	**Güç**	**Güç**

Çizelge 4.38. Mekanik Özellikler ile Kuru P Dalga Hızı (Vp_k) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	HKO ve R^2	Bağımlı Değişkenler			
		σ_b	$\sigma_{eğ}$	D_n	SH
Doğrusal	HKO	61,8	0,69	9,66	7,01
	R^2 (%)	75,24	69,39	70,67	81,33
Logaritmik	HKO	77,81	0,82	12,13	9,08
	R^2 (%)	68,80	63,60	63,20	75,80
Kuadratik	HKO	20,30	0,36	1,85	3,43
	R^2 (%)	91,85	84,08	94,36	90,86
Kübik	HKO	15,23	0,22	2,16	3,33
	R^2 (%)	93,90	90,12	93,44	91,12
Güç	HKO	**$7 \cdot 10^{-3}$**	$1 \cdot 10^{-2}$	**$7{,}1 \cdot 10^{-2}$**	**$5 \cdot 10^{-3}$**
	R^2 (%)	**77,4**	73,10	**78,80**	**82,30**
Üstel	HKO	$9 \cdot 10^{-3}$	**$8 \cdot 10^{-3}$**	$9{,}7 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$
	R^2 (%)	82,70	**77,8**	84,50	86,70
Seçilen Model		**Güç**	**Üstel**	**Güç**	**Güç**

Çizelge 4.39. Mekanik Özellikler ile Doygun S Dalga Hızı (Vs_d) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	HKO ve R^2	Bağımlı Değişkenler			
		σ_b	$\sigma_{eğ}$	D_n	SH
Doğrusal	HKO	20,20	0,31	3,15	4,53
	R^2 (%)	91,90	86,35	90,44	87,93
Logaritmik	HKO	29,32	0,39	4,25	4,99
	R^2 (%)	88,20	82,60	87,10	86,70
Kuadratik	HKO	7,50	0,15	1,44	4,57
	R^2 (%)	97,00	93,01	95,62	87,84
Kübik	HKO	7,03	0,11	0,99	3,85
	R^2 (%)	97,18	95,13	97,00	89,73
Güç	HKO	**$2 \cdot 10^{-3}$**	**$3 \cdot 10^{-3}$**	**$2 \cdot 10^{-2}$**	**$4 \cdot 10^{-3}$**
	R^2 (%)	**93,6**	**88,80**	**94,50**	**90,50**
Üstel	HKO	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$
	R^2 (%)	95,7	91,20	95,30	90,60
Seçilen Model		**Güç**	**Güç**	**Güç**	**Güç**

Çizelge 4.40. Mekanik Özellikler ile Kuru S Dalga Hızı (Vs_k) Arasındaki İlişkiyi Değişik Modellerle Değerlendirmesi

Modeller	HKO ve R^2	Bağımlı Değişkenler			
		σ_b	$\sigma_{eğ}$	D_n	SH
Doğrusal	HKO	44,80	0,51	7,50	6,21
	R^2 (%)	82,03	77,34	77,25	83,46
Logaritmik	HKO	62,26	0,66	10,05	6,32
	R^2 (%)	75,00	70,70	69,50	83,10
Kuadratik	HKO	11,10	0,20	1,76	4,45
	R^2 (%)	95,53	90,90	64,66	88,13
Kübik	HKO	10,45	0,14	1,52	3,53
	R^2 (%)	95,81	93,59	95,38	90,59
Güç	HKO	**$5 \cdot 10^{-3}$**	**$6 \cdot 10^{-3}$**	**$5{,}7 \cdot 10^{-2}$**	**$5 \cdot 10^{-3}$**
	R^2 (%)	**82,60**	**79,40**	**82,4**	**84,3**
Üstel	HKO	$6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$8{,}1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
	R^2 (%)	88,20	84,60	87,40	88,00
Seçilen Model		Güç	Güç	Güç	Güç

4.5.3.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P-S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelgeler (4.8-4.11) birinci sütunlarında farklı regresyon modelleri ile incelenen tek eksenli basınç dayanımı ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, hata kareler ortalaması (HKO) daha yüksek olması nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $3 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %89,5) sahip olan güç modeli, tek eksenli basınç dayanımı ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $7 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %77,4) sahip olan güç modeli, tek eksenli basınç dayanımı ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $2 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %93,6) sahip olan güç modeli ve tek eksenli basınç dayanımı ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %82,6) sahip olan güç modeli seçilmiştir. eşitlik (.425-4.28)'de sırasıyala

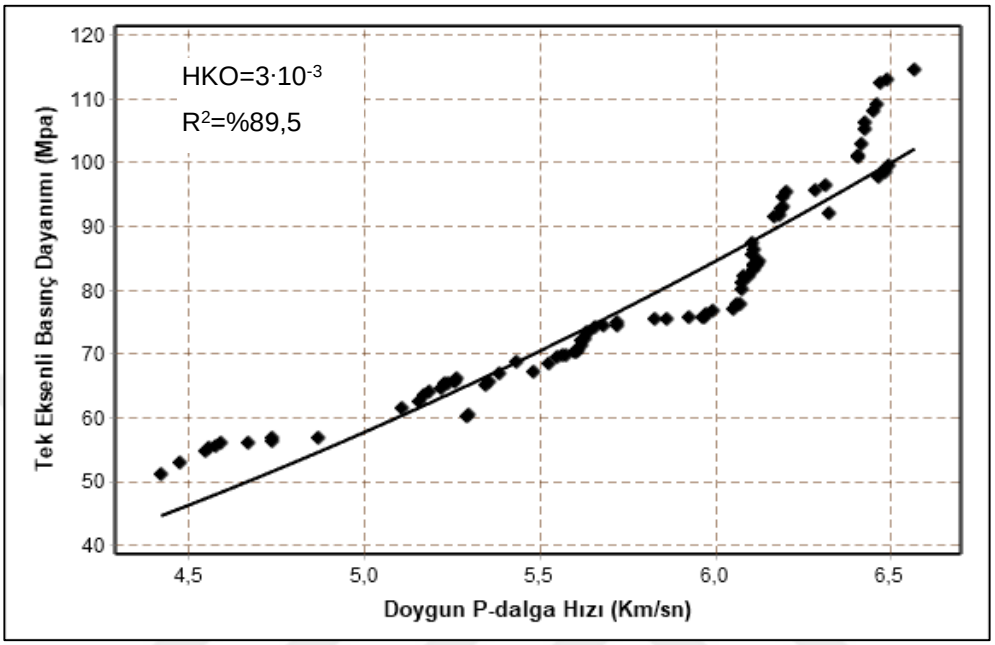
Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k değerleri bağımısız değişken olarak kullanılmış ve tek eksenli basınç dayanımı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.69-4.72)'de tek eksenli basınç dayanımının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.41-4,44)'te doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen tek esenli basınç dayanımı değerini gösterilmektedir.

$$\sigma_b = 3{,}197 \times Vp_d^{\,1{,}823} \tag{4.26}$$

$$\sigma_b = 9{,}022 \times Vp_k^{\,1{,}248} \tag{4.27}$$

$$\sigma_b = 8{,}228 \times Vs_d^{\,1{,}726} \tag{4.28}$$

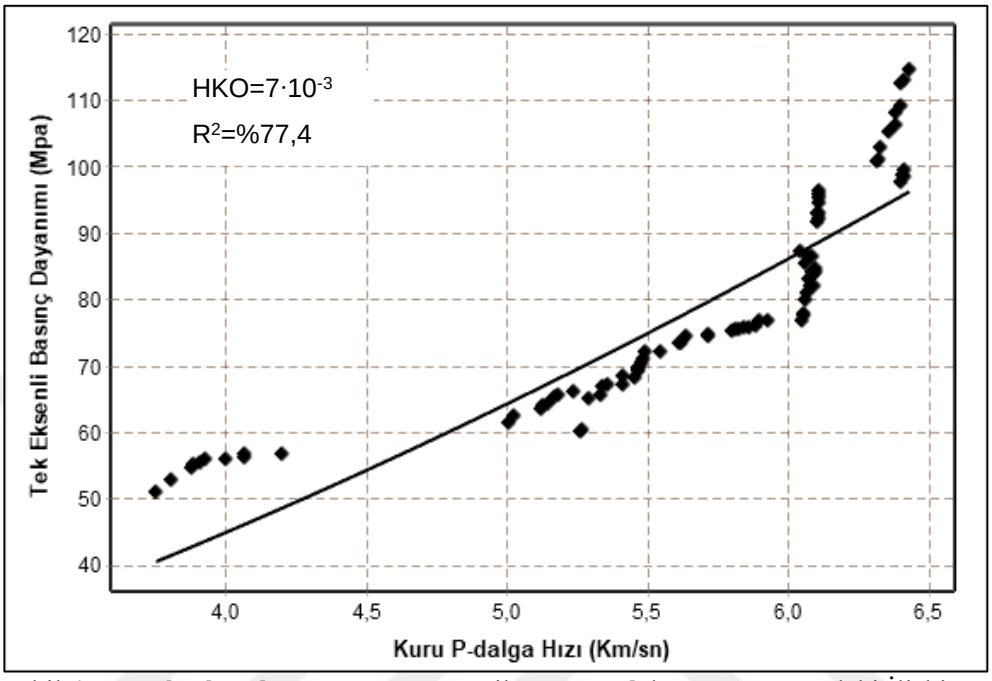
$$\sigma_b = 16{,}203 \times Vs_k^{\,1{,}23} \tag{4.29}$$



Şekil 4.69. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.41. Vp_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini

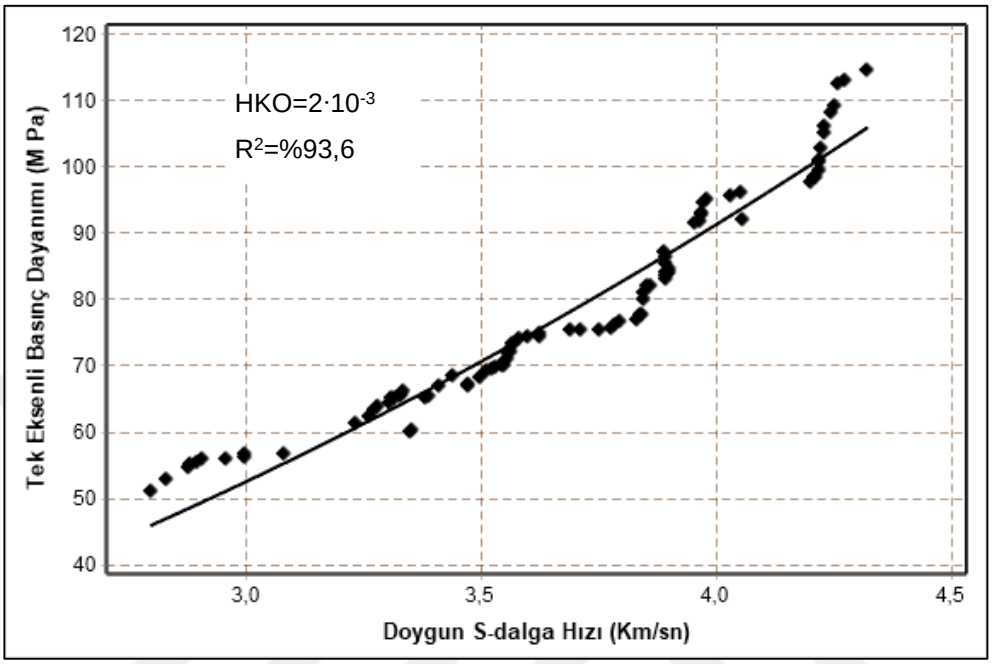
No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen, σ_b (Mpa)	Tahmin Edilen, σ_b (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	107,42	95,74	11,69
2	6,483	98,65	96,52	2,13
3	6,234	93,98	89,87	4,11
4	6,112	84,95	86,68	-1,73
5	6,048	78,79	85,04	-6,25
6	5,769	74,61	78,03	-3,42
7	5,573	70,22	73,27	-3,05
8	5,394	65,15	69,02	-3,87
9	5,206	64,42	64,70	-0,28
10	4,613	55,11	51,90	3,21



Şekil 4.70. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Kuru P dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.42. Vp_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini

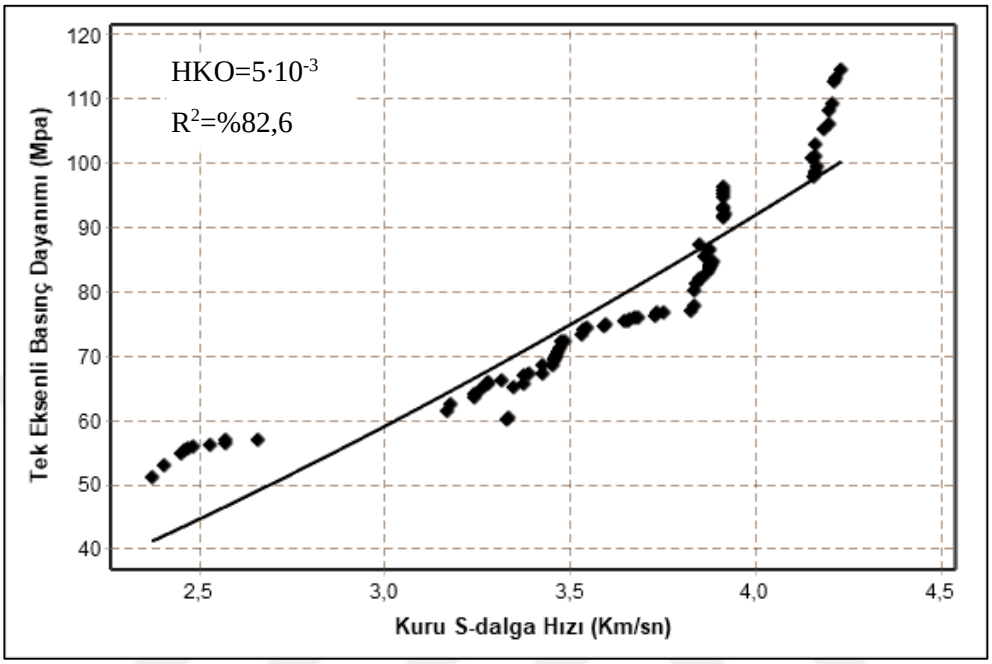
No	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen, σ_b (Mpa)a	Tahmin Edilen, σ_b (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,371	107,42	90,98	16,44
2	6,407	98,65	91,63	7,02
3	6,105	93,98	86,26	7,72
4	6,077	84,95	85,77	-0,83
5	6,015	78,79	84,68	-5,88
6	5,716	74,61	79,45	-4,84
7	5,466	70,22	75,14	-4,93
8	5,337	65,15	72,93	-7,79
9	5,134	64,42	69,49	-5,07
10	3,945	55,11	50,02	5,09



Şekil 4.71. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Doygun S dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.43. Vs_d Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen, σ_b (Mpa)	Tahmin Edilen, σ_b (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,246	107,42	99,82	7,60
2	4,210	98,65	98,35	0,30
3	3,996	93,98	89,90	4,08
4	3,893	84,95	85,92	-0,97
5	3,828	78,79	83,46	-4,67
6	3,651	74,61	76,93	-2,32
7	3,527	70,22	72,48	-2,26
8	3,414	65,15	68,49	-3,34
9	3,295	64,42	64,43	-0,01
10	2,920	55,11	52,29	2,82



Şekil 4.72. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.44. Vs_k Ortalma Değerleri Kullanılarak (σ_b) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, σ_b (Mpa)	Tahmin Edilen, σ_b (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,191	107,42	94,43	13,00
2	4,161	98,65	93,57	5,08
3	3,913	93,98	86,78	7,20
4	3,871	84,95	85,62	-0,67
5	3,808	78,79	83,91	-5,11
6	3,595	74,61	78,17	-3,56
7	3,459	70,22	74,57	-4,35
8	3,378	65,15	72,41	-7,26
9	3,249	64,42	69,04	-4,62
10	2,497	55,11	49,93	5,18

4.5.3.2. Eğilme Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelgeler (4.8-4.11) ikinci sütunlarında farklı regresyon modelleri ile incelen eğilme dayanımı ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir.Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, hata kareler ortalaması (HKO) daha yüksek olması nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir. Eğilme dayanımı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %85,8) sahip olan üstel modeli, eğilme dayanımı ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $8 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %77,8) sahip olan üstel modeli, eğilme dayanımı ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $3 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %88,8) sahip olan güç modeli ve eğilme dayanımı ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $6 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %79,4) sahip olan güç modeli seçilmiştir.

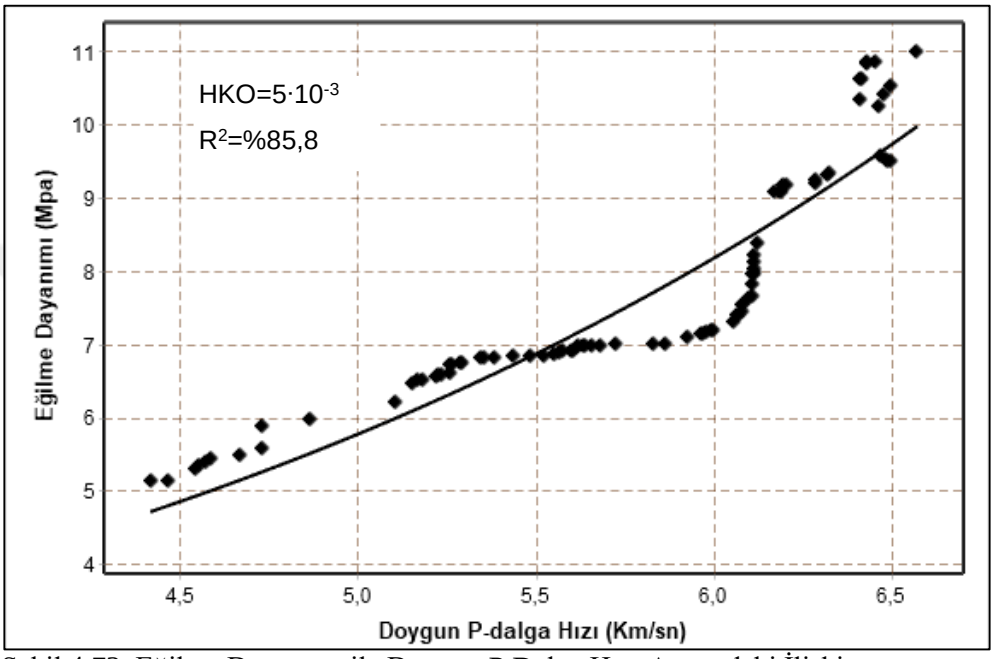
Eşitlik (.430-4.33)'te sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k değerlerini bağımısız değişken olarak kullanılmış ve eğilme dayanımı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekiller (4.7-4.76)'da eğilme dayanımının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.45-4,48)'de doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen eğilme dayanımı değerini göstermektedir.

