




**T.C.**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# TUZ (NaCl) KRİSTALLENMESİNİN KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Ali BOZDAĞ**

**DOKTORA TEZİ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Haziran-2013**
**KONYA**

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

## TUZ (NaCl) KRİSTALLENMESİNİN KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Ali BOZDAĞ**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN**

**2013, 197 Sayfa**

**Jüri**
**Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN**
**Doç. Dr. Mustafa FENER**
**Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY**
**Yrd. Doç. Dr. Ali Ferat BAYRAM**
**Yrd. Doç. Dr. Kürşad ASAN**

Bu çalışma, Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin ve Karaman illerinden alınan ve yapı taşı olarak kullanılan farklı porozite ve dokusal özelliklere sahip 10 farklı kayacın ısı etkisi ile tuz kristallenmesine karşı göstermiş oldukları dayanımları değerlendirmek için yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan 10 farklı kayacın, tuz (NaCl) kristallenmesi sonucu fiziko-mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler; porozite, kuru birim ağırlık, ağırlıkça su emme, sonik hız, tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, Brazilian (dolaylı) çekilme dayanımı, agrega darbe dayanım değeri, suda aşınmaya karşı duraylılık testi değerleri, Böhme aşınma kaybı ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, tuz kristallenmesi deneyi sonrasında kayaçların fiziksel ve mühendislik özelliklerindeki değişimler, bozunma sabiti ve yarılanma ömrü kavramları ile sayısal olarak ifade edilmiştir.

Tuz kristallenmesi periyot sayısının ilerlemesi ile kayaçların porozite, ağırlıkça su emme ve kuru ağırlık kaybı değerlerinde artış, P dalgası yayılma hızında ise azalma gözlenmiştir. Tuz kristallenmesi deneyi sonucu kayaçların indeks özelliklerinde en fazla değişim mermer, spilit ve tüf örneklerinde en az değişim ise granit ve bazalt örneklerinde meydana gelmiştir.

Kayaçların tuz kristallenmesi deneyi sonucunda elde edilen dayanım parametrelerine göre granit ve bazaltın en fazla dayanıma sahip, mermerin ise en az dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Aşınma parametrelerine göre en fazla aşınma mermer, spilit ve tüf örneklerinde en az aşınma ise granit ve bazalt örneklerinde meydana gelmiştir.

Tuz kristallenmesi sonucu kayaçlarda meydana gelen bozunmalar makroskobik ve mikroskobik ölçekte incelenmiş ve elde edilen verilere göre mikro çatlaklar,

süreksizlikler, minerallerin çeşidi ve boyutu, porozite ve minerallerde var olan alterasyonlar tuz kristalizasyon deneyi sonucunda kayaçların bozunmasına etki eden faktörler olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tuz kristallenmesi, bozunma, yapı taşı, fiziko-mekanik özellikler, dokusal özellikler

## ABSTRACT

**Ph.D. THESIS**

**THE EFFECT OF SALT (NaCl) CRYSTALLIZATION ON ENGINEERING PARAMETERS OF ROCKS**

**Ali BOZDAĞ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY**
**DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN**

**2013, 197 Pages**

**Jury**
**Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN**
**Assoc. Prof. Dr. Mustafa FENER**
**Assist. Prof. Dr. Rahmi AKSOY**
**Assist. Prof. Dr. Ali Ferat BAYRAM**
**Assist. Prof. Dr. Kürşad ASAN**

This study assesses the resistances of 10 different rocks, which have different porosity and textural properties and were taken from Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin, and Karaman provinces and also are widely being used as building stones, against salt crystallization with thermal effect

The changes in physico-mechanical properties of the 10 different rocks with the effect of salt crystallization have been determined by porosity, dry unit weight, water absorption in weight, sonic velocity, uniaxial compressive strength, point load strength index, Brazilian (indirect) tensile strength, aggregate impact value, Slake durability test values, Bohme and Los Angeles abrasion values. In addition, the changes in physical and engineering properties of rocks due to salt crystallization were expressed numerically with decay constant and half-life concepts.

Porosity, water absorption in weight, dry unit weight loss values of rocks increased with an increase salt crystallization cycles, but P-wave velocity values decreased with an increase salt crystallization cycles. The maximum change in index properties of rocks with the effect of salt crystallization has been observed in samples of marble, spilite, and tuff; the minimum change has been observed in samples of granite and basalt.

According to the mechanical parameters of rocks obtained from salt crystallization test, granite and basalt have maximum strength; marble has the least strength. According to the abrasion parameters of rocks, the maximum abrasion has occurred in samples of marble, spilite, and tuff; the minimum abrasion has occurred in samples of granite and basalt.

Weathering occurring in rocks with the effect of salt crystallization was examined the macroscopic and microscopic scale. According to these data, it was determined that micro cracks, discontinuities, type and size of minerals, porosity, alterations existing minerals are factors affecting the weathering of rocks as a result of salt crystallization

**Keywords:** Salt crystallization, weathering, building stones, physico-mechanical properties, textural properties

# ÖNSÖZ

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle çalışmalarım boyunca beni yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında yardımlarını gördüğüm Tez İzleme Komitesi üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Ferhat BAYRAM'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında verdiği destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüseyin KURT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuarlarının kullanılması sırasında desteğini gördüğüm Prof. Dr. Sair Kahraman'a, Prof. Dr. İbrahim Çopuroğlu ve Doç. Dr. Mustafa Fener'e teşekkür ederim.

Laboratuar çalışmaları öncesinde araziden numune derleme konusunda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. İsmail İNCE ve kayaçların petrografik incelenmesinde yardımını gördüğüm değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Gürsel Kansun'a teşekkür ederim.

Son olarak, bugüne kadar her türlü desteğini gördüğüm ve benim için büyük fedakârlık gösteren eşim Dr. Ayla BOZDAĞ'a ve hayatımıza anlam katan kızım Bengisu BOZDAĞ'a çok teşekkür ederim.

Ali BOZDAĞ
KONYA-2013

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET** ..... **iv**

**ABSTRACT** ..... **vi**

**ÖNSÖZ** ..... **viii**

**İÇİNDEKİLER** ..... **ix**

**SİMGELER VE KISALTMALAR** ..... **xi**

**1. GİRİŞ** ..... **1**

1.1. Çalışmanın Amacı ..... 2
1.2. Çalışmanın İçeriği ..... 3

**2. KAYNAK ARAŞTIRMASI** ..... **6**

2.1. Kaya Birimlerinde Meydana Gelen Bozunma ..... 6
2.1.1. Fiziksel bozunma ..... 6
2.1.2. Kimyasal bozunma ..... 8
2.1.3. Biyolojik bozunma ..... 11
2.2. Kaya Birimlerinin Bozunmasında Tuzun Etkisi ..... 11
2.3. Kaya Malzemesindeki Bozunmanın Sayısal Değerlendirilmesi ..... 13
2.3.1. Bozunma indeksi (AI) ve bozunma hızı (AV) kavramları ..... 13
2.3.2. Bozunma sabiti ($\lambda$) ve bozunma yarı-ömrü ($N_{1/2}$) kavramları ..... 14
2.4. Önceki Çalışmalar ..... 15

**3. MATERYAL VE METOT** ..... **22**

3.1. Arazi Çalışmaları ..... 22
3.2. Laboratuar Çalışmaları ..... 22
3.2.1. Numune hazırlama aşaması ..... 22
3.2.2. Laboratuar deneyi aşamaları ..... 25
3.3. Büro çalışmaları ..... 47

**4. ÖRNEKLEME YAPILAN ALANLARIN JEOLOJİSİ** ..... **48**

4.1. Ekecikdağ plütonu ..... 48
4.2. Hamit plütonu ..... 50
4.3. Karataş volkanitleri ..... 52
4.4. Sulutas volkanitleri ..... 53
4.5. Ulukışla magmatitleri ..... 56
4.6. Kızılağaç formasyonu ..... 58
4.7. Tokmar formasyonu ..... 59
4.8. Üçbaş formasyonu ..... 61
4.9. Valibabatepe ignimbiriti ..... 63
4.10. Ürgüp formasyonu ..... 65

**5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ..... 68**

5.1. Doğal Kayaçların Fiziko-Mekanik Özellikleri ..... 68
5.2. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi ... 77
5.2.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin porozite (n) üzerindeki etkisi ..... 78
5.2.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin ağırlıkça su emme (Aw) üzerindeki etkisi .... 83
5.2.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin P dalga hızı (Vp) üzerindeki etkisi..... 87
5.2.4. Tuz (NaCl) kristallenmesinin kuru ağırlık kaybı (DWL) üzerindeki etkisi.. 92
5.3. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi . 95
5.3.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) üzerine etkisi..... 95
5.3.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) üzerine etkisi..... 99
5.3.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) üzerine etkisi103
5.4. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi.. 107
5.4.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin Los Angeles aşınma kaybı ($LA_{100}$, $LA_{500}$, $LA_{1000}$) üzerine etkisi ..... 107
5.4.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin agrega darbe dayanım direnci (a) üzerindeki etkisi..... 114
5.4.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin Böhme aşınma dayanımı ($\Delta V$) üzerindeki etkisi..... 117
5.4.4. Tuz (NaCl) kristallenmesinin suda dağılmaya karşı duraylılık İndeksi değerleri ($I_{d1}$, $I_{d2}$, $I_{d3}$, $I_{d4}$) üzerindeki etkisi ..... 121
5.5. Tuz (NaCl) Kristallenmesi Sonucu Kayaçların Makroskopik ve Mikroskopik Özelliklerinin İncelenmesi ..... 129
5.5.1. Makroskopik özellikler ..... 129
5.5.2. Mikroskopik özellikler..... 137
5.6. Tuz (NaCl) Kristallenmesi Öncesi ve Sonrası Kayaçlara Ait Standart Sapma Değişimleri..... 155
5.6.1. Kayaçların fiziksel özelliklerine ait standart sapma değerleri ..... 155
5.6.2. Kayaçların dayanım özelliklerine ait standart sapma değerleri ..... 160
5.6.3. Kayaçların aşınma özelliklerine ait standart sapma değerleri ..... 164
5.7. Tuz(NaCl) Kristallenmesinden Kaynaklanan Bozunmaların Değerlendirilmesi ..... 169
5.7.1. Bozunma hızı (AV)..... 169
5.7.2. Bozunma sabiti ($\lambda$) ve yarı-ömür ($N_{1/2}$) değerleri ..... 172

**6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 181**

**7. KAYNAKLAR ..... 184**

**ÖZGEÇMİŞ ..... 196**

# SİMGELER VE KISALTMALAR

| Simgeler | | Birim |
|---|---|---|
| M | :Numunenin kütlesi | gr |
| $M_d$ | :Numunenin kuru kütlesi | gr |
| $M_s$ | :Numunenin doygun kütlesi | gr |
| D | :Numunenin karot çapı | mm |
| L | :Numunenin karot boyu | mm |
| V | :Numunenin hacmi | $cm^3$ |
| A | :Numunenin yüzey alanı | $m^2$ |
| $\gamma$ | :Birim hacim ağırlık | $kN/m^3$ |
| $\rho$ | :Yoğunluk | $gr/cm^3$ |
| $\rho_d$ | :Kuru yoğunluk | $gr/cm^3$ |
| $\rho_w$ | :Suyun yoğunluğu | $gr/cm^3$ |
| $A_w$ | :Numunenin ağırlıkça su emme oranı | % |
| $H_w$ | :Numunenin hacimce su emme oranı | % |
| $V_v$ | :Numunedeki boşlukların hacmi | $cm^3$ |
| n | :Porozite | % |
| e | :Boşluk oranı | % |
| w | :Numunenin su muhtevası | % |
| $M_i$ | :Numunenin belirli zamandaki su emmiş kütlesi | gr |
| $M_f$ | :Numunenin deney sonundaki su emmiş kütlesi | gr |
| $t_i$ | :Numune kütlelerinin ölçüldüğü süreler | s |
| $C_y$ | :Yüksek su emişli kayacın kapilerite değeri | $gr/m^2\sqrt{s}$ |
| $C_d$ | :Düşük su emişli kayacın kapilerite değeri | $gr/m^2\sqrt{s}$ |
| $E_d$ | :Dinamik elastisite modülü | MPa |
| $T_p$ | :Numunede ölçülen P dalgası yayılma zamanı | $\mu s$ |
| $V_p$ | :P dalgasının yayılma hızı | m/s |
| $E_u$ | :Dinamik elastisite modülü | MPa |
| P | :Numunenin yenilme anındaki yükü | kN |
| $\sigma_c$ | :Numunenin tek eksenli sıkışma dayanımı | MPa |
| $\sigma_{c(50)}$ | :50 mm çapa sahip numune için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı | MPa |
| F | :Boyut düzeltme faktörü | |
| $D_e$ | :Eşdeğer karot çapı | mm |
| $I_s$ | :Belirli çapa sahip numunenin nokta yükü dayanım indeksi | MPa |
| $I_{s(50)}$ | :50 mm çapa sahip numunenin nokta yükü dayanım indeksi | MPa |
| t | :Numunenin kalınlığı | mm |
| $\sigma_t$ | :Numunenin çekilme dayanımı | MPa |
| $L_0$ | :Deneyden önceki kuru kütle miktarı | gr |
| $L_{100}$ | :100 devir sonrasında 1,7 mm açıklıktaki elek üstünde kalan kuru kütle miktarı | gr |
| $L_{500}$ | :500 devir sonrasında 1,7 mm açıklıktaki elek üstünde kalan kuru kütle miktarı | gr |
| $L_{1000}$ | :1000 devir sonrasında 1,7 mm açıklıktaki elek üstünde kalan kuru kütle miktarı | gr |
| $LA_{100}$ | :100 devir sonrasında Los Angeles aşınma kaybı | % |
| $LA_{500}$ | :500 devir sonrasında Los Angeles aşınma kaybı | % |
| $LA_{1000}$ | :1000 devir sonrasında Los Angeles aşınma kaybı | % |
| $W_0$ | :Silindir hücre kütlesi | gr |
| $W_1$ | :Silindir hücre ve içindeki kuru agreganın kütlesi | gr |

| | | |
|---|---|---|
| $M_c$ | :Deney sonrası 2.36 mm elek üstünde kalan agreganın kütlesi | gr |
| $M_b$ | :Deney öncesi agreganın kuru kütlesi | gr |
| a | :Agreganın darbe dayanım direnci | % |
| $A_0$ | :Deneyden önceki kuru numune ağırlığı | gr |
| B | :I. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| C | :II. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| D | :III. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| E | :IV. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| $I_{d1}$ | :I. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d2}$ | :II. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d3}$ | :III. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d4}$ | :IV. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $m_i$ | :Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi | gr |
| $m_f$ | :Numunenin deneyden sonraki kuru kütlesi | gr |
| $\Delta V$ | :Numunenin 16 döngü sonundaki hacim kaybı | $cm^3/50cm^2$ |
| G | :Tuz kristallenmesi öncesi numunenin kuru ağırlığı | gr |
| H | :Tuz kristallenmesi sonrası numunenin kuru ağırlığı | gr |
| DWL | :Kuru ağırlık kaybı | % |

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| BX | :42 mm çapında karot örneği |
| NX | :54,7 mm çapında karot örneği |
| SEM | :Taramalı elektron mikroskop |
| SÇD | :Schmidt çekici deneyi |
| Plj | :Plajiyoklas |
| Plj-m | :Plajoklas mikrolitleri |
| Q | :Kuvars |
| Or | :Ortoklas |
| Bi | :Biyotit |
| Amf | :Amfibol |
| Prx | :Piroksen |
| ka | :Kalsit |
| dl | :Dolomit |
| V | :Volkanik cam |
| P | :Porozite |

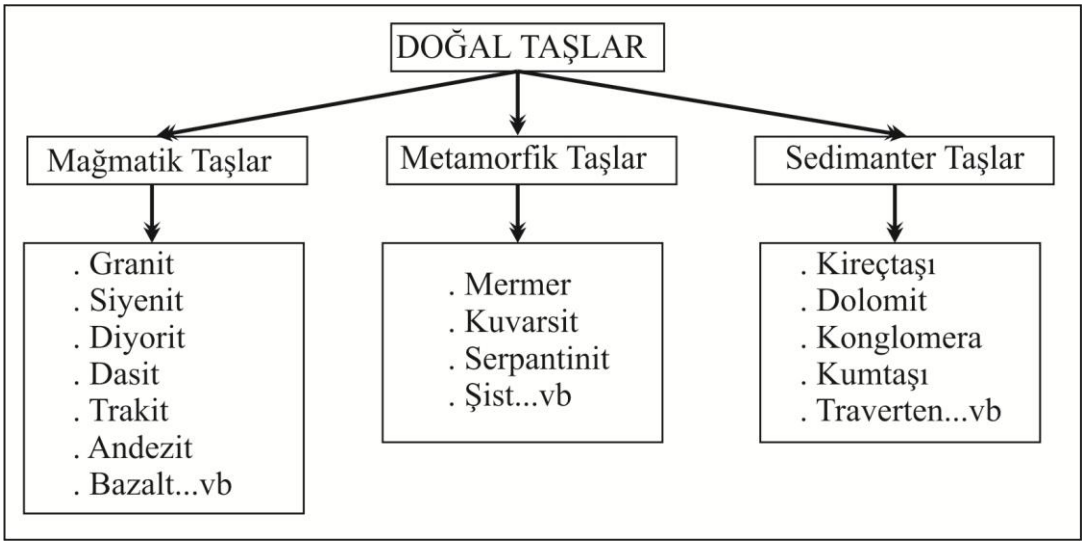
# 1. GİRİŞ

Petrografik ve teknik özellikleri (fiziksel, mühendislik özellikleri) bakımından yapılarda kullanılmaya elverişli olan, çeşitli minerallerin veya tek bir mineralin, kayaç parçacıklarının veya hem mineral hem de kayaç parçacıklarının bir araya gelmesinden doğal olarak oluşmuş katı maddeler "doğal yapı taşı" olarak adlandırılmaktadır (TS 699, 2009). Anadolu'da blok alınan, agrega olarak kullanılan ve levha haline getirilen farklı köken ve özellikte kayaçlardan oluşan işletilebilir doğal taşlar bulunmaktadır. Çalışmanın ana malzemesini oluşturan doğal yapı taşlarının sınıflandırılmasının iyi yapılması gerekmektedir.

Doğal taşlar değişik araştırıcılar tarafından çeşitli şekilde sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, numune derlemesi yapılırken kayacın oluşumlarına dikkat edilmiştir. Bu doğal taşlar oluşumlarına göre magmatik taşlar, metamorfik taşlar ve sedimanter taşlar (TS 699, 2009) olarak bilinirken ticari olarak piyasada farklı adlarla anılmaktadırlar (Şekil 1.1). Mağmatik kayaçlar; erimiş vaziyette bulunan magmanın yükselerek yer içinde veya yüzeye yakın derinliklerde ve yüzeyde soğuyarak katılaşması sonucu oluşan kayaçlardır. Sedimanter kayaçlar; mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler sonucu sıkışma, çimentolanma ve yeniden kristallenmesi ile oluşan kayaçlardır. Metamorfik kayaçlar ise sedimanter ve magmatik kayaçların belirli sıcaklık, basınç ve gerilme altında metamorfizmaya uğramasıyla oluşan kayaçlardır. Kayaçların fiziksel ve mekanik davranışlarındaki değişiklikler oluşum şekillerine göre farklılıklar sunmaktadır. Bu bağlamda farklı sınıftaki kayaçlar birbirleri ile daha kolay karşılaştırılabilir.

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de geçmişten günümüze kadar birçok alanda doğal yapı taşları kullanılmaktadır. İnşaat sektörü, gıda, süs taşı gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan doğal yapı taşları; binaların iç ve dış mekânında dekoratif amaçlı, yalıtım malzemesi olarak, temellerde yapı malzemesi olarak, ekmekte katkı malzemesi olarak, boya sanayinde, limanlarda dalgakıran olarak, takı malzemesi olarak, nükleer atıkların depolanma alanı, petrol ve doğalgazın depolanması, beton ve asfaltta agrega olarak, yüzer platformların sabitlenmesi amacıyla, karayollarında mıcır olarak, tren yollarında balast ve subbalast malzemesi olarak, parke taşı ve bordur taşı olarak, anıtlarda, barajlarda riprap malzemesi olarak, köprülerin kemerlerinde ve deniz kenarlarında yapılan dolgular gibi birçok alanda da kullanılmaktadır.

Doğal yapı taşlarının özelliklerini belirlemek önemli olduğu kadar, kullanım amacına göre kullanıldığı alanlarda karşılaşacağı şartlara göre davranışlarının da belirlenmesi ve dayanaklılığının ortaya konması büyük önem arz etmektedir.




**Şekil 1.1.** Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması (TS 699, 2009).

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Kayaçlar doğada tuz kristallenmesi, ıslanma kuruma, donma-çözülme ve termal etki gibi değişik çevresel etkilere bağlı olarak bozunmaya uğramaktadırlar. Kayaçları doğal şartlar altında bozunmaya uğratan en önemli çevresel etkilerden biri tuz kristallenmesidir. Doğada gerçekleşen tuz kristallenmesinin birçok çeşidi bulunabilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı sodyum klorür (NaCl)'dür. Sodyum klorür; yağmur, yeraltısuyu ve deniz suyunda doğal olarak bulunduğu gibi değişik amaçlar için birçok alanda kullanılmasından dolayı yapı taşlarını etkilemektedir. Yeryüzünde doğal şartlar altında bozunmaya uğrayan yapı taşlarının mühendislik parametrelerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle "atmosferik" koşulları yansıtan tuz (NaCl) kristallenmesinin kayaçların fiziksel ve mühendislik özelliklerinde meydana getirdiği değişimlerin anlaşılması için yapay bozunma deneyleri yapılmaktadır. Bu bağlamda, laboratuarda sodyum klorür kullanarak yapay tuz kristallenme deneyi yapmak, doğada meydana gelecek bozunma sonucunda kayaçta meydana gelen değişikliklerin anlaşılması açısından bir kılavuzdur.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, kayaçların tuz kristallenmesine maruz kalacağı birçok ortam mevcuttur. Örneğin liman dolgularında kullanılan

kayaçların tuzlu su ile teması, denizlerden gelen nem ve rüzgar ile taşınan tuzların kayaç ile olan etkileşimi, İç ve Doğu Anadolu bölgelerinde ise kış mevsiminde buzlanmaya karşı yoğun tuz kullanımı, kıyı kesimlerde buzlanmaya karşı deniz suyunun doğrudan kullanımı ve bunun gibi birçok faktör bulunmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada, Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin ve Karaman çevresinde yüzeyleyen ve yapıtaşı, bina iç-dış cephe kaplama taşı, beton agregası, anroşman, yol kaplama ve asfalt malzemesi olarak kullanılan çeşitli kayaçların tuz kristallenmesine bağlı bozunma karşısında fiziksel ve mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

## 1.2. Çalışmanın İçeriği

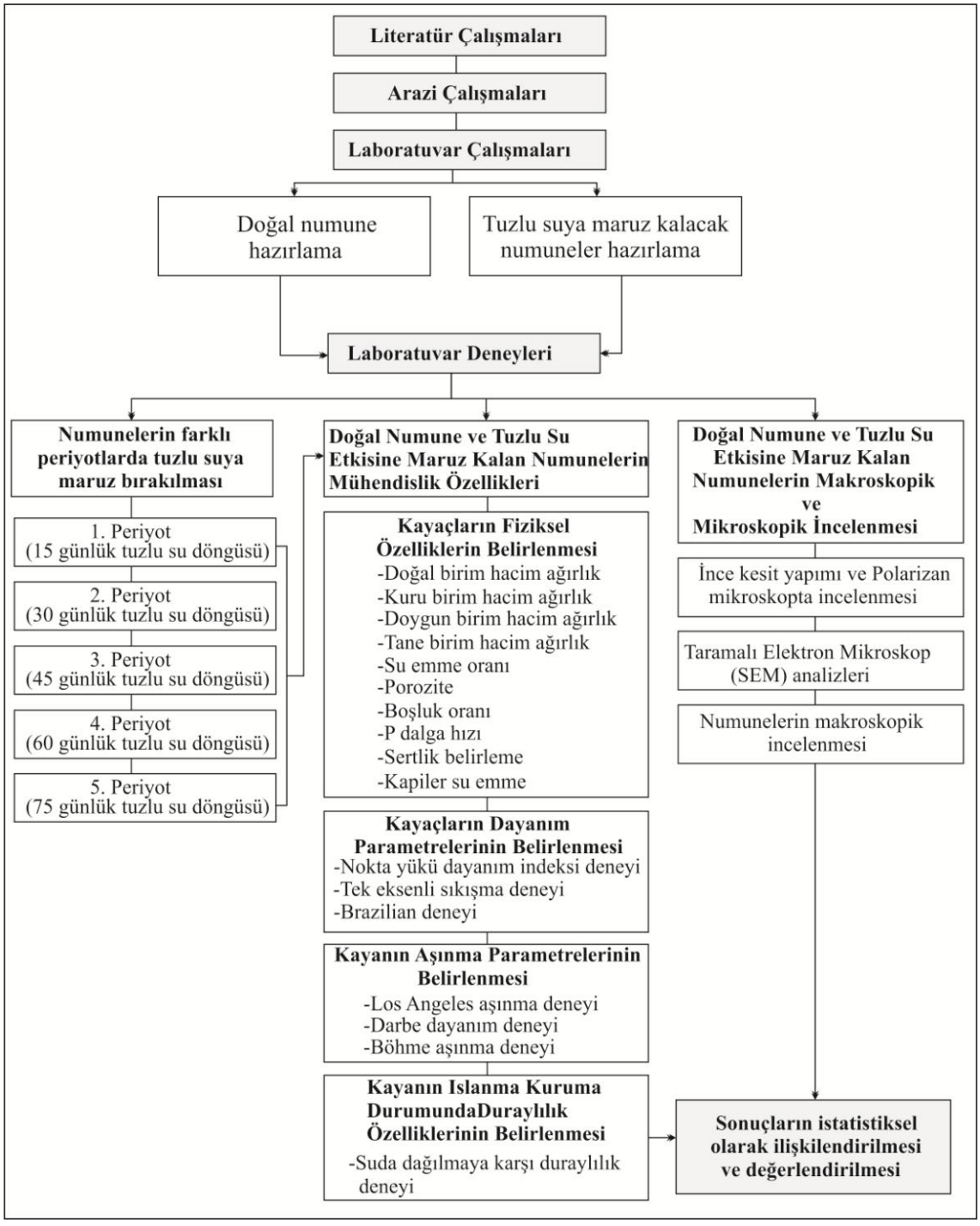
Bu çalışmada tuz (NaCl) kristallenmesinin farklı kaya türlerinde meydana getirdiği yapay bozunma sonucunda kaya malzemesinin fiziksel ve mühendislik özelliklerindeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye'nin değişik bölgelerinden farklı bileşimde ve porozitesi birbirinden farklı kayaç örnekleri toparlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kayaçların alındıkları bölgeler ile tanımlayıcı özelliklerine ait bilgiler Şekil 1.2 ve Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çalışmada farklı kökene ait kayaçların fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Fiziko-mekanik özellikleri belirlenen kayaçlar, RILEM (1980)'de belirtilen esaslara göre tuz kristallenmesi deneyine tabi tutulmuştur. RILEM (1980)'de belirtildiği üzere kayaçlar % 10'luk tuz (NaCl) çözeltisi içerisinde tam daldırılarak 2 saat bekletildikten sonra 19 saat 60 $^{o}$C'lik etüvde kurutulmuş ve yaklaşık 20 $^{o}$C'lik oda sıcaklığında 3 saat bekletilerek soğutulmuştur. Böylece bir döngü tamamlanmış olmaktadır. Bu işlem 15 kez tekrarlanarak 1 periyotluk tuz kristallenmesi deneyi tamamlanmıştır. Her periyot sonunda numuneler 7 gün boyunca su içerisinde bekletilerek yıkanıp bir sonraki periyot için deneye hazır hale getirilmiştir. Bu şekilde 5 periyotluk tuz kristallenmesi deneyi tamamlanmıştır. Her bir periyot sonunda, tuz kristallenmesine bağlı bozunmaların kayaçta meydana getirdiği fiziko-mekanik değişimleri ortaya koymak için laboratuar çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların işlem akım şeması Şekil 1.3'de verilmiştir.




**Şekil 1.2.** Numune lokasyon haritası.

**Çizelge 1.1.** Çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin tanımlayıcı özellikleri ve alındıkları bölgeler.

| Örnek No | Stratigrafik Adı | Ticari Adı | Kayaç Cinsi | Yaş | Alındığı Bölge |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Ekecikdağ plütonu | Anadolu Gri | Granit | Geç Kretase-Paleosen | Aksaray |
| 2 | Hamit plütonu | Kaman Rosa | Granit Porfir | Geç Kretase-Paleosen | Kırşehir |
| 3 | Karataş volkanitleri | Niğde Bazaltı | Bazalt | Geç Kuvaterner | Niğde |
| 4 | Sulutas volkanitleri | Meram Andeziti | Andezit | Geç Miyosen-Erken Pliyosen | Konya |
| 5 | Ulukışla mağmatitleri | Ulukışla Spiliti | Spilit | Geç Kretase-Geç Paleosen | Niğde |
| 6 | Kızılağaç formasyonu | Ege Bordo | Mermer | Paleosen | Muğla |
| 7 | Tokmar formasyonu | Nova Krem | Kristalin Kireçtaşı | Orta Jura-Erken Kretase | Mersin |
| 8 | Üçbaş formasyonu | Karaman Kireçtaşı | Kristalin Kireçtaşı | Pliyosen | Karaman |
| 9 | Valibaba tepe ignimbiriti | Gri Tüf | Plajiyodasitik Tüf | Geç Miyosen | Kayseri |
| 10 | Ürgüp formasyonu | Deve Tüyü Tüf | Andezitik Tüf | Geç Pliyosen | Nevşehir |




**Şekil 1.3.** Çalışmada uygulanan işlem akım şeması.

# 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

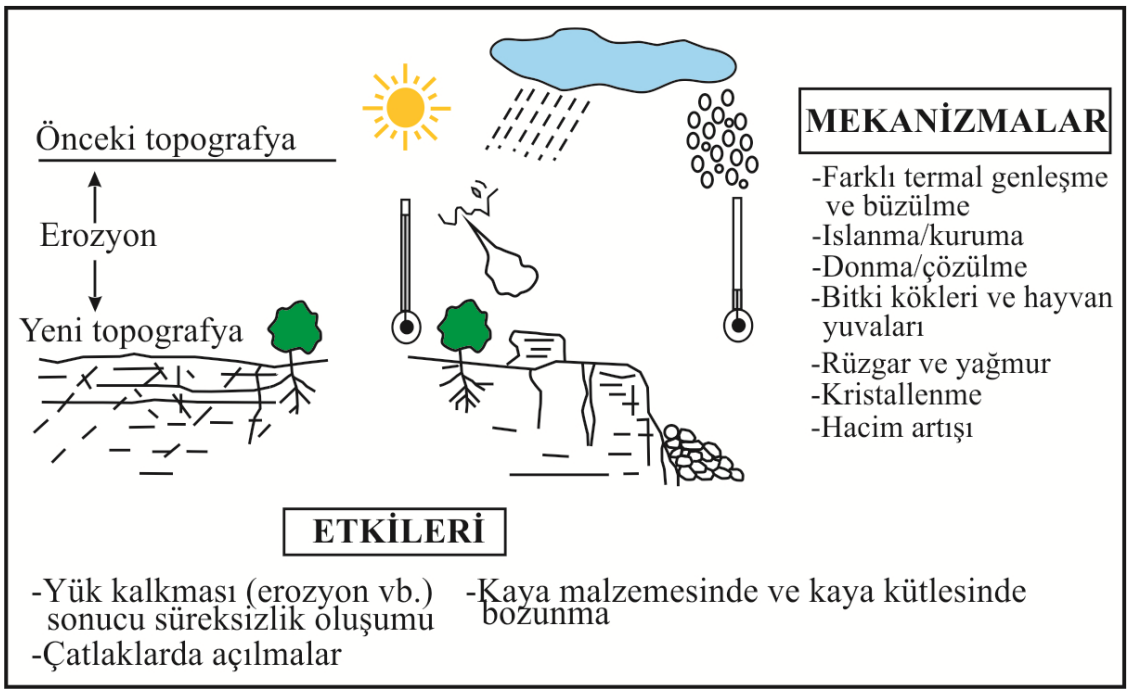
Bu bölümde, kayaçlarda meydana gelen bozunma ve kaya birimlerinin bozunmasında tuz (NaCl) kristallenmesinin etkisi, alt başlıklar altında ele alınmıştır. Ayrıca tuz (NaCl) kristallenmesinin kayaçlarda meydana getirdiği bozuşmayla ilgili birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalara değinilmiştir.

## 2.1. Kaya Birimlerinde Meydana Gelen Bozunma

Kayaçların bozunması genel olarak fiziksel parçalanma, kimyasal bozunma ve biyolojik aktiviteler ile meydana gelmektedir. Bozunma, kayaç dokusunu zayıflatarak ve herhangi bir yapısal zayıflığı arttırarak yenilme süreçlerine yardım eder. Mineral tanelerinin içinde veya arasındaki kırık gelişiminin bir sonucu olarak kayaç daha dayanımsız hale gelebilmektedir. Bozunma, aynı zamanda bozunmayı oluşturan etkenlerin kayaç içerisine girmesini sağlayan süreksizliklerin varlığı ile de kontrol edilmektedir. Bozunmanın en erken etkilerinin bazıları süreksizlik yüzeyi boyunca görülmektedir ve daha sonra kayaç içerisine doğru devam eder. Bozunmanın ilerlemesindeki oran yalnızca bozunma ajanlarının enerjisine bağlı değildir, aynı zamanda kayaç kütlesinin dayanımı ile de ilgilidir. Bu da, bir taraftan mineralojik bileşim, doku, gözeneklilik ve kayacın dayanımı, diğer taraftan da kaya kütlesi içindeki süreksizliklerin sıklığı tarafından yönetilir (Bell, 2007).

### 2.1.1. Fiziksel bozunma

Kayacın kimyasal ve mineralojik bileşiminde değişiklik olmaksızın mekanik faktörlerle parçalanmasına “fiziksel bozunma” denilmektedir (Hamblin ve Christiansen, 2004). Fiziksel bozunmayı oluşturan faktörler arasında donma-çözülme, gerilme boşalması, tuz kristallenmesi, gece ile gündüz arasındaki ısı farkı, erozyon gibi nedenlerden dolayı oluşan gerilme azalması, suyun alçalıp yükselmesi ve tuzlu suyun buharlaşması, ısınan kaya birimlerindeki termal genleşme ve büzülme, ağaç köklerinin kayaca mekanik kuvvet uygulaması ve rüzgâr gibi nedenler sayılabilmektedir (Mustoe, 1982; Anon, 1995; Rahn, 1996; Dirik ve Şener, 2007). Şekil 2.1, kayacın parçalanmasına yol açan önemli fiziksel bozunma süreçlerini göstermektedir.




**Şekil 2.1.** Fiziksel bozunma süreçleri (Anon, 1995).

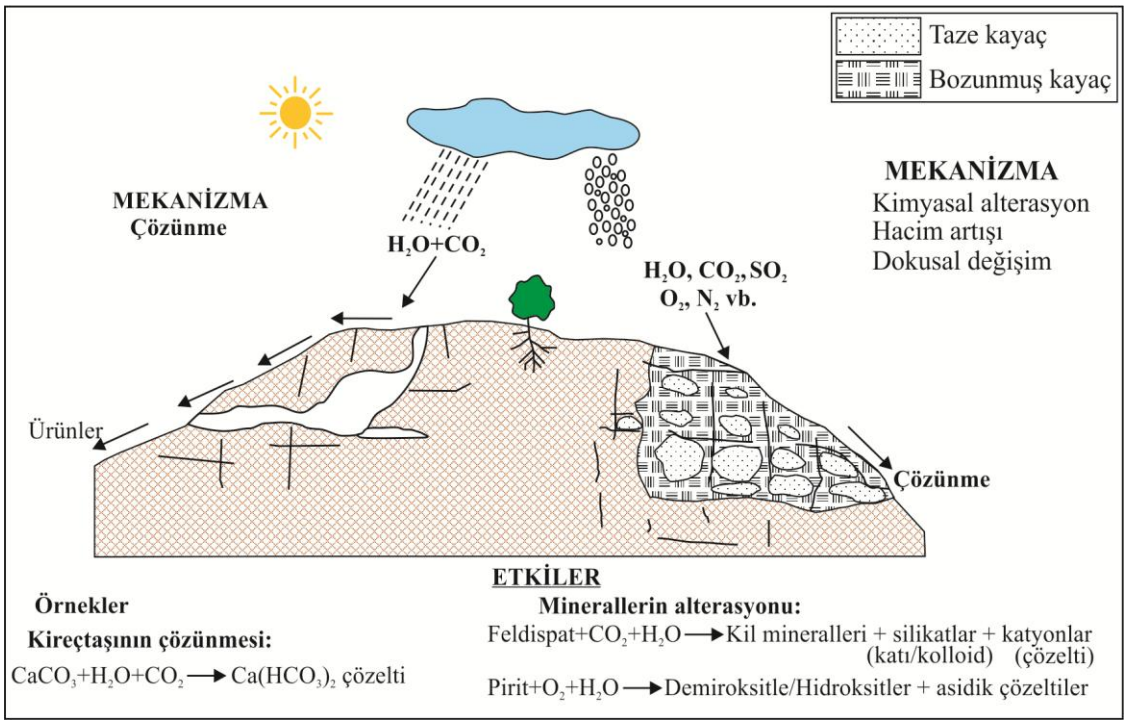
**Tuzlar:** Kayaç içinde tuzlar sadece üç şekilde mekanik parçalanmaya neden olabilir. Bunlar; kristallenme basıncı, hidrasyon basıncı ve diferansiyel termal genleşmedir. Belirli koşullar altında, bazı tuzlar kristallenebilir veya daha büyük alan (daha az yoğun bir alan) kaplayan farklı hidratlarda yeniden kristallenebilir ve ek basınç uygular. Kristalizasyon basıncı sıcaklık ve çözeltinin aşırı doygunluk derecesine bağlıdır. Hidrasyon basıncı ise ortam sıcaklığına ve bağıl neme bağlıdır (Bell, 2007).