$$\sigma_{eğ} = 1{,}265 \times e^{0{,}31 \times Vp_d} \tag{4.30}$$

$$\sigma_{eğ} = 1{,}994 \times e^{0{,}237 \times Vp_k} \tag{4.31}$$

$$\sigma_{eğ} = 0{,}941 \times Vs_d^{\,1{,}607} \tag{4.32}$$

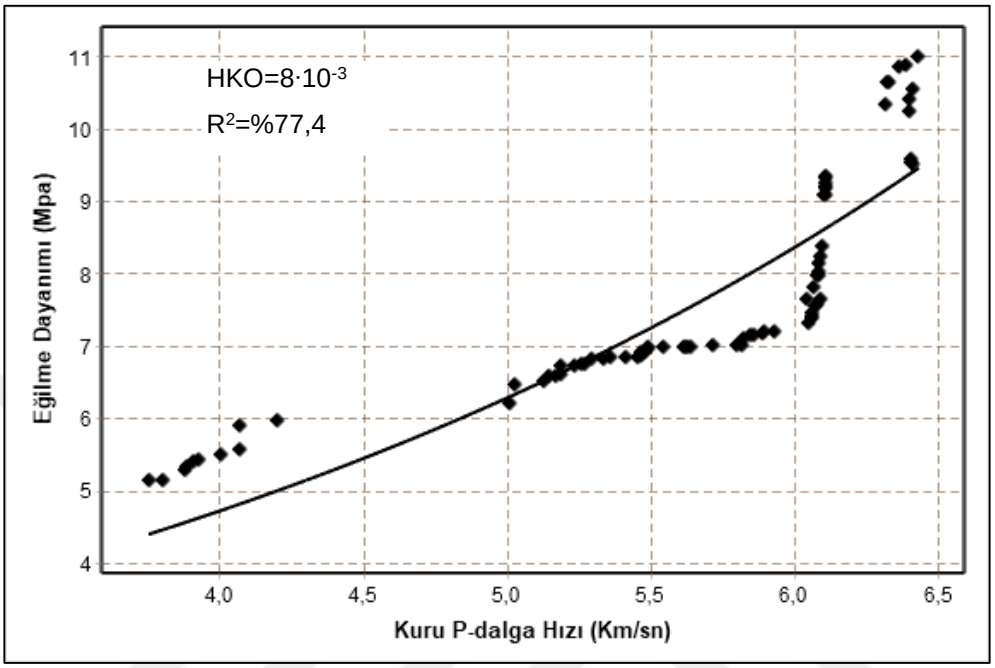
$$\sigma_{eğ} = 1{,}753 \times Vs_k^{\,1{,}152} \tag{4.33}$$



Şekil 4.73. Eğilme Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.45. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini

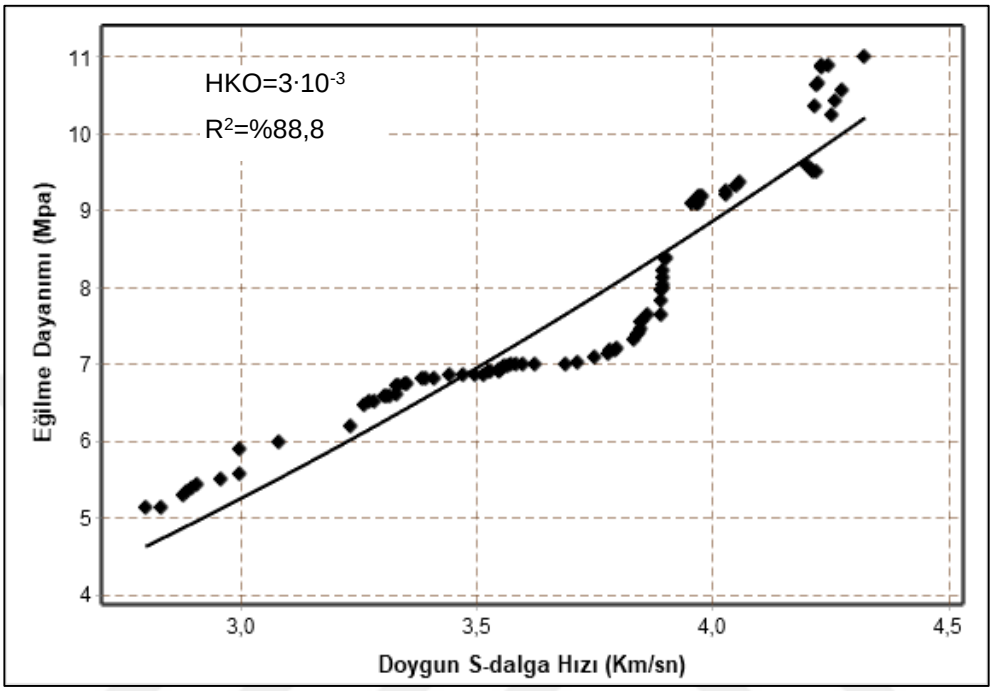
No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen, σ_e (Mpa)	Tahmin Edilen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	10,66	12,48	-1,82
2	6,483	9,55	12,61	-3,07
3	6,234	9,21	11,55	-2,34
4	6,112	8,07	11,06	-2,99
5	6,048	7,40	10,81	-3,41
6	5,769	7,04	9,79	-2,76
7	5,573	6,92	9,13	-2,22
8	5,394	6,82	8,57	-1,75
9	5,206	6,56	8,02	-1,46
10	4,613	5,47	6,50	-1,03



Şekil 4.74. Eğilme Dayanımı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.46. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini

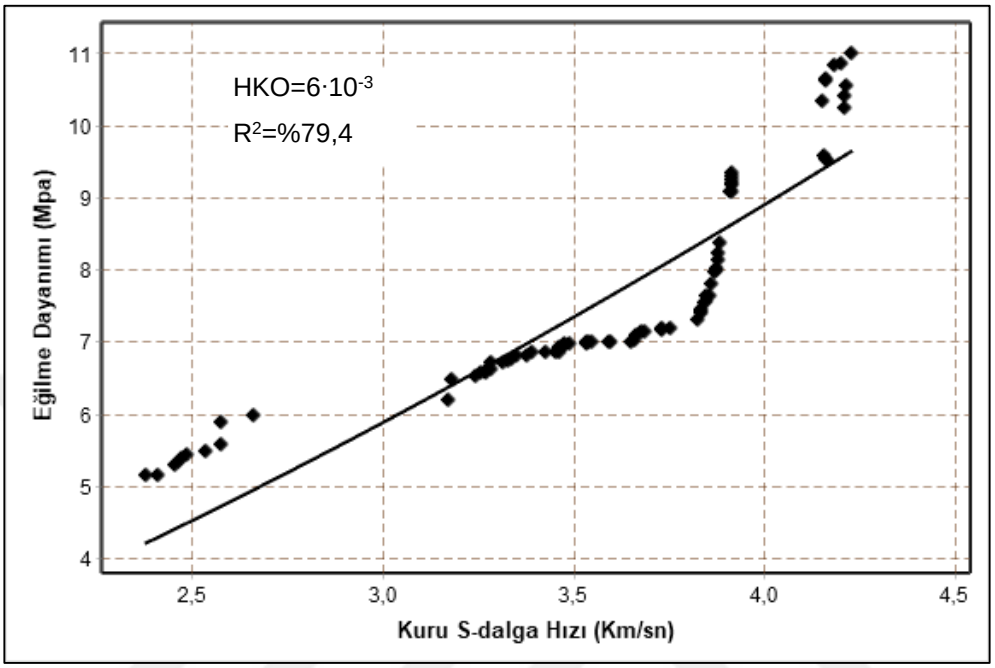
No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Tahmin Edilen, σ_e (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,371	10,66	10,66	0,00
2	6,407	9,55	10,77	-1,22
3	6,105	9,21	9,94	-0,73
4	6,077	8,07	9,87	-1,80
5	6,015	7,40	9,71	-2,31
6	5,716	7,04	8,97	-1,94
7	5,466	6,92	8,40	-1,48
8	5,337	6,82	8,12	-1,30
9	5,134	6,56	7,70	-1,14
10	3,945	5,47	5,63	-0,16



Şekil 4.75. Eğilme Dayanımı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.47. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Tahmin Edilen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,246	10,66	9,61	1,05
2	4,210	9,55	9,48	0,07
3	3,996	9,21	8,72	0,49
4	3,893	8,07	8,36	-0,29
5	3,828	7,40	8,14	-0,74
6	3,651	7,04	7,54	-0,51
7	3,527	6,92	7,13	-0,22
8	3,414	6,82	6,77	0,05
9	3,295	6,56	6,39	0,17
10	2,920	5,47	5,27	0,21



Şekil 4.76. Eğilme Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.48. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak ($\sigma_{eğ}$) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Tahmin Edilen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,191	10,66	9,14	1,53
2	4,161	9,55	9,06	0,49
3	3,913	9,21	8,44	0,77
4	3,871	8,07	8,34	-0,27
5	3,808	7,40	8,18	-0,78
6	3,595	7,04	7,65	-0,62
7	3,459	6,92	7,32	-0,40
8	3,378	6,82	7,12	-0,30
9	3,249	6,56	6,81	-0,25
10	2,497	5,47	5,03	0,44

4.5.3.3. Darbe Dayanımı Doygun ve Kuru Haldeki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelgeler (4.8-4.11) üçüncü sütunlarında farklı regresyon modelleri ile incelen darbe dayanımı ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, hata kareler ortalaması (HKO) daha yüksek olması nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan modeli seçilmiştir. Darbe dayanımı ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $3 \cdot 10^{-2}$) ve (R^2= %93,3) sahip olan güç modeli, darbe dayanımı ile kuru P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $7{,}1 \cdot 10^{-2}$) ve (R^2= %78,8) sahip olan güç modeli (Şekil 4.78), darbe dayanımı ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO=$2 \cdot 10^{-2}$) ve (R^2= %94,5) sahip olan güç modeli ve darbe dayanımı ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5{,}7 \cdot 10^{-2}$) ve (R^2= %82,4) sahip olan güç modeli (Şekil 4.80) seçilmiştir. .435-4.38 eşitliklerde sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k değerlerini bağımsız değişken olarak kullanılmış ve darbe dayanımı bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.77-4.80), darbe dayanımının P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.49-4,52) doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen darbe dayanımı değerini göstermektedir.