**Donma-Çözülme:** Alternatif donma-çözülme eylemi kayaç içerisinde çatlaklar, fissürler, eklem ve bazı gözenek alanlarında genişlemeye neden olmaktadır (Bell ve Culshaw, 1993). Kayaç içerisindeki su, donma etkisi ile buza dönüştüğünde hacmi % 9 artar ve buda gözenek içindeki basıncın artmasına neden olmaktadır (Bell, 2007).

**Basınç rahatlaması / Gerilme boşalması:** Kayaçlar üzerindeki jeolojik malzemenin uzaklaşmasına bağlı olarak alttaki kayaçlarda basınç azalması sonucu kayaçlarda oluşan genişleme olayı gerilme boşalması olarak tanımlanmaktadır. Örneğin batolitler yükselirken üzerindeki kayaç kütlesi aşınırsa basınç azalması olur. Açığa çıkan kayaç kütlesi, içerisindeki enerjiyi dışa çıkararak genleşir ve kayaç yüzeyinde çatlakların oluşmasına neden olur. Ayrıca derinlerdeki madenlerde kayaç kütleleri kazının yanlarından sıklıkla patlamalı şekilde kopar (Dirik ve Şener, 2007).

### 2.1.2. Kimyasal bozunma

Atmosfer veya hidrosfer ile kimyasal tepkime sonucu kayacın mineral yapısındaki değişime "kimyasal bozunma" denir. Kimyasal ayrışma sırasında kayaç çürür, minerallerin içyapısı tamamen bozulur ve yeni mineraller oluşur. Böylece kayacın fiziksel görünümünde ve kimyasal bileşiminde önemli bir değişiklik olmaktadır. Kimyasal ayrışmanın ana işlemi suyun mevcudiyetine bağlıdır. Bu durum sistematik olarak Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Kimyasal bozunma reaksiyonlarının 3 ana tipi; çözünme, hidroliz ve oksidasyondur (Hamblin ve Christiansen, 2004).




**Şekil 2.2.** Kimyasal bozunma süreçleri (Anon, 1995).

**a-Çözünme:** Çözünme, bir mineralin tamamen çözelti haline dönüşme sürecidir. Bazı mineraller doğrudan su içerisinde çözünür, iyonlar süzülür veya yıkanarak uzaklaştırılır. Halit belkide en iyi bilinen örnektir ve yalnızca çok kurak bölgelerde yer yüzeyinde son derece çözünürdür. Jips, halit mineralinden daha az çözünür fakat aynı zamanda yüzey sularıyla daha kolay çözünmektedir. Bu süreçlerde su, en önemli elemandır. Çünkü su, bilinen en etkili ve evrensel çözücülerden biridir (Hamblin ve Christiansen, 2004).

Bütün kayaçların bozunmasında önemli bir bozunma aracı olan serbest oksijen; oksitleyici maddeler, demir ve özellikle kükürt içermektedir. Oksidasyon oranı suyun

mevcudiyeti ile hızlanmaktadır. En yaygın çözünme reaksiyonları hafif asidik su ($H_2CO_3$) içermektedir. Bu reaksiyonlar atmosferde ve bitki köklerinde olmakta ve karbondioksit açığa çıkarmaktadır. Karbon dioksit suda çözündüğü zaman karbonik asit üretilmektedir ve yaklaşık 5,7 pH değerine sahip olabilir (Hamblin ve Christiansen, 2004; Bell, 2007). Karbonik asitin yeryuvarını oluşturan kayaçlar üzerinde aşındırıcı etkisi oldukça yüksektir. Kireçtaşı, mermer, traverten gibi kalsiyum karbonat bileşimli kayaların kullanıldığı yapı taşı malzemelerinde bu gibi faktörlerin yardımıyla bozunma olayı gerçekleşebilmektedir (Akın, 2008).

**b-Hidroliz:** Hidroliz su ile diğer maddeler arasındaki bir reaksiyondur. Buradaki su ve diğer maddeler iyonlara ayrışır; $OH^-$ iyonu maddelerin biriyle grup olutururken $H^+$ iyonu diğer maddelerle grup oluşturur.

Hidroliz saf su içinde oluşabilir, ancak atmosferik koşullarda genellikle reaksiyonlara asitler eşlik eder. Bir mineral ve bir asit arasındaki reaksiyonun bu çeşidine genellikle asit hidrolizi denir. Daha basit bir ifade kullanmak gerekirse örneğin, saf suda kalsit çok fazla çözünmez, fakat karbonik asit içeren su, saf sudan çok daha fazla kalsit çözme kapasitesine sahiptir (Hamblin ve Christiansen, 2004).

Yağmur suyu atmosferde veya topraktaki karbondioksit ile birleşince karbonik asit oluşur. Bu tepkime şu şekilde ifade edilebilir:

$$\underset{\text{(Su)}}{H_2O} + \underset{\text{(karbon dioksit)}}{CO_2} = \underset{\text{(karbonik asit)}}{H_2CO_3}$$

Bu asit daha sonra çözelti içerisinde kalsiyum ve bikarbonat iyonlarını oluşturmak için kalsitle reaksiyona girebilir. Bu tepkime şu şekilde ifade edilebilir:

$$\underset{\text{(kalsit)}}{CaCO_3} + \underset{\text{(karbonik asit)}}{H_2CO_3} = \underset{\text{(kalsiyum bikarbonat)}}{Ca^{+2} + 2HCO_3}$$

Bazı silikat mineralleri, kalsit kadar kolay olamasa da çözünebilmektedir. Örneğin; piroksen, asidik sularla reaksiyona girdiği zaman yavaş yavaş çözünür. Bu tepkime şu şekilde ifade edilebilir:

$$\underset{\text{(piroksen)}}{MgSiO_3} + \underset{\text{(su)}}{H_2O} + \underset{\text{(karbonik asit)}}{2H_2CO_3} = \underset{\text{(iyonlar)}}{Mg^{+2} + 2HCO_3^-} + \underset{\text{(silisik asit)}}{H_4SiO_4}$$

Hidroliz reaksiyonunun diğer önemli bir çeşidi ise çözünmüş iyonlara ilave olarak yeni minerallerin oluşumudur. Kimyasal bozunma sırasında bu yeni oluşan minerallerin hepsi hidrattır, yani yapılarında su içerirler. Yeni oluşan minerallerce su, bir sünger gibi emilmemektedir, aslında yeni mineralin atom yapısına $OH^-$ iyonları olarak dâhil edilirler. Birçok silikat minerali özelliklede alüminyum içerenler sadece suda çözünmezler. Bunun yerine yeni bir mineral ve serbest iyon oluşturmak için reaksiyon gösterirler (Hamblin ve Christiansen, 2004).

İkincil mineral üretimine feldispatın kimyasal bozunması iyi bir örnek olarak verilebilir. Feldispat; mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların büyük bir çoğunluğunda bol bulunan bir mineraldir. Böylece feldispatın bozunarak nasıl kil minerallerine dönüştüğünü anlamak önem arzetmektedir. Yer kabuğunda en yaygın olarak bulunan silikat minerali olan plajiyoklas (feldispat) eğer karbonik asit içeren su ile birleşirse aşağıdaki genel reaksiyon gerçekleşir:

$$2NaAlSi_3O_8 + 2H_2CO_3 + 9H_2O = 2Na^+ + 2HCO_3^- + 4H_4SiO_4 + Al_2Si_2O_5(OH)_4$$

(Na-plajiyoklas) (karbonik asit) (su) (çözünmüş bileşenler) (kil minerali)

Feldispatların içerdikleri potasyum, kalsiyum ve sodyum gibi elementler, yukarıda verilen örnekteki gibi asidik suların etkisiyle tepkimeye girerek bozuşurlar ve/veya zamanla ortamdan eriyerek uzaklaşırlar. Bu minerallerin bozunması sonucu kayacın dokusunda bozunmalar gözlendiği gibi genişleyen gözeneklilik yüzünden mineraller arasındaki bağlar zayıflayarak kayacın bozunmasına neden olur (Hamblin ve Christiansen, 2004; Akın, 2008).

**c-Oksidasyon:** Oksidasyon; tamamen farklı bir mineral oluşturmak için bir mineral ile oksijenin (atmosfer içinde ya da su içinde çözülmüş) kimyasal bileşimi olarak ifade edilmektedir. Demir yeryüzündeki bozunma reaksiyonlarında en önemli element olarak bilinir. Birçok silikat mineralinde demir, $Fe^{+2}$ şeklinde bulunmaktadır, fakat oksijen bakımından zengin olan atmosfer içinde $Fe^{+3}$ tercih edilen bir iyonik yüktür. Böylece yüksek demir içeriğine sahip örneğin olivin, piroksen, amfibol ve biyotit gibi minerallerin bozunmasında oksidasyon özellikle önemli bir yer tutmaktadır (Hamblin ve Christiansen, 2004). Örneğin olivinin oksidasyonu aşağıdaki reaksiyonla açıklanmaktadır:

$2Fe_2SiO_4 + 4H_2O + O_2 = 2Fe_2O_3 + 2H_4SiO_4$

(olivin) (su) (oksijen) (hematit) (silisik asit)

### 2.1.3. Biyolojik bozunma

Organizma aktiviteleriyle hem fiziksel hemde kimyasal ayrışma gerçekleşebilmektedir (Helvacı, 2013). Bitki ve hayvanlara dayandırılan ayrışma etkileri, kendi içinde küçük fakat kayaç malzemesinde gözle görülebilir derecede olmaktadır. Bitkiler bünyelerinde nem bulundururlar ve bitkilerin geliştiği birçok kayaç yüzeyinde de nem bulunmaktadır. Bu durum suyun çözücü etkisine katkı sağlar. Bakteri ve mantarlar yardımıyla bitkisel/organik bir toprağın oluşumu aynı zamanda kayacın kimyasal olarak çürümesine de neden olabilir. Böylece organik asitler süzülen yağmur suyuna eklenerek çözücü özelliğini iyice arttırır. Ayrışma zonundaki gözeneklerde bulunan bazı bakteri türleri ve hareketli C, N, Fe, S ve O gibi elementler ayrışma süreçlerine yardımcı olmaktadır. Çatlaklar içerisine nüfuz eden bitkilerin kökleri ve bitkinin büyüyerek çatlak duvarlarının dışına çıkması ile kayacın mekaniksel parçalanması gerçekleşmektedir (Blyth ve Freitas, 1984).

## 2.2. Kaya Birimlerinin Bozunmasında Tuzun Etkisi

Tuz; Bir asit ve bir baz arasındaki reaksiyon ile oluşan iyonik bir bileşimdir (Chang, 2008).

Kayaçlarda bulunan tuz; dış etkenlerle kayacın kimyasal bileşimi etkilenip kayaç içerisinde tuz çözeltileri oluşturması veya direk tuz içeren sıvılarla etkileşimi sonucu oluşmaktadır.

Tuzlar, yapı taşlarının bozunmasına yol açan ana etkenlerden biridir. Farklı etkenler sonucu kayaç içerisine giren tuzlar, kristalizasyon, hidrasyon ve osmotik basınç; mineral çözünümü ve termal genişleme yoluyla kayacın parçalanmasına sebep olabilmektedirler (Rodríguez-Navarro and Doehne, 1999). Bunlardan en önemlisi bir kayacın gözenekleri içerisinde tuz kristallerinin büyümesidir. Bu kristaller kayaçta gerilme üretirler ve böylece kayacın çekilme dayanımını aşarak kayacı parçalara ayırabilmektedirler (Doehne ve Price 2010). Tuz kristallenme süreçlerinin mekanik etkisi, en dayanıklı kayacı bile yok edebilecek kadar basınç uygulayabilmektedir (La Iglesia ve ark., 1994; Theoulakis ve Moropoulou, 1997).

Yapı taşlarınının tuzlar tarafından kirletilmesi veya bozunmasının birçok yolu vardır. Hava kirliliği sülfat ve nitratların ana kaynağıdır. Diğer kaynaklar ise; artan neme bağlı olarak topraktaki tuzun kayaç içerisine taşınması, yeraltısularından zemine yakın yapıtaşlarına taşınan tuzlar, denizler ve çöllerden rüzgârlar ile taşınan tuzlar, karlı ve soğuk havalarda oluşan buz sorununu çözmek için atılan tuzlar (partikül veya sıvılar), uygun olmayan temizlik malzemeleri; uygun olmayan yapı malzemeleri, tarımsal gübre ve bazı ortaçağ yapılarında etlerin korunması ve barut saklamak için kullanılan tuz depolarının varlığıdır (Nielsen, 1991; Zezza ve Macri, 1995; Moropoulou ve ark., 1995; Doehne ve Price 2010).

Yapı malzemelerinde bulunan tuzlar iyon mevcudiyetine ve ortam iklimine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir (Nielsen, 1991). Yapı malzemelerindeki tuzlar dört ana gruba ayrılabilir (Arnold, 1984);

1- Sülfatlar ($MgSO_4.7H_2O$, $CaSO_4.2H_2O$ (jips), $Na_2SO_4.10H_2O$)
2- Kloritler (NaCl, $CaCl_2.6H_2O$)
3- Nitratlar ($Mg(NO_3).6H_2O$, $Ca(NO_3).4H_2O$, $3Ca(NO_3)_24NO_3.10H_2O$)
4- Karbonatlar ($Na_2CO_3.10H_2O$, $K_2CO_3$, $CaCO_3$)

Düşük nemlilikte ve kuru hava koşullarında, kayaç yüzeylerinde özellikle sınırlı çözünebilirliğe sahip tuzlar gözlenmektedir. Yüksek çözünebilirliğe sahip tuzlar ise su ile kayacın bünyesine girmekte ve çözelti içerisinde kalmaktadır. Sülfat, klorit, nitrat ve demir oksit en çok gözlenen çözünebilir tuzlardır. Kloritlerin çözünebilirlikleri oldukça yüksektir. Klorit kristalleri, kuruma aşamasında oluşurlar ve gözenek duvarlarına oldukça yüksek bir basınç uygularlar. Havanın nem oranındaki veya kayanın su içeriğindeki ani bir değişimle kolayca bünyelerine su alıp verdiklerinden bulundukları çevreye uyguladıkları basınç kısa zaman aralıklarında artıp azalabilmektedir (Akın, 2008). Kayaç bünyesindeki tuz çözeltisinin çeşidine göre kayaç içerisinde oluşacak basıncın şiddeti değişebilmektedir. Ollier (1984) ve Tucker ve Poor (1978), fiziksel bozunma süreçleri sırasında tuz kristallenmesinin 2-20 MPa, tuz hidratasyonunun ise 100 MPa değerinde kayaçlara gerilme uyguladığını belirtmişlerdir. Winkler (1978) ise kayacın daha küçük gözeneklerindeki kristallenmenin oluşturduğu basınçların yüksek seviyelere çıkabileceğini belirtmiştir. Örneğin halit (NaCl) 100 MPa, anhidrit ($CaSO_4$) 120 MPa ve jips ($CaSO_4.2H_2O$) 100 MPa'a ulaşan basınç uygulayabilmektedirler.

Tuz kristallerinin büyümesi genellikle kayaç içerisindeki tuz çözeltisinin soğuması ve evaporasyonun neden olduğu kristalizasyona bağlandırılmaktadır. Bazı tuzlar belirli şartlar altında kristallenebilir veya değişik hidratlar şeklinde yeniden kristallenerek daha büyük hacim oluşturarak ilave basınçlar meydana getirebilmektedir. Sıcaklık ve çözeltinin doygunluğu, kristallenme basıncını etkileyen ana etmenlerdendir. Hidrasyon basıncı ise sıcaklığa ve göreceli nemliliğe bağlıdır (Nielsen, 1991; Doehne ve Price 2010). Evaporasyon esnasında kapiler boşlukta bulunan çözeltide sıvı faz buharlaşmakta, geriye kalan materyal malzeme tuz kristalleri şeklinde çökelmektedir. Bu kristaller kayaçtaki taneler ile matriks-hamur arasındaki kohezyonu düşürmektedir. Bu esnada tuzların hacmi genişlemekte, kapiler boşluklarda basınç yaparak onları parçalamaktadır (Fitzer ve Snethlage, 1982; Benavente ve ark., 1999). Günlük ya da mevsimsel sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bu olay defalarca tekrarlanmaktadır. Buna bağlı olarak kayaçta tane boyutları değişmekte, gözeneklerin şekli deforme olmakta ve kayacın şekli değişmektedir (Benavente ve ark., 2001).

## 2.3. Kaya Malzemesindeki Bozunmanın Sayısal Değerlendirilmesi

Yapay bozunma deneyleri sonucunda yapı taşlarındaki bozunmanın sayısal olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan pek fazla metod bulunmamaktadır (Mutlutürk ve ark., 2004; Angeli ve ark., 2006; Angeli ve ark., 2007; Altındağ ve ark., 2006; Akın, 2008; Akın ve Özsan, 2011; Yavuz, 2011). Angeli ve ark. (2006) tarafından kayaçların bozunmaya karşı gösterdikleri direncin sayısal olarak ifade edilmesi için bozunma indeksi (AI) ve bozunma hızı (AV) kavramlarını tanımlamışlar. Mutlutürk ve ark. (2004) ise mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç tiplerinden oluşan 10 farklı kayaç örneği üzerinde yaptıkları donma-çözünme ve ısınma-soğuma deneyleri sonucunda örneklerde meydana gelen bütünlük kayıplarını sayısal olarak ifade eden matematiksel bir modeli geliştirerek $\lambda$ (bozunma sabiti) ve $N_{1/2}$ (bozunma yarı-ömrü) kavramlarını tanımlamışlardır. Bu bölümde ise bozunma indeksi (AI), bozunma hızı (AV), bozunma sabiti ($\lambda$) ve bozunma yarı-ömrü ($N_{1/2}$) kavramları ele alınacaktır.

### 2.3.1. Bozunma indeksi (AI) ve bozunma hızı (AV) kavramları

Angeli ve ark. (2006), bozunma indeksini (AI), tuz kristallenmesi deneyleri sırasında kayaçta gözle görülebilen ilk bozunmanın olduğu döngü sayısı olarak

tanımlamışlardır. Bu bozunma, ilk olarak kayacın fiziksel özelliklerindeki bir değişim olarak ifade edilebilir ve kristalizasyon basıncının, kayacın dayanımını aştığı an meydana gelmektedir. Bazı kayaçlarda ilk görsel bozunma, hızlı şekilde olmasına rağmen, aşınma daha yavaş şekilde devam etmektedir. Bazı kayaçlar ise ilk başta daha dirençli olup, ilk birkaç döngü sırasında görsel bir bozunma olmaz ve sonraki döngülerde tamamen parçalanabilmektedir (Angeli ve ark., 2007). Bu sebeple bozunma indeksi (AI), kayacın tuz bozunmasına karşı gösterdiği direncin yorumlanmasında yanlış değerlendirmelere sebep olabilir. Angeli ve ark. (2007) bozunma indeksi (AI) ile ilgili olumsuzlukları göz önüne alarak bozunma hızı (AV) kavramını geliştirmişlerdir.

Bozunma hızı (AV), tuz kristallenmesine baglı olarak kaya malzemesinde meydana gelen kütle değişiminin bir ifadesidir. Bozunma hızı (AV) döngülerden bağımsız olarak kayacın uzun süreli davranışını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Yani, Bozunma hızı (AV) döngü sayısının bir fonksiyonu olarak normalize edilmiş ağırlığı temsil eden fonksiyonun türevinin son değeri olarak değerlendirilmektedir (Angeli ve ark., 2007).

### 2.3.2. Bozunma sabiti (λ) ve bozunma yarı-ömrü ($N_{1/2}$) kavramları

Mutlutürk ve ark. (2004) tarafından öne sürülen matematiksel modelin; ıslanma kuruma, donma çözünme ve ısınma soğuma gibi yapay bozunma deneylerinin kayaçta meydana getirdiği bütünlük kaybı olarak ifade edilir ve bu değer her bir döngünün başlangıcındaki kayaç bütünlüğü ile orantılıdır. Bu önerme 2.1 numaralı eşitlikle ifade edilmektedir. 2.1 nolu eşitlikte önerilen denklem logaritmik ve üssel olarak 2.2 ve 2.3 nolu eşitlikte verilmiştir.

$$-(dI/dN) = \lambda I \qquad (2.1)$$

$$\ln(I_0/I_N) = \lambda N \qquad (2.2)$$

$$I_N = I_0 e^{-\lambda N} \qquad (2.3)$$

2.1 nolu eşitlikte dI/dN: dağılma oranı, I: kayaç bütünlüğünü, N: döngü sayısını ve λ: bozunma sabitini ifade ederken eşitlikteki negatif (-) işaret ise bütünlüğün azaldığını göstermektedir. 2.2 nolu eşitlikte $I_0$: başlangıcındaki kayaç bütünlüğünü ve $I_N$ ise N döngü sonundaki bütünlük kaybını ifade eder. 2.3 nolu eşitlikte ise $e^{-\lambda N}$: bozunma

faktörü olup N adet döngü sonundaki bütünlük oranıdır ve λ ise bozunma sabiti ise herhangi döngüdeki ortalama bütünlük kaybını ifade etmektedir. Bozunma sabiti (λ) tuz kristalizasyonu deneyine tabii tutulan kayaçlardaki değişimlerin, değişken ve döngü sayısı ilişkisini gösteren grafiklerdeki azalmanın üstel ($xe^{-\lambda N}$) ifadesi ile bulunabilmektedir.

Bu matematiksel model, her çeşit kayacın bütünlük kayıplarının değerlendirilmesinde anlamlı parametreler sağlamasından dolayı oldukça kullanışlıdır (Mutlutürk ve ark., 2004). Mutlutürk ve ark. (2004), kayaçların bozunmaya karşı göstemiş oldukları duraylılığın bir sonucu olarak bozunma yarı-ömrü ($N_{1/2}$) kavramını açıklamışlardır. $N_{1/2}$: kaya bütünlüğünü ifade eden herhangi bir fiziksel veya mekanik değişkenin yarı değere ulaşması için gerekli olan döngü sayısı olarak açıklanmaktadır. Bu değişken, bozunma faktörü ($e^{-\lambda N}$) ile ters ilişkilidir. Eşitlik 2.2'deki "$I_N$" yerine "$I_0/2$" yazılırsa bozunma yarı ömrü eşitlik 2.4'teki gibi olmaktadır.

$$N_{1/2} = \ln 2/ \lambda \approx 0{,}6931 / \lambda \qquad (2.4)$$

## 2.4. Önceki Çalışmalar

Kayaçların fiziksel parçalanma, kimyasal bozunma ve biyolojik aktiviteler ile bozunması sonucu mühendislik özellikleri değişmektedir. Kayaçlardaki bozunmanın iyi tanımlanması mühendislik yapısının performansı açısından önem arzetmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından bugüne kadar hem kaya kütlesi hem de kaya maddelerindeki bozunma ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Kayaçların bozunması üzerine özellikle tuz (NaCl) kristallenmesi deneyleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar:

Schaffer (1932), doğal yapı taşlarının bozuşması adlı çalışmasında, yüksek oranda mikro boşluklara sahip kayaçların, yüksek oranlarda geniş boşluklara sahip kayaçlara göre tuz aşındırmalarına karşı daha hassas olduğunu belirtmiştir.

Feucht ve Logan (1990), kumtaşının kayma davranışına, kimyasal çözeltilerin etkilerini araştırmışlar ve bunların kayaçların yenilme ve deformasyonu üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Suyun mevcudiyeti, yalnızca bir kumtaşının nihai yenilmesini % 33' e kadar düşürebileceğini, 0,2 mol/l NaCl çözeltisinin yenilme üzerinde benzer bir etki ürettiğini, ayrıca 0,5 mol/l NaCl (yüksek iyonik konsantrasyon)

çözeltisine doyurulmuş bir kumtaşının ise en büyük zayıflığı (yaklaşık % 41-46) göstereceğini belirtmişlerdir.

Carretero ve Galan (1996), deniz suyuna ve yağmura maruz kalan yapıtaşlarında, sıcaklık ve nispi nem değerlerine bağlı olarak kayaçların gözeneklerindeki tuz kristalleşmelerinin etkisi ile bozunmalar görüldüğünü söylemişlerdir. Sıcaklığın ve nispi nem farklılığın olduğu yerlerde ise farklı oranlarda bozulmalar gözlenebilineceğini söylemişlerdir.

Price (1996), dünyanın en büyük anıtlarının çoğunda gözlenen bozunmada tuzların etkisinin yüksek olduğunu belirterek yapıtaşlarında bozunmaya neden olan tuz kaynaklarının en önemlilerinden birinin hava kirliliği, bunun yanında deniz suyu veya çöllerden rüzgârla taşınan tuz, uygun olmayan kimyasal iyileştirme ve çimento gibi yapı malzemeleri ve ortaçağ yapılarında et ve barut muhafazası için tuz depolama teknikleri olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca tuzun yapı taşlarındaki etkisinin yalnızca dış ortamlarda olmayıp aynı zamanda iç ortamlarda da olduğunu vurgulamıştır.

Drever ve Stillings (1997), yeraltısuyunun taşıdığı organik asitlerin kayaçlarda bulunan minerallerin dengesini bozarak onların daha kolay bozunmasına yol açacağını belirtmişlerdir.

Halsey ve ark. (1998), sıcaklık ve nem değişikliklerinin kayaçların bozunmasında etkili olduğunu, minerallerin sıcaklığın düşmesi ile hacimlerindeki artma ve azalmanın alterasyonlarını kolaylaştırdığını belirtmişlerdir.

Topal ve Doyuran (1998), Kapadokya bölgesindeki peribacalarını oluşturan tüflerin fizikokimyasal ve mühendislik özelliklerini; ıslanma-kuruma, donma-çözünme ve tuz kristalleşmesi deneyleri yardımıyla incelemişlerdir.

Theoulakis ve Moropoulou (1997), tarihi yapılardaki gözenekli kayaçların ayrışma mekanizmasında etkili olan tuz kristallerinin büyümeleri ile ilgili yaptıkları çalışmada Rodos'un Medieval şehrindeki tarihi yapılara ait 50 den fazla noktada örnekleme çalışması yapmışlardır. Örnekler üzerinde taramalı elektron mikroskop (SEM), elektron prob mikroanalizleri (EPMA) ve kimyasal analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu ilk aşamada; tuz kristallerinin buharlaşma kanalları ile ilişkili daha büyük gözeneklerde büyüdüğünü ve daha küçük gözeneklerdeki çözeltiyle beslendiğini saptamışlardır. İkinci aşamada ise kristallerin gözenek boyutunu aştığını ve daha küçük gözenekleri örttüğünü belirterek evaporasyon oranının çözelti miktarından fazla olduğu zaman yüzeyin kuruduğunu, çözelti ile

kristalin temasının azalması sonucu kristal büyümesinin dışarıya doğru çok daha ince olduğunu savunmuşlardır.

Tuğrul ve Zarif (1999), İstanbul'da yapı taşı olarak kullanılan kireçtaşlarındaki bozunma üzerine yaptıkları çalışmada; kireçtaşlarındaki ayrışmanın özellikle çözünebilir tuz etkilerinden, biyolojik etki ve kapiler etkiyle yeraltısuyundaki artmaya bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, sülfatlar ile Ca, Mg, Na ve K tuzları gibi zararlı çözünebilir tuzların kayaçlardaki ayrışmanın ana faktörleri olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar daha önceki yapılan çalışmalara da dayanarak kayaç yüzeyindeki pürüzlülük gelişiminin genellikle parlatılmış (cilalanmış) düz bir yüzeydeki çözeltiden kaynaklandığını savunmuşlardır.

Marevelaki-Kalaitzaki ve Biscontin (1999), fiziksel ve kimyasal bozuşma (alterasyon) mekanizmalarının en önemli iki ögesinin su ve tuz olduğunu söylemişlerdir. Suyun taşıdığı kükürtlü ve karbonlu bileşiklerin ortamda pH düşmesine, asitlerin aktif hale gelmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Goudie (1999), kayaç özellikleri ile ilişkili olarak, kireçtaşlarının deneysel tuz ayrışması isimli çalışmasında 21 adet kireçtaşı üzerinde doygun sodyum sülfat çözeltisi ile yaptığı deney sonucunda bu kireçtaşlarının parçalanmasının geniş bir çeşitlilik gösterdiğini belirterek, 3 grup altında toplamıştır. Birinci grup örneklerin hızlı ve yoğun bir şekilde iri taneli olarak parçalandığını, ikinci grup örneklerin büyük miktarda tuzu emdikten sonra parçalandığını ve üçüncü grup örneklerin ise az miktarda tuz emdiğini fakat ağırlığında bir azalma gözlenmediğini ve parçalanma olmadığını belirtmiştir. Fakat bu son grup örneklerin elastisite modülünde bir azalma gözlenmiştir. Yüksek elastisite modülüne, yüksek yoğunluğa, düşük su emme kapasitesine ve düşük tuz emme eğilimine sahip olan kayaçların dirençli olmasına rağmen, düşük elastik modülü olan, düşük yoğunluğa, yüksek su emme kapasitesine ve yüksek tuz emme eğiliminde olan kayaçların hassas (duyarlı, çabuk kırılabilen) olduğunu belirtmiştir. Yazar bu faktörlerin, tuz ayrıştırmasının etkili olduğu kayaçlarda açıklanması ve önceden tahmin edilmesinin tek başına yeterli olmayacağını ve boşluk özellikleri ve kabuk içerikleri gibi diğer faktörlerinde muhtemel etkisi olabileceğini belirtmiştir.

Rodriguez Navarro ve Doehne (1999) "Tuz bozuşması; evaporasyon, aşırı doygunluk ve kristalizasyon desenlerinin etkileri" isimli çalışmalarında mikro ve makro ölçekli gözlemler ve çalışmalar yapmışlardır. Halite (NaCl) karşı mirabilit ($Na_2SO_410H_2O$) ve tenardit ($Na_2SO_4$)'in büyümesini/gelişimini karşılaştırdıklarında kristal morfolojisinde, kristalizasyon biçiminde, farklılıklar bulmuşlardır. Mikro ölçekli

çalışmalarında, sodyum sülfatın kristalizasyon biçiminin sodyum klorite göre bağıl nem ile çok daha güçlü şekilde etkilendiğini belirtmişlerdir. Makro ölçekli çalışmaları ise bunu desteklemiştir, mirabilitin ve tenarditin sabit bağıl nem ve sıcaklık koşulları altında son derece sınırlı alanlarda kristal oluşturma eğiliminde olduklarını ve bu kristalizasyon biçimi halitin kristalizasyonundan çok daha fazla zarar verici olduğunu çünkü halitin homojen bir biçimde kayacın en küçük boşluklarını doldurarak veya dışa akış şeklinde büyüme eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

Benavente ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada genellikle kayaçlardaki tuz aşınımını belirlemek için örneklerin tamamının tuzlu bir solüsyon içine batırıldığını fakat bunun tuz ayrışma mekanizmasının yansıtıcısı olmadığını söyleyerek örnekleri kısmi bir batırma ile teste tabi tutmuşlardır. Bu testin tuz kristalizasyon kullanımı yüzünden ağırlık azalması ve dış görünüşteki azalmanın karşılaştırılabileceğini belirtmişlerdir. Amaçlanan testte üretilen ağırlık kaybı ve görünüş bozukluklarının bina yapı taşlarındaki ile çok daha benzer olduğu, ağırlık kaybının yapı taşlarındaki gibi örneğin belirli bir alanında (kapiler/kılcal zon) olduğunu belirtmişlerdir Yaptıkları çalışmada kuru ağırlık kaybının bir sonucu olarak yeni dayanıklılık sınıflaması yapmışlardır.

Feng ve ark. (2001), granitin basınç gerilmesi ve mikro çatlaklarındaki su kimyasının etkileri isimli çalışmalarında, incelemiş oldukları örnekleri laboratuar ortamında 105 $^0$C de ve 6 saat boyunca kurutarak örneklerde ısınmaya bağlı olarak çatlak gelişimini sağlamışlar, porozite ve permeabilitesini arttırmışlardır. Bu çalışma ile incelemiş oldukları granitlerdeki suyun varlığının nihai basınç dayanımını azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, incelenen kayaçta basınç gerilmesindeki azalmanın uygulanan solüsyonun (NaCl, $NaHCO_3$, $CaCl_2$) asitlik veya alkalin özelliğine göre değiştiğini belirtmişlerdir. Gerilimin en az nötr sularda azaldığını ve solüsyonun asitik veya alkalin özelliğinin artmasına bağlı olarak gerilimin artacağını belirtmişlerdir.

Benavente ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada gözenekli yapıya sahip yapıtaşlarının duraylılık özelliklerinin tahmininde gözenek yapısı ve kayacın dayanım özelliklerini kullanmışlardır. Araştırmacılar önerdikleri petrofiziksel duraylılık belirleyici modelini yalnızca tuz ayrışması ile karşılaştırılarak diğer bozuşma mekanizmaları dikkate almamışlardır. Buna yönelik olarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarla da tuz kristallenmesi sonucu gerçekleşen bozunma ile önerdikleri petrofiziksel duraylılık belirleyici modeli arasında yüksek bir ilişki olduğunu ortaya

koymuşlardır. Tuz kristallenmelerinin bozunmayı hızlandıran en önemli faktörlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir.

Zedef ve ark. (2005), tuz kristalizasyonunun tarihi anıt ve binalarda kullanılan yapı taşları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, Konya çevresinden toplam 16 adet andezit, dasit ve tüflere ait bozuşmuş ve sağlam kayaç örneği üzerinde laboratuar deneyleri yapmışlardır. Bozuşmuş dasit ve andezitlerin ateş kaybı değerlerinin (LOI) sağlam örneklerin ateş kaybı değerinden daha fazla olduğunu ve bunun bozuşmuş kayaçların yüksek su emme oranına sahip olmasından kaynaklandığını, en yüksek ateş kaybı değerinin ise tüflerde gözlendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar tüflerin kuru ağırlık kaybı deneyinin 5. Gününden sonra tamamen bozuştuğunu söyleyerek tüflerin tuz kristallenmesine karşı en zayıf kayaç ve dasitlerin ise en sağlam kayaç olduğunu savunmuşlardır. Tuz kristallenmesi ve ayrışmaya karşı kayaçların duraylılığının; kayacın kimyasal ve fiziksel-mineralojik-petrografik özelliklerine de bağlı olduğunu vurgulamışlardır.

Sousa ve ark. (2005), Portekiz'in kuzeydoğusundan alınan 9 farklı petrografik ve fiziksel özelliklere sahip granitlerin duraylılığı ve fiziko-mekaniksel özellikleri üzerinde gözenekliliğin etkisini araştırmışlardır. Tuz kristallenmesi ve termal şok gibi yapay bozunma deneyleri sonucunda çatlak yoğunluğu fazla olan granitlerde daha fazla malzeme kaybı olduğunu ve termal çatlakların ise daha az çatlak yoğunluğuna sahip granitlerdeki P dalga hızında daha büyük etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca düşük gözenekliliğe sahip granitlerin bozunmaya karşı yüksek gözenekliliğe sahip granitlere oranla daha dirençli olduğunu saptamışlardır.

Benavente ve ark. (2007a), gözenekli kayalardaki tuz bozunmasının, kayaların petro-fiziksel özellikleri ile olan ilişkilerini araştırmışlardır. 18 adet kumtaşı ve çakıltaşından oluşan örnek üzerinde yaptıkları tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda kaya dayanımının, istatistiksel olarak tuz bozunmasında, su dolaşımı ve gözenek yapısına oranla daha etkili olduğu ortaya konmuştur. Araştırmacılar 1-gözenek boyutu ile gözenekliliğin, 2-tuzun türünün, 3-çözeltinin kaya içerisindeki hareketliliğinin ve 4-kaya dayanımının, gözenekli kayalarda, kristallenme basınçlarının etkisini kontrol eden dört önemli unsur olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca en büyük kristallenme basınçlarının küçük gözeneklerin oluşturduğu zonlarda meydana geldiğini ve tuz bozunmasının en çok küçük gözenekli ve düşük su iletim katsayısına sahip gözenekli kayalarda etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Çözünebilen tuzların oluşturduğu kristallenme

basınçlarının bir sonucu olan tuz bozunmasının ise yapıtaşlarının bozunmasını sağlayan en önemli faktörlerden birisi olduğu ifade edilmiştir.

Van ve ark. (2007), tuz kristallenmesi deneyleri sırasında, tuz çözeltisi içinde bekleyen örneklerin gözeneklerinde tuz birikimi olmasına karşın, deneyin kurutma aşamasında, gözeneklerdeki suyun buharlaştığı ve geriye kalan tuzların ikincil kristallenmesi sırasında basınçlar geliştiği belirtilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda, kılcallık etkisinin daha fazla olduğu kireçtaşı türünde diğerine oranla tuz bozunmasının daha etkili olduğunu söyleyerek, kayaçtaki kılcal emilmenin ve su hareketinin bozunma etkisinin ortaya konmasında anahtar unsurlar olduğu vurgulamışlardır.