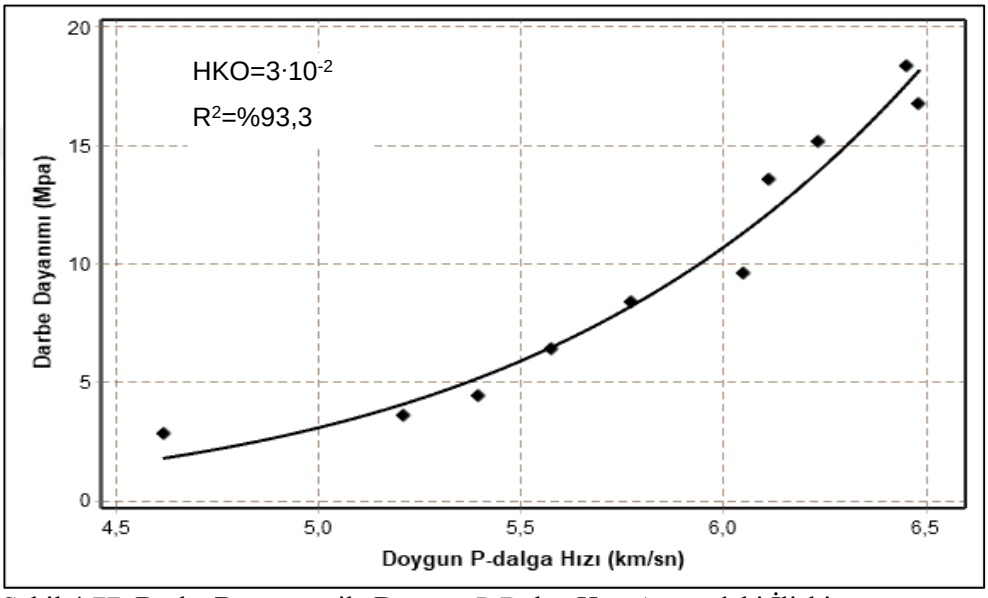
Not: Darbe dayanımı ile ultrasonik dalgaların hızı arasındaki ilişki, deneyin sonuçlarından doğrudan elde edilen değerlerine göre incelendiğinde her hangi bir ilişki kurulamamıştır. Bu nedenle değerlerin ortalamalarına göre aralarındaki ilişkilerini incelenmiştir.

$$D_n = 0{,}000191 \times Vp_d^{\,6{,}097} \tag{4.37}$$

$$D_n = 0{,}006 \times Vp_k^{\,4{,}217} \tag{4.38}$$

$$D_n = 0{,}005 \times Vs_d{}^{5{,}63} \tag{4.39}$$

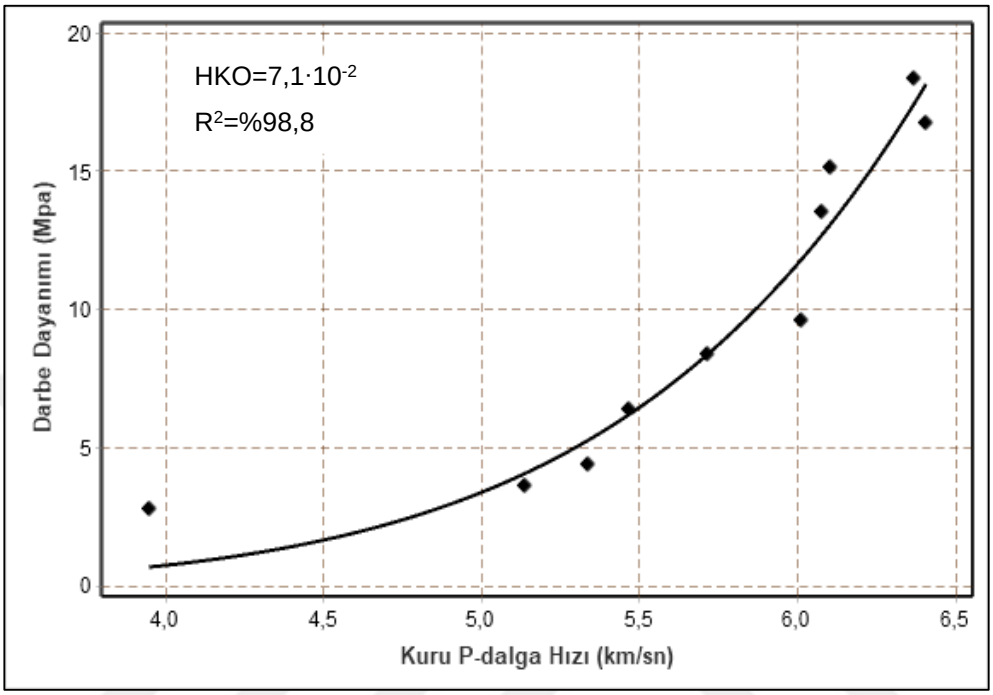
$$D_n = 0{,}046 \times Vs_k{}^{4{,}071} \tag{4.40}$$



Şekil 4.77. Darbe Dayanımı ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.49. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

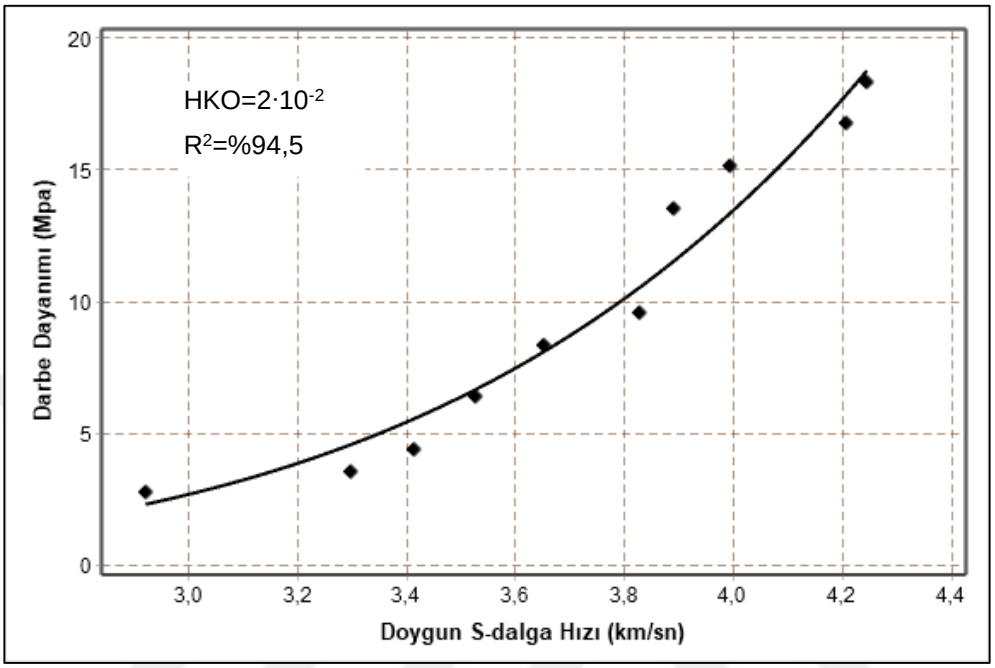
No	Ölçülen Vp_d, (km/sn)	Ölçülen, D_n (Mpa)	Tahmin Edilen, D_n (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	18,40	16,54	1,86
2	6,483	16,80	17,00	-0,20
3	6,234	15,20	13,39	1,81
4	6,112	13,60	11,87	1,73
5	6,048	9,60	11,13	-1,53
6	5,769	8,40	8,35	0,05
7	5,573	6,40	6,76	-0,36
8	5,394	4,40	5,54	-1,14
9	5,206	3,60	4,46	-0,86
10	4,613	2,80	2,14	0,67



Şekil 4. 78. Darbe Dayanımı ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.50. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

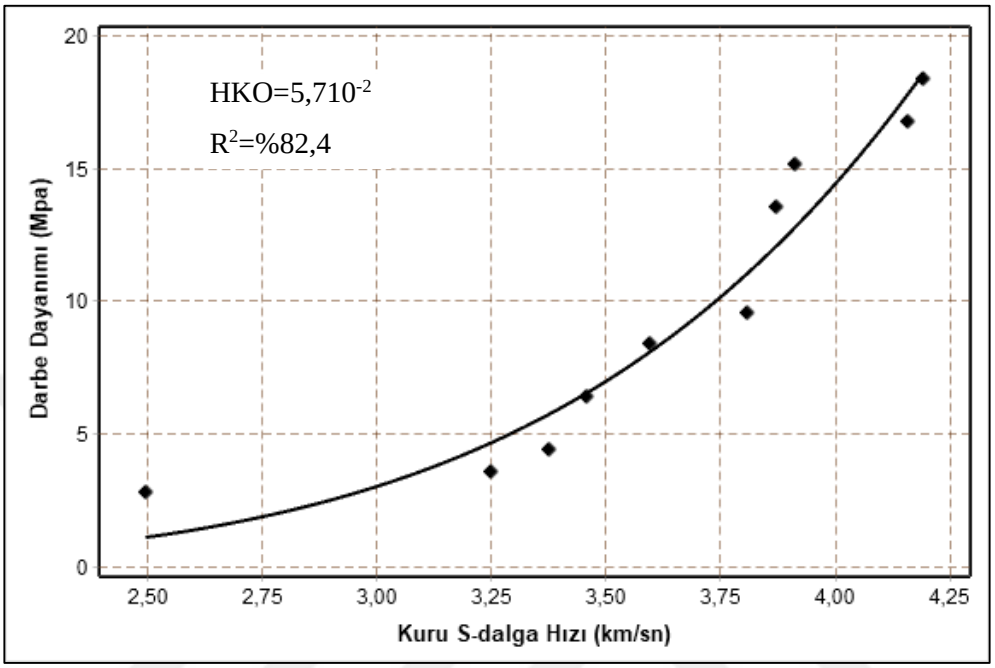
No	Ölçülen Vp_k, (km/sn)	Ölçülen, D_n (Mpa)	Tahmin Edilen, D_n (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,371	18,40	14,77	3,63
2	6,407	16,80	15,13	1,67
3	6,105	15,20	12,34	2,86
4	6,077	13,60	12,11	1,49
5	6,015	9,60	11,59	-1,99
6	5,716	8,40	9,35	-0,95
7	5,466	6,40	7,74	-1,34
8	5,337	4,40	7,00	-2,60
9	5,134	3,60	5,94	-2,34
10	3,945	2,80	1,96	0,84



Şekil 4. 79. Darbe Dayanımı ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.51. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_d, (km/sn)	Ölçülen, D_n (Mpa)	Tahmin Edilen, D_n (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,246	18,40	17,16	1,24
2	4,210	16,80	16,35	0,45
3	3,996	15,20	12,20	3,00
4	3,893	13,60	10,52	3,08
5	3,828	9,60	9,57	0,03
6	3,651	8,40	7,34	1,06
7	3,527	6,40	6,04	0,36
8	3,414	4,40	5,02	-0,62
9	3,295	3,60	4,12	-0,52
10	2,920	2,80	2,08	0,72



Şekil 4.80. Darbe Dayanımı ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.52. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (D_n) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_k, (km/sn)	Ölçülen, D_n (Mpa)	Tahmin Edilen, D_n (Mpa)	Artık (Mpa)
1	4,191	18,40	15,72	2,68
2	4,161	16,80	15,25	1,55
3	3,913	15,20	11,89	3,31
4	3,871	13,60	11,37	2,23
5	3,808	9,60	10,63	-1,03
6	3,595	8,40	8,41	-0,01
7	3,459	6,40	7,19	-0,79
8	3,378	4,40	6,53	-2,13
9	3,249	3,60	5,58	-1,98
10	2,497	2,80	1,91	0,89

4.5.3.4. Shore Sertlik Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalga Hızıyla Tahmini

Çizelgeler (4.8-4.11) dördüncü sütunlarında farklı regresyon modelleri ile incelen shore sertliği ile doygun ve kuru durumdaki P ve S dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayısı yüksek modeller olmalarına rağmen, hata kareler ortalaması (HKO) daha yüksek olması nedeniyle seçilmemiş, tam tersine en küçük hata kareler ortalaması olan model seçilmiştir.

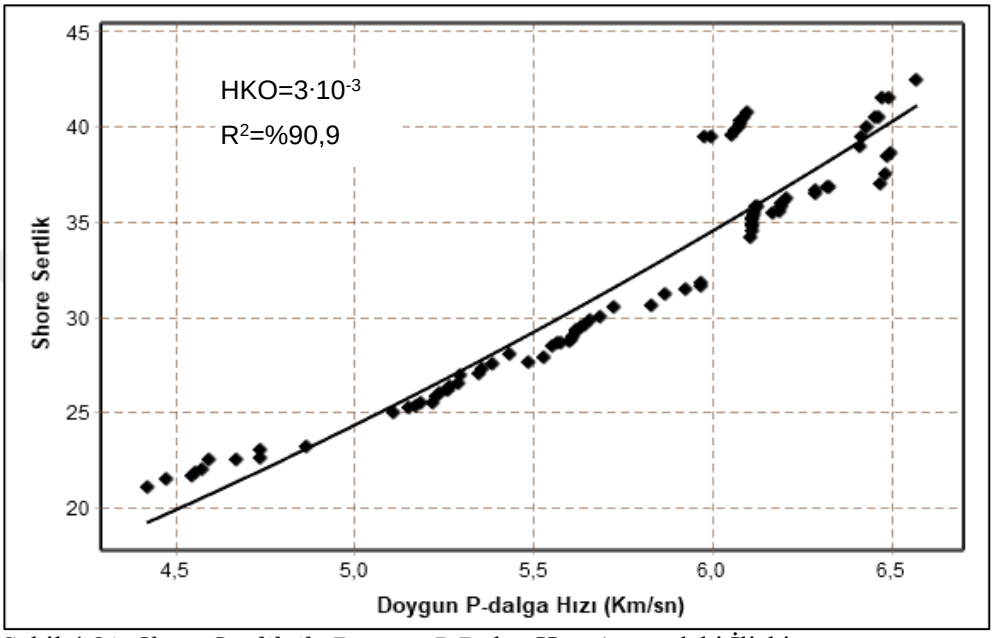
Shore sertlik ile doygun P dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $3 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %90,9) sahip olan güç modeli, Shore sertlik ile kuru Pdalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %82,3) sahip olan güç modeli, Shore sertlik ile doygun S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $4 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %90,5) sahip olan güç modeli ve Shore sertlik ile kuru S dalga hızı arasındaki ilişki için (HKO= $5 \cdot 10^{-3}$) ve (R^2= %84,3) sahip olan güç modeli seçilmiştir. .439-4.42 eşitliklerde sırasıyala Vp_d, Vp_k, Vs_d ve Vs_k değerlerini bağımısız değişken olarak kullanılmış ve shore sertliği bağımlı değişeken olarak tahmin edilmiştir. Şekil (4.81-4.84), shore sertliğinin P ve S dalgalarının hızı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çizelge (4.53-4.56) doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre tamin edilen shore sertliği değerini göstermektedir.

$$SH = 1{,}338 \times VP_d^{\,1{,}812} \tag{4.41}$$

$$SH = 3{,}57 \times VP_k^{\,1{,}269} \tag{4.42}$$

$$SH = 3{,}61 \times VS_d^{\,1{,}675} \tag{4.43}$$

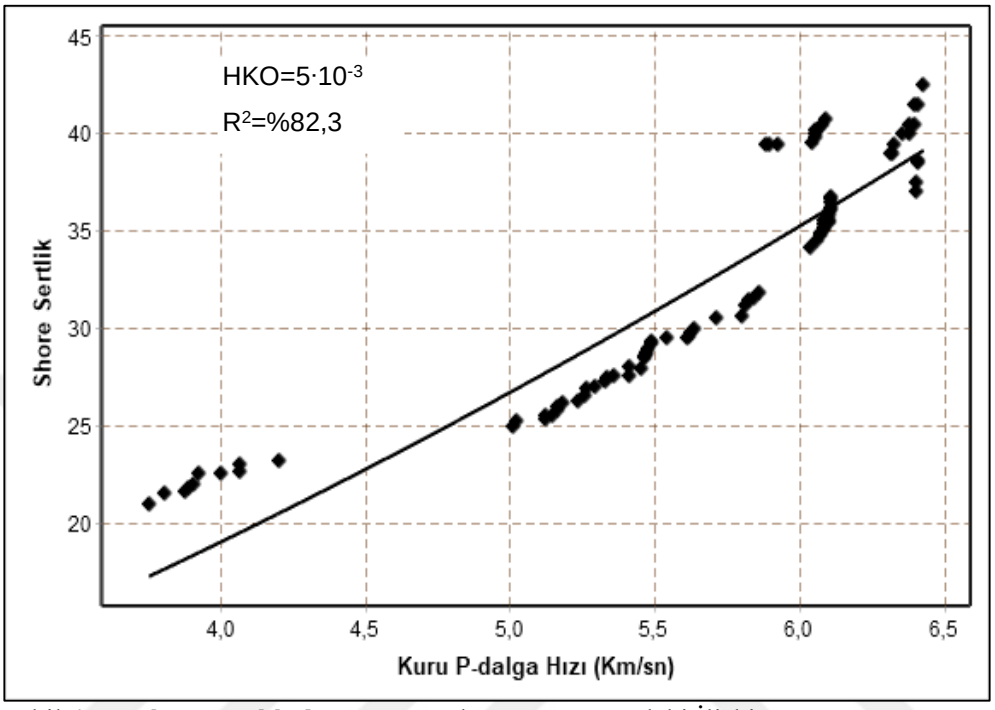
$$SH = 6{,}688 \times VS_k^{\,1{,}226} \quad (4.44)$$



Şekil 4.81. Shore Sertlik ile Doygun P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.53. Vp_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini

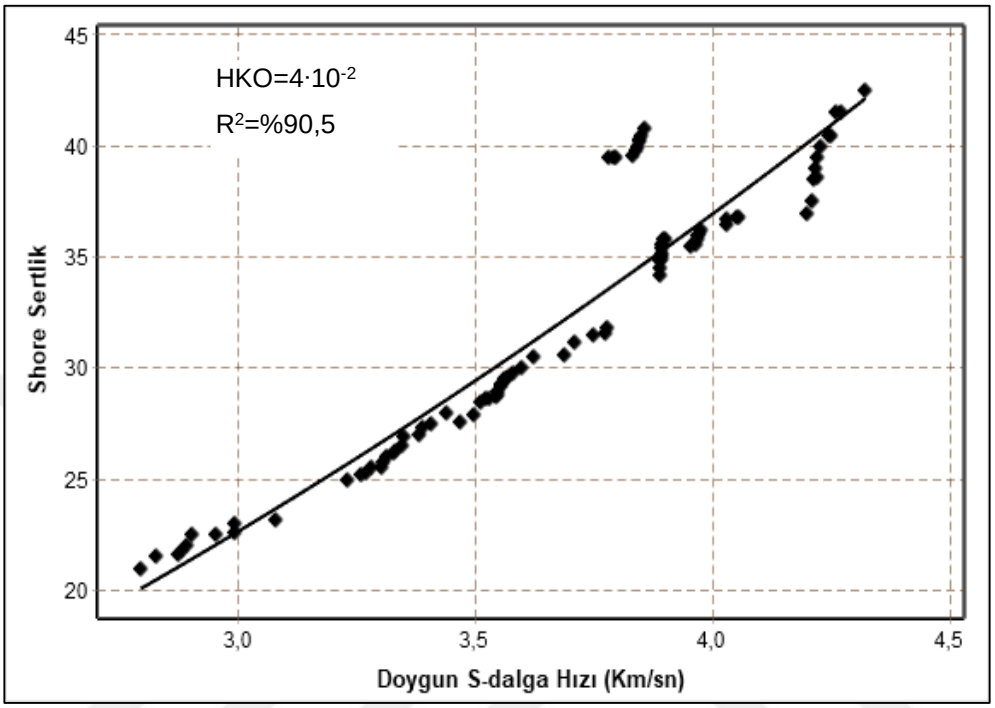
No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen, SH	Tahmin Edilen, SH	Artık
1	6,454	40,40	39,26	1,15
2	6,483	37,90	39,57	-1,67
3	6,234	36,20	36,86	-0,66
4	6,112	35,13	35,56	-0,43
5	6,048	39,97	34,89	5,08
6	5,769	30,51	32,03	-1,52
7	5,573	28,74	30,09	-1,34
8	5,394	27,29	28,35	-1,07
9	5,206	25,70	26,59	-0,89
10	4,613	22,17	21,36	0,81