Yavuz ve Topal (2007), sıcaklık ve tuz kristallenmesinin mermerlerin bozunması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Batı Anadolu'nun çeşitli yerlerinden alınan 6 farklı mermer üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarda, çevrimsel tuz kristallenmesi basınçları ve sıcaklık değişimlerinin bu mermerlerin bozunması üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda mermerlerin; tek eksenli sıkışma dayanımı, kuru ve ıslak P dalgası hızları, kuru birim hacim ağırlığında azalma olduğunu, su emme oranı ve efektif gözeneklilik oranlarında artış olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar ayrıca ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinin, sağlam ve yüksek duraylılığa sahip kayalar üzerinde fazla etkili olmadığını, fakat sıcaklık değişimlerinin de bir sonucu olan tuz kristallenmesi basınçlarının mermerlerin kötü iklim şartları karşısındaki duraylılığının belirlenmesinde etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Angeli ve ark. (2007), tuzların kristallenmesinin gözenekli kayaçlarda meydana gelen bozuşma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, 4 kireçtaşı ve 5 kumtaşı olmak üzere toplam 9 farklı kayaç üzerinde tuz kristallenmesi deneyleri yaparak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Araştırmacılar tuz bozunmasının sayısal olarak ifade edilebilen bozunma indeksi (AI) ve bozunma hızı (AV) kavramlarını önermişlerdir. Bozunma indeksi (AI), tuz kristallenmesi deneyleri sırasında kayada meydana gelen bozunmanın/çatlağın ilk olarak görüldüğü çevrim sayısını olarak tanımlanmış, bozunma hızı (AV) ise, bozunma indeksinden daha uzun çevrim sayısıyla kayaçta meydana gelen bozuşmaları değerlendirmek için kullanılmıştır.

Backstrom ve ark. (2008), tuzlu boşluk suyu içeren ve içermeyen, granitlerin tek eksenli basınç yeniliminin sayısal modellemesi isimli çalışmasında, granitlerin mekaniksel dayanımındaki kimyasal ve zamana bağlı etkilerin yerini belirlemek ve tüm

gerilme-basınç eğrilerini belirlemek için bir dizi laboratuar deneyi yapmışlardır. Granitler üzerinde mikro çatlak testleri uygulamışlar ve çatlak desenleri oluşturmuşlardır. Yapmış oldukları deneyler sonucunda tuzlu suya doygun hale getirilmiş olan örneklerde boşluk suyunun varlığı elastik modül, sıkışma dayanımı ve gerilme-basınç eğrisinin geometrisini etkilediğini belirtmişlerdir.

Angeli ve ark. (2010), tuz konsantrasyonu ve sıcaklığın kireçtaşlarında meydana gelen bozuşma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaç ile yaptıkları deneylerde 12 adet kireçtaşı üzerinde farklı sıcaklıklarda (5, 25 ve 50 $^{o}$C) ve farklı konsantrasyonlarda (% 5, % 12, % 25) hazırlanan $NaSO_4$ çözeltisi kullanmışlardır. Deneyler sonucu sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan kayaçların 5 $^{o}$C sıcaklıkta, oda sıcaklığından (25 $^{o}$C) daha fazla bozunmaya uğradığını belirtirken, sıcaklık ne olursa olsun kayaçların bünyelerine aldıkları tuzun doğrudan tuz konsantrasyonlarının yoğunluğu ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tuz konsantrasyonunun, kayaçtaki ayrışma desenini doğrudan etkilediğini savunmuşlardır.

Yu ve Oguchi (2010), Japonya'da yapı taşı olarak kullanılan kayaçların tuz duraylılığının tahmini ile tuz emilimi ve zararının kayaçların gözenek büyüklüğü ile ilişkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 2 farklı tüf, riyolit, 2 farklı kumtaşı, traverten, dolomit ve granit örneği üzerinde sodyum karbonat, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat olmak üzere 3 farklı tuz çözeltisi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; toplam etkili porozitenin tuz emiliminde etkili olduğunu ve zararın miktarını kontrol eden faktör olduğunu, kayaçtaki 0.1 μm'den daha küçük mikro porozitelerin oranı ile kayacın kuru birim ağırlık kaybı arasında çok yüksek korelasyon olduğunu ve 5 μm den daha küçük çaplı mikroporozitenin en iyi tuz emilimini sağladığı belirtmişlerdir.

Akın ve Özsan (2011), Anıtkabir sütünlarında kullanılan sarı travertenlerin (Karabük - Eskipazar) hızlandırılmış bozunma testleri ile uzun dönem duraylılığını araştırmışlardır. Yaptıkları donma-çözülme, ıslanma-kuruma ve tuz kristalizasyonu deneyleri sonucunda sarı travertenin bozunmasındaki en yıkıcı/bozucu faktörün re-kristalleşme basıncı olduğunu belirtmişlerdir.

# 3. MATERYAL VE METOT

## 3.1. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmada, Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin ve Karaman çevresinde mostra veren ve yapı taşı, bina iç-dış cephe kaplama malzemesi, beton agregası ve rip-rap malzemesi olarak kullanılan ve kullanılabilecek sedimanter, magmatik ve metamorfik kayaçlar belirlenmiştir. Bu özellikteki kayaçların yüzlek verdiği ayrışmamış taze yüzeylerinden yaklaşık 30 cm x 30 cm x 20 cm boyutlarında deneylerde kullanılacak miktarda örnekler alınmıştır.

## 3.2. Laboratuar Çalışmaları

Anadolu'nun değişik yerlerinden alınan kayaç örneklerinin tuz kristallenmesi sonucu fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimleri belirleyebilmek için laboratuar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları; Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekaniği laboratuarı, Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuarı ve Selçuk Üniversitesi Ar-Ge laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

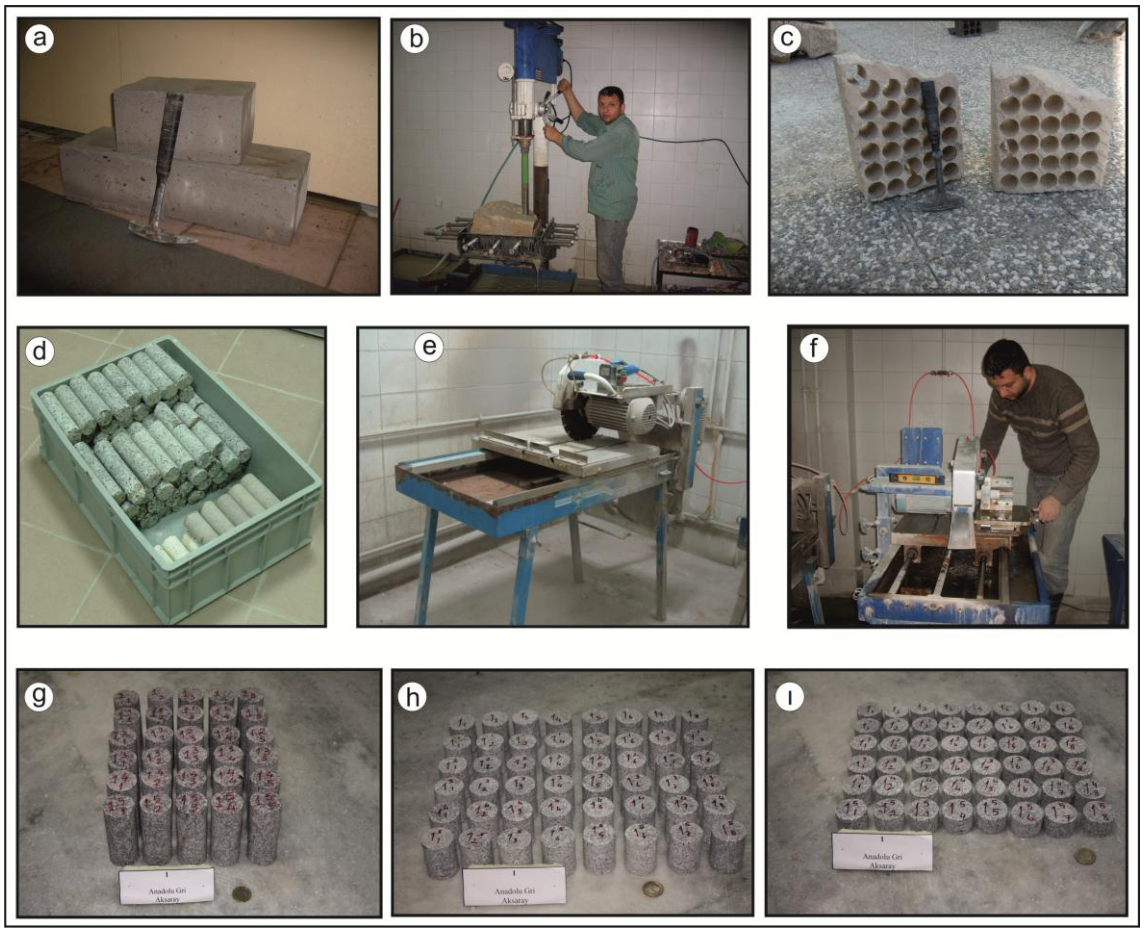
Laboratuar çalışmaları, numune hazırlama aşaması ve laboratuar deney aşaması olarak ele alınmıştır.

### 3.2.1. Numune hazırlama aşaması

Kaya mekaniği deneylerine başlamadan önce, standartlara uygun numune hazırlanmalıdır. Bunun için araziden alınan kayaçlardan deney için numune hazırlanmasında ISRM (1981), ASTM (1994) ve TS EN 12407 standartları dikkate alınmıştır. Deneylere başlamadan önce laboratuardaki ilk aşamalar; indeks ve jeomekanik deneyler için karot alma, aşınma deneyleri için agrega hazırlama ve karot alma, suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi için küresel numune hazırlama, petrografik incelemeler için numune hazırlama ve taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri için numune hazırlama işlemlerinden oluşmaktadır.

İndeks ve jeomekanik deneyler için; araziden alınan kayaçlardan, laboratuarda bulunan karot makinası ile BX (42 mm) tipi karotiyerler kullanılarak silindirik karot örnekleri alınmıştır. Alınan karotlardan hem doğal hem de 5 periyota maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır. Elde edilen karotlar, standartlara uygun boyutlarda

karot makinası ile kesilmiş ve alt ve üst yüzeyleri karot düzeltme makinası ile düzeltilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Deney öncesi karotlar kontrol edilmiş, süreksizlik içeren, standart dışı olanlar ayırtlanmıştır (Şekil 3.1a-ı).




**Şekil 3.1** a) Araziden alınan blok örnek, b) Karot alma makinesi ve karot alma işleminden bir görünüm, c) Karot alınan bloktan görünüm, d) Karot örnekleri, e) Karot kesme makinesi genel görüntüsü, f) Karot düzleme makinesi genel görüntüsü, g,h,ı) Alt ve üst yüzeyi kesilip ve düzeltilmiş deney numuneleri.

Darbe dayanımı deneyi için, belirli bir elek aralığına sahip 750'şer gr malzeme hazırlanmıştır. Bu deney için hem doğal hem de 5 periyota maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin hazırlanması için el numunesi boyutuna getirilen malzemeler çeneli kırıcılardan geçirilmiş ve belirli bir boyuta getirilmiştir. Çeneli kırıcıdan geçirilen numuneler, 14 mm ile 10 mm çaplı elek ile elenmiş ve bu iki elek aralığında kalan malzemeden her deney için 750'şer gr alınmıştır (Şekil 3.2 a, b).

Los Angeles deneyi için, değişik elek aralığına sahip 1250'şer gr malzemeden, 5000 gr hazırlanmıştır. Bu deney için hem doğal hem de 5 periyota maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin hazırlanması için el numunesi boyutuna getirilen malzemeler çeneli kırıcılardan geçirilmiş ve belirli bir boyuta

getirilmiştir. Çeneli kırıcıdan geçirilen numuneler; 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm ve 9,5 mm çaplı elekler ile elenmiştir. Bu değişik çaplı elek arlıklarında kalan malzemelerden 1250'şer gr numune alınarak her deney için 5000 gr'lık numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.2 c).

Böhme aşınma dayanım deneyi için araziden alınan kayaçlardan NX (54,7 mm) tipi karotiyerler kullanılarak silindirik karot örnekleri alınmıştır. Alınan karotlardan hem doğal hem de 5 periyoda maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır. Elde edilen karotlar standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Ayrıca standart dışı olan karotlar ayırtlanmış ve standart karotlara numara verilmiştir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi için, 10'ar adet küresele yakın yaklaşık 40-60 gr arasında numune hazırlanmıştır. Bu deney için hem doğal hem de 5 periyota maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır. Deney için hazırlanan numuneler jeolog çekici ile vurularak küresel hale getirilmiştir (Şekil 3.2 d).




**Şekil 3.2.** a) Çeneli kırıcıdan bir görünüm, b) Darbe dayanımı deneyi için hazırlanan örneklerden bir görünüm, c) Los Angeles deneyi için hazırlanan örneklerden bir görünüm, d) Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi için hazırlanan örneklerden bir görünüm.

Kayaçların petrografik tanımlarını yapabilmek için numuneler kibrit kutusu büyüklüğünde karot kesme makinasında kesilmiştir. Bu deney için hem doğal hem de 5 periyota maruz kalacak miktarda numune hazırlanmıştır.

Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi için her örnekten, doğal ve her döngü için 1 cm x 1 cm x 1 cm boyutlarında kübik numuneler hazırlanmıştır.

### 3.2.2. Laboratuar deneyi aşamaları

Araziden derlenen farklı tipteki kayaçların doğal haldeki mühendislik özellikleri ile tuzlu su etkisine maruz kaldıktan sonraki mühendislik özelliklerinde gözlenen değişimleri belirleyebilmek için laboratuar deneyleri yapılmıştır. Bu laboratuar deneyleri; tuz kristallenmesi, petrografik analiz ve taramalı elektron mikroskop (SEM) çalışması, kayacın temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, mekanik (aşınma, dayanım) özelliklerin belirlenmesi ve tuz kristallenmesi sonrası ağırlık kaybı başlıkları altında incelenecektir. Laboratuar deneyleri, kayaçların tuzlu su etkisine girmeden ve girdikten sonra iki aşamada yapılmıştır.

Laboratuar deneyleri için bir doğal ve beş tuzlu su periyotuna maruz kalacak numune hazırlanmıştır. Hazırlanan doğal kayaçların mekaniksel, fiziksel ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Beş tuzlu su periyotu için hazırlanan kayaçlar, tuzlu su ile etkileşimine maruz bırakılmadan önceki indeks özellikleri belirlenmiş daha sonra bu kayaçlar tuzlu su etkileşime girdirilip tuz kristalleşmesi sonucunda fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir. Ayrıca yapılan deneyler öncesi ve sonrasında makroskopik değişimlerin ortaya konulması için fotoğraflar çekilmiştir.

#### 3.2.2.1. Tuz kristallenmesi deneyi

Tuzlu suya maruz bırakılmış numuneler bünyelerine tuzlu su emerler ve emdikleri tuzlu su belirli sıcaklık altında kristalizasyonuna uğrayarak kayaçta değişimler meydana getirir. Tuz kristallenmesi deneyi, kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana getirmek amacıyla yapılır. Laboratuar ortamında gerçekleştirilen yapay bozunma deneylerinden biri olan tuz kristallenmesi deneyi ile ilgili birçok standart bulunmaktadır. Tuz kristallenmesi deyinde genellikle RILEM 1980, TS EN 12370, ASTM C-88 ve DIN 5211 gibi standartlar kullanılmaktadır. Bu standartlar arasındaki farklılık deneysel koşullardan oluşmaktadır. Bu koşullar

arasındaki farklılık numunenin boyutu, tuzlu su çözeltisi, tuz konsantrasyonu, sıcaklık, bağıl nem ve döngü sayısıyla ayırt edilir (Richardson1991, Jefferson 1993, Goudie ve Viles 1995, Goudie 1999). Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip kayaçların kullanılması, düşük tuz çözeltisi derişimi ve sıcaklık derecesi ve süresi açısından RILEM 1980 standartı tercih edilmiştir. Deney RILEM (1980)' de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Tuz kristallenmesi deneyinde; tuz (NaCl), etüv, saf su kullanılmıştır.

Deneyde beş tuzlu su periyotuna maruz bırakılacak sayıda numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 15, 30, 45, 60 ve 75 günlük tuzlu su döngüsüne maruz bırakılmıştır. Bir günlük tuzlu su döngüsünde numuneler % 10'luk NaCl'lü su içerisinde 2 saat bekletilmiştir. Numuneler daha sonra süzdürülme işleminin ardından 19 saat boyunca 60 $^0$C lik etüvde bekletilmiş ve ardından 3 saat boyunca oda sıcaklığında (20 $^0$C) soğutulmuştur. Bu işlem ile 1 döngü 24 saatte tamamlanmış olmaktadır. Bu işleme 15 gün boyunca devam edilerek 1 periyot tamamlanmıştır. Tamamlanan 1. periyot sonunda numuneler 7 gün boyunca yıkama işlemine tabii tutulmuş ve toplam 22 gün sonra 2. periyota başlamak için numuneler hazır hale getirilmiştir. Bu işlem, 5. periyotun sonuna kadar aynı şekilde devam etmiştir. Tuz kristallenmesi deneyi ile, her periyot sonrasında örneklerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde değişimler meydana gelmiş ve kayaçlar suni olarak bozunmuştur.

### 3.2.2.2. Petrografik analiz ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

Kayaçların mineralojik ve dokusal özelliklerin belirlenmesi için doğal numunelerden ve döngüye maruz kalan numunelerden TS EN 12407 de belirtilen hususlara göre ince kesitler hazırlanmıştır.

Doğal numunelerden ince kesitler şu şekilde yapılmaktadır; petrografik amaçlı numune hazırlama makinasında kibrit kutusu büyüklüğünde hazırlanan numuneler elmas uçlu bir disk vasıtası ile yaklaşık 0,5 cm kalınlığında ve 2 cm x 1,5 cm ebatlarında kesilir. Daha sonra kendi etrafında dönen metal bir disk üzerine kaba aşındırıcı toz dökülerek numunenin bir yüzeyi aşındırılır. Aşınan yüzeyi pürüzsüz hale getirebilmek için bir cam üzerinde ince aşındırıcı toz dökülüp numunelerin buraya sürtülmesi ile parlatılması yapılır. Hazırlanan örneklerin nemini almak için 70 $^0$C'lik etüvde 3 saat bekletilir. Etüvden çıkan kayacın parlatılmış yüzeyi epoxy ile lam üzerine yapıştırılır ve bir süre bekletilir. Lam üzerindeki kayaç ince kesit kesme makinasında kalınlığı yaklaşık 0,5 mm ulaşıncaya kadar kesilerek inceltilir. Daha sonra cam üzerine dökülen ince parlatma tozu biraz nemlendirilir ve kayaç yüzeyi parlatma tozuna

sürtülmek vasıtası ile kalınlığı 0,02-0,03 mm ulaşıncaya kadar bu işlem devam eder. İnce kesit bu kalınlığa ulaştığında işlem sonlandırılır.

Tuzlu su döngüsüne maruz kalan kayaçların ince kesitlerinin hazırlanmasında ise kayaç herhangi bir işleme tabi tutulmadan etüvde nemi alınıncaya kadar kurutulur ve epoxy yardımı ile kayaç lam üzerine yapıştırılır. Daha sonra doğal numunelere uygulanan işlem tuzlu su kristallenmesi deneyine tabii tutulan numunelerde de yapılarak ince kesitler hazırlanır.

Tuzlusu döngüsünden önce ve sonra hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelerek fotoğraflandırılmıştır.

SEM çalışmaları için her örnekten hazırlanan kübik numuneler tuzlu su döngüsüne maruz bırakılmıştır. Tuzlu su döngüsüne maruz bırakılan numuneler taramalı elektron mikroskop ile incelenmiş, gerekli görülen yerlerden fotoğraf ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) alınmıştır. Ayrıca tuz kristallenmesi deneyinden sonra, kayaç üzerinde halitin etkisini ortaya koyabilmek için numuneler ortadan ikiye ayrılarak kayacın dış yüzeyinden içine doğru bir hat boyunca Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) çekilmiştir.

#### 3.2.2.3. Kayaçın temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Kayaçın temel fiziksel özelliklerinden; doğal birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, yoğunluk, kuru yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme, su içeriği, görünür gözeneklilik ve boşluk oranı, sonik hız ile dinamik elastisitenin belirlenmesi, kapilerite ve Schmidt geri sıçrama sertlik değerlerini belirlemek için yapılan deneyler, TS EN 1925, RILEM (1980), ISRM (1981), ASTM (1994)'de belirtilen standartlara göre yapılmıştır. Kayaçların temel fiziksel özelliklerini tespit etmeye yönelik deneyler hem doğal numune, hem de tuzlu su döngüsüne girecek numuneler için yapılmıştır. Ayrıca tuzlu su döngüsünden çıkan numunelerin temel fiziksel özelliklerini belirlemek için deneyler tekrarlanmıştır.

##### 3.2.2.3.1. Birim hacim ağırlık ve yoğunluk belirleme

Bu deney, düzgün geometride hazırlanmış örneklerin birim hacim ağırlıklarını ve yoğunluklarını bulmak için yapılır. Deney ISRM (1981)'de belirtilen standartlara göre yapılmıştır.

Deneyde; numunenin boyutlarını ölçmek için kompas (0,1 mm duyarlılıkta) ve kütlesini belirlemek için hassas teraziden (0,01 gr duyarlılıkta) oluşmaktadır.

Bu deneydeki önemli aşama, dikkatli bir şekilde boy, çap ve kütlenin belirlenmesidir. Deney için hazırlanan örneklerin kompas yardımıyla birbirine dik iki yönde çapı (D) ve boyu (L) ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kayacın boyu ve çapı belirlenmiştir. Belirlenen boy ve çap değerleri yardımı ile örneklerin hacmi saptanmıştır. Numunenin kütlesi (M) ise hassas terazi yardımı ile belirlenmiştir (Şekil 3.3 a, b, c). Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.1, 3.2 ve 3.3 numaralı eşitlikte yerlerine konularak, numunelerin yoğunluğu ($\rho$), birim hacim ağırlığı ($\gamma$) ve hacmi (V) hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{3.1}$$

$$\gamma = 9{,}81\ \rho \tag{3.2}$$

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi\ L \tag{3.3}$$




**Şekil 3.3.**a) Numunenin kütlesinin 0.01 gr hassasiyetli terazide tartımı, b) Numunenin çapının (D) dijital kompas ile ölçümü, c) Numunenin boyunun (L) dijital kompas ölçümü.

### 3.2.2.3.2. Kuru birim hacim ağırlık ve kuru yoğunluk belirleme

Bu deney, düzgün geometride hazırlanmış örneklerin kuru birim hacim ağırlıklarını ve kuru yoğunluklarını bulmak için yapılır. Deney ISRM (1981)'de belirtilen standartlara göre yapılmıştır.

Deneyde; numunelerin boy ve çapını ölçmek için kompas (0,1 mm duyarlılıkta), kuru kütlesini belirlemek için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta) kullanılmıştır.

Bu deneyde en önemli aşama boy, çap ve kuru kütlenin belirlenmesidir. Deney için hazırlanan örnekler kompas yardımıyla birbirine dik iki yönde çapı (D) ve boyu (L) ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kayacın boyu ve çapı belirlenmiştir. Belirlenen boy ve çap değerleri yardımı ile örneklerin hacmi (V) saptanmıştır. Numuneler 105 $^0$C'de 24 saat kurutulduktan sonra havadan nem almadan desikatör içerisinde 30 dk süre ile soğutulmuş ve hassas terazi ile tartılarak kuru kütlesi

($M_k$) belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.4 ve 3.5 numaralı eşitlikte yerlerine konularak numunelerin kuru yoğunluğu ($\rho_k$) ve kuru birim hacim ağırlığı ($\gamma_k$) hesaplanmıştır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \tag{3.4}$$

$$\gamma_k = 9{,}81\ \rho \tag{3.5}$$

### 3.2.2.3.3. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi

Düzgün bir geometride hazırlanmış numunelerin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının tayini amacı ile yapılır (Ulusay ve ark., 2005). Deney, RILEM (1980)'de önerilen standartlara göre yapılmıştır.

Deneyde; numunenin boy ve çapını ölçmek için kompas (0,1 mm duyarlılıkta), kütlesini ölçmek için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), kurutma için etüv, soğutma için desikatör, kâğıt havlu, saf su ve plastik kova kullanılmıştır.

Bu deneyde önemli aşama dikkatli bir şekilde, boy, çap, doygun kütle ve kuru kütlenin belirlenmesidir. Kayaçlardan alınan silindirik numunelerin ilk başta birbirine dik iki yönde çapı (D) ve boyu (L) kompas ile ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kayacın boyu ve çapı belirlenmiştir. Daha sonra numuneler, saf su ile doldurulan plastik kovalar içerisinde tam daldırma ile 12 saat bekletildikten sonra kâğıt havlu ile kurulanıp hassas terazide doygun kütlesi ($M_s$) belirlenmiştir. Numuneler 105 $^oC$'de 24 saat kurutulduktan sonra havadan nem almadan desikatör içerisinde 30 dk süre ile soğutulmuş ve hassas terazi ile tartılarak kuru kütlesi ($M_d$) belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.6 ve 3.7 numaralı eşitlikte yerlerine konularak numunelerin ağırlıkça ($A_w$) ve hacimce su emme ($H_w$) değerleri hesaplanmıştır.

$$H_w = \frac{M_s - M_k}{V} x100 \tag{3.6}$$

$$A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} x100 \tag{3.7}$$

### 3.2.2.3.4. Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini

Bu deney, düzenli geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliğinin tayini amacıyla yapılır (Ulusay ve ark., 2005). Deney, ISRM (1981)'de belirtilen standartlara göre yapılmıştır.

Deneyde; numunenin boyutlarını belirlemek için kompas (0,1 mm duyarlılıkta), kütlesini ölçmek için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), kurutma için etüv, soğutma için desikatör, kâğıt havlu ve plastik kova kullanılmıştır.

Bu deneyde önemli aşama, dikkatli bir şekilde boy, çap ve doygun kütle ve kuru kütlenin belirlenmesidir. Kayaçlardan alınan silindirik numunelerin ilk başta birbirine dik iki yönde çapı (D) ve boyu (L) kompas ile ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kayacın boy ve çapı belirlenmiştir. Belirlenen boy ve çap değerleri yardımı ile örneklerin hacmi (V) saptanmıştır. Numuneler 105 $^{o}$C'de 12 saat kurutulduktan sonra havadan nem almadan desikatör içerisinde 30 dk süre ile soğutulmuş ve hassas terazi ile tartılarak kuru kütlesi ($M_k$) belirlenmiştir (Şekil 3.4 a). Daha sonra numuneler, saf su ile doldurulan plastik kovalar içerisinde tam daldırma ile 48 saat bekletildikten sonra kâğıt havlu ile kurulanıp hassas terazide doygun kütleleri (Ms) belirlenmiştir (Şekil 3.4b). Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.8, 3.9 ve 3.10 numaralı eşitlikte yerlerine konulmuş ve numunelerin boşluklarının hacmi ($V_v$), porozitesi (n) ve boşluk oranı (e) hesaplanmıştır.

$$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w} \tag{3.8}$$

$$e = \frac{n}{1-n} x100 \tag{3.9}$$

$$n = \frac{V_v}{V} x100 \tag{3.10}$$



**Şekil 3.4.** Numunelerin su içerisine tam daldırma işleminden bir görünüm.

### 3.2.2.3.5. Su içeriği tayini

Numunedeki boşlukların hangi oranda su ile dolu olduğunu ifade etmektedir. Deneyin amacı, numunenin içerdiği suyun kütlesinin kurutulmuş numune kütlesine oranını yüzde cinsinden bulmaktır. Deney, ISRM (1981)'de belirtilen hususlara göre yapılmıştır.

Deneyde; numunenin kütlesini tartmak için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), kurutma ve soğutma işlemi için etüv ve desikatör kullanılmıştır.

Bu deneyde en önemli aşama dikkatli bir şekilde doğal kütlenin (M) ve kuru kütlenin (Md) belirlenmesidir. İlk olarak numuneler içerdikleri doğal nem ile birlikte tartılmış ve 24 saat süresince 105 $^{o}$C'lik etüvde kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.11 numaralı eşitlikte yerine konularak numunelerin su içeriği (w) tayin edilmiştir.

$$w = \frac{M - M_d}{M_d} x100 \qquad (3.11)$$

### 3.2.2.3.6. Kapilerite deneyi

Deney, doğal taşlarda kapileriteye bağlı olarak su emme katsayısının belirlenmesi için yapılır. Deney, TS EN 1925'de belirtilen hususlara göre yapılmıştır.

Deneyde; Numunenin boyutlarını ölçmek için kompas (0,1 mm duyarlılıkta), süre kontrolü için kronometre, kütle tartmak için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), su tankı, demir ızgara ve kurutma için havalandırmalı etüv kullanılmıştır.

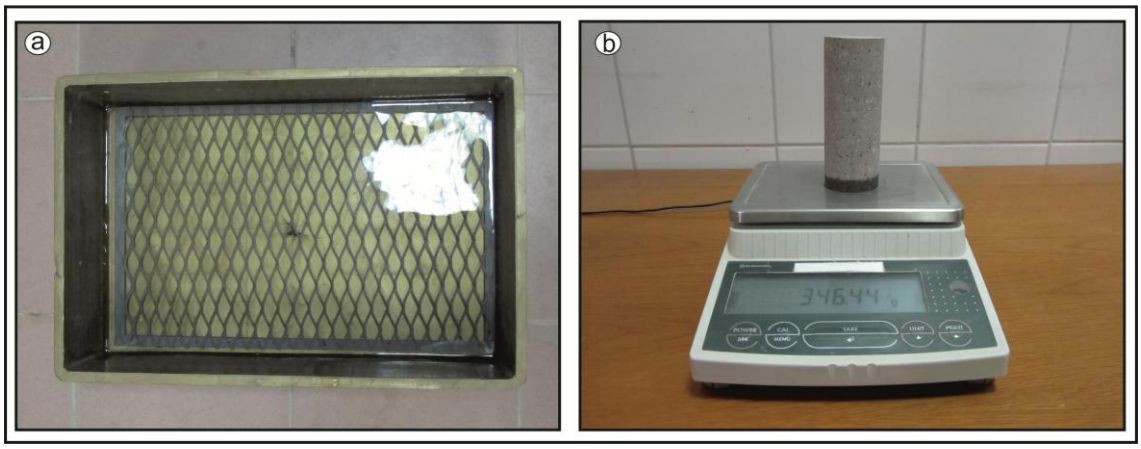
Bu deneyde önemli aşama dikkatli bir şekilde, boy, çap, kuru kütle ve numunenin belirli sürelerde emdikleri kütlenin belirlenmesidir. Numunelerin birbirine dik iki yönde çapı (D) ve boyu (L) kompas ile ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kayacın boyu ve çapı belirlenmiştir. Deney için hazırlanan numuneler havalandırmalı etüvde (70±5 $^{o}$C'de) sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuş ve kuru kütle (Md) değerleri belirlenmiştir.

Deneye başlamadan önce boş su tankının içerisine demir ızgara yerleştirilerek deneye tabii tutulacak numuneler bu demir ızgaranın üzerine konulmuştur. Numunelerin tabanı 3±1 mm su içerisinde kalacak şekilde tanka su ilave edilmiştir (Şekil 3.5 a). Deney sırasında numune tabanındaki su azalmalarına dikkat edilerek gerektiğinde tankın içerisine su ilavesi yapılmıştır. Düşük su emmeli numuneler üzerinde yapılan deneyde, numuneler su ile karşılaştıkları anda kronometre çalıştırılarak 30, 60, 480, 1440, 2880 ve 4320. dakikalardaki numune ağırlıkları (Mi) belirlenmiştir (Şekil 3.5 b). Düşük su emmeli numunelerin deney sonundaki (4320 dk) kütlesi (Mf) belirlenmiştir. Yüksek su emmeli numuneler üzerinde yapılan deneyde ise, numuneler su ile karşılaştıkları anda kronometre çalıştırılarak 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440. dakikalardaki numune ağırlıkları (Mi) belirlenmiştir. Deney sırasında belirlenen kuru ağırlık ($M_d$) değerleri, belirli zamanlarda (ti) ölçülen numunenin su emiş ağırlıkları (Mi) ve deney sonundaki ağırlıklıkları (Mf) aşağıda verilen 3.12, 3.13 ve 3.14 numaralı eşitliklerde de yerlerine konularak düşük su emişli kayaçların kılcal su emme ($C_d$) değeri ve yüksek su emişli kayacın kılcal su emme ($C_y$) değerleri bulunmuştur.

$$C_y = \frac{M_i - M_d}{A\sqrt{t_i}} \tag{3.12}$$

$$C_d = \left(\frac{M_f - M_d}{A}\right).\left(\frac{1}{\sqrt{t_i}}\right) \tag{3.13}$$

$$A = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{3.14}$$




**Şekil 3.5.** a) Kapilerite deney ekipmanı, b) Kapilerite deneyinde numunedeki su yükselimine bir örnek.

### 3.2.2.3.7. Sonik hız deneyi

Sonik hız deneyi, silindirik kayaç örnekleri içerisinden geçirilen P dalgasının bir noktadan başka bir noktaya yayılma hızından faydalanılarak kayaç malzemesinin elastik sabitlerini (Young Modülü, Poisson Oranı, Rijidite Modülü) bulmak için yapılır. Deney, ASTM (1994)'de önerilen hususlara göre yapılmıştır.

Deneyde; sinyal üreticisi, elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren gönderici ve mekanik sinyali elektrik sinyaline dönüştüren alıcıdan oluşan deney aleti, ultrasonik jel, numune boyutu belirleme için kompas (0,1 mm duyarlılıkta), kütle belirlemek için hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta) ve kurutma soğutma için etüv ve desikatör kullanılmıştır (Şekil 3.6 a).

Bu deneydeki önemli aşama, dikkatli bir şekilde boy, çap, kuru kütle ve P dalgasının numuneden geçiş süresinin belirlenmesidir. Sonik hız deneyi için hazırlanan ortalama BX (42 mm) çapındaki numunelerin alt, üst yüzeyleri pürüzsüzleştirilerek birbirleri ile paralel olmasına dikkat edilmiştir. İlk olarak deney için hazırlanan numunelerin birbirine dik olarak iki farklı yönde çap (D) ve boyu (L) kompas ile ölçülmüştür. Çap ve boyları ölçülen numuneler 105 $^{o}$C'deki etüvde 12 saat kurutulmuştur. Daha sonra 30 dk süre ile desikatörde soğuması için bekletilerek hassas terazide tartılmış ve kuru kütle (Md) belirlenmiştir. Kütlesi belirlenen numuneler, alt ve üst yüzeylerine ultrasonik jel sürülerek deney aletinin gönderici ve alıcı aleti arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.6 b). Böylece deney aleti ekranında P dalgasının her numuneden geçiş süresi (Tp) mikro saniye olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler 3.15 numaralı eşitlikte yerine konularak P dalgasının hızı

(Vp) hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen P dalgası yayılma zamanını ($T_p$) ve elde edilen diğer veriler kullanarak 3.16 numaralı eşitlikten kayacın dinamik elastisite modülü ($E_d$), değeri bulunmuştur.

$$V_p = \frac{L}{T_P} \tag{3.15}$$

$$E_d = 1{,}29 \frac{L}{D^2} \frac{M_k}{T_p} 10^6 \quad \text{(Youash, 1970)} \tag{3.16}$$



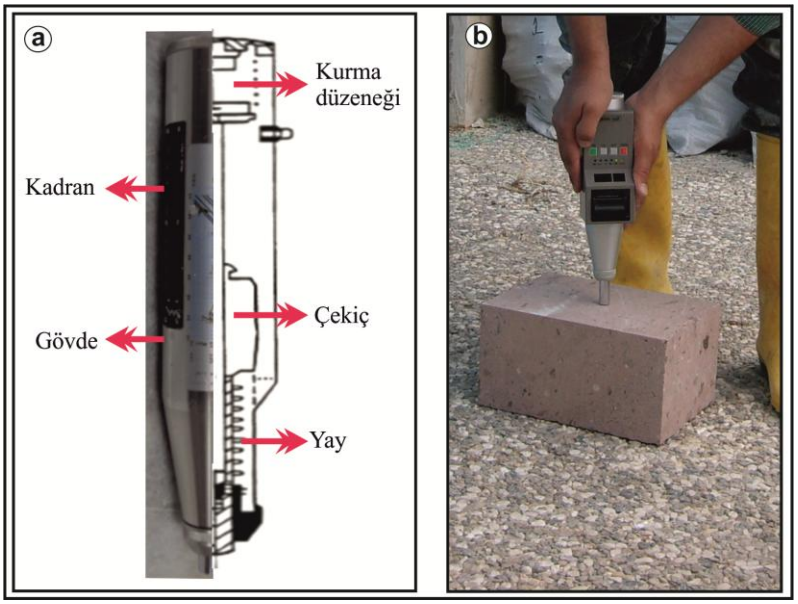

**Şekil 3.6**. Sonik hız deneyinde kullanılan malzemeler.

### 3.2.2.3.8. Sertlik belirleme deneyi

Kaya malzemelerinin sertliği ISRM (1981)'de önerildiği gibi Shore sclerescope aleti veya Schmidt çekici ile belirlenebilmektedir. Deneyde araziden alınan yaklaşık 30 cm x 30 cm x 20 cm boyutlarındaki kayaç örneklerinin geri sıçrama sertliklerinin bulunması amacıyla Schmidt çekici deneyi yapılmıştır. Deney, ISRM (1981)'de önerilen esaslara göre yapılmıştır.