Şekil 4.82. Shore Sertlik ile Kuru P Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.54. Vp_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini

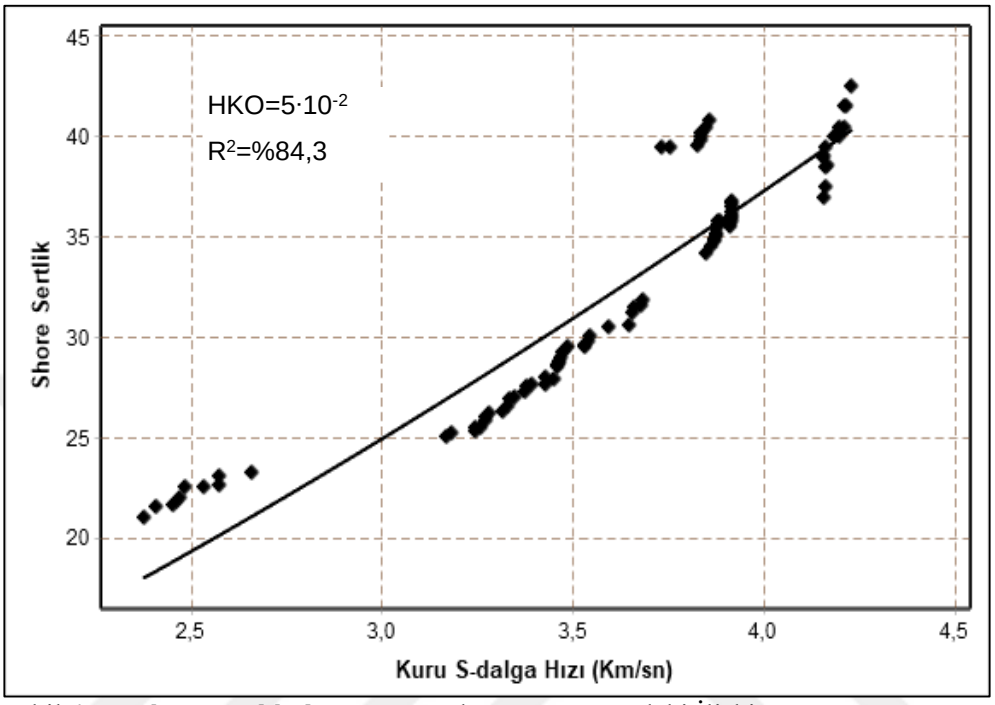
No	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen, SH	Tahmin Edilen, SH	Artık
1	6,371	40,40	37,43	2,97
2	6,407	37,90	37,70	0,20
3	6,105	36,20	35,46	0,74
4	6,077	35,13	35,25	-0,12
5	6,015	39,97	34,79	5,18
6	5,716	30,51	32,61	-2,10
7	5,466	28,74	30,81	-2,07
8	5,337	27,29	29,89	-2,61
9	5,134	25,70	28,46	-2,76
10	3,945	22,17	20,37	1,80



Şekil 4.83. Shore Sertlik ile Doygun S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.55. Vs_d Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_d (km/sn))	Ölçülen, SH	Tahmin Edilen, SH	Artık
1	4,246	40,40	40,68	-0,28
2	4,210	37,90	40,10	-2,20
3	3,996	36,20	36,75	-0,55
4	3,893	35,13	35,17	-0,04
5	3,828	39,97	34,20	5,78
6	3,651	30,51	31,60	-1,09
7	3,527	28,74	29,82	-1,07
8	3,414	27,29	28,23	-0,94
9	3,295	25,70	26,60	-0,90
10	2,920	22,17	21,72	0,45



Şekil 4.84. Shore Sertlik ile Kuru S Dalga Hızı Arasındaki İlişki

Çizelge 4.56. Vs_k Ortalama Değerleri Kullanılarak (SH) Ortalama Değerlerinin Tahmini

No	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, SH	Tahmin Edilen, SH	Artık
No	4,191	40,40	38,75	1,65
1	4,161	37,90	38,40	-0,50
2	3,913	36,20	35,63	0,57
3	3,871	35,13	35,15	-0,02
4	3,808	39,97	34,45	5,52
5	3,595	30,51	32,10	-1,59
6	3,459	28,74	30,63	-1,88
7	3,378	27,29	29,74	-2,45
8	3,249	25,70	28,36	-2,66
9	2,497	22,17	20,53	1,64

4.5.4. Ultraonik Dalga Hızları Kullanılarak Çoklu Regresyon Analiziyle Mermerlerin Mekanik Özelliklerinin Tahmini

Örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_b), eğilme dayanımı ($\sigma_{eğ}$), darbe dayanımı (Dn) ve Shore sertlik oranı (SH) gibi mekanik özelliklerini çoklu regresyon analiziyle tahmin etmek için doygun P dalga hızı (Vp_d), kuru P dalga hızı (Vp_k), doygun S dalga hızı (Vs_d) ve kuru S dalga hızı(Vs_k) çoklu değişken olarak kullanılmıştır.

Çoklu regresyon analizi anlamlı olup olmadığını belirlemek için analiz soncunda oluşalan varyans tablosundaki değerler tek tek incelenmiştir. P değerinin (p= 0,05)'ten küçük olduğu için %95 güvenilir olduğunu bulunmuştur.

Çoklu regresyon sonucunda elde edilen denklemler, tek eksenli basınç dayanımı için (HKO= 6,2) ve (R^2= %97,51) eşitlik 4.45'te, eğilme dayanımı için (HKO= 6,65·10-2) ve (R^2= %97,06) eşitlik 4.46'da, darbe dayanımı için (HKO= 1,18)) ve (R^2= %96,4) eşitlik 4.47'de ve Shore sertlik için (HKO= 3,58) ve (R^2= %91,45) eşitlik 4.48'de verilmiştir. Çizelge (4.57-4.60), doygun ve kuru durmdaki P ve S dalga hızı ortalma değerlerine göre çoklu regresyonu ile tahmin edilen tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve shore sertlik değerini göstermektedir.

$$\sigma_b = -44{,}59 - 49{,}3 \times Vp_d - 4{,}0 \times Vp_k + 121{,}7 \times Vs_d - 5{,}1 \times Vs_k \quad (4.45)$$

$$\sigma_{eğ} = -0{,}713 - 2{,}85 \times Vp_d - 5{,}7 \times Vp_k + 6{,}32 \times Vs_d + 9{,}38 \times Vs_k \quad (4.46)$$

$$D_n = -47{,}67 + 3{,}0 \times Vp_d - 5{,}9 \times Vp_k + 24{,}9 \times Vs_d - 5{,}1 \times Vs_k \quad (4.47)$$

$$SH = -35{,}75 + 82{,}1 \times Vp_d - 64{,}8 \times Vp_k - 104{,}2 \times Vs_d + 95{,}5 \times Vs_k \quad (4.48)$$

Çizelge 4.57. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Tek Eksenli Basınç Dayanımının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, σ_b (Mpa)	Tahmin Edilen, σ_b (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	107,42	107,12	0,31
2	6,483	6,407	4,210	4,161	98,65	101,28	-2,62
3	6,234	6,105	3,996	3,913	93,98	90,03	3,95
4	6,112	6,077	3,893	3,871	84,95	83,81	1,14
5	6,048	6,015	3,828	3,808	78,79	79,62	-0,82
6	5,769	5,716	3,651	3,595	74,61	74,17	0,45
7	5,573	5,466	3,527	3,459	70,22	70,43	-0,21
8	5,394	5,337	3,414	3,378	65,15	66,38	-1,22
9	5,206	5,134	3,295	3,249	64,42	62,64	1,78
10	4,613	3,945	2,920	2,497	55,11	54,79	0,32

Çizelge 4.58. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Eğilme Dayanımının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Tahmin Edilen, $\sigma_{eğ}$ (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	10,66	10,73	-0,07
2	6,483	6,407	4,210	4,161	9,55	9,92	-0,37
3	6,234	6,105	3,996	3,913	9,21	8,69	0,52
4	6,112	6,077	3,893	3,871	8,07	8,14	-0,07
5	6,048	6,015	3,828	3,808	7,40	7,67	-0,27
6	5,769	5,716	3,651	3,595	7,04	7,06	-0,03
7	5,573	5,466	3,527	3,459	6,92	6,99	-0,07
8	5,394	5,337	3,414	3,378	6,82	6,75	0,07
9	5,206	5,134	3,295	3,249	6,56	6,49	0,07
10	4,613	3,945	2,920	2,497	5,47	5,53	-0,05

Çizelge 4.59. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Darbe dayanımının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, D_n (Mpa)	Tahmin Edilen, D_n (Mpa)	Artık (Mpa)
1	6,454	6,371	4,246	4,191	18,40	18,46	-0,06
2	6,483	6,407	4,210	4,161	16,80	17,58	-0,78
3	6,234	6,105	3,996	3,913	15,20	14,56	0,64
4	6,112	6,077	3,893	3,871	13,60	12,00	1,60
5	6,048	6,015	3,828	3,808	9,60	10,88	-1,28
6	5,769	5,716	3,651	3,595	8,40	8,50	-0,10
7	5,573	5,466	3,527	3,459	6,40	6,99	-0,59
8	5,394	5,337	3,414	3,378	4,40	4,80	-0,40
9	5,206	5,134	3,295	3,249	3,60	3,13	0,47
10	4,613	3,945	2,920	2,497	2,80	2,86	-0,06

Çizelge 4.60. Doygun ve Kuru Durumdaki P ve S Dalgah Hızı Otalama Değerleri Kullanılarak Shore sertlik Oranının Tahmini

No	Ölçülen Vp_d (km/sn)	Ölçülen Vp_k (km/sn)	Ölçülen Vs_d (km/sn)	Ölçülen Vs_k (km/sn)	Ölçülen, SH	Tahmin Edilen, SH	Artık
1	6,454	6,371	4,246	4,191	40,4	39,1	1,3
2	6,483	6,407	4,210	4,161	37,9	40,0	-2,1
3	6,234	6,105	3,996	3,913	36,2	37,8	-1,6
4	6,112	6,077	3,893	3,871	35,1	36,3	-1,1
5	6,048	6,015	3,828	3,808	40,0	35,8	4,2
6	5,769	5,716	3,651	3,595	30,5	30,4	0,2
7	5,573	5,466	3,527	3,459	28,7	30,4	-1,7
8	5,394	5,337	3,414	3,378	27,3	28,1	-0,8
9	5,206	5,134	3,295	3,249	25,7	26,0	-0,3
10	4,613	3,945	2,920	2,497	22,2	21,6	0,6

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan on farklı mermer türü Çukurova Üniversitesi Jeoloji ve Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında petrografik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri açısından test edilmiştir. Numunelerin belirtilen fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki parametreleri içermerktedir: Özgül ağırlık, doygun ve kuru haldeki birim hacim ağırlık, su emme, gözeneklilik, Shore sertliği, doygun ve kuru haldeki P ve S dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımıdır.