Deneyde; içinde yay, çekiç, çekici kurma düzeneği ve kadrandan oluşan silindirik biçimli Schmidt çekici aleti kullanılmıştır (Şekil 3.7 a, b).

Bu deneye başlamadan önce dikkat edilmesi gereken hususlar, kayaç yüzeyinin düzgün ve çatlaksız olması ile deney aletinin kalibrasyonun yapılmış olmasıdır. Schmidt çekici deneyinin yapılması ile ilgili birçok kabul bulunurken, aşağıdaki kabule göre deney yapılmış ve geri sıçrama sertlik değeri bululunmuştur. Deneye başlarken içindeki yay vasıtasıyla kurulan Schmidt çekici kayaç yüzeyine dik olacak şekilde tutularak kayacın 20 farklı noktasında zıplatılır. Çekiç üzerinden Schmidt geri sıçrama sertlik değeri okunmuş ve kayıt edilmiştir. Her bir kayaç için belirlenen 20 adet geri sıçrama değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanıp en küçük 10 değer iptal edilmiş ve geriye kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Yapılan işlemler ile ortalama Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri bulunmuştur. Elde edilen Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri, ISRM (1978)'de önerilen sertlik sınıflamasına göre değerlendirilmiştir.




**Şekil 3.7.** a) Schmidt çekicinin kesit görünümü, b) Schmidt çekici ile sertlik belirleme deneyinin uygulanışı.

### 3.2.2.4. Kayaçların dayanım özellikleri

Kayaçların dayanım özelliklerinin belirlenmesi için, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi, nokta yükü dayanım deneyi ve Brazilian deneyleri yapılmıştır.

Bu deneyler kayaçların dayanım özelliklerini tespit etmeye yönelik deneyler olup, ilk olarak doğal numuneler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca, yapılan bütün tuzlu su peryotlarının [1. Periyot (15 günlük döngü), 2. Periyot (30 günlük döngü), 3. Periyot (45

günlük döngü), 4. Periyot (60 günlük döngü), 5. Periyot (75 günlük döngü)] ardından kayaçların dayanım özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır.

### 3.2.2.4.1. Tek eksenli sıkışma dayanımı

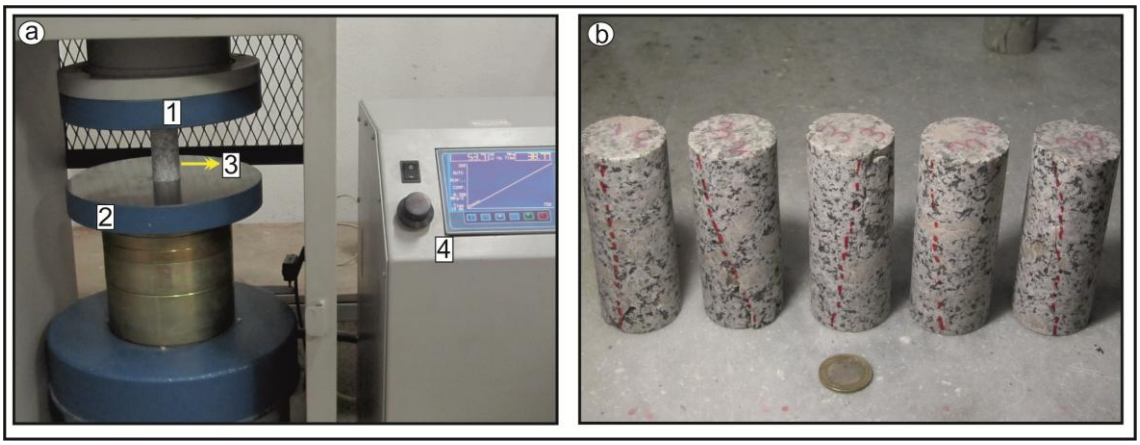
Deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımınının tayini amacıyla yapılır (Ulusay ve ark., 2005). Deneyde, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Deneye başlamadan önce numunelerin alt ve üst yüzeylerinin birbirine paralel olmasına, pürüzsüz olmasına, süreksizlik içermemesine, silindirik karotların boyunun çap değerinin 2,1 ila 2,5 katına sahip olmasına, ve sabit hızla yükleme yapılabilen bir pres seçimine dikkat edilmiştir. Deney, her örnek için 5 adet karot üzerinde yapılmıştır. Kompas yardımıyla numunelerin birbirine dik farklı yönde boy (L) ve çap (D) ölçümleri alınarak ortalama değerleri hesaplanmıştır. Numuneler 12 saat boyunca 105 $^0$C etüvde kurutulduktan sonra desikatörde soğuyana kadar bekletilmiştir. Soğuyan numuneler presin sabit alt tablası ile oynar küresel üst başlık arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.8 a). Daha sonra numuneyi 5 ila 10 dk arasında kırabilmek için bir yükleme hızı seçilir ve numuneye yüklenilir. Numune belirli bir süre sonra yükü taşıyamaz ve yenilir (Şekil 3.8 b). Yenilme anındaki yük (P) böylece belirlenmiş olur. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen yük (P), 3.18 nolu eşitlike yerine konarak tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_c$) bulunur. Ayrıca, Hoek ve Brown (1980) tarafından belirtilen standart tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değeri 3.19 nolu eşitliklikten hesaplanmıştır.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{3.17}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \tag{3.18}$$

$$\sigma_{c(50)} = \frac{\sigma_c}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0,18}} \tag{3.19}$$




**Şekil 3.8.** a) Deneyde kullanılan pres ve yükleme başlıkları 1-küresel başlık, 2-sabit alt plaka, 3-deneyde kullanılan numune, 4-kontrol paneli, b) Deney sonrası yenilen numunelerden bir görünüm.

### 3.2.2.4.2. Nokta yükü dayanım deneyi

Bu deney kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırmada kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin tayini amacı ile yapılır (Ulusay ve ark., 2005). Deney, ISRM (1985)'de verilen hususlara göre yapılmıştır.

Bu deneyde dikkat edilmesi gereken hususlar; boyutlarına uygun numune hazırlama, standart nokta yük aletinin (yükleme pompası, pompa kolu, yük göstergesi, gövde, konik başlıklar, gövdeye monteli metal cetvel) kullanımı, koruma gözlüğünün kullanımı ve yapılan deneyin geçerli olup olamamasının kontrolünden oluşturmaktadır (Şekil 3.9 a, b).

Bu deney karot numunelerinde çapsal ve eksenel olarak uygulanabilmektedir. Bu deney, karot eksenine dik yönde yükleme yapılarak "çapsal" olarak yapılmıştır. Numunelerin boy ve çap oranları 1'den büyük olan (L/D>1) 8 adet silindirik numunenin boyları (L) ve çapları (D) kompas ile ölçülmüştür. Numunelerin boy ve çapları için birbirine dik yönde ölçümler alınarak ortalama değerleri hesaplanmıştır. Çapsal olarak uygulanan deneylerde, karot çapı (D) eşdeğer karot çapı ($D_e$) olarak kabul edilmiştir. Numuneler nokta yük aletinin konik uçları arasına karot eksenine dik yönde yerleştirilmiştir. Pompa vasıtası ile numunelere 10-60 sn arasında kırılacak şekilde yüklenilmiştir. Numunenin yenilme anındaki yükü (P) okunmuştur.

Deney yapılan numuneler için nokta yük dayanım indeksi ($I_s$) değeri 3.21 numaralı eşitlikten yararlanılarak bulunmuştur. Ayrıca deney yapılan numunelerin standart örnek çapına (50 mm) eşdeğer olan nokta yük dayanım indeksini ($I_{s(50)}$)

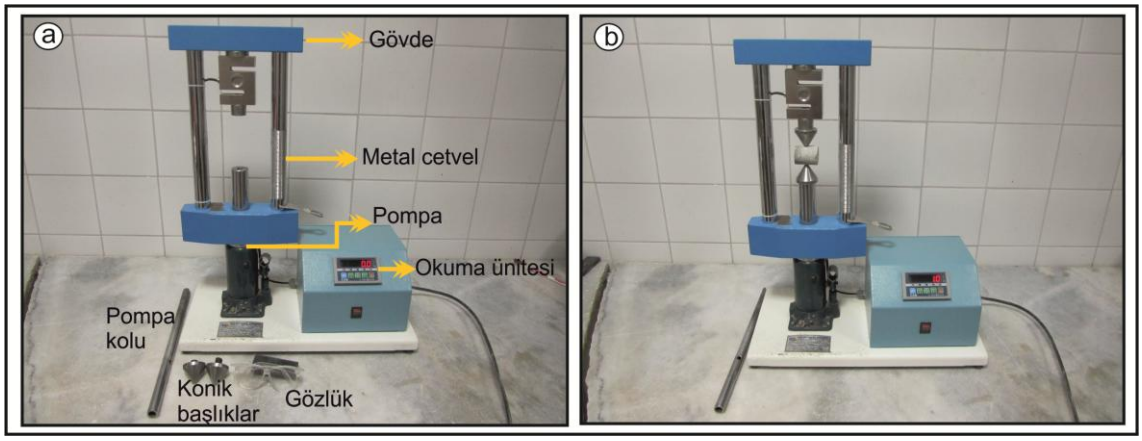
belirleyebilmek için ise aşağıda verilen 3.22 ve 3.23 numaralı eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$D_e^2 = D^2 \tag{3.20}$$

$$I_S = \frac{P}{D_e^2} \tag{3.21}$$

$$F = (D_e/50)^{0,45} \tag{3.22}$$

$$I_{S(50)} = F \; I_S \tag{3.23}$$




**Şekil 3.9**. a) Nokta yük dayanımı indeks deney aleti, b) Nokta yük dayanımı indeks deneyinin yapılışı.

### 3.2.2.4.3. Brazilian deneyi

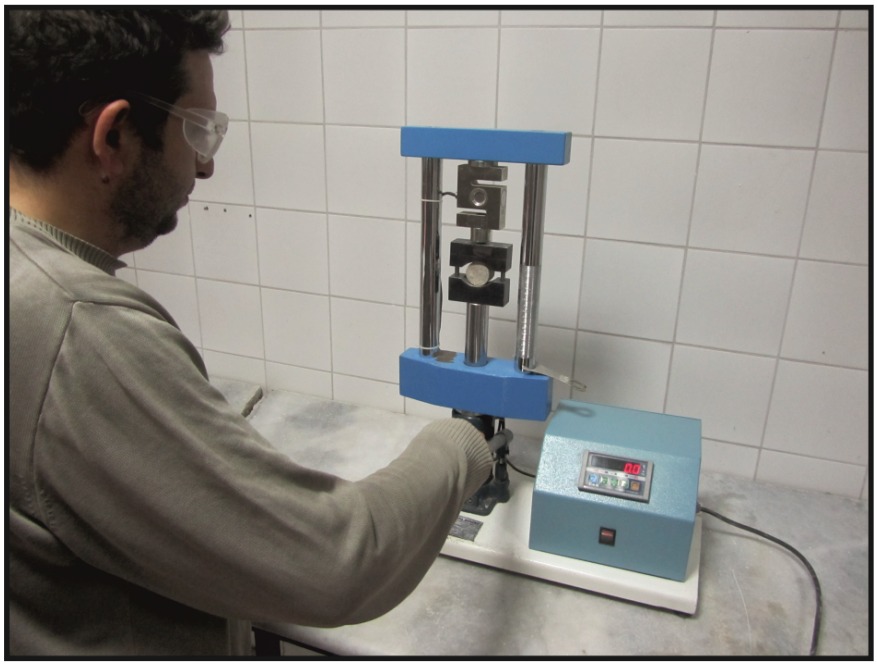
Bu deney, disk şeklindeki kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarını dolaylı olarak belirlemek amacı ile yapılır (Ulusay ve ark., 2005). Deneyde, ISRM (1981) ve CANMET (1997)'deki yöntemler esas alınmıştır.

Bu deneyde dikkat edilmesi gereken hususlar; boyutlarına uygun sağlam numune hazırlama, standart nokta yük aleti ve yardımcı aparatlarının (yükleme çeneleri ve kılavuz sapmalarından oluşan bir düzenek, yükleme pompası, pompa kolu, yük göstergesi, gövde, gövdeye monteli metal cetvel) kullanımı, koruma gözlüğünün kullanımı ve yapılan deneyin geçerli olup olamamasının kontrolünden oluşmaktadır (Şekil 3.10).

Brazilian deneyi yapılabilmesi için CANMET (1997)'de belirttiği gibi yükleme amacı ile nokta yükleme aleti kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce nokta yükleme

aletinin konik başlıkları çıkarılarak yükleme çeneleri nokta yük aletine yerleştirilmiştir. Kalınlıklığı (t) ve yarıçapları (D/2) birbirine yaklaşık eşit olan 8 adet silindirik numunenin, kalınlık (t) ve çapları (D) kompas yardımıyla birbirine dik farklı yönde ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Nokta yük aletindeki yükleme çeneleri arasına yerleştirilen numuneler 15 ila 30 sn arasında yüklenilerek yenilmeye çalışılmıştır. Numunelerin yenildiği andaki yük (P) değerleri belirlenmiştir. Deneyin geçerli olabilmesi için yenilme anındaki standartlara dikkat edilmiştir. Her numune için çekilme dayanımı ($\sigma_t$) 3.24 nolu eşitlikten faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_t = \frac{0{,}636 * P}{D * t} \qquad (3.24)$$



**Şekil 3.10.** Brazilian deney aleti ve deneyin yapılışı.

### 3.2.2.5. Kayaçların aşınma deneyleri

Kayaçların aşınma özelliklerinin belirlenmesi için, Los Angles deneyi, darbe dayanım deneyi, Böhme aşınma deneyi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyleri yapılmıştır.

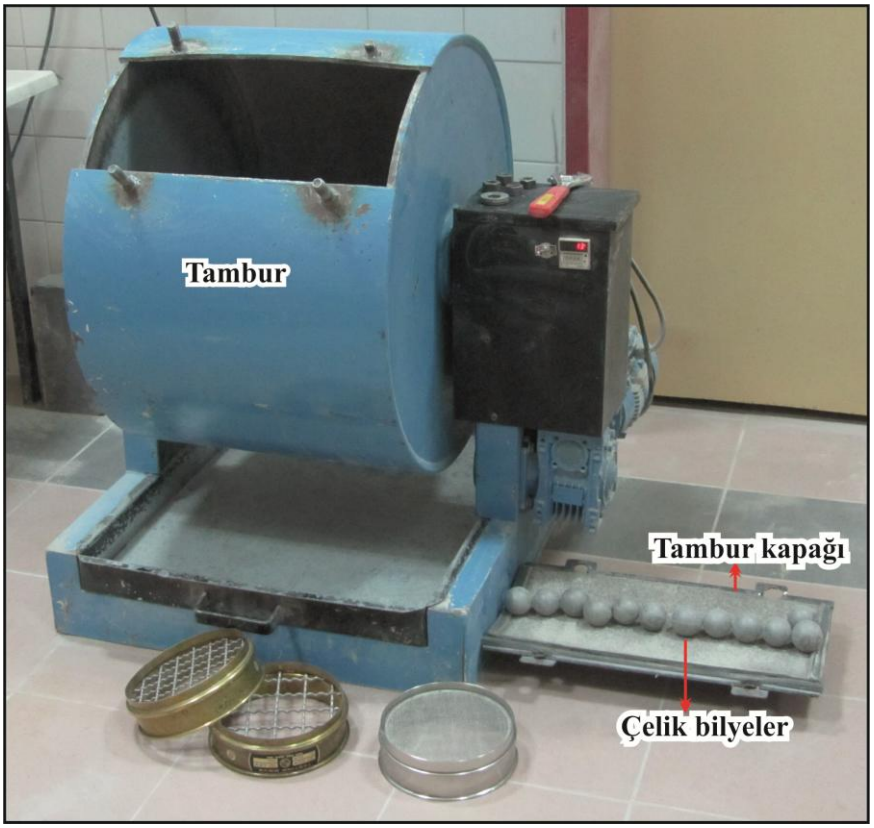
Bu deneyler kayaçların dayanım özelliklerini tespit etmeye yönelik deneyler olup, ilk olarak doğal numuneler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca yapılan bütün tuzlusu periyotlarının [1. Periyot (15 günlük döngü), 2. Periyot (30 günlük döngü), 3. Periyot

(45 günlük döngü), 4. Periyot (60 günlük döngü), 5. Periyot (75 günlük döngü)] ardından kayaçların dayanım özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır.

### 3.2.2.5.1. Los Angeles deneyi

Bu yöntem, agregaların aşınmaya karşı dirençlerinin Los Angeles cihazıyla belirlenlenmesinde kullanılan yöntemi kapsamaktadır (Karpuz ve Hindistan, 2008). Deney, ASTM C 131-06'da belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Deneyde; ASTM C 131-06' da belirtilen özelliklere sahip Los Angeles deney aleti (Aletin dakikada 30-33 devir yapmasını sağlayan bir motor, bu motora bağlı çelikten yapılmış kapalı bir silindirden oluşan tambur ve bu tamburun içerisine numunelerin konulmasını ve alınmasını sağlayan bir kapaktan oluşur), etüv, desikatör, hassas terazi, standartta belirtilen elekler ve çelik bilyeler ile numunelerin boşaltılacağı tava kullanılmıştır (Şekil 3.11).




**Şekil 3.11.** Los Angeles deney aleti ve deneyde kullanılan ekipmanlardan bir görünüm.

ASTM C 131-06 standartlarına göre agregalar A, B, C, D sınıflarına ayrılabilmektedir (Çizelge 3.1). Bu deney için A sınıfına girecek agregalar hazırlanmıştır. Deney için araziden getirilen blok kaya kütleleri, çeşitli elek aralıklarına göre çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Çeneli kırıcıdan geçirilen numuneler 105 $^0$C'lik etüvde 12 saat kurutulmuş ve oda sıcaklığında değişmez kütleye gelene kadar soğutulmuştur. Kurutulan bu numunelerden 37,5-25 mm arasında 1250 kg, 25-20 mm arasında 1250 kg, 20-12,5 mm arasında 1250 kg ve 12,5-10 mm arasında 1250 kg numune alınarak toplamda ± 5 kg kadar numune elde edilmiştir. Deneye başlamadan Los Angeles deney aletindeki tambur içerisine standartlarda belirtildiği gibi 12 adet çelik bilye atılmıştır. Daha sonra kuru ağırlığı ($L_0$) belirlenen agrega tambur içersine atılıp kapakları kapatılmış ve deney aleti çalıştırılmıştır. 100 devir sonunda Los Angeles deney aleti durdurulmuş ve kapağı açılmıştır. Kapağı açılan tamburdan çıkan agrega ve bilyeler tamburun altında bulunan tavaya aktarılmıştır. Tavaya aktarılan agregalar 1,7 mm aralıklı elekte yıkanarak elenmiş ve elek üstünde kalan agrega 110±5 $^0$C'lik etüvde 12 saat kurutulmuştur. Böylece 100 devir sonundaki kuru ağırlık ($L_{100}$) belirlenmiştir. Deney sonunda tamburun içi ve çelik bilyeler temizlenmiştir. Aynı işlem tekrarlanarak, 500 devir sonundaki kuru ağırlık ($L_{500}$) ve 1000 devir sonundaki kuru ağırlık ($L_{1000}$) belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda elde edilen veriler 3.25, 3.26 ve 3.27 numaralı eşitliklerde yerlerine konularak agregaların Los Angeles aşınma kaybı (LA) belirlenmiştir.

$$LA_{100} = \frac{L_0 - L_{100}}{L_0} x100 \qquad (3.25)$$

$$LA_{500} = \frac{L_0 - L_{500}}{L_0} x100 \qquad (3.26)$$

$$LA_{1000} = \frac{L_0 - L_{1000}}{L_0} x100 \qquad (3.27)$$

**Çizelge 3.1.** Los Angeles deneyi için deney örneklerinin sınıflaması ve bilye dağılımları (ASTM C 131-06).

| Elek açıklığı - mm | | Gerekli kütle miktarı - gr | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Geçenler | Kalanlar | Sınıflar | | | |
| | | A | B | C | D |
| 37,5 | 25,0 | 1250 ±25 | | | |
| 25,0 | 19,0 | 1250 ±25 | | | |
| 19,0 | 12,5 | 1250 ±10 | 2500 ±10 | | |
| 12,5 | 9,5 | 1250 ±10 | 2500 ±10 | | |
| 9,5 | 6,3 | | | 2500 ±10 | |
| 6,3 | 4,75 | | | 2500 ±10 | |
| 4,75 | 2,36 | | | | 5000 ±10 |
| | | | | | |
| Toplam | | 5000 ±10 | 5000 ±10 | 5000 ±10 | 5000 ±10 |
| Bilye sayısı | | 12 | 11 | 8 | 6 |
| Bilyelerin kütlesi- gr | | 5000 ±25 | 4584 ±25 | 3330 ±20 | 2500 ±15 |

### 3.2.2.5.2. Darbe dayanımı deneyi

Darbe dayanımı deneyi, agregaların ani şok ve darbeye karşı gösterdiği direnci bulmak için yapılır. Deney, BS 812' de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

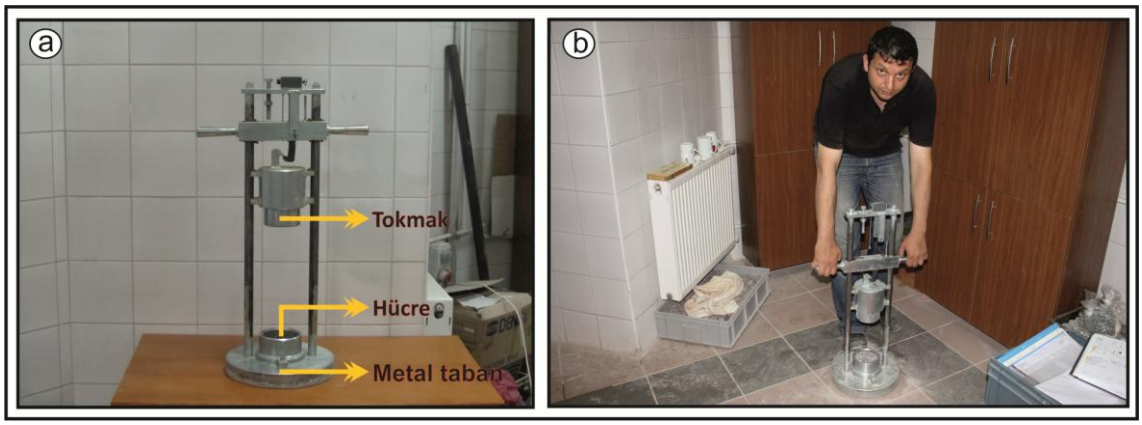
Deneyde; BS 812' de belirtilen özelliklere sahip standart darbe dayanım aleti (alet metal bir taban, silindirik bir hücre ve 14 kg ağırlığındaki tokmaktan oluşmaktadır), etüv, hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), standartta belirtilen elekler ve metal şiş kullanılmıştır (Şekil 3.12 a, b).

Deney için araziden getirilen blok kaya kütleleri, 14-10 mm elek aralıklarında kalacak şekilde çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Çeneli kırıcıdan geçirilen numuneler 105 $^0$C'lik etüvde 12 saat kurutulmuş ve oda sıcaklığında değişmez kütleye gelene kadar soğutulmuştur. Kurutulan agregadan yaklaşık 750 gr alınmıştır. Deneye başlamadan önce silindir hücrenin kütlesi ($W_0$) belirlenmiştir. Ağırlığı belirlenen silindir hücre içerisine deney yapılacak agrega 3 kat serilmiş ve her kat şişlenerek yerleştirilmiştir. Silindir hücre ve içindeki kuru agreganın kütlesi ($W_1$) belirlenmiştir. Daha sonra silindir hücre, deney aletindeki yerine konulduktan sonra silindir hücrenin üst yüzeyi ile tokmağın alt seviyesi arasındaki mesafe 38 cm olarak ayarlanmıştır. 14 kg ağırlığındaki tokmak, 38 cm yükseklikten 15 kez silindir hücre üzerine düşürülmüştür. Yapılan deney sonucu silindir hücre içerisindeki agrega 2.36 mm'lik elekte elenmiş ve elek üzerinde

kalan agreganın kütlesi ($M_c$) bulunmuştur. Yukarıda yapılan bu işlemler sonucu; silindir hücre içerisindeki kuru agrega kütlesi ($M_b$) ve deneye maruz kalan agrega, 2.36 mm'lik elekten elenerek elek üzerinde kalan kütlesi ($M_c$) bulunmuştur. Deney sonucu elde edilen bu veriler 3.28 ve 3.29 nolu eşitlikte yerine konularak agreganın darbe dayanım direnci (a) hesaplanmıştır.

$$M_b = W_1 - W_0 \tag{3.28}$$

$$a = \frac{M_c}{M_b} x100 \tag{3.29}$$




**Şekil 3.12.** a) Darbe dayanımı deney aleti, b) Darbe dayanımı deneyinin yapılışı.

### 3.2.2.5.3. Böhme aşınma deneyi

Bu deney numunenin aşınma değerini bulmak için yapılır. Deney, 2004 yılında EN 14157'de belirtilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deneyde; Böhme deney aleti (döner disk ve üstündeki sürtünme şeridi, deney numunesinin yerleştirildiği hücre, deney numunesini dönen disk üzerinde belirli bir basınç ile tutan düzenek, ağırlık, diskin dönmesini sağlayan motor ve numaratör), kompas (0,1 mm duyarlılıkta), hassas terazi (0,01 gr duyarlılıkta), etüv ve standartlara uygun aşındırma tozu kullanılmıştır (Şekil 3.13).

İlk olarak; deneyde kullanılan kayaçlardan alınan yaklaşık 54,7 mm çaplı karotlardan standartlarına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Boyu ve çapı belirlenen numuneler sabit kütleye gelinceye kadar etüvde kurutularak numunelerin kuru kütleleri ($m_i$) belirlenmiştir. Daha sonra soğuyan numuneler, deney hücresine yerleştirilmiş ve sürtünme şeridi üzerine 20±0,5 gr aşındırma tozu uygun biçimde

dağıtılarak serpilmiştir. Numunelerin temas eden yüzeyine 294±3 N yük gelecek şekilde düzeneğe ağırlıklar bağlanmış ve Böhme deney cihazı çalıştırılmıştır. Döner disk 22 devir tamamlayarak durur ve 1 döngü tamamlanmış olur. Tamamlanan 1. döngü sonunda döner disk üzeri ile numunelerin temas yüzeyleri temizlenir ve numune düşey ekseni yönünde 180 derece döndürülüp deney hücresine yerleştirilir. Döner disk üzerindeki sürtünme şeridi üzerine serpilen 20±0,5 gr aşındırma tozundan sonra döner disk tekrar çalıştırılmıştır. Çalışan Böhme deney aleti 22 devirden sonra otomatik olarak durur ve 2. döngü bu şekilde tamamlanmış olur. Birbirini takip eden bu işlemler numuneye 16 kez uygulandıktan sonra deney sonuçlandırılmış ve numune iyice temizlenmiştir. Temizlenen deney numuneleri kompas ile ölçüldükten sonra kütlesi ($m_f$) tartılarak bulunmuştur. Aşağıda verilen 3.30 numaralı eşitlik ile numunenin hacmindeki azalma ($\Delta V$) hesaplanmıştır.

$$\Delta V = \frac{m_i - m_f}{\rho_d} \tag{3.30}$$




**Şekil 3.13.** Böhme deney aleti (1-döner disk, 2-döner disk üzerinde yer alan sürtünme şeridi, 3-deney numunesinin yerleştirildiği hücre, 4-ağırlık).

### 3.2.2.5.4. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi

Bu deneyde amaç; kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesidir (Ulusay ve ark., 2005). Gamble (1971), Ulusay ve ark. (1995) ve Gökçeoğlu ve ark. (2000) suda dağılmaya karşı duraylılığı yüksek kayaçlarda 2'den fazla tercihen 4 çevrim yapılarak, bu çevrimlerden elde edilen kayaç örneğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indekslerinin ($I_{d1}$, $I_{d2}$, $I_{d3}$, $I_{d4}$) kullanılmasını önermişlerdir. Bu deney, ISRM (1981)' de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Deneyde; Slake durability deney aleti (sistemim sağında ve solunda numunelerin içine konulduğu her iki ucu kapalı elekli tambur, tamburun su içinde dönmesini için oluşturulan fiber hazne ve tamburun dakikada 20 tur yapmasını sağlayan motor ), etüv, desikatör, hassas terazi ve jeolog çekici kullanılmıştır (Şekil 3.14).

Deneyde kullanılacak her bir örnekten 10 adet 6 cm x 6 cm x 6 cm'lik küçük kayaç örnekleri kesilmiştir. Kesilen bu numunelere, jeolog çekici yardımı ile her biri 40-60 gr arasında olacak şekilde küre şekli verilmiştir. Küre şekilli 10 adet numunenin yaklaşık ağırlığı 450-500 gr arasındadır. Deney için hazırlanan örnekler 12 saat boyunca 105 $^{o}$C etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğuyuncaya kadar bekletilmiştir. Soğuyan numunelerin kuru ağırlığı ($A_0$) belirlenmiştir. Bu numuneler tambur içine konularak su dolu şeffaf fiber hazneye yerleştirilmiştir. Tamburun dönmesini sağlayan motor 10 dk süre ile çalıştırılmıştır. Bu işlemin ardından numuneler tamburdan çıkarılarak 12 saat boyunca 105 $^{o}$C'lik etüvde kurutulup desikatörde soğutulduktan sonra kuru ağırlık (B) belirlenmiştir. Böylece 1. Döngü sonundaki kuru ağırlık (B) belirlenmiştir. Aynı işlemler tekrarlanarak 2. Döngü sonundaki kuru ağırlık (C), 3. Döngü sonundaki kuru ağırlık (D) ve 4. Döngü sonundaki kuru ağırlık (E) belirlenmiştir. Aşağıda verilen 3.31, 3.32, 3.33 ve 3.34 numaralı eşitliklerden yararlanılarak kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık indeksleri ($I_{d1}$, $I_{d2}$, $I_{d3}$, $I_{d4}$) belirlenmiştir.

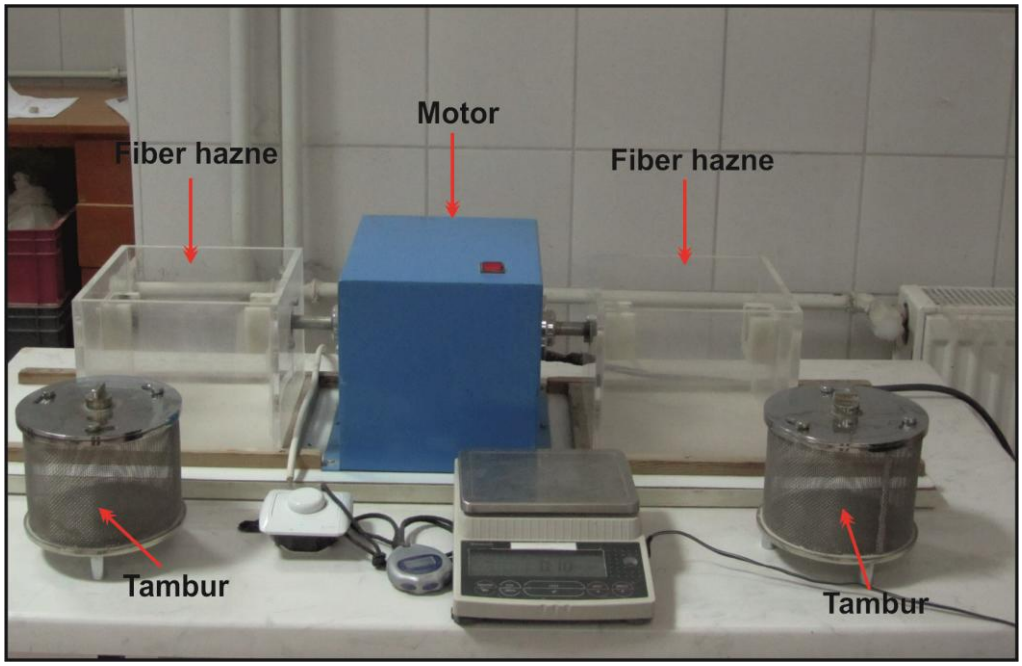
$$I_{d1} = \frac{B}{A} x100 \quad (3.31)$$

$$I_{d2} = \frac{C}{A} x100 \quad (3.32)$$

$$I_{d3} = \frac{D}{A} x100 \quad (3.33)$$

$$I_{d4} = \frac{E}{A} x100 \quad (3.34)$$

| | | |
|---|---|---|
| $I_{d1}$ | : I. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d2}$ | : II. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d3}$ | : III. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $I_{d4}$ | : IV. döngü sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi | % |
| $A_0$ | : Deneyden önceki kuru numune ağırlığı | gr |
| B | : I. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| C | : II. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| D | : III. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |
| E | : IV. döngü sonrasında kuru numune ağırlığı | gr |




**Şekil 3.14.** Slake durabilite aleti ve yardımcı ekipmanlardan genel görünüm.

### 3.2.2.6. Tuz kristallenmesi sonucu kuru ağırlık kaybı deneyi

Bu deneyde amaç tuzlu suya maruz kalan numunelerde bozunmadan kaynaklanan ağırlık kaybının belirlenmesidir. Bu deney, RILEM (1980)' de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Deneyde; tuz (NaCl), etüv, saf su ve hassas terazi kullanılmıştır. Tuz kristallenmesi sonrası numunelerin kuru ağırlık kaybı değerleri her periyottan sonra hesaplanmıştır. Deneyde tek eksenli sıkışma deneyi için hazırlanan karotlar kullanılmıştır. Her periyot öncesinde numuneler 12 saat boyunca 105 $^0$C etüvde

kurutulduktan sonra desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan karot numunelerinin kuru ağırlıkları (G) tartılmış ve bir periyot boyunca tuzlu su deneyine tabi tutulmuştur. Tamamlanan periyot sonunda numuneler 7 gün boyunca yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Yıkanma işleminin ardından numuneler 12 saat boyunca 105 $^{0}$C etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Tuz kristallenmesi sonrası numunenin kuru ağırlığı (H) hassas terazi yardımı ile belirlenmiştir. Deney sonucu elde edilen veriler 3.35 numaralı eşitlikte yerlerine konularak tuz kristallenmesi sonrası kuru ağırlık kaybı (DWL) değeri bulunmuştur.

$$DWL = \frac{G-H}{G} x100 \qquad (3.35)$$

### 3.3. Büro çalışmaları

Büro çalışması, bu çalışmanın başlangıçından sonuna kadar devam etmiştir. Büro çalışmaları boyunca, belirlenen tez konusu ile ilgili tez, makale, rapor ve standartlar araştırılmıştır. Ayrıca numune alınan bölgenin jeolojisi hakkında önceden yapılan araştırmalar taranmış ve jeolojisi hakkında bilgi edinilmiştir. Yapılacak deneylerle ilgili olarak standartlar incelenmiştir. İncelenen standartlar doğrultusunda deneyler gerçekleştirilmiştir. Doğal kayaçlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler ile tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabi tutulan kayaçlarda yapılan deneylerden elde edilen verilerdeki değişimler her türlü görsellikle ifade edilmeye çalışılmıştır. Bütün verilerin ışığı altında tez yazımı yapılmıştır. Tez yazımı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun yapılmıştır.

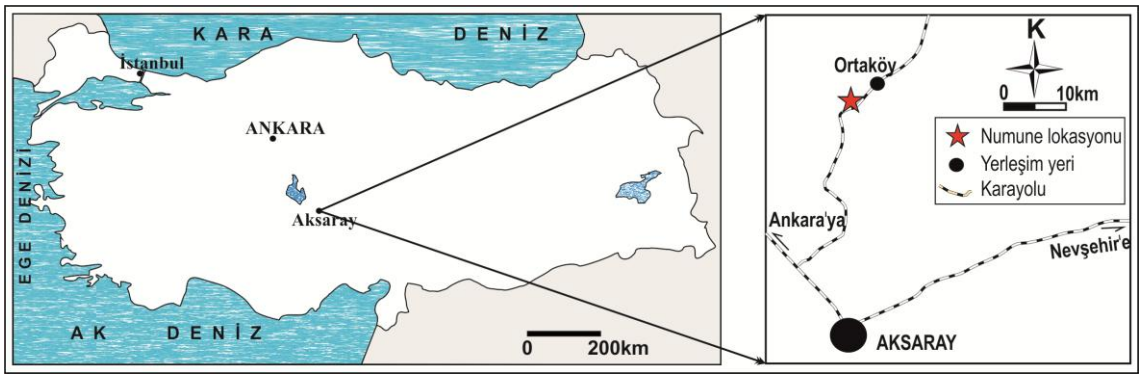
# 4. ÖRNEKLEME YAPILAN ALANLARIN JEOLOJİSİ

Bu bölümde Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin ve Karaman illerinin çevresinde yüzeyleyen farklı kaya türlerine ait birimlerin genel jeolojik özellikleri tanıtılmıştır.

## 4.1. Ekecikdağ plütonu

Orta Anadoluda, gri, boz, koyu yeşil ve siyah renkler sunan magmatik ve metamorfik kayaçlardan oluşan topluluk Okay (1954) tarafından 'Orta Anadolu Masifi' olarak tanımlamıştır. Orta Anadolu Masifini kesen sokulum kayaçları birçok araştırıcı tarafından çeşitli isimler altında incelenmiştir. Türeli (1991), yaptığı çalışmada granit, monzogranit ve granodiyoritten oluşan birimi 'Ekecikdağ Plütonu' olarak tanımlamıştır.

Birim içerisinden alınan 1 numaralı kayaç örneği, Aksaray İli'nin Ortaköy İlçesi sınırları içerisinde olup, Ortaköy İlçe merkezinin yaklaşık 8 km güneybatısında bulunmaktadır (Şekil 4.1).




**Şekil 4.1.** Ekecikdağ plütonundan alınan kayaç örneğinin (1 nolu örnek) lokasyon haritası.

Birim, gri boz renkler sunan, granit, granodiyorit, monzogranit ve bunları yer yer kesen siyah-yeşil renkli diyorit ve diyabazdan oluşmaktadır. Birim içerisinde bulunan granit geniş alanlar boyunca yayılım göstermekte olup, yer yer kırık ve çatlaklar içermektedir. Gri renkli, küçük-orta taneli granit örneğinde makroskopik olarak biyotit, plajiyoklas, ortoklas ve kuvars mineralleri gözlenebilmektedir. Birim içerisinde bulunan granitler içerisinde yapı taşı ocağı bulunmaktadır (Şekil 4.2).

Ekecikdağ plütonundan alınan kayaç numunesinde yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde; ~ % 36 plajiyoklas, ~ % 34 kuvars, ~ % 21 ortoklas, ~ % 8 biyotit ve ~ % 1 amfibol, serisit, apatit, epidot ve opak bulunmaktadır. Mineralojik

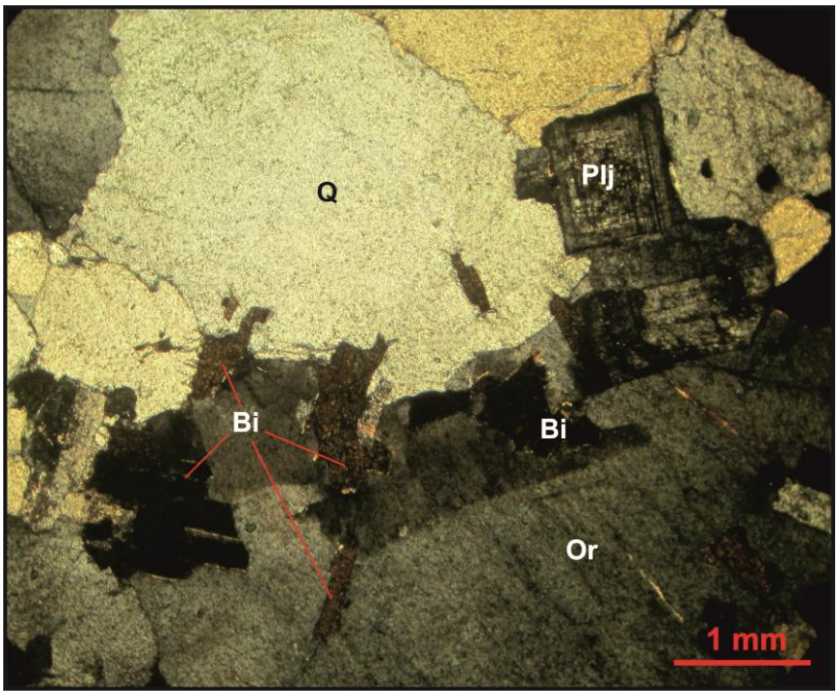
bileşimine göre kayaç "granit" olarak adlandırılmıştır (Streckeisen, 1979). Yarı öz şekilli olan plajiyoklaslarda genellikle zonlu ve albit ikizi gözlenirken, ortoklaslar ise özşekilsiz olup yer yer pertitik dokulu ve karlsbat ikizi sunmaktadır. Kayaç içerisindeki biyotitlerde oksitleşme ve kloritleşme, plajiyoklas ve tanesel ortoklaslarda serisitleşme, amfibollerde ise epidotlaşma gözlenmektedir. Kayaç kristallenme derecesine göre holokristalen dokulu, tane durumuna göre hipidyomorf dokuludur (Şekil 4.3).



**Şekil 4.2.** Ekecik plütonuna ait granit (1 nolu örnek) ocağından bir görünüm.

Ekecikdağ Plütonu Orta Anadolu Kristalen Kompleksi içerisinde yer almaktadır. Göncüoğlu (1986), Orta Anadolunun güneyinde yaptığı çalışmada plütonun yaşının 95 my olduğunu söylemiştir. İlbeyli ve ark. (2004), Boztuğ ve ark. (2009 a, b) Orta Anadolu'daki sokulum kayaçlarında yaptıkları radyometrik yaş tayinlerinde birimin yaşını Geç Kretase-Paleosen olarak belirtmişlerdir.

Türeli ve ark. (1993), yaptıkları çalışmada; Geç Kretase'de Orta Anadolu kristalen kütlesine ensimatik bir yayın çarpışmasından bahsetmişlerdir. Bölgede bu çarpışma sonrası kıtasal kabuğun kalınlaşması ve jeotermik gradyanın arttığını söylemişlerdir. Bunun sonucunda kıtasal kabuk kayaçlarının kısmi ergimeye uğrayarak granitik magmanın oluşumuna neden olduğunu ileri sürmüşlerdir.



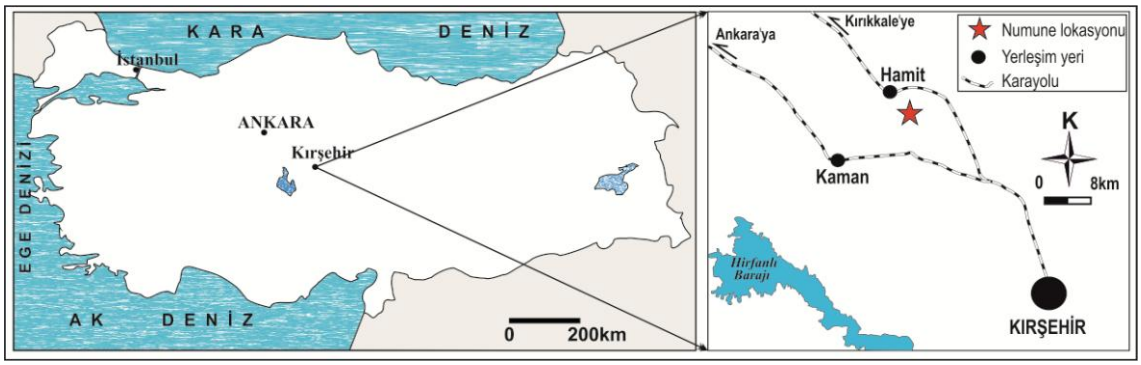

**Şekil 4.3.** 1 nolu granit örneğinin ince kesit görünümü (Plj: plajiyoklas, Q: kuvars, Or: ortoklas ve Bi: biyotit kristalleri) (Çift nikol).

## 4.2. Hamit plütonu

Birim gri, pembemsi gri, yeşil, krem ve boz renkler sunan nefelin siyenit, kuvars siyenit ve alkali feldispat siyenitten oluşmaktadır. Seymen (1982) tarafından birim, Buzlukdağı plütonunun bir parçası olarak incelenmiştir. İlbeyli (2004) ise Orta Anadolu kristalen kompleksi ile ilgili yaptığı çalışmada birimi "Hamit Plütonu" olarak incelemiştir.

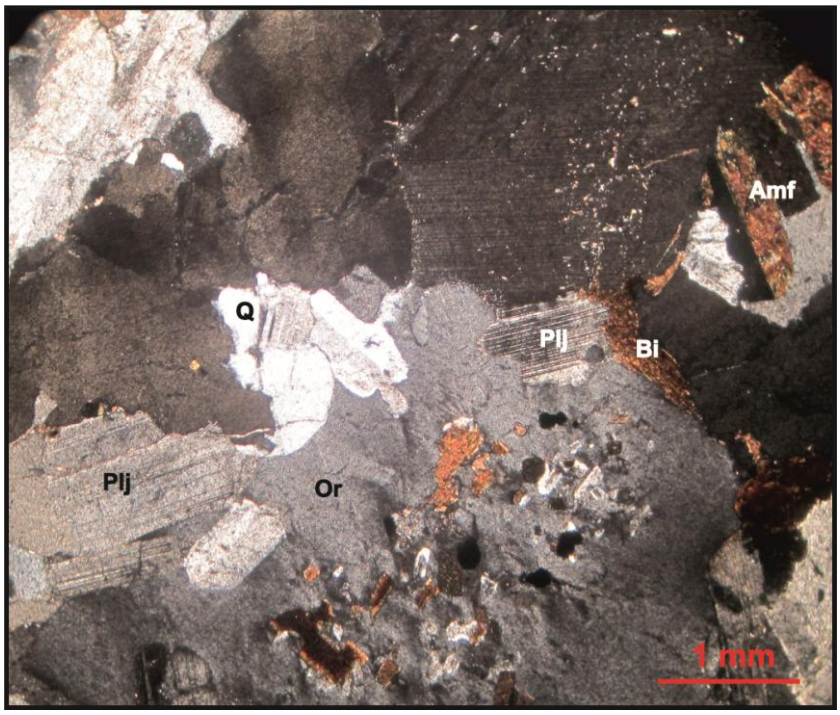
Birim içerisinden alınan 2 numaralı kayaç örneği, Kırşehir İli'nin Kaman İlçesi'ne bağlı Hamit Köy sınırları içerisinde olup, Hamit Köyü'nün yaklaşık 6,5 km güneydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 4.4).

İnceleme alanındaki birim, gri, koyu gri, krem, pembe, pembemsi gri renkler sunan nefelin, siyenit, kuvars siyenit, alkali feldispat siyenit ve bunları yer yer kesen siyah-yeşil renkli diyorit ve diyabazdan oluşmaktadır. İncelenen kayaç, pembemsi gri renkli ve orta-iri kristalli olup özellikle iri ortoklas kristalleri, kuvars, plajiyoklas ve amfibol kristalleri makroskopik olarak gözlemlenebilmektedir.




**Şekil 4.4.** Hamit plütonundan alınan kayaç örneğinin (2 nolu örnek) lokasyon haritası.

Hamit plütonundan alınan kayaç numunesinde yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde; ~ % 34 ortoklas, ~ % 27 plajiyoklas, ~ % 20 kuvars, ~ % 14 amfibol (hornblend), ~ % 5 biyotit ve ~ % 2 opak bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "granit porfir" olarak adlandırılmıştır (Streckeisen, 1979). Yarı öz şekilli olan plajiyoklaslarda genellikle zonlu ve albit ikizi gözlenirken, ortoklaslar ise özşekilsiz olup yer yer pertitik dokulu ve karlsbat ikizi izlenmektedir. Kayaç içerisindeki biyotitlerde oksitleşme, plajiyoklaslarda serisitleşme ve karbonatlaşma gibi alterasyonlar gözlenmektedir (Şekil 4.5). Kayaç kristallenme derecesine göre "holokristalin" dokulu, tane durumuna göre "hipidyomorf" dokuludur.




**Şekil 4.5.** 2 nolu granit porfir örneğinin ince kesit görünümü (Plj: plajiyoklas, Q:kuvars, Or: ortoklas, Bi: biyotit ve Amf: amfibol kristalleri) (Çift nikol).

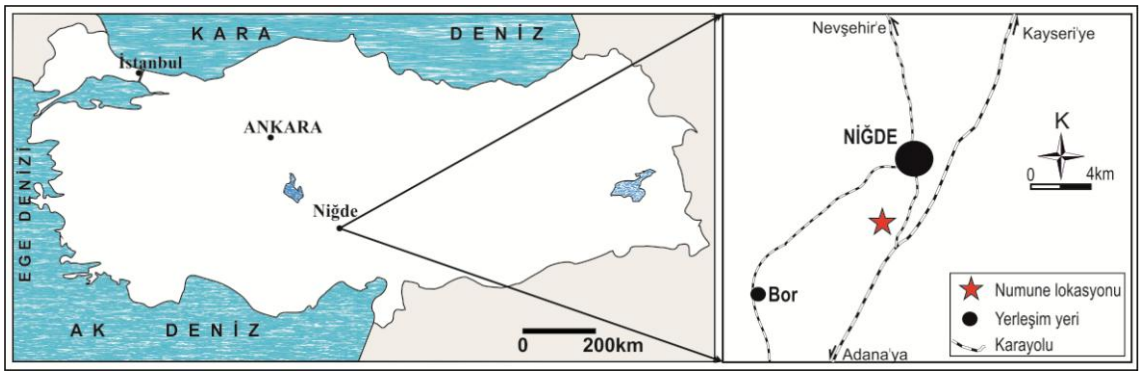
İlbeyli ve ark. (2004) ve Boztuğ ve ark. ( 2009a, b) Orta Anadoludaki sokulum kayaçlarında yaptıkları radyometrik yaş tayinlerinde birimin yaşını Geç Kretase-Paleosen olarak belirtmişlerdir.

Hamit plütonu Orta Anadolu Kristalen Kompleksi içerisinde yer almaktadır. İlbeyli ve ark. (2009), Orta Anadolu kristalen kompleksi içerisinde yer alan farklı türdeki kayaç tiplerinin Geç Kretase mağmatizması ile üretildiğini ve bu kayaçları ise kalkalkalen, yarı alkalen/geçişli ve alkalen olarak ayırtlamış ve Hamit plütonunun ise alkalen tipi kayaçlarla temsil edildiğini belirtmiştir.

### 4.3. Karataş volkanitleri

Siyah, koyu gri ve açık yeşil renkli volkanik cüruflardan oluşan birim ilk kez Ayhan ve Papak (1988) tarafından "Genç andezit ve bazalt" adı altında incelenmiştir. Birim, Ercan ve ark. (1990) tarafından "Karataş bazaltları", Toprak ve Göncüoğlu (1993) tarafından ise "Karataş volkanitleri" olarak adlandırılmıştır.

Birim içerisinden alınan 3 numaralı kayaç örneği, Niğde İli'nin sınırları içerisinde olup, Niğde şehir merkezinin yaklaşık 7,6 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.6).




**Şekil 4.6.** Karataş volkanitlerinden alınan kayaç örneğinin (3 nolu örnek) lokasyon haritası.

Birim, yeşil, siyah ve koyu gri renkli bazalttan meydana gelmektedir. Genellikle sert ve kompakt bazen de gaz boşluklu yapı sunan birimin soğuma boşluklarında ve çatlaklarında ikincil olarak oluşmuş kalsitler gözlenmektedir. Numune alınan noktadaki bazaltlar içerisinde yapı malzemesi ve agrega ocağı bulunmaktadır (Şekil 4.7). Koyu gri, siyah renkli olan kayaç örneği makro olarak ince taneli ve gözenekli yapıda olup yer yer ikincil karbonat mineralleri içermektedir.

Birim içerisinden alınan kayaç numunesinden yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde; ~ % 54 plajiyoklas mikrolitleri, ~ % 35 klinopiroksen, ~ % 5 olivin, ~ % 4 plajiyoklas ve ~ % 2 opak bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "bazalt" olarak adlandırılmıştır. Prizmatik şekilli ve yer yer çift yönlü birbirine dik dilinimler sunan klinopiroksenlerde yer yer oksitlenme alterasyonları izlenmektedir. Kayaç kristallenme derecesine göre "holokristalen" dokulu ve tane durumuna göre "holokristalen porfirik" dokuludur (Şekil 4.8).



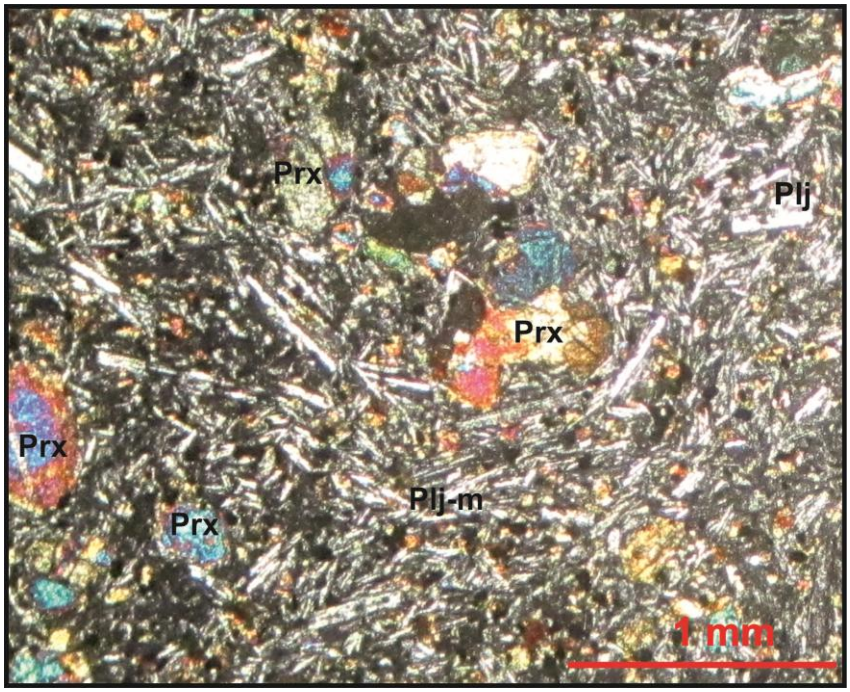
**Şekil 4.7.** Karataş volkanitlerine ait bazalt (3 nolu örnek) ocağından bir görünüm.

Ercan ve ark. (1990), Karataş Köyü civarındaki volkaniklerden radyometrik yaş tayinleri yapmışlar ve buna göre birime Geç Kuvaterner yaşını vermişlerdir.

Karataş volkanitleri muhtemelen litolojileri itibarıyla Orta Anadolu volkanizmasının ürünü olarak meydana gelmişlerdir.

### 4.4. Sulutas volkanitleri

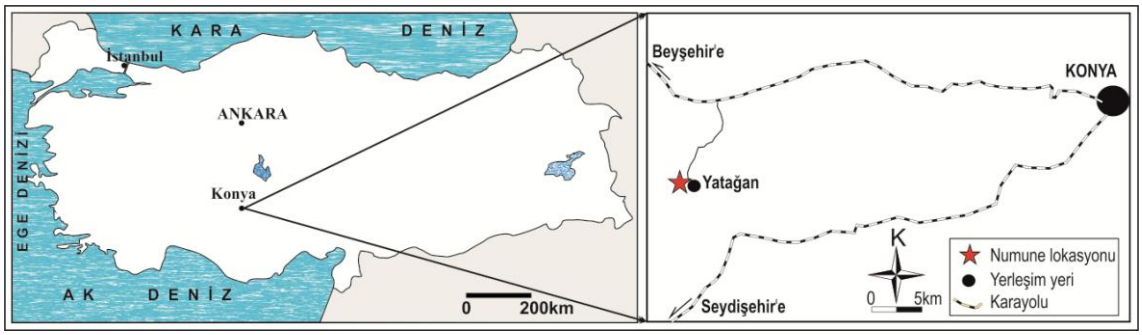
Gri, koyu gri, pembe renkli dayk ve lav akıntılarından oluşan birim ilk kez Göğer ve Kıral (1969) tarafından "Sulutas andezit üyesi" olarak adlandırılmıştır. Pehlivan (1976), çalışmasında volkanik kayaçları biyotitli dasit ve biyotitli andezit olarak tanımlamıştır. Eren (1993) ise değişik türde volkanik kayaçlardan oluşan birimi "Sulutas volkanitleri" adı altında incelemiştir.




**Şekil 4.8.** 3 nolu bazalt örneğinin ince kesit görünümü (Pjl: plajiyoklas, Pl-m: plajiyoklas mikrolitleri, Prx: piroksen) (Çift nikol).

Birim içerisinden alınan 4 numaralı kayaç örneği, Konya İli'nin Meram İlçesi, Yatağan Köyü sınırları içerisinde olup, Konya'nın yaklaşık 54 km batısında bulunmaktadır (Şekil 4.9).

Andezit, dasit ve bazaltlardan oluşan birim, inceleme alanında genellikle lav akıntısı ve boyun şeklinde yüzlekler sunmaktadır. İnceleme alanı içerisinde bulunan pembe renkli andezitlerde yapı taşı ocağı bulunmaktadır (Şekil 4.10). Pembe renkli kayaç ince-orta taneli olup makroskopik olarak plajiyoklas ve biyotit mineralleri hamur fazı içerisinde gözlemlenebilmektedir.




**Şekil 4.9.** Sulutas volkanitlerinden alınan kayaç örneğinin (4 nolu örnek) lokasyon haritası.

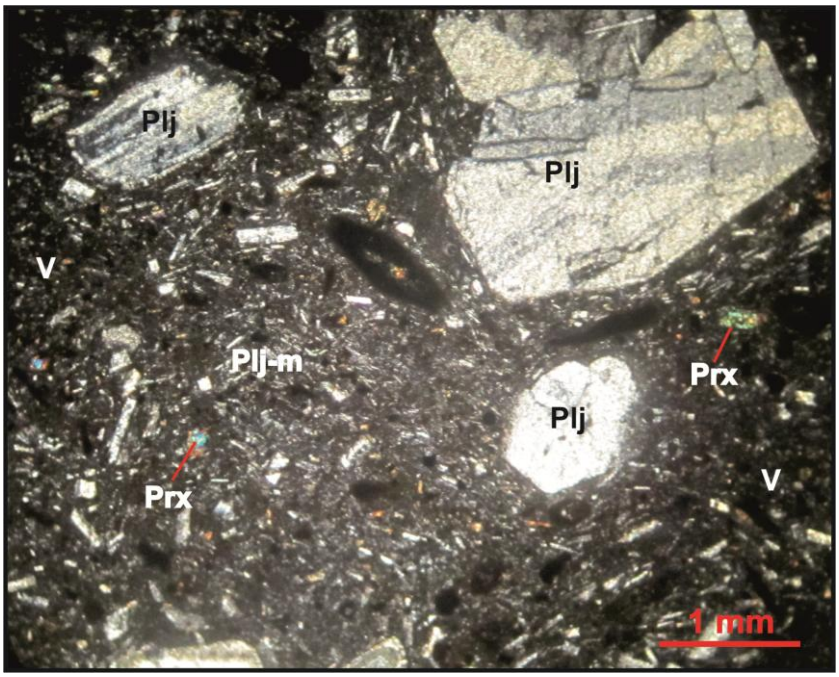
İncelme noktasından alınan kayaç numunesinden yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde; ~ % 28 volkanik cam, ~ % 25 plajiyoklas (fenokristal), ~ % 20 plajiyoklas mikrolitleri, ~ % 14 klinopiroksen, ~ % 10 amfibol (hornblend)+biyotit, ~ % 2 kuvars ve ~ % 1 opak bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "andezit" olarak adlandırılmıştır. Kayaç içersindeki amfibol ve biyotitler yaygın olarak opasitleşmiş olarak izlenmektedir. Kayaç kristallenme derecesine göre hipokristalen dokulu, tane durumuna göre hipokristalen porfirik dokulu ve hamur fazı göz önüne alındığında hiyalopilitik dokuludur (Şekil 4.11).



**Şekil 4.10.** Sulutas volkanitlerine ait andezit (4 nolu örnek) ocağından bir görünüm.

Besang ve ark. (1977), Konya ve civarında yaptıkları çalışmada Sille, Erenlerdağ ve Alacadağ civarındaki kayaçların yaşını K-Ar yaş tayinine göre 11.95 + 3.35 My olduğunu belirtmişlerdir. Eren (1993) ise volkanitlerin alt ve üst sınır ilişkilerine göre birimin yaşının Üst Miyosen-Alt Pliyosen olduğunu belirtmiştir.

Ercan (1987), Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması ile ilgili çalışmasında, Oligosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner volkanizmasının kıtasal kabuk kökenli ve kalkalkalen nitelikli olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca kıtasal kabuk kökenli ve kalkalkalen nitelikli volkanizmanın, levhalar arası yakınsama ile okyanusal kabuğun tüketilip kıtasal kabuğun çarpışmasından sonra meydana geldiğini gösterdiğini belirtmiştir.

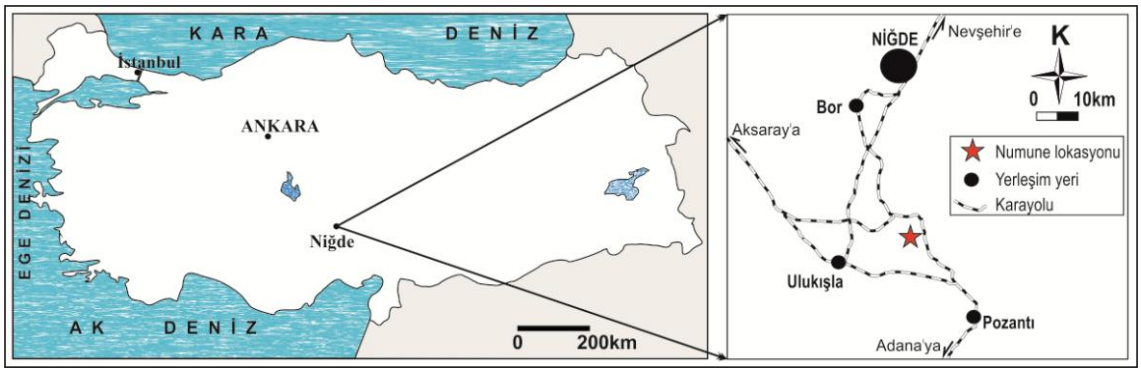



**Şekil 4.11.** 4 nolu andezit örneğinin ince kesit görünümü (Pjl: plajiyoklas, Pl-m: plajiyoklas mikrolitleri, Prx: piroksen, V: volkanik cam) (Çift nikol).

## 4.5. Ulukışla magmatitleri

Siyah, gri ve koyu kahve renklerinden oluşan birim, Oktay (1973) tarafından "Ulukışla grubu", Demircioğlu (2001) tarafından ise "Ulukışla mağmatitleri" olarak adlandırılmıştır.

Birim içerisinden alınan 5 numaralı kayaç örneği, Niğde İli'nin Ulukışla İlçesi sınırları içerisinde olup, Ulukışla İlçesi'nin yaklaşık 34 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 4.12).



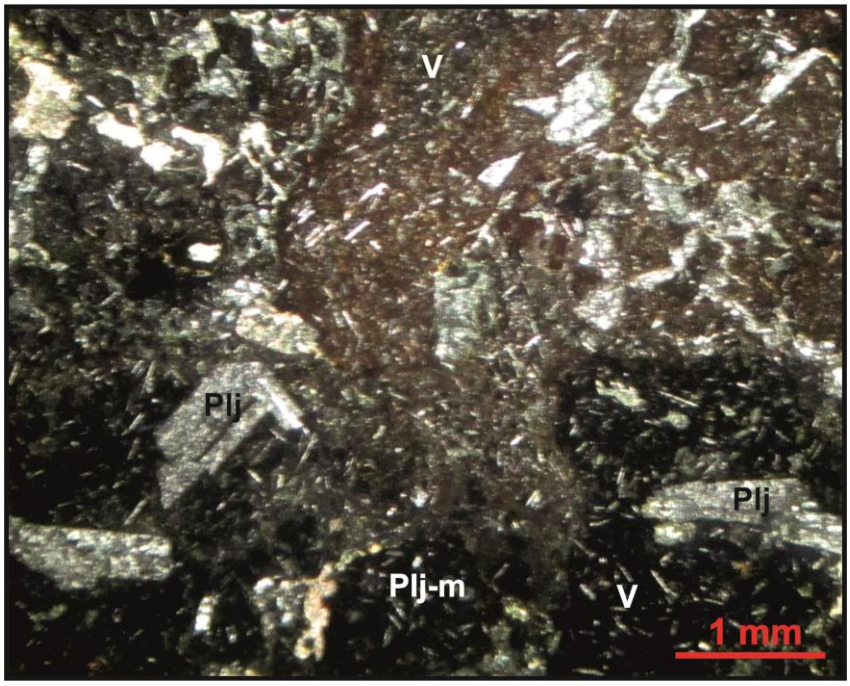

**Şekil 4.12.** Ulukışla mağmatiklerinden alınan kayaç örneğinin (5 nolu örnek) lokasyon haritası.

Ulukışla magmatitleri, bazalt, spilit, siyenit, monzonit ve volkanojenik kırıntılılardan oluşmaktadır. İncelenen noktada ve civarında siyah, gri, koyu kahve

renklerde gözlenen spilitik kayaçlar bulunmaktadır. Spilitlerde yer yer vesiküler mevcut olup bu boşluklar ikincil olarak kalsitle dolmuştur. Spilitlerde yer yer kırık ve çatlaklarda gözlemlemek mümkündür. Kayaçta makro olarak plajiyoklas minerali oldukça belirgindir.

Birim içerisinden alınan kayaç numunesinden yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde; ~ % 30 plajiyoklas mikrolitleri, ~ % 29 volkanik cam, ~ % 18 plajiyoklas (fenokristal), ~ % 10 klorit, ~ % 10 kalsit ve ~ % 3 opak bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç kayaç "spilit" olarak adlandırılmıştır. Kayaç kristallenme derecesine göre hipokristalen dokulu, tane durumuna göre hipokristalen porfirik dokuludur. Kayaç içerisinde plajiyoklasdan itibaren yaygın olarak karbonatlaşma izlenirken piroksenden itibaren klorit oluşumları izlenmektedir (Şekil 4.13).

Dellaloğlu ve Aksu (1986), tarafından yapılan çalışmada birimin Ovacık formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olduğunu belirterek birimin yaşını Geç Kretase-Geç Paleosen olarak belirlemişlerdir.

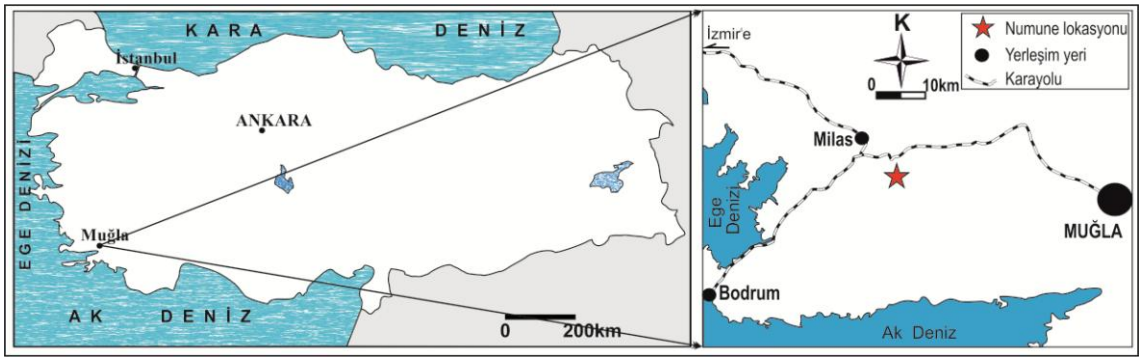



**Şekil 4.13.** 5 nolu spilit örneğinin ince kesit görünümü (Pjl: plajiyoklas, Pl-m: plajiyoklas mikrolitleri, V: volkanik cam) (Çift nikol).

## 4.6. Kızılağaç formasyonu

Menderes masifinin örtü birimlerinin en üst kısmında yer alan, kırmızı ve bordo renkler sunan kristalize kireçtaşlarından oluşan birim Brinkman (1967) tarafından Kızılağaç formasyonu olarak adlandırmıştır.

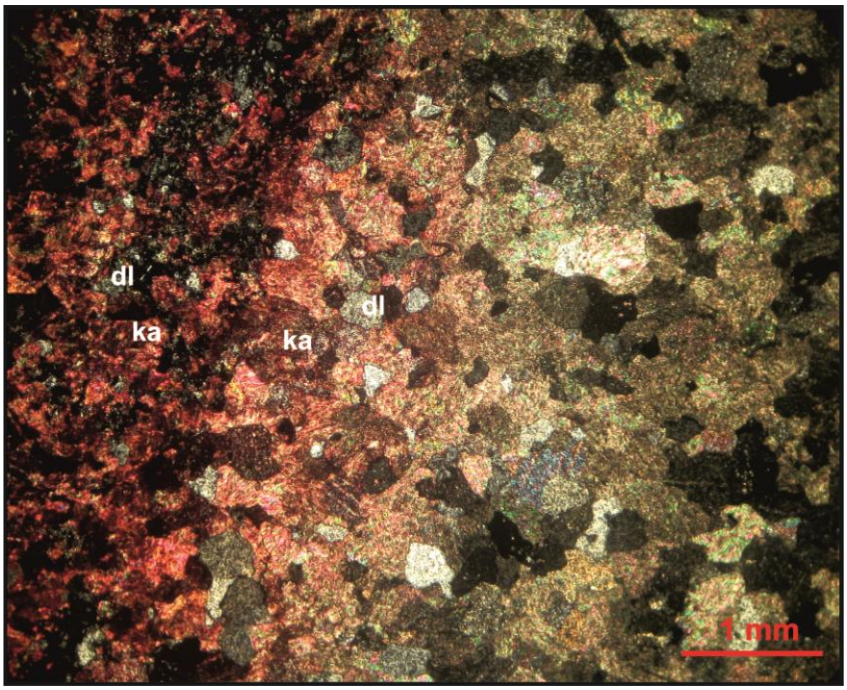
Birim içerisinden alınan 6 numaralı kayaç örneği, Muğla İli'nin Milas İlçesi'ne bağlı Kalınağıl Köyü sınırları içerisinde olup, Milas İlçesi'nin yaklaşık 15 km güneydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 4.14).




**Şekil 4.14.** Kızılağaç formasyonundan alınan kayaç örneğinin (6 nolu örnek) lokasyon haritası.

İnceleme noktasından alınan kristalize kireçtaşlarında silis içerikli ve kalsit içerikli mikro kıvrım ve damarlara rastlamak mümkündür. Ayrıca kayaç içerisinde makroskopik olarak siyah ve gri renkli karmaşık kılcal damarlar izlenmektedir. İnceleme alanında bordo renkler sunan bu kristalize kireçtaşlarından dekoratif ve iç-dış kaplama taşı üretimi yapılmaktadır.

Birim içerisinde bordo renkli kristalize kireçtaşlarından alınan kayaç numunesinden yapılan ince kesit çalışmasında; kayaç içerisinde ~ % 70 kalsit, ~ % 11 dolomit, ~ % 8 kuvars, ~ % 7 opak, ~ % 1 plajiyoklas ve ~ % 3 epidot grubu bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "mermer" olarak adlandırılmıştır (Wenk, 1963; Fritsch ve ark.,1967). Kayaç içerisinde gözlenen kalsitler genellikle iri taneli (>10 µm) olup, yüksek çift kırma renkleri ve yer yer gözlenen tipik dilinimleri ile oldukça belirgindir (Şekil 4.15). Kuvarslar ise öz şekilsiz olup dalgalı sönme göstermektedir. Kayaç granoblastik dokuludur. Kayacın bordo rengini muhtemelen opak ve epidot grubu minerallerden almaktadır.




**Şekil 4.15.** 6 nolu mermer örneğinin ince kesit görünümü (kalsit (ka) ve dolomit (dl) kristalleri) (Çift nikol).

Brinkman (1966), Menderes Masifi'ni çekirdeğini oluşturan birimlerin, Prekambriyen'de çökelmiş sedimanter kayaçlardan oluştuğunu ve Prekambriyen sonundaki orojenezin ardından ise örtü birimlerinin çökeldiğini belirtmiştir. Özer (1994), Menderes masifinde bulunan Kretase istifinin platform tipi ve detritik karbonatlardan oluştuğunu belirtmiştir. Bafa gölü-Milas arasında Kretase istifinin platform tipi mermerlerden oluştuğunu belirtirken bu istifin üste doğru; fosilsiz mermerler, rudistli mermerler ile Maestrihtiyen-Erken Paleosen yaşlı kırmızı pelajik mermerler ile süreklilik gösterirken en üstte olistostromal filişin yer aldığını belirtmiştir.

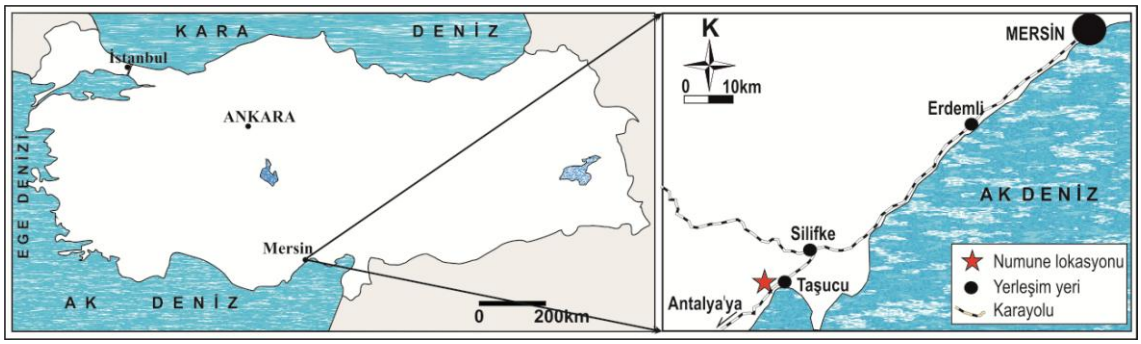
Birimin kalınlığı yaklaşık 30-250 m arasındadır (Bağcı, 2006). Akat ve ark. (1975), yaptıkları çalışmada birim içerisinde buldukları fosillere göre, birime Paleosen yaşını vermişlerdir.

## 4.7. Tokmar formasyonu

Gri, beyaz renkli karbonatlardan oluşan birim ilk kez Demirtaşlı (1978) tarafından "Tokmar formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

Birim içerisinden alınan 7 numaralı kayaç örneği, Mersin İli'nin Silifke ilçesine bağlı Taşucu beldesi sınırları içerisinde olup, Taşucu belde merkezinin 5 km batısında yeralmaktadır (Şekil 4.16).