Çoklu regresyon ve çeşitli basit regresyon modelleri kullanılarak, fiziksel ve mekanik özellikler ile P ve S dalgalarının hızı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır Bu araştırmada yapılan tüm çalışmaların sonuçları aşağıda açıklanacaktır:

- ✓ Memer numunerleri iri ve ince kristalli kalsit olduğu, Mersin Sililifke ve Adıyaman mermeri dolomitik kireçtaşı olduğu, İskendrun ve Pozantı mermerde ikincil oluşmuş damar dolguları bulunduğu, İskenderun mermer damarın içinde demir oluşmuş olduğu görülmüştür.
- ✓ XRF cihazı ile yapılan kimyasal analiz sonuçları İskenderun ve Diyarbakir mermeri dışında kalan mermerler %98'den fazla $CaCO_3$, %2'si CuO, Fe_2O_3 SO_3 ve bazı diğer oksitlerden oluşmuştur. İskenderun mermerin %89,78 $CaCO_3$, %3,95 Fe_2O_3, %2 A_2O_3 ve bazi diğer oksitlerden oluşmuştur. Diyarbakır mermeri % 95,5 $CaCO_3$,) %2 Al_2O_3 ve geri kalan diğer bazı oksitlerden oluşmuştur.
- ✓ TS 1913'e göre gözeneklilik %2'den ve su emme miktarı %0,75'ten fazla olmamalıdır. Bu araştırmada mermer numunelerin su emme oranı ortalma olarak %0,124-%2,543 gözenekliliği %0,217-6,434

arasında değişmektedir. Bu nedenle gözeneklilik ve su emme miktarı daha yüksek olan Diyarbakır mermer dışında kalan mermerler gözeneklilik ve su emme açısından TS 1913'e uyumludur.

- ✓ Kaplama, döşeme, zemin ve diğer ağırlık taşıyan alanlar için kullanılan mermerlerin basınç dayanımı 500 kg/cm^2'den ve eğilme dayanımı 60 kgf/cm^2 'den az olmamalıdır. Bu çalışma kapsamında kullanılan mermerin tek eksenli basınç dayanımı ortalama olarak 562,14 kg/cm^2-1095,72kg/cm^2 ve eğilme dayanımı 55,81 kg/cm^2-108,74 kg/cm^2 aralarında değişmektedir. Bu nedenle eğilme mukavemeti standarttan düşük olan (55.81 <60) Diyarbakır mermer dışında kalan tüm mermerler en iyi kaliteye sahip söylenebilir.
- ✓ P ve S dalga hızı ile özül ağırlık, birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanım ve shore sertlik aralarındaki ilişki doğru olduğu, P ve S dalga hızı ile su emme ve gözeneklilik oranı arasındaki ilişki ters olduğu bulmuştur.
- ✓ P ve S dalgalrı doygun mermerlerde kuru mermerlerden dah hızlıdır.
- ✓ Fiziksel ve mekanik özellikler ile P ve S dalgalarının hızları arasında bulunan denklemler en az hata kare ortalması ve yüksek bir korelasyon katsayısına sahiptir. Bu nedenle ultrasonik ölçüm cihazı varlığı süretiyle doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerini kolayca tahmin edilebilir.
- ✓ Çoklu regresyon analizinden elde edilen denklemler, basit denklemlere kıyasla en düşük hata kareleri ortalaması (HKO= 0'e yakın) ve en yüksek korelasıyon (R^2= 1'e yakın) katsayısına sahiptir. Bu nedenle pratikte kullanımı tavsiye edilmektedir.

.

KAYNAKLAR

Ahmed, S. F. A., 2020. Konya İli Tatlı Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Kirlenebilirliği. Selçuk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Aktimur, H .T., Tekirli, M. E, Yurdakul, M.E., 1990. Geology of The Sivas-Erzincan Tertiary Basin. Mineral Res. Expl. Bull., 111. 21-30.

Amirkiyaei, V., Ghasemi, E . Faramarzi, L., 2020. Determination of P Wave Velocity of Carbonate Building Stones During Freeze–Thaw Cycles. Geotech Geol Eng 38:5999–6009.

Apaydin Poşluk, E., 2013. Bozüyük (Bilecik) Güneydoğusu Tersiyer İstifi Stratigrafisi ve Yapısal Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisan Tezi.

Arık, S., 2011. Finike (Antalya) Beydağlari Formasyonu'nun Mermer Olarak Kullanilabilirliği ve Ekonomik Önemi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İsparta.

Avcu, M., 2019. Arsuz-İskenderun (Hatay) Yöresinde Gözlemlenen Kumtaşlarinin Matriks Asitleme ile Mikroporozite Değişimleri. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Ayaz, M. E., 2013. Sivas YÖresinin Karmaşık Jeolojik Yapısına Bağlı Olarak Gelişen Önemli Maden Yatakları ve Mta'nin Sivas Yöresindeki Yeni Bulguları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü - Sivas.

Aydın, H., 2005. Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Dotora Tezi.

Babacan, A. E., Ersoy, H., Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans

Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 (1).

Başegen, D., 2012. Yenipazar Yöresi (Bilecik) Üst Jura-Kretase İstifinin Planktonik Foraminifer Biyostratigrafisi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisan Tezi.

Boulanouar, A., Rahmouni, A., Boukalouch, M., Samaouali, A., Géraud, Y., Harnafi, M., Sebbani, J., 2013. Determination of Thermal Conductivity And Porosity of Building Stone From Ultrasonic Velocity Measurements. geomaterials. 03(04), 138-144.

Bozdağ, A., 2013. Tuz (NACL) Kristallenmesinin Kayaçların Mühendislik Parametreleri Üzerine Etkisi. Doktora tezi.

Chaki, S., Takarli, M., Agbodjan, W. P., 2008. Influence of Thermal Damage on Physical Properties of A Granite Rock: Porosity, Permeability and Ultrasonic Wave Evolutions. Construction and Building Materials. Temmuz 2008;22(7):1456-61.

Chary, K. B., Sarma, L. P., Lakshmi, K. J. P., Vijayakumar, N. A., Lakshmi, V, Naga Lakshmi, N. V., Rao, M.V.M.S., 2006. Evaluation of Engineering Properties of Rock Using Ultrasonic Pulse Velocity and Uniaxial Compressive Strength. National Geophysical Research Institute, Hyderabad-500 007.

Çelik, M. Y., 2017. Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 20(4), 961-970.

Çelik, S. B. Çobanoğlu, İ., 2019. Denizli Travertenlerinde P ve S Dalga Hızları ile Bazı Fiziksel ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması", Politeknik Dergisi, 22(2), 341-349.

Çolakoğlu, A. Y., Parlak, O., 2012. Refahiye Ofiyolitinin Kökeni (KD Erzincan). Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:27-4.

Debressera, J.H.P., Uraib, J. L., Olgaard, D.L., 2005. Effect of Water on The Strength and Microstructure of Carrara Marble Axially Compressed at High Temperature. Journal of Structural Geology 2005, 265–281.

Fahrmeir, L., Kneib, T., Lang, S., Marx, B., 2013. Regression Models, Methods And Applications. Springer.

Giovanni Leucci, G., Degiorgi, L., 2006. Experimental Studies on The Effects of Fracture on The P And S Wave Velocity Propagation in Sedimentary Rock ("Calcarenite del Salento"). Engineering Geology 84 (2006), 130–142.

Gokceoglu, C., Aksoy, H., 2000. New Approaches to The Characterization of Clay-Bearing, Densely Jointed and Weak Rock Masses. Engineering Geology 58:1-23.

Görgürl, Ö., 2020. Regresyon ve Korelasyon Analizi. Bilimsel Araştırma Teknikleri Ders Sunumu. Ahi Evran Üniversitesi.

Güney, A., Altındağ, R., Yavuz, H., Saraç, S., 20015. Evaluation of the Relationships Between Schmidt Hardness Rebound Number and Other (Engineering) Properties of Rocks. the 19th International Mining Congress and Fair of Turkey, İzmir, Turkey.

Güney, A., Altındağ., R., Kıbıcı, Y., Mermerlerin Anizotropik Karakteristiğinin Shore Sertliği Üzerine Etkisi. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.

Haspolad, Y. K., 2013. Tüm Yönleriyle Hani İlçesi ve Turizm. Hani Kaymakamliği - Dicle Üniversitesi.

Hüseyinca, M. Y., 2005. Ilgın (Konya) Kuzeyinin Stratigrafisi ve Yapisal Özellikleri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Kahraman, S., 2002. Estimating the Direct P Wave Velocity Value of İntact Rock from İndirect Laboratory Measurements. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39, 2002, 101–104.

Kahraman, S., 2007. The Correlations Between The Saturated and Dry P wave Velocity of Rocks. Ultrasonics, 46 (2007), 341–348.

Kahraman, S., Fener, M., Kılıç, C. O., 2017. Estimating The Wet-Rock P wave Velocity From The Dry-Rock P wave Velocity For Pyroclastic Rocks. Pure Appl Geophys. 174(7), 2621-2629.