Tokmar formasyonu içerisinde yer alan mermer ocağı içinde birim; açık gri, beyaz renkli, orta- kalın tabakalı, kırıklı ve çatlaklı, ikincil olarak oluşan çatlaklar içerisi kalsit dolgulu, sert, sağlam ve keskin köşeli kırıklı olarak gözlenmektedir (Şekil 4.17). Tokmar formasyonunun taban seviyeleri orta kalın tabakalı dolomit ve dolomitik kireçtaşı ile başlamakta ve üste doğru ince-orta tabakalı kireçtaşlarına geçiş göstermektedir. Birimin en üst seviyelerinde ise çok kalın tabakalı ve masif kireçtaşları bulunmaktadır (Özalp,1999).




**Şekil 4. 16.** Tokmar formasyonundan alınan kayaç örneğinin (7 nolu örnek) lokasyon haritası.

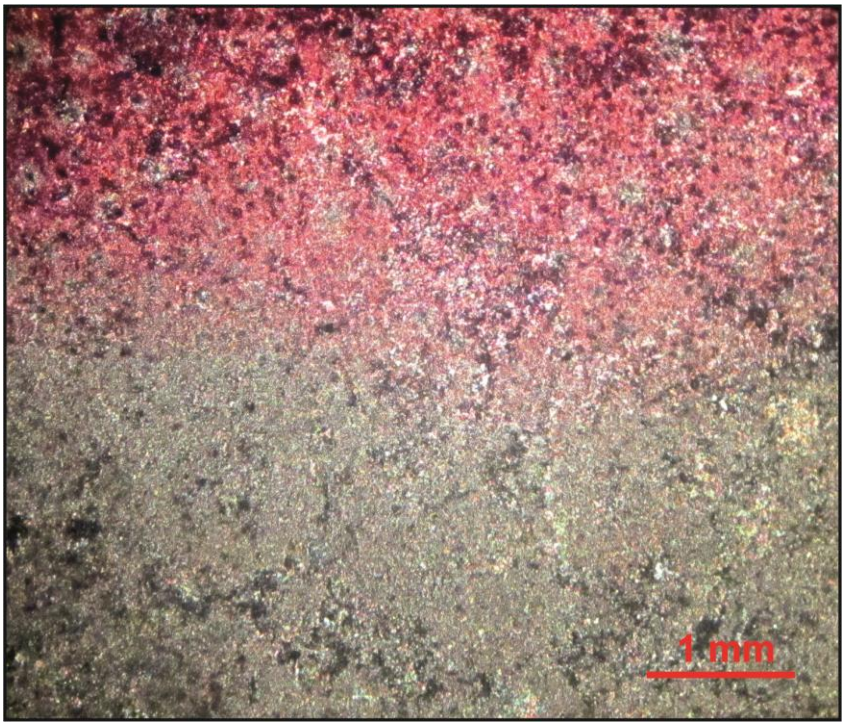
Birim içerisinden alınan kayaç numunesinde yapılan ince kesit çalışmasında kayaç ; ~ % 92 kalsit, ~ % 7 dolomit ve ~ % 1 opaktan oluşmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "kristalin kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Dunham, 1962). Dolomitler öz şekilsiz olarak izlenmektedir. Kesitte ince yapılı çatlaklar izlenmekte olup bunlar sparit ile doldurulmuştur. Kalsit kristalleri iri (>10 μm) ve mikro (4-10 μm) boyutlu olarak izlenmektedir (Şekil 4.18).

Birimin kalınlığı yaklaşık 700 m civarındadır. Özalp (1999), tarafından yapılan çalışmada birim içerisinde bulduğu fosillere göre birime Orta Jura- Alt Kretase yaşını vermiştir.

Bu formasyon içindeki dolomitlerin sığ, ılık-sıcak bir denizde, belkide lagünlü bir karbonat platformu ürünü iken, kireçtaşlarının bentik fauna ve dismikritli mikrit mikrofasiyesleri ise çökelmenin düşük enerjili sığ denizde olduğunu göstermektedir (Turan, 1997).



**Şekil 4.17.** Tokmar formasyonuna ait kristalin kireçtaşı (7 nolu örnek) ocağından bir görünüm.

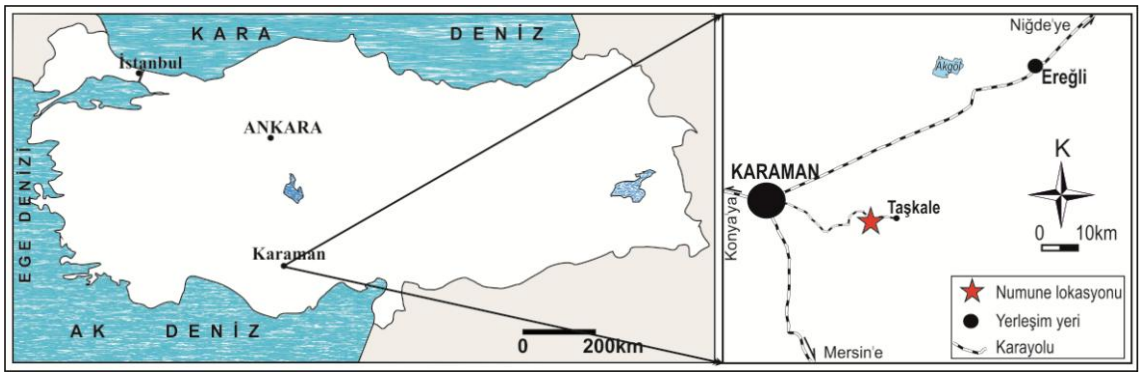



**Şekil 4.18.** 7 nolu kristalin kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (Çift nikol).

## 4.8. Üçbaş formasyonu

Beyaz, grimsi beyaz renklerden oluşan birim, Koçyiğit (1972) tarafından "Üçbaş formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

Birim içerisinden alınan 8 numaralı kayaç örneği, Karaman İli'nin Taşkale Köyü sınırları içerisinde olup, Taşkale Köyü'nün yaklaşık 6 km batısında bulunmaktadır (Şekil 4.19).



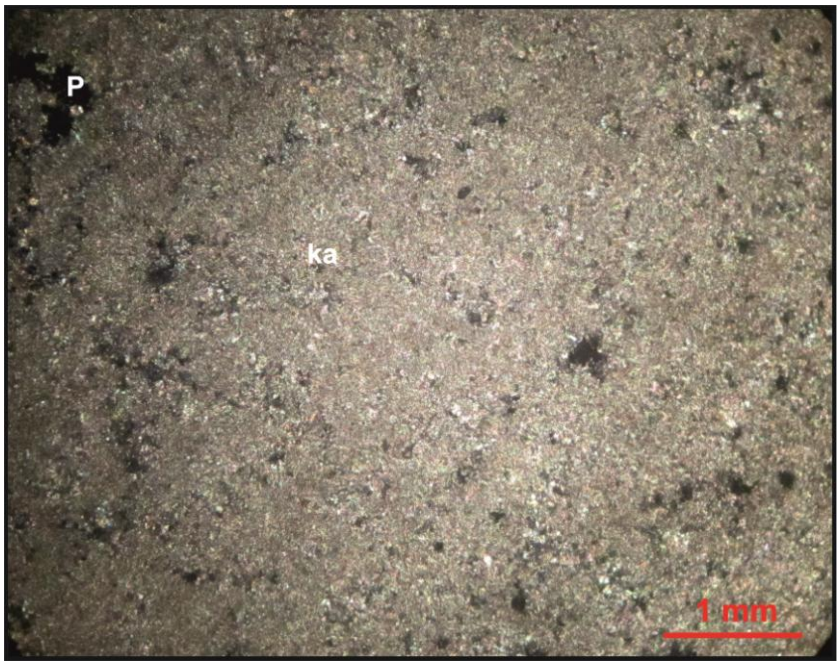

**Şekil 4.19.** Üçbaş formasyonundan alınan kayaç örneğinin (8 nolu örnek) lokasyon haritası

İnceleme alanında genellikle beyazımsı renkli kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan birim içinde yer yer merceksel kumtaşı ve silttaşı bulunmaktadır. Birim orta kalın tabakalı olup, erime boşlukları içermektedir. Bu kireçtaşları içerisinde bulunan ocak, dekoratif ve iç-dış kaplama malzemesi elde etmek amacıyla işletilmektedir. İncelenen noktada kayaç, beyaz-kirli beyaz renk sunan kireçtaşından oluşmaktadır.

Birim içerisinden alınan kayaç numunesinden yapılan ince kesit çalışmasında kayaç içerisinde ~ % 89 kalsit, ~ % 10 porozite ve ~ % 1 opak bulunmaktadır. Mineralojik bileşimine göre kayaç "kristalin kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Dunham, 1962). Kayaç içerisinde gözlenen kalsitler mikro boyutlu olup yüksek çift kırma renkleri ile oldukça belirgindir. Poroziteler ise iri ve küçük boyutlu olup düzensiz olarak dağılmıştır (Şekil 4. 20).

İnceleme noktasında birimin kalınlığı ortalama 4 m civarındadır. Koçyiğit (1978), yaptığı çalışmada birim içerisinde bulduğu fosillere göre birime Pliyosen yaşını vermiştir.

Şafak (1997), Karaman yöresinde yaptığı çalışmada Geç Miyosen'de genellikle sığ denizden başlayarak lagün ortamına kadar geçebilen ostrakod faunalarına rastlarken, Pliyosen'de ise bu ostrakod faunalarının tamamen göl ortamını karakterize ettiğini belirtmişlerdir. Birim, Miyosen denizinin geri çekilmesinden sonra arta kalan çanaklar içindeki göllerde oluşmuştur (Koçyiğit, 1978).

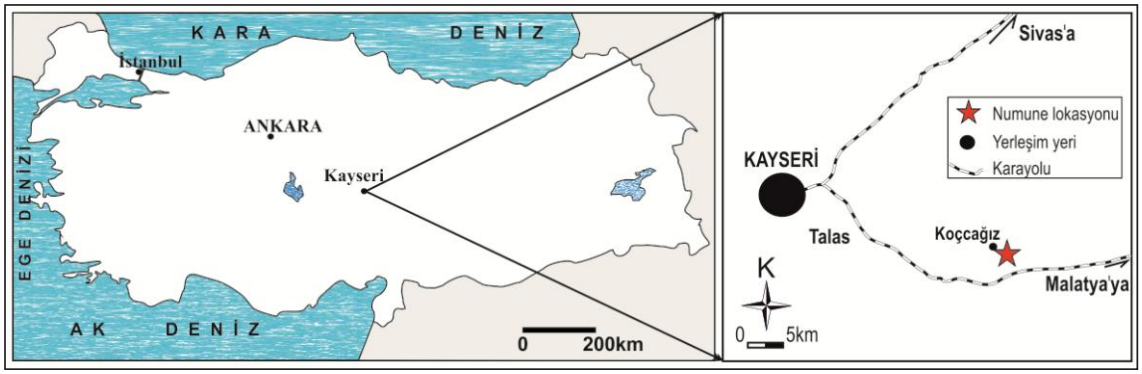



**Şekil 4.20.** 8 nolu kristalin kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (İnce taneli kalsit (ka) kristalleri, P: porozite) (Çift nikol).

## 4.9. Valibabatepe ignimbiriti

Gri, siyah, kırmızımsı ve sarı renklerden oluşan birimi ilk olarak Pasquare (1968), Ürgüp formasyonu içerisinde 'İncesu üyesi' adını vererek incelemiştir. Temel ve ark. (1998) ve Şen ve ark. (2003) ise yaptıkları çalışmada bu ignimbirite "Valibabatepe ignimbiriti" adını vermişlerdir.

Birim içerisinden alınan 9 numaralı kayaç örneği, Kayseri İli'nin Talas İlçesi Koçcağız Köyü sınırları içerisinde olup, Kayseri'nin yaklaşık 45 km güneydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 4.21).




**Şekil 4.21.** Valibabatepe ignimbiritinden alınan kayaç örneğinin (9 nolu örnek) lokasyon haritası.

Birim, genel olarak gri, siyah, pembe–kırmızı, sarı renklerden oluşan ignimbiritler'den oluşmaktadır. İnceleme alanı içerisinde bulunan gri renkli ignimbiritler yapı taşı ocağı olarak işletilmektedir (Şekil 4.22). İnceleme noktasında ise gri renkli, iyi kaynaklaşmış, sert, masif ve kalın katmanlıdır. Birim içerisinde yer yer pomza parçaları bulunur ve nadir olarak gelişen kırıklar mevcuttur.

Birim içerisinden alınan kayaç numunesinde yapılan ince kesit çalışmasında kayaç ; ~ % 80 volkanik cam, ~ % 9 plajiyoklas,~ % 4 kilonopiroksen, ~ % 3 biyotit, ~ % 2 kuvars ve ~ % 2 opaktan oluşmaktadır. Biyotitlerde yaygın olarak oksitlenme gözlenmektedir (Şekil 4.23). Kayaç tane boyutuna göre "tüf"; mineralojik bileşimine ve tane boyutuna göre "andezitik tüf"; tanelerin makro olarak yüzde dağılımına göre "kül tüfü"; volkanik cam ve kristal-kayaç parçası bileşenlerine göre "camsı tüf" olarak adlandırılmıştır (Schmid, 1981). Kayaç porfirik dokuludur.

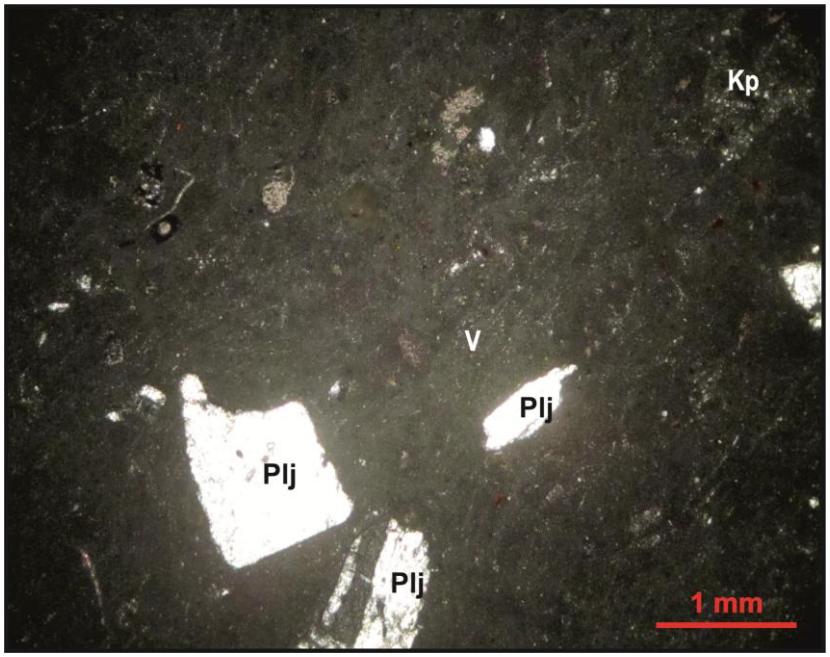



**Şekil 4.22.** Valibabatepe ignimbiritine ait (9 nolu örnek) ocaktan bir görünüm.

İnceleme noktasında gri renkli ignimbiritin kalınlığı yaklaşık 15 m civarındadır. Şen ve ark. (2003), Valibabatepe ignimbiritinin yaşının 2.8 my olduğunu ifade etmişlerdir. Buna göre birim Geç Pliyosen yaşlıdır.

Orta Anadolu bölgesinde Paleosen'den Kuvaterner dönemine kadar 6 farklı yaş aralığında volkanizma gelişmiştir. Bu volkanizmalardan Oligosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı olanları kabuk kökenli olup, kalkalkalen karakterlidir (Ercan, 1987). İç Anadolu Volkanik Bölgesi'nin en büyük stratovolkanı olan Erciyes stratovolkanının,

volkanolojik gelişimi Koçdağ ve Erciyes safhasından oluşmaktadır. Koçdağ safhasında yoğun piroklastik çökel oluşumları meydana gelmiş ve bu safhanın son ürünü ise Valibabatepe ignimbiritini oluşturmuştur (Şen ve ark., 2003).



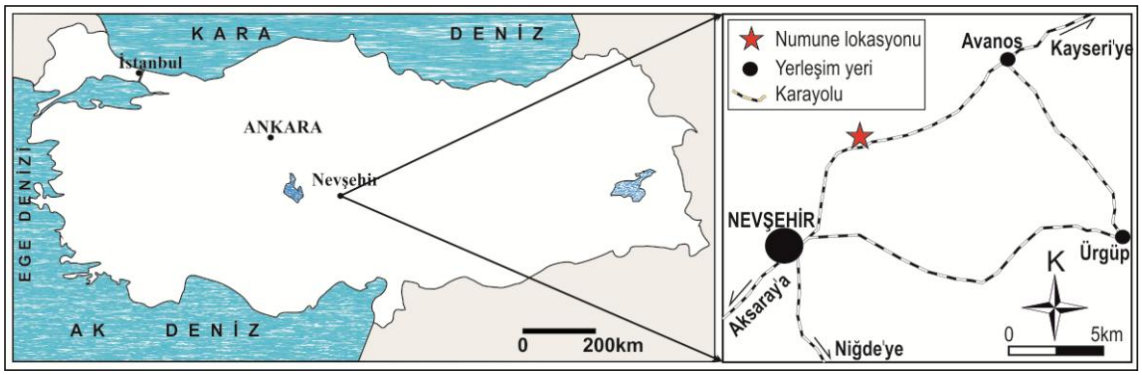

**Şekil 4.23.** 9 nolu tüf örneğinin ince kesit görünümü (Plj: plajiyoklas, Kp: kayaç parçası, V: volkanik cam) (Çift nikol).

## 4.10. Ürgüp formasyonu

Değişik renklerden oluşan volkanikler ve gölsel çökellerden oluşan birim Pasquare (1968), tarafından "Ürgüp formasyonu" olarak tanımlanmıştır.

Birim içerisinden alınan 10 numaralı kayaç örneği, Nevşehir İli'nin sınırları içerisinde yer alıp, Nevşehir şehir merkezinin yaklaşık 7 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 4.24).

İnceleme alanında vişne, sarı, kirli beyaz, mor, pembe, gülkurusu gibi renklerden oluşan ignimbiritler bulunmaktadır. Çeşitli renkler sunan bu ignimbiritler yapı taşı malzemesi ocağı olarak işletilmektedir (Şekil 4.25). İşletilen bu ocak içerisinden gülkurusu-pembe renkli olan ignimbiritten numune alınmıştır. İncelenen ignimbirit kaynaklaşmamış olarak gözlenmektedir.




**Şekil 4.24.** Ürgüp formasyonundan alınan kayaç örneğinin (10 nolu örnek) lokasyon haritası.

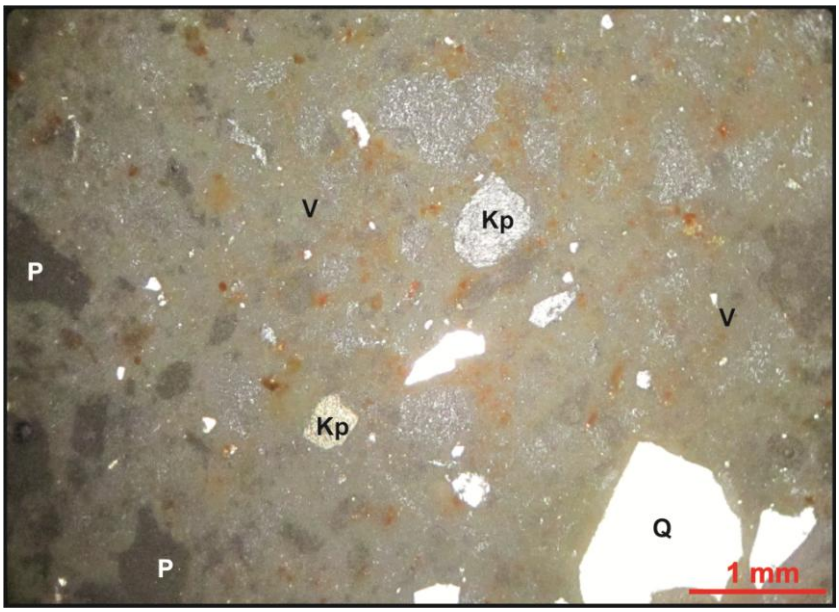
Birim içerisinden alınan kayaç numunesinde yapılan ince kesit çalışmasında kayaç ; ~ % 72 volkanik cam, ~ % 10 kuvars, ~ % 8 plajiyoklas, ~ % 8 kayaç parçası, ~ % 1 amfibol ve ~ % 1 opaktan oluşmaktadır (Şekil 4.26). Kayaç, tane boyutuna (2-64mm) göre "lapilli tüf"; mineralojik bileşimine ve tane boyutuna göre "plajiyodasitik tüf"; tanelerin makro olarak % dağılımına göre "lapilli kül tüfü"; volkanik cam ve kristal-kayaç parçası bileşenlerine göre "camsı tüf" olarak adlandırılmıştır (Schmid, 1981). Kayaç dokusu porfiriktir. Bu ignimbiritler çeşitli volkanik kayaç parçaları ile pomza çakılları içermektedir.



**Şekil 4.25.** Ürgüp formasyonuna ait ignimbirit (10 nolu örnek) ocağından bir görünüm.

Nevşehir Platosu'nu kaplayan Ürgüp formasyonunun kalınlığı yer yer 400 metreyi bulmaktadır (Pasquare ve ark., 1988). Temel (1992), Ürgüp formasyonun en alt seviyesinde bulunan Kavak ignimbiritinde yaptığı çalışmada birimin yaşını 11.2±2.5 my olarak bulmuştur. Dönmez ve ark., (2003) ise Ürgüp formasyonunun değişik seviyelerinde bulunan fosillere göre birime Geç Miyosen yaşını vermiştir.

Innocenti ve ark. (1975), Ürgüp havzasında yaptıkları jeolojik ve jeokronolojik araştırmalarda, havzada görülen volkanizmanın Erken Miyosen'de başladığını ve volkanizmanın gelişim süresi boyunca kalkalkalen karakteri koruduğunu belirtmişlerdir.




**Şekil 4.26.** 10 nolu tüf örneğinin ince kesit görünümü (Q: kuvars, Kp: kayaç parçası, V: volkanik cam) (Çift nikol).

# 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

## 5.1. Doğal Kayaçların Fiziko-Mekanik Özellikleri

Yapılan bu çalışmada doğal yapı taşı olarak kullanılan değişik yörelere ait 10 farklı kayaç örneğinin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan kayaç örneklerine ait numaralandırma ve alındıkları yöreler Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1.**Çalışmada kullanılan kayaçlara ait numaralar ve alındıkları bölgeler.

| Kayaç Cinsi | Örnek No | Alındığı Bölge |
|---|---|---|
| Granit | 1 | Aksaray |
| Granit Porfir | 2 | Kırşehir |
| Bazalt | 3 | Niğde |
| Andezit | 4 | Konya |
| Spilit | 5 | Niğde |
| Mermer | 6 | Muğla |
| Kristalin Kireçtaşı | 7 | Mersin |
| Kristalin Kireçtaşı | 8 | Karaman |
| Plajiodasitik Tüf | 9 | Kayseri |
| Andezitik Tüf | 10 | Nevşehir |

Çalışmada kullanılan her bir kayaçın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için standartlara uygun olarak karot ve agrega numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerden; porozite (n), ağırlıkça su emme (Aw), P dalga hızı (Vp), kuru yoğunluk ($\rho_d$), Schmidt çekici değeri (SÇD), kapiler su emme değeri (C), tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yük dayanımı ($I_{s(50)}$), Brazilian çekilme dayanımı ($\sigma_t$), Los Angeles aşınma dayanımı (LA), darbe dayanımı (a), suda dağılmaya karşı dayanım ($I_d$) ve Böhme aşınma dayanımı ($\Delta V$) değerleri deneyler yapılarak belirlenmiştir. Doğal kayaçlara ait fiziko-mekanik özelliklerin istatistiksel dağılımı Çizelge 5.2'de verilmektedir. Yapılan deneyler sonucu doğal kayaçlarda belirlenen en büyük ortalama porozite (n) değeri % 30,27 ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük ortalama porozite değeri ise % 0,19 ile 6 nolu örnekte (mermer) izlenmiştir. Bulunan en büyük ortalama ağırlıkça su emme (Aw) değeri % 21,90 ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük ortalama ağırlıkça su emme değeri ise % 0,07 ile 6 nolu örnekte (mermer) izlenmiştir. En büyük ortalama P dalga hızı değeri (Vp) 5,772 km/sn ile 6 nolu örnekte (mermer) izlenirken, en küçük ortalama P dalga hızı değeri ise 1,385 km/sn ile

**Çizelge 5.2.** Çalışmada kullanılan doğal kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin istatistiksel dağılımı.

| No | | n (%) | Aw (%) | $V_p$ (km/sn) | ρd ($gr/cm^3$) | $E_d$ ($MPax10^6$) | SÇD | $\sigma_{c(50)}$ (MPa) | $I_{s(50)}$ (MPa) | $\sigma_t$ (MPa) | LA (%) | | | a (%) | Id (%) | | ΔV ($cm^2/50cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | $LA_{100}$ | $LA_{500}$ | $LA_{1000}$ | | $I_{d2}$ | $I_{d4}$ | |
| **1** | Max | 0,50 | 0,19 | 5,02 | 2,66 | 0,064 | 77 | 161,63 | 9,91 | 12,31 | | | | 93,72 | 99,46 | 99,06 | 7,13 |
| | Min | 0,43 | 0,16 | 4,88 | 2,63 | 0,067 | 75 | 126,28 | 8,85 | 8,33 | | | | 90,76 | 99,34 | 98,92 | 6,69 |
| | Ort | 0,46 | 0,18 | 4,97 | 2,65 | 0,066 | 75,5 | 144,10 | 9,31 | 10,17 | 4,55 | 30,10 | 50,56 | 92,43 | 99,41 | 99,00 | 6,88 |
| | S.S | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 0,002 | 0,71 | 12,70 | 0,37 | 1,41 | | | | 1,51 | 0,06 | 0,07 | 0,18 |
| **2** | Max | 0,84 | 0,31 | 4,61 | 2,71 | 0,058 | 56 | 89,86 | 7,41 | 10,09 | | | | 84,26 | 99,15 | 98,91 | 9,22 |
| | Min | 0,70 | 0,26 | 4,19 | 2,67 | 0,048 | 52 | 74,23 | 4,83 | 6,49 | | | | 80,45 | 98,94 | 98,63 | 7,55 |
| | Ort | 0,78 | 0,29 | 4,40 | 2,69 | 0,053 | 53,4 | 80,07 | 5,87 | 8,43 | 7,82 | 42,71 | 68,83 | 82,77 | 99,07 | 98,80 | 8,30 |
| | S.S | 0,05 | 0,02 | 0,15 | 0,01 | 0,004 | 1,90 | 6,34 | 0,85 | 1,40 | | | | 2,03 | 0,12 | 0,15 | 0,67 |
| **3** | Max | 5,85 | 2,31 | 4,88 | 2,61 | 0,063 | 65 | 123,82 | 11,35 | 14,46 | | | | 91,11 | 99,34 | 98,89 | 10,26 |
| | Min | 4,23 | 1,62 | 4,62 | 2,66 | 0,055 | 60 | 96,69 | 8,94 | 8,22 | | | | 88,68 | 99,17 | 98,70 | 9,51 |
| | Ort | 5,19 | 2,03 | 4,70 | 2,56 | 0,057 | 62,1 | 112,12 | 10,40 | 11,53 | 3,64 | 16,46 | 35,03 | 90,13 | 99,26 | 98,81 | 9,84 |
| | S.S | 0,70 | 0,30 | 0,11 | 0,03 | 0,03 | 1,79 | 10,71 | 0,79 | 2,63 | | | | 1,28 | 0,08 | 0,10 | 0,32 |
| **4** | Max | 6,97 | 2,87 | 4,07 | 2,50 | 0,042 | 52 | 160,68 | 12,84 | 12,17 | | | | 87,51 | 98,59 | 97,72 | 14,09 |
| | Min | 5,43 | 2,17 | 3,71 | 2,43 | 0,034 | 48 | 131,71 | 9,40 | 8,83 | | | | 83,45 | 98,12 | 97,20 | 11,80 |
| | Ort | 6,47 | 2,65 | 3,86 | 2,44 | 0,037 | 49,8 | 143,00 | 10,97 | 10,12 | 5,40 | 26,44 | 47,74 | 84,55 | 98,33 | 97,44 | 12,97 |
| | S.S | 0,62 | 0,28 | 0,14 | 0,03 | 0,003 | 1,75 | 11,82 | 1,05 | 1,17 | | | | 2,59 | 0,24 | 0,26 | 0,99 |
| **5** | Max | 2,76 | 1,04 | 4,80 | 2,67 | 0,062 | 51 | 118,36 | 7,91 | 9,39 | | | | 94,58 | 99,43 | 98,63 | 10,03 |
| | Min | 1,95 | 0,73 | 4,25 | 2,64 | 0,049 | 45 | 96,41 | 4,35 | 6,14 | | | | 85,76 | 98,77 | 97,93 | 8,42 |
| | Ort | 2,46 | 0,93 | 4,44 | 2,65 | 0,053 | 47,2 | 103,36 | 5,50 | 8,05 | 6,05 | 28,55 | 53,03 | 90,94 | 99,14 | 98,36 | 9,27 |
| | S.S | 0,33 | 0,13 | 0,22 | 0,01 | 0,006 | 1,87 | 8,83 | 1,17 | 1,15 | | | | 4,61 | 0,34 | 0,37 | 0,90 |

**Çizelge 5.2**'nin devamı

| No | | n (%) | Aw (%) | $V_p$ (km/sn) | ρd ($gr/cm^3$) | $E_d$ ($MPax10^6$) | SÇD | $\sigma_{c(50)}$ (MPa) | $I_{s(50)}$ (MPa) | $\sigma_t$ (MPa) | LA (%) | | | a (%) | Id (%) | | ΔV ($cm^2$/50 $cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | $LA_{100}$ | $LA_{500}$ | $LA_{1000}$ | | $I_{d2}$ | $I_{d4}$ | |
| 6 | Max | 0,24 | 0,09 | 5,85 | 2,77 | 0,095 | 70 | 103,28 | 7,09 | 11,27 | | | | 92,68 | 97,30 | 96,71 | 22,24 |
| | Min | 0,15 | 0,05 | 5,68 | 2,75 | 0,090 | 67 | 89,03 | 5,58 | 7,67 | | | | 86,02 | 96,73 | 96,03 | 18,84 |
| | Ort | 0,19 | 0,07 | 5,77 | 2,76 | 0,093 | 67,4 | 93,91 | 6,46 | 8,98 | 6,57 | 30,74 | 62,93 | 90,42 | 97,07 | 96,46 | 20,82 |
| | S.S | 0,04 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 0,003 | 0,97 | 5,89 | 0,68 | 1,28 | | | | 3,31 | 0,30 | 0,37 | 1,65 |
| 7 | Max | 0,44 | 0,16 | 5,63 | 2,69 | 0,086 | 51 | 82,39 | 5,32 | 9,16 | | | | 90,02 | 98,80 | 98,49 | 23,49 |
| | Min | 0,36 | 0,13 | 5,35 | 2,66 | 0,078 | 47 | 59,59 | 3,50 | 5,16 | | | | 86,73 | 98,64 | 98,31 | 21,03 |
| | Ort | 0,40 | 0,15 | 5,56 | 2,68 | 0,084 | 49,5 | 72,63 | 4,49 | 7,25 | 7,22 | 30,45 | 54,07 | 88,60 | 98,74 | 98,41 | 22,04 |
| | S.S | 0,04 | 0,01 | 0,12 | 0,01 | 0,004 | 1,35 | 10,11 | 0,70 | 1,43 | | | | 1,68 | 0,08 | 0,09 | 1,16 |
| 8 | Max | 3,03 | 1,19 | 5,93 | 2,59 | 0,092 | 50 | 87,84 | 6,05 | 9,86 | | | | 88,91 | 97,82 | 97,29 | 25,64 |
| | Min | 1,57 | 0,61 | 5,52 | 2,54 | 0,078 | 46 | 71,34 | 4,68 | 6,26 | | | | 80,46 | 97,36 | 96,74 | 22,25 |
| | Ort | 2,16 | 0,84 | 5,73 | 2,56 | 0,085 | 48,6 | 76,88 | 5,34 | 7,53 | 7,77 | 36,43 | 58,09 | 85,33 | 97,61 | 97,04 | 24,19 |
| | S.S | 0,54 | 0,21 | 0,15 | 0,02 | 0,005 | 1,65 | 7,30 | 0,48 | 1,08 | | | | 4,37 | 0,23 | 0,28 | 1,52 |
| 9 | Max | 30,65 | 22,36 | 1,40 | 1,40 | 0,0028 | 36 | 9,61 | 0,87 | 1,16 | | | | 84,70 | 87,43 | 83,27 | 29,56 |
| | Min | 29,74 | 21,30 | 1,34 | 1,37 | 0,0025 | 33 | 8,13 | 0,71 | 0,85 | | | | 74,91 | 86,80 | 82,63 | 25,93 |
| | Ort | 30,27 | 21,90 | 1,39 | 1,38 | 0,0027 | 34,1 | 8,89 | 0,82 | 1,00 | 17,25 | 77,85 | 99,18 | 78,94 | 87,12 | 82,97 | 27,65 |
| | S.S | 0,45 | 0,51 | 0,02 | 0,01 | 0,0001 | 0,99 | 0,53 | 0,05 | 0,10 | | | | 5,12 | 0,31 | 0,32 | 1,64 |
| 10 | Max | 26,71 | 16,68 | 2,43 | 1,62 | 0,0097 | 34 | 11,62 | 1,18 | 1,41 | | | | 63,60 | 88,14 | 82,67 | 29,89 |
| | Min | 26,46 | 16,34 | 2,34 | 1,60 | 0,0090 | 30 | 10,54 | 0,95 | 1,16 | | | | 56,76 | 87,50 | 81,97 | 25,88 |
| | Ort | 26,60 | 16,49 | 2,39 | 1,61 | 0,0093 | 31,2 | 11,05 | 1,09 | 1,08 | 15,85 | 70,71 | 99,99 | 61,09 | 87,88 | 82,30 | 28,22 |
| | S.S | 0,11 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,0003 | 1,40 | 0,49 | 0,08 | 0,08 | | | | 3,77 | 0,33 | 0,35 | 1,83 |

9 nolu örnekte (tüf) izlenmiştir. Doğal kayaçlarda bulunan en büyük ortalama kuru yoğunluk ($\rho d$) değeri 2,76 gr/cm$^3$ ile 6 nolu örnekte (mermer) izlenirken, en küçük ortalama kuru yoğunluk değeri ise 1,38 gr/cm$^3$ ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenmiştir. En büyük ortalama dinamik elastisite modülü (Ed) değeri 0,093x10$^6$ MPa ile 6 nolu örnekte (mermer) izlenirken, en küçük ortalama dinamik elastisite modülü (Ed) değeri ise 0,0027x10$^6$ MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenmiştir.

Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için standartlarına uygun olarak hazırlanan karottan her kayaç için 5'er adet numune üzerinde deney yapılmıştır. Bulunan en büyük ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değeri 144,10 MPa ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken, en küçük ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ise 8,86 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenmektedir.

Nokta yük dayanım deneyi için standartlarına uygun olarak hazırlanan karot numunelerinden her bir kayaç için 8'er adet numune üzerinde deney yapılmıştır. Deney sonucu bulunan nokta yük dayanım değerlerinin ($I_{s(50)}$) istatistiksel dağılımı Çizelge 5.2'de verilmektedir. Bulunan en büyük ortalama nokta yük dayanımı değeri 10,97 MPa ile 4 nolu örnekte (andezit) izlenirken, en küçük ortalama nokta yük dayanım değeri ise 0,82 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenmiştir. Brazilian dayanım deneyi için de standartlarına uygun olarak hazırlanan karot numunelerinden her bir kayaç için 8'er adet numune üzerinde deney yapılmıştır. Deney sonucu bulunan Brazilian çekilme dayanım değerlerinin $\sigma_t$ istatistiksel dağılımı Çizelge 5.2'de verilmektedir. Bulunan en büyük ortalama Brazilian çekilme dayanım değeri 11,53 MPa ile 3 nolu örnekte (bazalt) izlenirken, en küçük ortalama Brazilian çekilme dayanım değeri ise 1,00 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenmiştir.

Deneyde kullanılan farklı kayaçların agregalarında yapılan Los Angeles deneyleri ile kayaçların 10 yıl, 50 yıl ve 100 yıla göre aşınma dayanım değerleri tespit edilmiştir. Bu amaçla agregaların 100, 500 ve 1000 devir sonundaki aşınma değerleri bulunmuştur. Yapılan bu deneyle 100 devir sonundaki en büyük Los Angeles aşınma dayanım (LA) değeri % 17,25 ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük Los Angeles aşınma dayanım değeri ise % 3,64 ile 3 nolu örnekte (bazalt) izlenmektedir. 500 devir sonundaki en büyük Los Angeles aşınma dayanım değeri % 77,85 ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük Los Angeles aşınma dayanım değeri ise % 16,46 ile 3 nolu örnekte (bazalt) izlenmektedir. 1000 devir sonundaki en büyük Los Angeles aşınma dayanım değeri % 99,99 ile 10 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük Los Angeles

aşınma dayanım değeri ise % 35,03 ile 3 nolu örnekte (bazalt) izlenmektedir (Çizelge 5.2).