Kahraman, S., Yeken T., 2008. Determination of Physical Properties Of Carbonate Rocks From P wave Velocity. Bull Eng Geol Environ. 67(2), 277-281.

Karakul, H., Ulusay, R., Empirical Correlations For Predicting Strength Properties of Rocks From P wave Velocity Under Different Degrees of Saturation. Rock Mech Rock Eng. (2013) 46, 981–999.

Karaman, K., Cihangir, F., Erçikdi, B., Kesimal, A., 2010. Killi-Karbonatli Kayaçlarda Numune Uzunluğunun Ultrasonik P Dalga Hizi Üzerindeki Etkisi. Madencilik, Cilt 49, Sayı 4, Sayfa 37-45, Aralık 2010.

Karaman, K., Kesimal, K., 2013. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı İle Ultrasonik Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi. Yer Altı Kaynakları Dergisi.

Kart, F., 2007. İnhisar-Yakacık-Çaltı-Küre (Söğüt-Bilecik) Bölgesi'ndeki Pegmatitik ve Aplitik Granit ve Granodiyorit Kompleksi ile Sedimanter Birimlerdeki Kaolen Yataklarının Jeolojisi, Mineralojisi, Jeokimyası ve Kökenlerinin İrdelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisan Tezi.

Keçeli, S.U., 2016. Mersin Melanji (KB Mersin) Geç Triyas - Erken Jura Yaşli Pelajik İstiflerinin Radyolarya Biyostratigrafisi, Taksonomisi ve Ortamsal Yorumlamalari. Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendislik Bölümü. Doktora Tezi.

Keskin, Ş., Sönmez, M., 2009. Gilbert Tipi Belemedik (Pozantı) Deltasının Sedimantolojik Özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 33 (1).

Khandelwal, M. 2012. Correlating P wave Velocity with the Physico-Mechanical Properties of Different Rocks. Pure Appl. Geophys. 170 (2013), 507–514.

Khandelwal, M., Ranjith, P. G., 2010. Correlating İndex Properties Of Rocks with P Wave Measurements. Journal of Applied Geophysics. Mayıs 2010, 71(1), 1-5.

Khandelwal, M., Singh, T. N., 2009. Correlating Static Properties Of Coal Measures Rocks With P Wave Velocity. International Journal of Coal Geology.1 July 2009, 55-60.

Kılıç, A. M., Kahraman, E., Kılıç, Ö. The Use of Ultrasonic Mesaurements Determining the Quality of the Dimension Stone Blocks. Uluslararası Doğa ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. E-ISSN: 2146-0086, 11 (1), 28-33.

Kılıç, Ö., Kahraman, E., Kılıç, A. M., 2018. Kireçtaşı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ile P Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 33(2), 9-16.

Koç, V., 2019. Karaboğaz ve Karababa Formasyonlarının (Adıyaman) Hidrokarbon Potansiyeli ve İz Element Dağılımlarının İncelenmesi. Jeoloji Mühendisliği, Batman Üniversitesi. Yükselisans Tezi.

Koç. Ö., 2007. Göksu Deltasi'nin (Silifke-Mersin) Jeolojik Gelişimi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı. Yükseklisans Tezi.

Korkmaz, S., Gedik, A., 1990. Mut - Ermenek - Silifke (Konya - Mersin) Havzasında Ana Kaya Fasiyesi ve Petrol Oluşumunun Organik Jeokimyasal Yöntemlerle İncelenmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 33, 29-38.

Kördemir, Y., 2018. Altioluk (Alacakaya-Elaziğ) Çevresinin Jeolojisi ve Rosso-Levanto Mermerlerin Oluşumu. Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Kurtuluş, C., Çakir. Ş., 2009. İzmit Formasyonu (Alt Triyas) Kumtaşlarının Fiziksel Özelliklerinin P Dalga Hızı Ölçümleri ile Belirlenmesi. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi. Nisan, 2009.

Kurtuluş, C., Yazan, K., Üçkardeş1, M., Turan, O. K., 2010. Kayalar İçinde Sismik Pdalgasının Kırık Yoğunluğu ile Değişiminin İncelenmesi. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi Sayı:2. (Ekim-Kasım 2010), 10-18.

Lucci, G., De Giırgi, L., 2006. Experimental Studies on the Effects of Fracture on the P And S Wave Velocity Propagation İn Sedimentary Rock ("Calcarenite Del Salento"). Engineering Geology. 84, 130–142.

Mahmutoğlu, Y., 2017. Prediction of Weathering by Thermal Degradation of a Coarse-Grained Marble Using Ultrasonic Pulse Velocity. Environ Earth Sci. Haziran 2017,76(12),435.

Moradian, Z.A., Behnia, M., 2009. Predicting the Uniaxial Compressive Strength and Static Young's Modulus of Intact Sedimentary Rocks Using the Ultrasonic Test. Int. J. Geomech., 14-19.

Özdemir, E., Sarıcı, E. D., 2015. Farklı Su İçeriğine Sahip Kayaçlarda Ultrasonik Ses Geçirgenliği ile Mekanik Özelliklerin İlişkisinin Araştırılması. Proceedings O F 9th International Industrial Minerals Symposium - Izm İr, Turkey.

Rahmouni A, Boulanouar A, Boukalouch M, Géraud Y, Samaouali A, Harnafi, M., Sebbani, J., 2013. Prediction of Porosity and Density of Calcarenite Rocks From P Wave Velocity Measurements. International Journal of Geosciences. 04 (09):1292-1299.

Ruedrich, J., Knell, C., Enseleit, J., Rieffel, Y., Siegesmund, S., 2013. Stability Assessment of Marble Statuaries of the Schlossbrücke (Berlin, Germany) Based on Rock Strength Measurements and Ultrasonic Wave Velocities. Environ Earth Sci. Haziran 2013; 69 (4), 1451-1469.

Sakcalı, A., Yavuz, H., Şahin, Ş., 2015. Mermer, Bej ve Traverten Bloklarında Plaka Veriminin Ultrasonik Ölçümlerle Analizi. 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 14-17 Nisan 2015, Antalya, Türkiye.

Sarpün, I.H., Özkan, V., Tuncel, S, 2009. Ultrasonic Determination of Elastic Modulus of Marbles Relation with Porosity and CaO %. September 2009, Ljubljana, Slovenia, 119-125 .

Siegesmund, S., Ullemeyer, K., Weiss, T., Tschegg, E. K., 2000. Physical Weathering of Marbles Caused by Anisotropic Thermal Expansion. International Journal of Earth Sciences. 5 Haziran 2000, 89 (1), 170-82.

Sözbilir, M., 2010. Veri Analiz. Bilimsel araştırma ders kitabı.

Şafak, Ü., 1997. Karaman Yöresi Üst Miyosen-Pliyosen İstifinin Ostrakod Faunasi Ve Ortamsal Yorumu. MTA Dergisi 119, 89-102. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana.

Şafak, Ü., 1998. Kılbasan Yöresinde (Karaman Kuzeyi) Bulunan Kuvaterner Tatlı Su Faunası. MTA Dergisi 120, 35-43. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana.

Tekin, M. A., 2020. Konya Bölgesindeki Tarihi Yapilarda Kullanilan Kayalarin Bozunma Özelliklerinin Araştirilmasi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Topal, T., 2000. Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 24(1), Ankara, Türkiye.

TS 10449/T1:2004, Mermer-Kalsiyum Karbonat Esaslı-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan Standard. TSE, Ankara.

TS 1913/T1:2006. Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar Için Kullanılan Standartç Ankara.

TS 699, 2009, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.

Uyanık, O., Çatıloğlu, B., Sabbağ, N., Öncü, Z., Uyanık, N.A., 2015. Kayaçların Fiziksel Özellikleiyi ile Sismik Ultrasonik Hızlar Arasındaki İlişkilendirmeler. Yerbilimleri Sempozyumu Süleyman Demirel Üniversitesi.

Uyanık, O., Çatlıoğlu, B., Sabbağ, N., Öncü, Z., Uyanık, N. A., 2012. Kayaçların Fiziksel Özellikleri ile Sismik Ultrasonik Hızlar Arasındaki İlişkilendirmeler. Yerbilimleri Sempozyumu Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 18-20 .

Uyanık, O., Sabbağ, N. Uyanık, N. A., Öncü, Z., 2019. Prediction of Mechanical And Physical Properties of Some Sedimentary Rocks From Ultrasonic Velocities. Bull Eng Geol Environ. Aralık 2019, 78 (8), 6003-16.

Uygun, R., 2010. Ilgın (Konya) Kuzeydoğusunda Orhaniye, Çobankaya, Avdan, Karaköy ve Zaferiye Köyleri Arasının Jeolojisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseklisans Tezi.

Ünal, M., Berber, E., Yatağan, İ., Akkurt, S., 2007. Yüksek Sıcaklığın Yapı Taşlarının Dayanımı Üzerindeki Etkisinin Ultrasonik Ölçümler ile Kestirilmesi. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.23, s.1-2, 2007.

Winkler, E. M., 1987. Weathering and Weathering Rates of Natural Stone. Environ Geol Water Sci. Haziran 1987,9(2),85-92.

Yağız, S., 2008. Predicting Uniaxial Compressive Strength, Modulus of Elasticity and Index Properties of Rocks Using the Schmidt hammer. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68:55–63.

Yılmaz, E., Duran, O., (1997). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allokton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü. TPAO Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları No. 31, 460 s. Şubat, 1997 Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğertimini Malistan'da, Orta ve lise öğretimini Gazni İli'nde tamamladı. 2010 yılında Kabil Politeknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2014 yılında bu bölümden ileri seviye derece ile mezun oldu. 2014 yılında Jawzjan Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü bilim kadrosuna öğretim görevlisi olarak dahil oldu. 2018 yılında YTB bursu kazandıktan sonra 10 ay boyunca Çukurova Üniversitesi Türkçe Öğretimi Uygulama ve Araştırma Merkezinde Türkçe Dili'ni öğrendi. 2019 ylında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğtimine başladı.