Ani çarpmalara karşı dayanımın belirlenmesi için kayaçların agregalarında yapılan darbe dayanımı deneyleri sonucunda doğal kayaçlara ait en büyük darbe dayanım (a-%) değeri % 92,43 ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken, en küçük darbe dayanım değeri ise % 61,09 ile 10 nolu örnekte (tüf) izlenmektedir.

Çalışmada kullanılan doğal kayaçların suya karşı dayanımının belirlenmesi için yapılan Slake durability deneyi sonucu suda dağılmaya karşı dayanım değerlerini gösteren duraylılık indeksleri ($I_{d2}$, $I_{d4}$) belirlenmiştir. Duraylılık indeksi $I_{d2}$ için bulunan en büyük duraylılık indeksi değeri % 99,41 ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken, en küçük duraylılık indeksi değeri ise % 87,12 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. Duraylılık indeksi $I_{d4}$ için bulunan en büyük duraylılık indeksi değeri % 99,00 ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken, en küçük duraylılık indeksi değeri ise % 82,30 ile 10 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur (Çizelge 5.2).

Böhme aşındırma deneyi için standartlarına uygun olarak hazırlanan karot numunelerinden her bir kayaç için 5'şer adet numune üzerinde yapılan deney sonucunda her bir kayaç yüzeyinin sürtünmeye karşı direnci belirlenmiştir. Deney sonucu bulunan Böhme aşınma dayanımı değerlerinin ($\Delta V$) istatistiksel dağılımı Çizelge 5.2'de verilmektedir. Buna göre en büyük yüzey aşınma dayanımı 28,22 $cm^3/50\ cm^2$ ile 10 nolu örnekte (tüf) iken en küçük aşınma dayanımı ise 6,88 $cm^3/50\ cm^2$ ile 1 nolu örnekte (granit) bulunmuştur.

**Doğal kayaçlarda Schmidt çekici deneyi:** Schmidt çekici, 1960'lı yılların başından itibaren bir indeks test olarak kaya mekaniği uygulamasında kullanılmaktadır (Sabatakakis ve ark., 2008). Deney aynı zamanda sertlik tayini için, tek eksenli basma dayanımı ve kayaçların diğer mekanik özelliklerini tahmin etmek için de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Schmidt çekicinin taşınabilir özellikte olması, hızlı, kolay, ucuz ve tahribatsız olmasından dolayı dünyada kullanımı giderek artmaktadır (Kahraman ve Günaydın, 2007; Sengun ve ark. 2011).

Çalışmada kullanılacak kayaçlardan alınan blok örneklerinde kayacın yüzey sertliğini bulmak için Schmidt çekici deneyi yapılmıştır. Schmidt çekici değerlerine (SÇD) ait istatistiksel dağılım Çizelge 5.2'de verilmektedir. Bulunan en büyük ortalama Schmidt sertlik değeri 75,5 ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken, en küçük ortalama Schmidt sertlik değeri ise 31,2 ile 10 nolu örnekte (tüf) izlenmektedir.

Schmidt çekiçi deneyinden elde edilen sertlik değerlerine bağlı olarak kayaçların sertlik sınıflaması ISRM, 1978'e göre yapılmıştır (Çizelge 5.3). Buna göre 1, 3 ve 6 nolu örneklerin "Çok Sert" sınıfına, 2 nolu örneğin "Oldukça Sert" sınıfına, 4, 5, 7 ve 8 nolu örneklerin "Sert" sınıfına ve 9 ve 10 nolu örneklerin ise "Az sert" sınıfına girdiği belirlenmiştir. Schmidt çekiçi deneyinden elde edilen sertlik değerleri ve buna bağlı sertlik sınıflaması Çizelge 5.4'te verilmektedir.

**Çizelge 5.3.** Schmidt çekici sertliği değerlerine göre sertlik sınıflaması (ISRM,1978).

| Schmidt çekici değeri | Sertlik sınıflaması |
|---|---|
| 0-10 | Yumuşak |
| 10-20 | Az yumuşak |
| 20-40 | Az sert |
| 40-50 | Sert |
| 50-60 | Oldukça sert |
| >60 | Çok sert |

**Çizelge 5.4.** Ortalama Schmidt sertlik değerlerine göre her bir kayaç örneğine ait sertlik sınıflaması.

| Örnek No | Ortalama Schmidt sertlik değeri | Sertlik Sınıflaması (ISRM 78) |
|---|---|---|
| 1 | 75,5±0,71 | Çok Sert |
| 2 | 53,4±1,90 | Oldukça Sert |
| 3 | 62,1±1,79 | Çok Sert |
| 4 | 49,8±1,75 | Sert |
| 5 | 47,2±1,87 | Sert |
| 6 | 67,4±0,97 | Çok Sert |
| 7 | 49,5±1,35 | Sert |
| 8 | 48,6±1,65 | Sert |
| 9 | 34,1±0,99 | Az Sert |
| 10 | 31,2±1,40 | Az Sert |

**Doğal kayaçların kapiler su emme özellikleri:** Doğal kayaçların bozulmasında kapiler su emmenin önemi büyüktür. Kapiler emme yoluyla kayaç bünyesine yerleşen su, çeşitli etkilerle kayaçların bozulma sürecine olumlu yönde destek vermektedir. Kayacın petrografik, mineralojik ve mühendislik özelliklerinin kapiler su emme üzerinde etkisi bulunmaktadır. Kayaç içerisinde bulunan gözenekliliğin boyutu ve birbirleriyle olan ilişkisi kapileritede oldukça önemlidir.

Kapiler su emme; beton, tuğla ve yapı taşları gibi geniş çeşitliliğe sahip inorganik malzemedeki ısı ve kütle taşınımı ve duraylılığın anlaşılmasında kritik öneme sahiptir. Kapiler su taşınımı, kılcal kuvvetlerin etkisi altında sıvı aşamadaki suyun hareketidir. Aynı zamanda kapilerite ile su emilimi zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir (Theodoridou, 2009; Prikryl ve ark., 2003). Kapiler su taşınımı belirlenerek, yapı malzemelerindeki sıvı içeriğinin dağılımı belirlenebildiği gibi yapı malzemelerinin yağmur suyu ve/veya yeraltısuyunu emmesi durumlarına karşı zamanla su içeriğinin değişimini belirlemede de kullanılabilmektedir (Carpenter ve ark., 1993).

Bu çalışmada indeks özelliklerini belirlemek için 10 farklı kayaç örneğinden alınan 6'şar adet karot numunesi üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmış ve kapiler su emme katsayıları belirlenmiştir. Deney sonucu elde edilen kapiler su emme değerleri, ortalama kapiler su emme katsayısı (C) ve kütlece ortalama kapiler su emme değerleri Çizelge 5.5'de verilmektedir. Bulunan en büyük ortalama kapiler su emme katsayısı değeri 533,285 gr/m$^2$ sn$^{0,5}$ ile 9 nolu örnekte (tüf) izlenirken, en küçük ortalama kapiler su emme katsayısı değeri ise 0,300 gr/m$^2$ sn$^{0,5}$ ile 7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) izlenmiştir. Kayaçların kütlece kapiler su emme değerleri % 0,06 ve % 21,58 arasında değişmektedir. Kapiler su emme katsayısı büyük olan malzemelerde genel olarak kütlece su emme yüzdesinin büyük olduğu tespit edilmiştir.

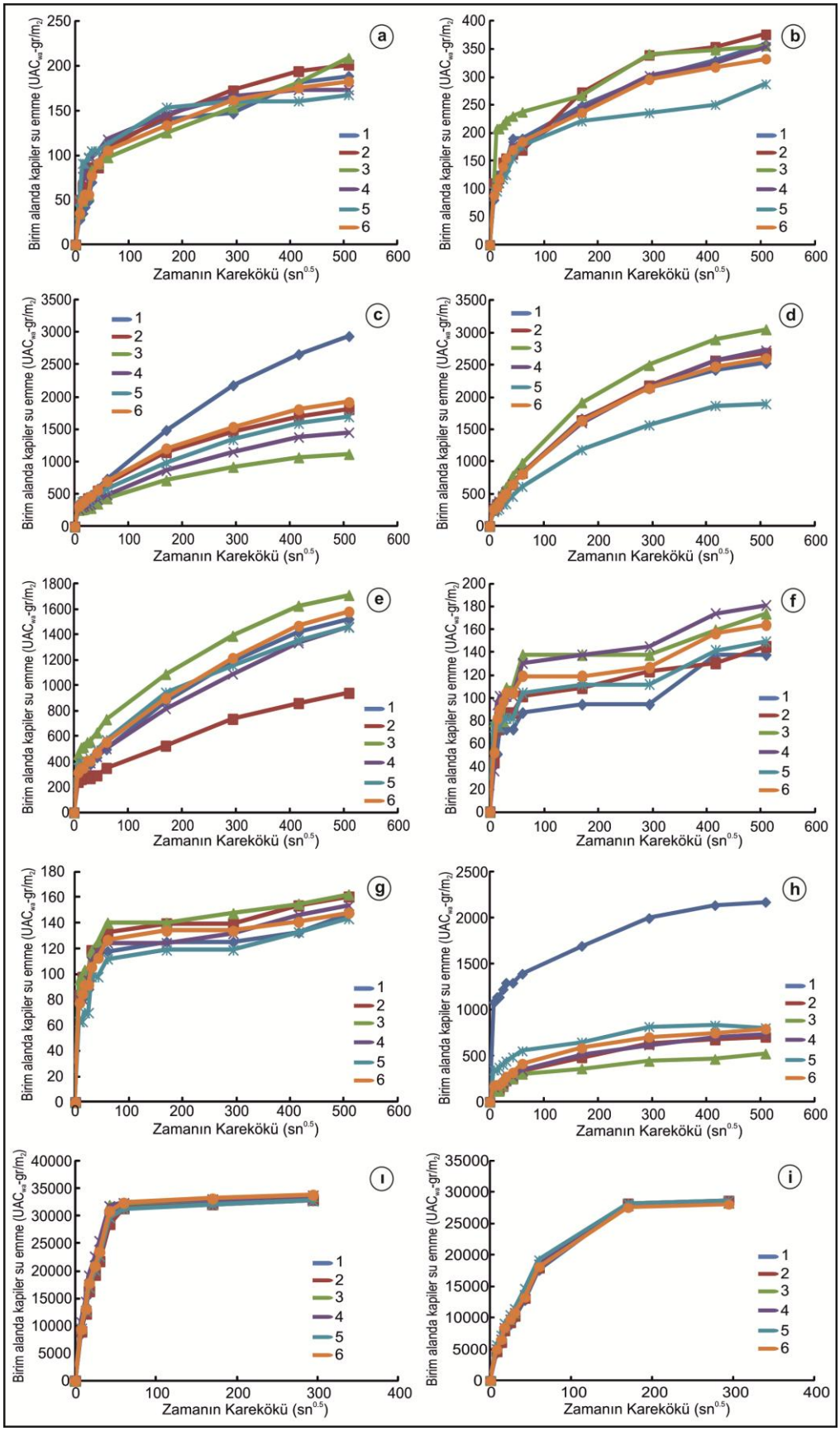
**Çizelge 5.5**. Çalışmada kullanılan doğal kayaçlara ait kılcal etkiye bağlı kapiler su emme değerleri, ortalama kapiler su emme katsayısı (C) ve kütlece ortalama kapiler su emme (%) değerleri.

| Örnek No | 1. Numune | 2. Numune | 3. Numune | 4. Numune | 5. Numune | 6. Numune | Ortalama kapiler su emme katsayısı (C) | Ortalama kapiler su emme (%Kütlece) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,371 | 0,396 | 0,411 | 0,341 | 0,330 | 0,359 | 0,368±0,03 | 0,07±0,01 |
| 2 | 0,704 | 0,739 | 0,699 | 0,696 | 0,565 | 0,653 | 0,676±0,06 | 0,12±0,01 |
| 3 | 5,768 | 3,558 | 2,199 | 2,854 | 3,330 | 3,770 | 3,580±1,21 | 0,69±0,23 |
| 4 | 4,964 | 5,272 | 5,992 | 5,354 | 3,726 | 5,110 | 5,070±0,75 | 1,01±0,16 |
| 5 | 2,991 | 1,848 | 3,361 | 2,872 | 2,865 | 3,107 | 2,840±0,52 | 0,53±0,10 |
| 6 | 0,270 | 0,284 | 0,341 | 0,355 | 0,293 | 0,321 | 0,311±0,03 | 0,06±0,01 |
| 7 | 0,289 | 0,315 | 0,319 | 0,302 | 0,282 | 0,291 | 0,300±0,02 | 0,06±0,01 |
| 8 | 4,269 | 1,387 | 1,030 | 1,447 | 1,579 | 1,561 | 1,879±1,19 | 0,36±0,23 |
| 9 | 534,455 | 524,020 | 538,622 | 539,847 | 522,311 | 540,458 | 533,285±8,13 | 21,58±0,48 |
| 10 | 165,456 | 166,454 | 163,954 | 163,763 | 166,384 | 162,380 | 164,732±1,63 | 16,85±0,16 |

Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde genel olarak gözenek boyutu küçük ve az olan kayaçlarda düşük değerlerde, gözenek boyutu büyük ve çok olan kayaçlarda ise yüksek değerlerde olduğu gözlenmektedir.

Çalışmada kullanılan kayaç örneklerinin yüzey alanına bağlı kapiler su emme değerlerinin zamanın karekökü ile değişim grafikleri çizilerek kayaçların zamanla su emme davranışları belirlenmiştir (Şekil 5.1). Her kayaca ait 6'şar örnek üzerinde yapılan kapilerite deneyi sonuçlarından elde edilen grafiklere göre; 1(granit), 2 (granit porfir), 3 (bazalt), 4 (andezit), 5 (spilit), 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örneklerin eğrileri birbirine parelel ve belirli farklılıklar gösterirken, 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin eğrileri birbirine parelel ve çakışık olarak tespit edilmiştir.

Kapilerite etkisi ile emilen suyun birim alandaki kütle artışı ve zamanın karekökü ile ilişkili grafikleri incelendiğinde, 1(granit), 2 (granit porfir), 3 (bazalt), 4 (andezit), 5 (spilit), 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örneklerin düşük su emişli kayaçlar olduğu; 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu nolu örneklerin ise yüksek su emişli kayaçlar olduğu belirlenmiştir. 6 nolu kayaç örneği ilerleyen zaman dilimlerinde düzensizlik sergileyerek basamaklı bir yapı göstermektedir. 8 nolu kayaç örneğinin düşük su emişli grafik özelliği taşıdığı fakat bu kayaca ait numunenin bir tanesinin diğer numunelerden farklı su emme değerleri sunduğu grafik üzerinden anlaşılırken bunun aynı kayaç grubu içerisinde farklı porozite özelliklerine sahip kayaç olduğu düşünülmektedir. 2, 3, 4, 5 nolu örneklerin bazı numuneleri arasındaki farklılıkların ise kayacın birtakım özelliklerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 9 ve 10 nolu örneklerin ise yüksek su emişli kayaçlardan oluştuğu grafikten net bir şekilde anlaşılmaktadır. Yüksek su emişli kayaçların su emmesi, kısa bir zaman diliminde maksimuma ulaşmış daha sonraki süre içerisinde ise hemen hemen hiç su emmediği veya çok az su emdiği izlenmiştir. Düşük su emişli kayaçlar için ise kısa zaman dilimi içerisinde bünyesine çok az su emdiği fakat ilerleyen zamanda su emmeye devam ettiği açıkça görülmektedir.




**Şekil 5.1.** Kılcal etkiyle su emmenin zaman ile değişimini gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granodiyorit), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

## 5.2. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Geçmişte birçok amfi tiyatrolar, arenalar, heykeller, binalar ve anıtlar doğal taş ile inşa edilmiş olup günümüzde ise bunların yanı sıra duvar kaplaması, cilalı levhalar ve kaldırımlar için kullanılmaktadır (Akın ve Özsan, 2011). Fakat fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler yüzünden (Papida ve ark. 2000) bozunma, zamanla yapı taşlarının dayanımını etkileyebilmektedir (Uchida ve ark. 1999, Blows ve ark. 2003). Atmosferik etkenler, hava kirliliği ve mikro organizmalar yapı taşı olarak kullanılan kayaçların bozunmasının ana sebepleri olmasına rağmen bir yapı taşının bozunma boyutu, kayacın mineralojik bileşimi, dokusu, fiziksel ve mekanik özellikleriyle önemli ölçüde etkilenmektedir (Pitzurra ve ark. 2003, Prikryl 2001; Prikryl ve ark., 2003). Bunun bir sonucu olarak, bozunma direnci, uygun bir yapı taşının seçiminden önce laboratuar testleri ile değerlendirilmelidir (Zappia ve ark. 1998).

Tuz bozunması, dünyada doğal ve yapay çevreler üzerindeki malzemeleri etkilemektedir. Belirli bir malzeme üzerindeki çözünür tuzların etkisi; çevre koşulları, tuz çözeltilerinin kimyasal özellikleri ve malzemenin özelliklerine bağlı olan fiziksel ve kimyasal işlemlerden kaynaklanmaktadır (Doornkamp ve Ibrahim, 1990; Arnold ve Zehnder, 1991; Goudie ve Viles, 1997; Gauri ve Bandyopadhyay, 1999; Doehne, 2002; Alves ve ark., 2011). Tuz kristalizasyonu, tuz bozunmasının ana zarar mekanizmalarından biri olup, kristalizasyon basıncı çözelti çeşidi ile ilişkilidir (Winkler ve Singer, 1972; Lewin, 1989; Scherer, 1999, 2004; Steiger, 2005; Coussy, 2006; Flatt ve ark., 2007; Espinosa ve ark., 2008). Farklı tuz çözeltilerinin ($Na_2SO_4$, $MgSO_4$, $Na_2CO_3$, NaCl v.b.) kayaçlar üzerindeki bozucu etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Goudie ve Viles, 1997; La Iglesia ve ark., 1997; Benavente ve ark., 2007a, b; Rothert ve ark., 2007; Ruiz-Agudo ve ark., 2007; Buj ve Gisbert, 2010; Yu ve Oguchi, 2010).

Bu çalışmada doğal kayaç olarak kullanılan değişik yörelere ait 10 farklı kayaç örneğinin [granit (1), granit porfir (2), bazalt (3), andezit (4), spilit (5), mermer (6), kristalin kireçtaşı (7, 8) ve tüf (9, 10)] tuz (NaCl) kristallenme deneyleri sonrasındaki fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Fiziksel ayrışma, kayaçların parçalanmasını içermektedir (Beavis, 1985; Knill, 1993; Selby, 1993) ve bu da kayaçların indeks özelliklerini değiştirmektedir (Ramana ve Gogte, 1982; Guolin ve Yushan, 1990). Birçok araştırmacı ayrışmanın etkisini göstermek için kayaçların indeks özelliklerini kullanmıştır (Allison, 1988; Shakoor ve

Bonelli, 1991; Topal ve Sözmen, 2003; Smith ve ark., 2002; Angeli ve ark., 2007; Benavente ve ark. 2007a; Benavente ve ark. 2007b; Van ve ark. 2007; Yavuz ve Topal, 2007; Alonso ve ark., 2008; Akın ve Özsan, 2011; Yu ve Oguchi, 2010; Alves ve ark., 2011; Vazquez ve ark., 2013). NaCl ile yapılan tuz kristallenmesinin çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel özellikleri üzerine etkisini saptamak amacı ile gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (Aw), P dalga hızı (Vp) ve kuru ağırlık kaybı (DWL) parametreleri ele alınmıştır.

### 5.2.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin porozite (n) üzerindeki etkisi

Yapılan birçok çalışma incelendiğinde yapay bozunma deneylerinin genellikle porozitesi % 5'den büyük olan kayaçlar üzerinde yapıldığı gözlenmektedir. Fakat birçok araştırmacı % 5'den daha küçük poroziteye sahip (örneğin granit) kayaçların da yapay bozunma deneylerinde kullanıldığını ileri sürerek düşük poroziteli kayaçların önceden var olan mikro çatlakların genişlemesi ve/veya yenilerinin oluşmasından dolayı bozunmaya maruz kaldığını belirtmişlerdir (Ünal ve ark., 2006; Alonso ve ark., 2008). Bu çalışmada kullanılan örneklerin porozite değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyde ISRM (1981)'de belirtilen standartlar dikkate alınmıştır. Yapılan tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinde kullanılan örneklerden 3 (bazalt), 4 (andezit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin porozite değerleri % 5'den yüksek olup sırasıyla % 5,19, % 6,47, % 30,27 ve % 26,60'dur. Diğer örneklerin porozite değerleri ise % 5'den daha küçüktür.

Porozite tayini için seçilen örneklerin doğal ve her bir periyottan önce ve sonra belirlenen ortalama porozite değerleri ve yüzdesel değişim değerleri Çizelge 5.6'da verilmektedir. Deneyde kullanılan doğal örneklerden en düşük porozite değeri % 0,19 ile 6 nolu örnekte (mermer), en yüksek porozite değeri ise % 30,27 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. 10 farklı kayaç üzerinde yapılan tuz (NaCl) kristallenmesi deneylerinde, her bir periyota ait ortalama porozite değerlerinde artış gözlenmektedir. 5. periyottan sonra belirlenen en küçük ortalama porozite değerinin % 0,55 ile 7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı), en yüksek porozite değerinin ise % 41,57 ile 9 nolu örnekte (tüf) olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.6**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz kristallenmesi (NaCl) periyotlarından önce ve sonra belirlenen ortalama porozite (n-%) değerleri ve yüzdesel değişimleri.

| Örnek No | n | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Doğal** | **1. Periyot** | **2. Periyot** | **3. Periyot** | **4. Periyot** | **5. Periyot** |
| 1 | Önce | 0,46±0,03 | 0,51±0,18 | 0,69±0,11 | 0,55±0,06 | 0,59±0,06 | 0,62±0,06 |
| | Sonra | - | 0,52±0,14 | 0,71±0,12 | 0,60±0,06 | 0,67±0,08 | 0,69±0,05 |
| | % | 100 | 100,99 | 103,92 | 108,38 | 114,70 | 110,20 |
| 2 | Önce | 0,78±0,05 | 0,87±0,07 | 0,77±0,02 | 0,79±0,05 | 0,82±0,02 | 0,77±0,05 |
| | Sonra | - | 0,96±0,07 | 0,89±0,10 | 0,85±0,06 | 0,98±0,10 | 1,02±0,04 |
| | % | 100 | 109,57 | 116,19 | 108,32 | 118,37 | 132,53 |
| 3 | Önce | 5,19±0,70 | 5,41±0,21 | 2,93±1,65 | 5,44±0,69 | 2,12±0,41 | 4,76±0,93 |
| | Sonra | - | 5,46±0,22 | 3,00±1,66 | 5,52±0,68 | 2,31±0,38 | 5,11±0,65 |
| | % | 100 | 101,03 | 102,35 | 101,56 | 108,96 | 107,31 |
| 4 | Önce | 6,47±0,62 | 6,33±0,45 | 6,88±0,53 | 6,78±0,45 | 6,82±0,56 | 6,46±0,76 |
| | Sonra | - | 6,75±0,38 | 7,16±0,79 | 6,90±0,59 | 7,57 ±0,84 | 7,97±1,06 |
| | % | 100 | 106,58 | 104,17 | 101,72 | 110,86 | 123,30 |
| 5 | Önce | 2,46±0,33 | 3,09±0,16 | 2,85±0,46 | 2,67±0,56 | 2,85±0,45 | 2,71±0,53 |
| | Sonra | - | 3,19±0,20 | 3,67 ±0,60 | 3,54±0,87 | 3,45 ±0,45 | 3,83±0,24 |
| | % | 100 | 103,29 | 128,98 | 132,42 | 121,15 | 141,30 |
| 6 | Önce | 0,19±0,04 | 0,27±0,06 | 0,27±0,13 | 0,25±0,04 | 0,19±0,02 | 0,28±0,10 |
| | Sonra | - | 0,38±0,02 | 0,56 ±0,03 | 0,50±0,06 | 0,60 ±0,07 | 1,03±0,09 |
| | % | 100 | 138,54 | 207,52 | 200,46 | 309,58 | 370,11 |
| 7 | Önce | 0,40±0,04 | 0,42±0,04 | 0,38±0,08 | 0,37±0,07 | 0,45±0,14 | 0,44±0,06 |
| | Sonra | - | 0,45±0,03 | 0,43±0,08 | 0,45 ±0,08 | 0,54±0,14 | 0,55±0,04 |
| | % | 100 | 107,38 | 113,24 | 122,26 | 120,75 | 125,12 |
| 8 | Önce | 2,16±0,54 | 2,36±0,67 | 2,87±0,32 | 2,37±0,93 | 2,73±0,38 | 2,03±0,30 |
| | Sonra | - | 2,41±0,69 | 3,08 ±0,34 | 2,80 ±0,90 | 3,12±0,41 | 2,65±0,53 |
| | % | 100 | 102,27 | 107,17 | 118,31 | 114,25 | 130,42 |
| 9 | Önce | 30,27±0,45 | 30,58±0,73 | 30,36±0,93 | 30,54±0,71 | 30,37±0,88 | 30,99±1,17 |
| | Sonra | - | 31,10±1,01 | 31,78±0,91 | 32,89±1,21 | 37,73±1,35 | 41,57±0,84 |
| | % | 100 | 101,70 | 104,71 | 107,71 | 124,23 | 134,12 |
| 10 | Önce | 26,60±0,11 | 26,99±0,43 | 26,62±0,27 | 26,96±0,69 | 26,70±0,28 | 26,89±0,12 |
| | Sonra | - | 27,95±0,52 | 27,58±0,19 | 30,35±0,96 | 34,90±0,65 | 38,09±0,30 |
| | % | 100 | 103,57 | 103,59 | 112,57 | 130,74 | 141,64 |

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait porozite değerlerindeki değişimi gösteren grafikler Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ise Çizelge 5.7'de verilmiştir. 4 (andezit), 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerde periyot sayısıyla porozite değeri arasında yüksek pozitif bir korelasyon gözlenirken 1 (granit), 2 (granit porfir) ve 5 (spilit) nolu örneklerde ise pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekte periyot sayısı ile porozite değerleri arasında çok düşük pozitif bir ilişki gözlenirken 3 (bazalt) nolu örnekte ise periyot sayısı ile porozite değerleri arasında herhangi bir ilişki belirlenememiştir.

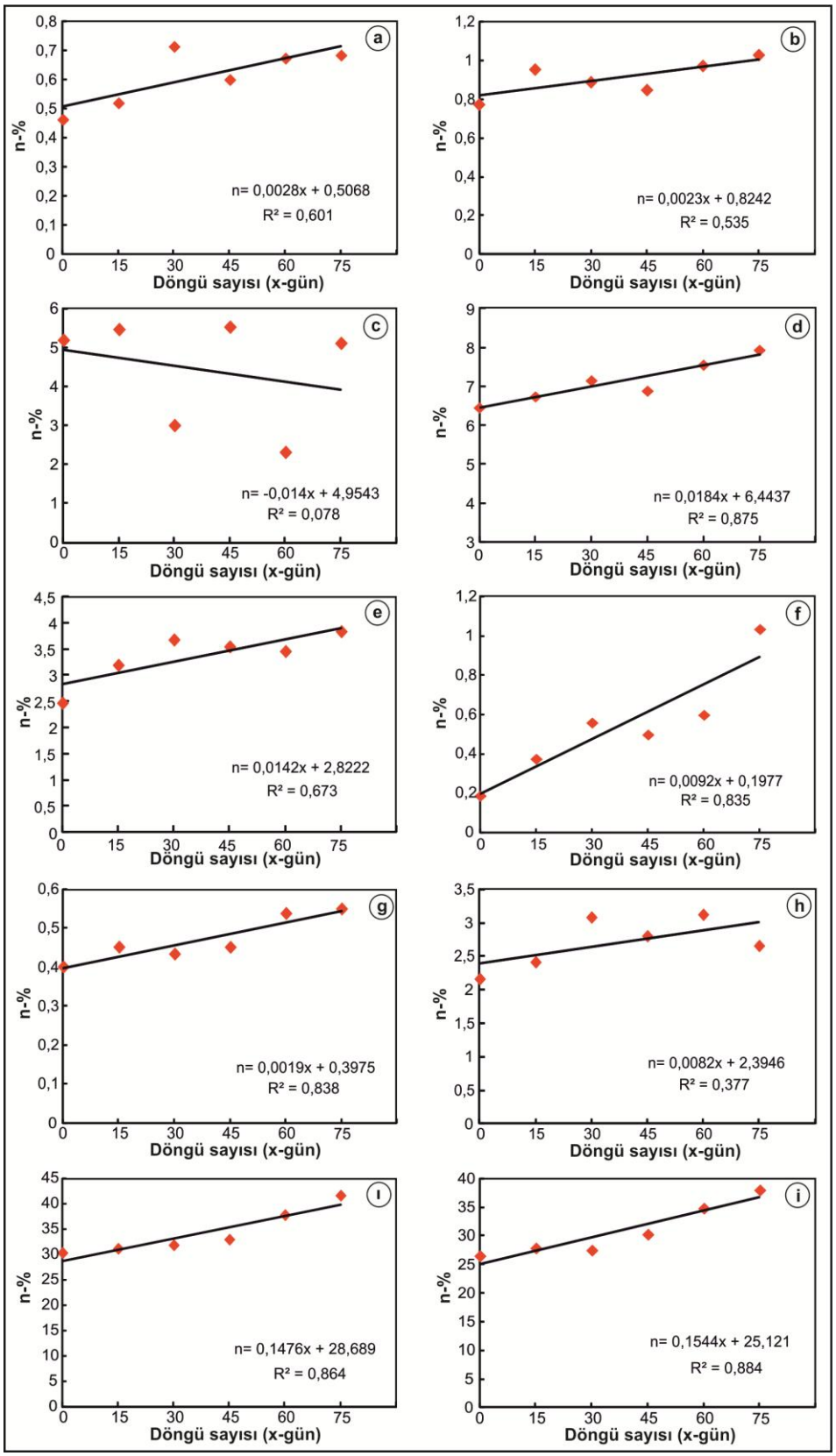
En yüksek korelasyon katsayısı 10 nolu örnekte ($R^2$ = 0,884), en düşük korelasyon katsayısı ise 3 nolu örnekte ($R^2$ = 0,078) saptanmıştır. 3 nolu örneğe ait ortalama porozite değerleri incelendiğinde porozite değerleri arasında büyük farklar olduğu gözlenmektedir. 3 nolu örnek (bazalt) için bulunan ortalama en düşük porozite değeri % 2,12 olup en yüksek porozite değeri ise % 5,44'dür. Ortalama porozite değerlerinin geniş aralıkta olması periyotlar arasında uyumsuzluğa yol açmış ve böylece korelasyon katsayısının düşmesine sebep olmuştur. Bu durum muhtemelen kayaç örneklerinin aynı bazaltik lav akıntısının farklı seviyelerine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Çizelge 5.7.** Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası kayaçların porozite (n-%) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (n: porozite değerleri, x: döngü (gün) sayısı).

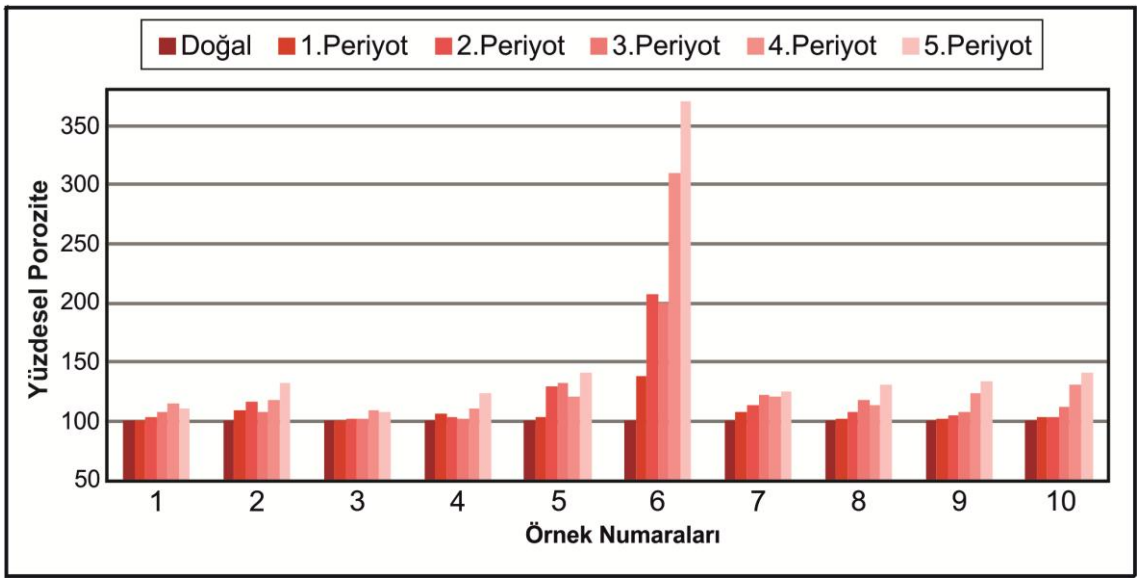
| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değerleri |
|---|---|---|
| 1 | n= 0,0028x + 0,507 | 0,601 |
| 2 | n= 0,0023x + 0,824 | 0,535 |
| 3 | n= -0,014x + 4,954 | 0,078 |
| 4 | n= 0,0184x + 6,444 | 0,875 |
| 5 | n= 0,0142x + 2,822 | 0,673 |
| 6 | n= 0,0092x + 0,198 | 0,835 |
| 7 | n= 0,0019x + 0,398 | 0,838 |
| 8 | n= 0,0082x + 2,395 | 0,377 |
| 9 | n= 0,1476x + 28,689 | 0,864 |
| 10 | n= 0,1544x + 25,121 | 0,884 |

Çalışmada kullanılan 10 farklı kayaç örneğinden porozitesi % 5'den büyük olan 3 (bazalt), 4 (andezit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) numaralı örneklerde 5. periyot sonundaki porozite değerindeki yüzdesel artış sırasıyla % 7,31; % 23,30; % 34,12 ve % 41,64 olarak bulunmuştur. Porozitesi % 5'den küçük olan örneklerde ise 5. periyot sonundaki porozite değerindeki yüzdesel artış en düşük 1 (granit) nolu örnekte (% 10,20) ve en yüksek 6 (mermer) nolu örnekte (% 270,11) gözlenmiştir. 2 (granit porfir), 5 (spilit), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 8 (kristalin kireçtaşı) numaralı örneklerde ise 5. periyot sonundaki porozite değerindeki yüzdesel artış sırasıyla, % 32,53; % 41,30; % 25,12 ve % 30,42 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.6). Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinde örneklerin porozite değişimleri incelendiğinde, porozitesi düşük olan özellikle 6 (mermer) ve 5 (spilit) nolu örneklerde tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin daha etkin olduğu söylenebilir. Birçok araştırmacı da yaptıkları çalışmada porozitesi düşük olan kayaçlarda tuz kristallenme basınçlarının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir (Smith ve ark., 2002; Angeli ve ark., 2007; Benavente ve ark., 2007b; Van ve ark., 2007; Akın ve Özsan, 2011). Ayrıca düşük poroziteye sahip kayaçlarda tuz, mevcut çatlakların genişlemesi veya yenilerinin oluşmasına yol açabilmektedir (Alonso ve ark., 2008). Bu durum, çalışmada kullanılan kayaç örneklerinden düşük gözenekliliğe sahip kayaçlarda gözlenmiştir.

İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesine bağlı porozite değerlerindeki yüzdesel değişimler Şekil 5.3'de gösterilmektedir. İncelenen kayaç örneklerinin porozite değerlerindeki yüzdesel değişim özellikle 3. periyottan sonra gözlenmeye başlamış, 5. periyotta ise çoğunlukla en fazla değişim gözlenmiştir. Tuz kristallenmesi periyotları ile ortalama porozite değerleri arasında düşük korelasyon katsayıları sunan 3 (bazalt) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örneğin yüzdesel porozite değişimi grafikleri incelendiğinde porozite değerlerinin periyot sayısının artması ile artış gösterdiği gözlenmektedir. Bu nedenle porozite değeri ve periyot sayısı arasındaki ilişkiyi daha belirgin şekilde gösterebilmek için örneklerin yüzdesel değişim değerlerinin kullanılması daha anlamlı sonuçlar vermektedir.




**Şekil 5.2.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama porozite (n-%) değerlerindeki değişimleri gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı) , ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.3.** İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesine bağlı ortalama porozite değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.2.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin ağırlıkça su emme (Aw) üzerindeki etkisi

Su emme, yapı malzemesi olarak kullanılan farklı kayaçların dayanımını değerlendirmede yararlı bir özelliktir (Shakoor ve Bonelli, 1991). Çalışmada kullanılan kayaçların dayanımını değerlendirmek için yapılan ağırlıkça su emme deneyi, RILEM (1980)'de önerilen standartlara göre yapılmıştır. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinden önce ve sonraki ortalama ağırlıkça su emme ($A_w$) değerleri ve yüzdesel değişimleri Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Doğal örneklere ait en küçük ağırlıkça su emme değeri % 0,07 ile 6 nolu örnekte (mermer), en yüksek ağırlıkça su emme değeri ise % 21,90 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi periyotları ilerledikçe örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinde artış gözlenmektedir. 5. periyot sonunda en düşük ağırlıkça su emme değeri % 0,21 ile 7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı), en yüksek ağırlıkça su emme değeri ise % 31,36 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur.

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait ağırlıkça su emme ($A_w$) değerlerindeki değişimi gösteren grafikler Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ise Çizelge 5.9'da verilmiştir.

**Çizelge 5.8**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından önce ve sonra belirlenen ortalama ağırlıkça su emme ($A_w$-%) değerleri ve yüzdesel değişimleri.

| Örnek No | Aw | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Doğal** | **1. Periyot** | **2. Periyot** | **3. Periyot** | **4. Periyot** | **5. Periyot** |
| 1 | Önce | 0,18±0,10 | 0,19±0,07 | 0,26±0,04 | 0,21±0,02 | 0,22±0,02 | 0,23±0,02 |
| | Sonra | - | 0,20±0,05 | 0,27±0,04 | 0,23±0,03 | 0,25±0,03 | 0,26±0,02 |
| | % | 100 | 101,07 | 104,05 | 107,30 | 110,71 | 110,48 |
| 2 | Önce | 0,29±0,02 | 0,33±0,03 | 0,29±0,01 | 0,29±0,01 | 0,31±0,01 | 0,29±0,02 |
| | Sonra | - | 0,36±0,03 | 0,33±0,04 | 0,32±0,02 | 0,36±0,04 | 0,38±0,02 |
| | % | 100 | 109,73 | 116,44 | 108,57 | 118,72 | 133,24 |
| 3 | Önce | 2,03±0,30 | 2,13±0,09 | 1,12±0,66 | 2,13±0,28 | 0,80±0,16 | 1,86±0,38 |
| | Sonra | - | 2,15±0,09 | 1,15±0,67 | 2,18±0,28 | 0,88±0,15 | 2,01±0,27 |
| | % | 100 | 101,13 | 102,53 | 101,97 | 110,10 | 107,74 |
| 4 | Önce | 2,65±0,28 | 2,57±0,20 | 2,82±0,25 | 2,77±0,22 | 2,81±0,27 | 2,63±0,36 |
| | Sonra | - | 2,74±0,17 | 2,94±0,35 | 2,82±0,27 | 3,12±0,39 | 3,26±0,49 |
| | % | 100 | 106,60 | 104,34 | 101,87 | 111,15 | 123,81 |
| 5 | Önce | 0,93±0,13 | 1,16±0,06 | 1,07±0,18 | 1,00±0,22 | 1,07±0,18 | 1,04±0,21 |
| | Sonra | - | 1,20±0,08 | 1,39±0,23 | 1,33±0,34 | 1,30±0,18 | 1,45±0,10 |
| | % | 100 | 103,42 | 129,52 | 133,132 | 121,70 | 138,53 |
| 6 | Önce | 0,07±0,01 | 0,10±0,02 | 0,10±0,05 | 0,09±0,02 | 0,07±0,01 | 0,10±0,04 |
| | Sonra | - | 0,14±0,01 | 0,21±0,01 | 0,18±0,02 | 0,22±0,03 | 0,38±0,04 |
| | % | 100 | 138,83 | 208,92 | 201,60 | 313,55 | 374,48 |
| 7 | Önce | 0,15±0,01 | 0,16±0,01 | 0,14±0,03 | 0,14±0,03 | 0,17±0,05 | 0,16±0,02 |
| | Sonra | - | 0,17±0,01 | 0,16±0,03 | 0,17±0,03 | 0,20±0,05 | 0,21±0,02 |
| | % | 100 | 107,43 | 113,42 | 122,51 | 121,19 | 125,63 |
| 8 | Önce | 0,84±0,21 | 0,92±0,27 | 1,13±0,13 | 0,94±0,38 | 1,08±0,17 | 0,79±0,12 |
| | Sonra | - | 0,94±0,28 | 1,21±0,14 | 1,11±0,37 | 1,24±0,18 | 1,04±0,21 |
| | % | 100 | 102,34 | 107,39 | 118,44 | 114,68 | 131,27 |
| 9 | Önce | 21,90±0,51 | 22,16±0,88 | 21,84±1,11 | 21,99±0,86 | 21,81±1,09 | 22,51±1,44 |
| | Sonra | - | 22,65±1,07 | 23,13±1,10 | 24,03±0,99 | 27,68±1,45 | 31,36±1,42 |
| | % | 100 | 102,23 | 105,89 | 109,25 | 126,94 | 139,30 |
| 10 | Önce | 16,49±0,14 | 16,87±0,38 | 16,43±0,20 | 16,94±0,73 | 16,54±0,22 | 16,57±0,07 |
| | Sonra | - | 17,58±0,46 | 17,22±0,12 | 19,31±0,91 | 22,03±0,48 | 24,26±0,22 |
| | % | 100 | 104,23 | 104,80 | 113,98 | 133,23 | 146,46 |

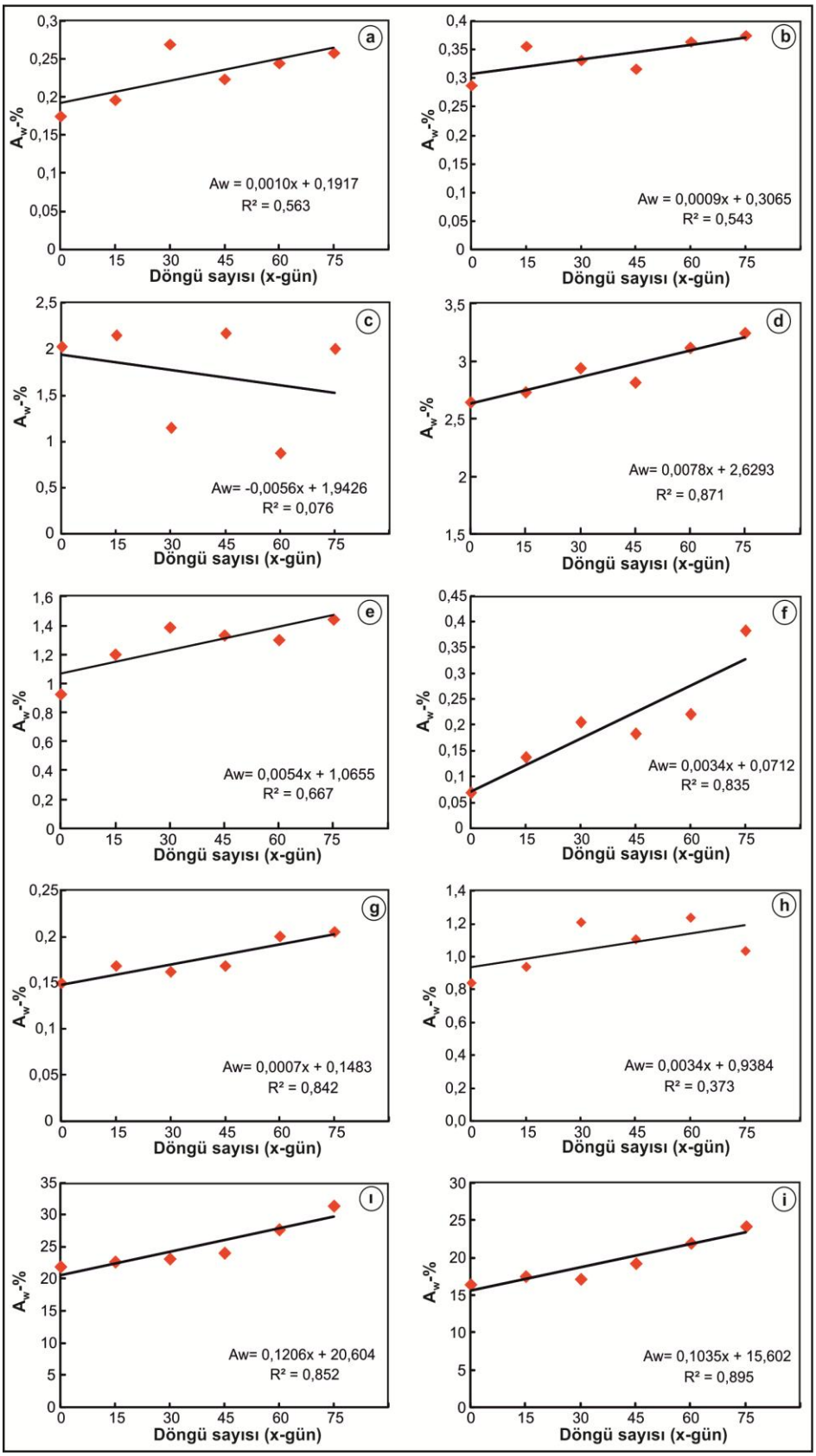
4 (andezit), 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerde periyot sayısıyla ağırlıkça su emme değerleri arasında yüksek pozitif bir korelasyon

gözlenirken 1 (granit), 2 (granit porfir) ve 5 (spilit) nolu örneklerde ise pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekte periyot sayısı ile ağırlıkça su emme değerleri arasında çok düşük pozitif bir ilişki gözlenirken 3 (bazalt) nolu örnekte ise periyot sayısı ile ağırlıkça su emme değerleri arasında herhangi bir ilişki belirlenememiştir. En yüksek korelasyon katsayısı 10 nolu örnekte ($R^2$ = 0,895), en düşük korelasyon katsayısı ise 3 nolu örnekte ($R^2$ = 0,076) bulunmuştur.

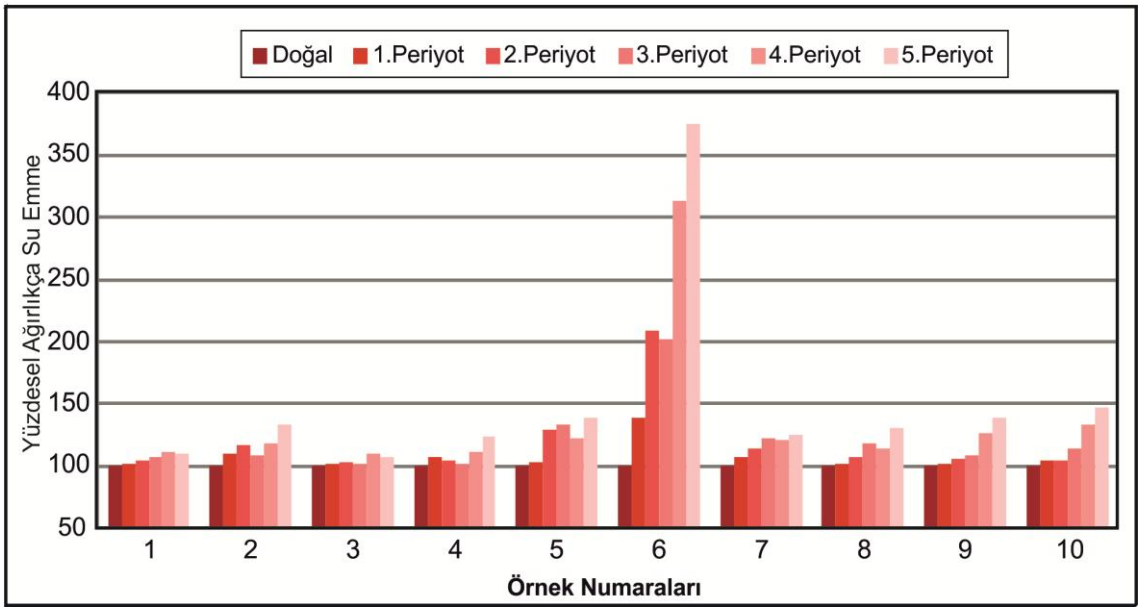
**Çizelge 5.9**. Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası kayaçların ağırlıkça su emme ($A_w$-%) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ($A_w$: ağırlıkça su emme değerleri, x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $A_w$ = 0,0010x + 0,192 | 0,563 |
| 2 | $A_w$ = 0,0009x + 0,307 | 0,543 |
| 3 | $A_w$= -0,0056x + 1,943 | 0,076 |
| 4 | $A_w$= 0,0078x + 2,629 | 0,871 |
| 5 | $A_w$= 0,0054x + 1,066 | 0,667 |
| 6 | $A_w$= 0,0034x + 0,071 | 0,835 |
| 7 | $A_w$= 0,0007x + 0,148 | 0,842 |
| 8 | $A_w$= 0,0034x + 0,938 | 0,373 |
| 9 | $A_w$= 0,1206x + 20,604 | 0,852 |
| 10 | $A_w$= 0,1035x + 15,602 | 0,895 |

Örneklerin ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde, porozite değerlerindekine benzer bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Her bir kayaç örneğine ait ağırlıkça su emme (Aw) değerindeki yüzdesel değişim Şekil 5.5'te gösterilmektedir. Porozitesi % 5'den büyük olan 3 (bazalt), 4 (andezit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) numaralı örneklerde ağırlıkça su emme değerlerindeki yüzdesel artış sırasıyla % 7,74, % 23,81, % 39,30 ve % 46,46'dır. Porozitesi % 5'den küçük olan örneklerde ise ağırlıkça su emme değerindeki yüzdesel artış, en düşük 1 nolu (granit) örnekte (% 10,48) ve en yüksek 6 nolu (mermer) örnekte (% 274,48) bulunmuştur. Porozitesi % 5'ten yüksek olan 4, 9 ve 10 nolu örneklerde doğal ve 5. periyot sonundaki ağırlıkça su emme değerleri arasında doğrusal bir artış olmasına rağmen porozitesi % 5'ten küçük olan örneklerde ise doğal ve 5. periyot arasında düzensiz bir artış gözlenmiştir. İncelenen kayaç örneklerinin ağırlıkça su emme değerlerindeki yüzdesel değişim özellikle 4. ve 5. periyotlarda en fazla değere ulaşmıştır.




**Şekil 5.4.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama ağırlıkça su emme ($A_w$-%) değerlerindeki değişimleri gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.5.** İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesine bağlı ağırlıkça su emme değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.2.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin P dalga hızı (Vp) üzerindeki etkisi

P dalga hızı, tuz bozunmasına ilişkin bir kayacın uzun dönem dayanımını saptamak için iyi bir belirleyici olarak kullanılmaktadır (Allison, 1988; Goudie, 1999; Nicholson, 2002). Bu nedenle çalışmada kullanılan kayaçların dayanımını belirlemede P dalga hızı değerlerinden faydalanılmıştır. P dalga hızı deneyi ASTM (1994)'de belirtilen standartlara göre yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından önce ve sonra belirlenen ortalama P dalga hızı (Vp-km/sn) değerleri ve yüzdesel değişimleri Çizelge 5.10'da verilmektedir. İncelenen tüm örneklerin P dalga hızı değerlerinde periyot sayısı ile azalma gözlenmektedir. 10 farklı doğal kayaç örneğine ait en küçük P dalga hızı (Vp-km/sn) değeri 1,39 km/sn ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek P dalga hızı değeri ise 5,77 km/sn ile 6 nolu örnekte (mermer) bulunmuştur. Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin 5. periyodundan sonraki en küçük ortalama P dalga hızı değeri 1,22 km/sn ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek değer ise 5,34 km/sn ile 7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) bulunmuştur.

**Çizelge 5.10**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından önce ve sonra belirlenen P dalga hızı (Vp-km/sn) değerleri ve yüzdesel değişimleri

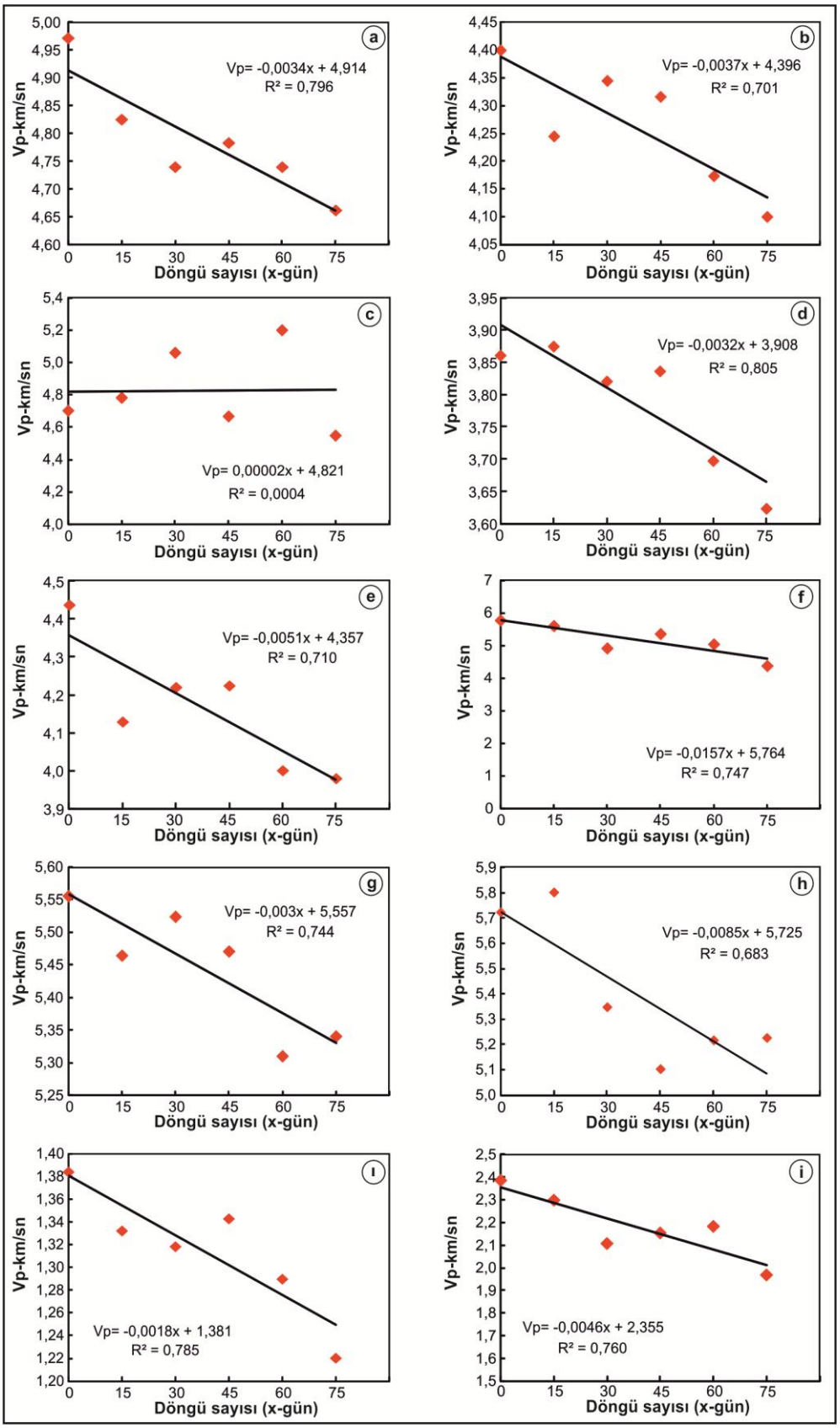
| Örnek No | Vp | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Doğal | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | Önce | 4,97±0,06 | 4,87±0,14 | 4,83±0,12 | 4,93±0,19 | 4,99±0,05 | 4,81±0,15 |
| | Sonra | | 4,83±0,12 | 4,74±0,11 | 4,78±0,18 | 4,74±0,10 | 4,66±0,16 |
| | % | 100 | 99,15 | 98,17 | 97,13 | 94,92 | 96,87 |
| 2 | Önce | 4,40±0,15 | 4,34±0,34 | 4,45±0,25 | 4,51±0,17 | 4,46±0,20 | 4,49±0,11 |
| | Sonra | | 4,25±0,38 | 4,35±0,27 | 4,32±0,16 | 4,16±2,22 | 4,06±0,19 |
| | % | 100 | 97,77 | 97,57 | 95,70 | 93,39 | 90,43 |
| 3 | Önce | 4,70±0,11 | 4,75±0,05 | 5,27±0,50 | 4,76±0,11 | 5,37±0,24 | 4,85±0,16 |
| | Sonra | | 4,78±0,08 | 5,06±0,50 | 4,67±0,11 | 5,20±0,15 | 4,55±0,18 |
| | % | 100 | 100,65 | 96,03 | 98,10 | 96,81 | 93,80 |
| 4 | Önce | 3,86±0,14 | 3,94±0,22 | 3,86±0,17 | 3,96±0,08 | 3,92±0,08 | 3,98±0,12 |
| | Sonra | | 3,88±0,17 | 3,82±0,15 | 3,84±0,15 | 3,69±0,17 | 3,62±0,17 |
| | % | 100 | 98,42 | 99,01 | 97,00 | 94,24 | 90,93 |
| 5 | Önce | 4,44±0,22 | 4,31±0,19 | 4,54±0,26 | 4,60±0,39 | 4,29±0,35 | 4,48±0,20 |
| | Sonra | | 4,13±0,18 | 4,22±0,24 | 4,23±0,35 | 4,00±0,29 | 3,98±0,32 |
| | % | 100 | 95,87 | 93,07 | 91,92 | 93,33 | 88,81 |
| 6 | Önce | 5,77±0,08 | 6,01±0,08 | 5,80±0,30 | 5,92±0,18 | 5,95±0,12 | 5,89±0,21 |
| | Sonra | | 5,60±0,13 | 4,92±0,18 | 5,36±0,18 | 5,04±0,30 | 4,38±0,26 |
| | % | 100 | 93,18 | 84,68 | 90,48 | 84,76 | 74,29 |
| 7 | Önce | 5,56±0,12 | 5,61±0,16 | 5,69±0,11 | 5,77±0,17 | 5,74±0,14 | 5,74±0,19 |
| | Sonra | | 5,46±0,16 | 5,52±0,10 | 5,47±0,14 | 5,31±0,20 | 5,34±0,20 |
| | % | 100 | 97,37 | 97,10 | 94,83 | 92,55 | 93,07 |
| 8 | Önce | 5,73±0,15 | 5,83±0,23 | 5,48±0,26 | 5,49±0,33 | 5,60±0,60 | 5,83±0,19 |
| | Sonra | | 5,80±0,24 | 5,35±0,31 | 5,10±0,32 | 5,22±0,51 | 5,23±0,26 |
| | % | 100 | 99,56 | 97,61 | 93,01 | 93,86 | 89,64 |
| 9 | Önce | 1,39±0,02 | 1,35±0,05 | 1,39±0,04 | 1,38±0,03 | 1,39±0,03 | 1,36±0,07 |
| | Sonra | | 1,33±0,05 | 1,32±0,03 | 1,34±0,04 | 1,29±0,04 | 1,22±0,05 |
| | % | 100 | 98,68 | 94,85 | 97,01 | 92,52 | 89,47 |
| 10 | Önce | 2,39±0,04 | 2,26±0,09 | 2,26±0,24 | 2,16±0,06 | 2,33±0,05 | 2,26±0,06 |
| | Sonra | | 2,30±0,05 | 2,11±0,04 | 2,16±0,04 | 2,19±0,04 | 1,97±0,05 |
| | % | 100 | 101,79 | 93,18 | 99,81 | 93,65 | 87,25 |

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait P dalga hızı (Vp-km/sn) değerlerindeki değişimi gösteren grafikler Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ise Çizelge 5.11'de verilmiştir. 3 nolu kayaç örneği hariç incelenen diğer tüm kayaç örneklerinde periyot sayısı ile P dalga hızı (Vp) değerleri arasında negatif bir ilişki gözlenmektedir. Korelasyon katsayısı en yüksek 0,805 ile 4 nolu örnekte (andezit), en düşük 0,0004 ile 3 nolu örnekte (bazalt) bulunmuştur. 3 nolu örneğin porozite dağılımındaki heterojenlik ve kayaç içerisindeki klinopiroksenlerde gözlenen oksitlenme kayacın P dalga hızını etkilediği düşünülmektedir.

Kayaçların P dalga hızındaki yüzdesel değişimler incelendiğinde; 5. periyot sonunda en düşük yüzdesel değişim % 3,13 ile 1 nolu örnekte (granit), en yüksek yüzdesel değişim ise % 25,71 ile 6 nolu örnekte (mermer) gözlenmektedir. Porozitesi % 5'den büyük olan 3 (bazalt), 4 (andezit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) numaralı örneklerdeki yüzdesel değişim sırasıyla, % 6,2; % 9,07; % 10,53 ve % 12,75 olarak belirlenmiştir. Porozitesi % 5'ten küçük olan 2 (granit porfir), 5 (spilit), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 8 (kristalin kireçtaşı) numaralı örneklerde ise 5. periyot sonundaki porozite değerindeki yüzdesel değişim sırasıyla, % 9,57; % 11,19; % 6,93 ve % 10,36 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.10; Şekil 5.7). Tüm örneklerde genellikle yüzdesel değişim 3. periyottan sonra daha belirgin olarak gözlenmektedir.

**Çizelge 5.11**. Tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası kayaçların P dalga hızı (Vp-km/s) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (Vp: P dalga hızı değerleri, x: döngü (gün) sayısı).

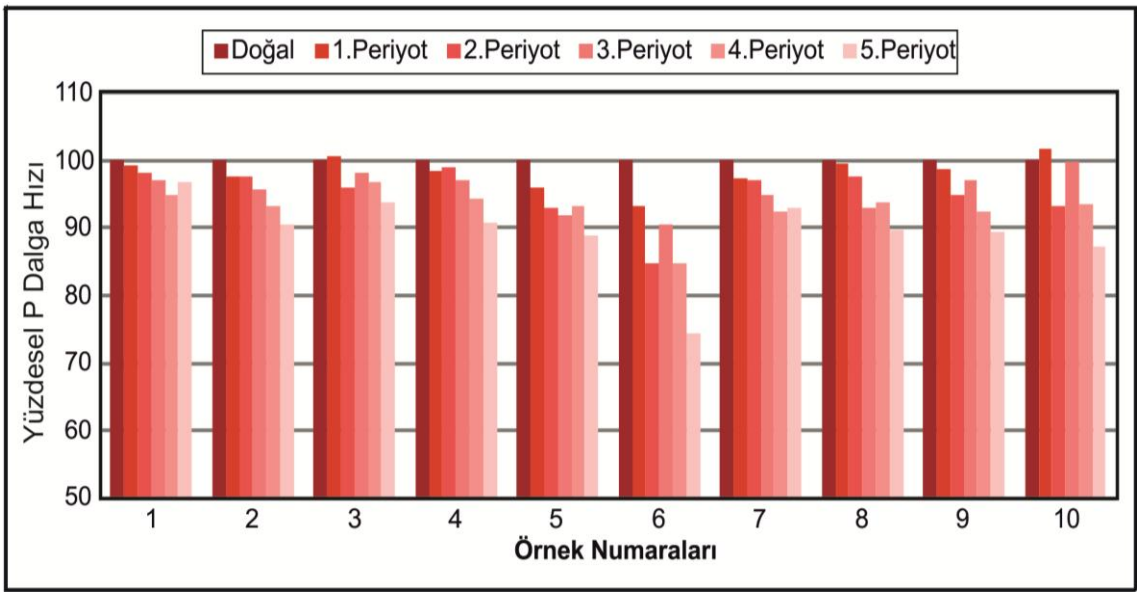
| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | Vp= -0,0034x + 4,914 | 0,796 |
| 2 | Vp= -0,0037x + 4,396 | 0,701 |
| 3 | Vp= 0,00002x + 4,821 | 0,0004 |
| 4 | Vp= -0,0032x + 3,908 | 0,805 |
| 5 | Vp= -0,0051x + 4,357 | 0,710 |
| 6 | Vp= -0,0157x + 5,764 | 0,747 |
| 7 | Vp= -0,003x + 5,557 | 0,744 |
| 8 | Vp= -0,0085x + 5,725 | 0,683 |
| 9 | Vp= -0,0018x + 1,381 | 0,785 |
| 10 | Vp= -0,0046x + 2,355 | 0,760 |




**Şekil 5.6.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama P dalga hızı (Vp-km/s) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı) , ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

P dalga hızı kayacın mineral bileşimine, kohezyonuna veya mekanik dayanımına ve porozitesine bağlıdır, fakat çatlak yoğunluğu da P dalga hızı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Jeffreys 1931; Hudson, 1981). Çatlakların varlığı tuz bozunmasıyla oluşan hasar için mutlak bir gereklilik değildir fakat işlemi uzun dönemde büyük ölçüde hızlandırdığı deneysel olarak kanıtlanmıştır. Tuz kristalizasyonu önceden var olan bir çatlağın ucunda olduğu zaman ya da heterojenlik durumlarında termodinamik olarak daha kolay ve daha yıkıcı olmaktadır (Scherer, 1999). Bu, tuz bozunmasıyla ilgili bir kayacın uzun dönem duraylılığının iyi bir değerlendirme aracı olarak P dalga hızının kullanımını doğrulamaktadır (Jeffreys 1931, Hudson 1981). Yapılan tuz kristallenmesi deneylerinde 6 nolu örneğin (mermer) P dalga hızında, en fazla azalmanın olmasının sebebi kayaçta var olan mevcut çatlakların deney sırasında genişlemesinden veya yeni mikro-çatlakların gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Porozitesi % 5'den büyük olan 9 ve 10 nolu (tüf) kayaç örneklerinde genel olarak porozite, ağırlıkça su emme ve P dalga hızı değerlerinde porozitesi % 5'den küçük olan örneklere göre nispeten daha düşük değerler bulunması deney sırasındaki yıkamanın bu örneklerde daha uzun tutulmaması sonucunda gözeneklerde tuz kristallerinin kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.




**Şekil 5.7.** İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesine bağlı P dalga hızı değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.2.4. Tuz (NaCl) kristallenmesinin kuru ağırlık kaybı (DWL) üzerindeki etkisi

Ağırlık kaybı, yapay bozunma deneylerinde kayaçların bozunma dayanımını belirlemek için kullanılan önemli parametrelerden biri olup birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Topal ve Sözmen, 2003; Yavuz ve Topal, 2007; Benavente ve ark., 2007b; Rothert ve ark., 2007; Yu ve Oguchi, 2010; Alves ve ark., 2011).

10 farklı kayaç örneğinin tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin her periyotundan önce ve sonraki kütle değerleri ölçülerek her bir periyot sonundaki kuru ağırlık kaybı (DWL-%) değerleri hesaplanmıştır. Bulunan kuru ağırlık kaybı değerleri Çizelge 5.12'de verilmektedir. Tüm örneklerde kuru ağırlık kaybı deneyin 1. periyotundan itibaren artmaya başlamıştır. 1. periyot sonunda en düşük kuru ağırlık kaybı (DWL-%) % 0,051 ile 7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı), en büyük kuru ağırlık kaybı değeri % 0,803 ile 10 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. 5. periyot sonunda en düşük kuru ağırlık kaybı değeri % 0,262 ile 1 nolu örnekte (granit), en büyük kuru ağırlık kaybı değeri ise % 3,750 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur.

**Çizelge 5.12**. Tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası belirlenen ortalama ağırlık kaybı (DWL-%) değerleri.

| Örnek No | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,073±0,03 | 0,135±0,01 | 0,124±0,01 | 0,160±0,01 | 0,262±0,01 |
| 2 | 0,144±0,01 | 0,210±0,02 | 0,235±0,04 | 0,292±0,03 | 0,541±0,04 |
| 3 | 0,102±0,03 | 0,363±0,15 | 0,402±0,14 | 0,332±0,15 | 0,484±0,15 |
| 4 | 0,084±0,05 | 0,178±0,10 | 0,122±0,01 | 0,229±0,07 | 0,383±0,04 |
| 5 | 0,127±0,01 | 0,392±0,10 | 0,470±0,17 | 0,510±0,17 | 0,740±0,07 |
| 6 | 0,161±0,01 | 0,658±0,03 | 0,575±0,09 | 1,272±0,06 | 1,178±0,11 |
| 7 | 0,051±0,01 | 0,156±0,05 | 0,287±0,02 | 0,248±0,04 | 0,403±0,10 |
| 8 | 0,071±0,01 | 0,209±0,02 | 0,170±0,06 | 0,414±0,08 | 0,654±0,15 |
| 9 | 0,520±0,07 | 1,130±0,19 | 1,440±0,11 | 2,140±0,22 | 3,750±0,35 |
| 10 | 0,803±0,06 | 1,153±0,09 | 1,235±0,26 | 1,867±0,19 | 3,290±0,19 |

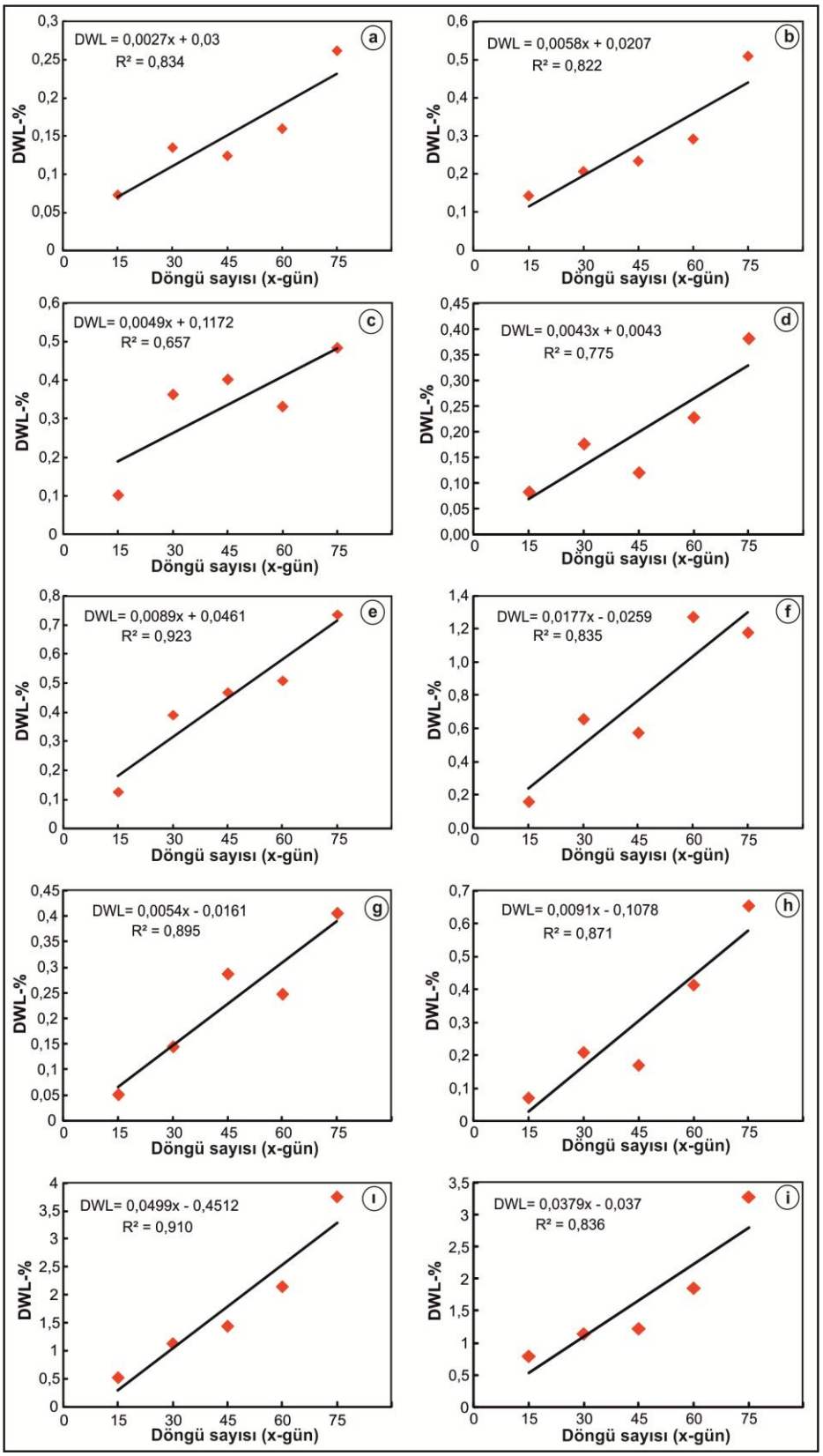
Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinde her bir periyota ait ortalama ağırlık kaybı (DWL-%) değerleri ve periyot sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 5.8'de

gösterilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları ($R^2$) ise Çizelge 5.13'te verilmiştir. Tüm örneklerde periyot sayısı ve ortalama ağırlık kaybı değerleri arasında pozitif ilişki gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve ağırlık kaybı değerleri arasında en yüksek korelasyon katsayısı ($R^2$) değeri 0,923 ile 5 nolu örnekte (spilit), en düşük korelasyon katsayısı ($R^2$) değeri ise 0,657 ile 3 nolu örnekte (bazalt) belirlenmiştir.

Ağırlık kaybı, kristalizasyon basıncının kayaç bütünlük (kohezyon) eşiğini aştığı zaman gerçekleşmektedir. Kohezyon eşiğini aşmak için tuz kristalizasyon basıncı yeterli olmadığı zaman ağırlık kaybı olmamakta fakat diğer bozunma işlemleri (kayaçta var olan gözeneklerin boyutunun büyümesi ve çatlakların genişlemesi gibi) gerçekleşebilmektedir (Benaventa ve ark., 2007b). Ağırlık kaybının en fazla olduğu 9 ve 10 nolu örneklerde (tüf) yüzdesel porozite artış değeri, özellikle 5 (spilit) ve 6 (mermer) nolu örneklere göre daha düşük bulunmuştur. Bu durumun porozitesi % 5'ten daha küçük olan 5 (spilit) ve 6 (mermer) nolu kayaçlarda var olan mikroçatlaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Çizelge 5.13**. Tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası kayaçların kuru ağırlık kaybı (DWL) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (DWL: kuru ağırlık kaybı değerleri, x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | DWL = 0,0027x + 0,030 | 0,834 |
| 2 | DWL = 0,0058x + 0,021 | 0,822 |
| 3 | DWL= 0,0049x + 0,117 | 0,657 |
| 4 | DWL= 0,0043x + 0,004 | 0,775 |
| 5 | DWL= 0,0089x + 0,046 | 0,923 |
| 6 | DWL= 0,0177x - 0,026 | 0,835 |
| 7 | DWL= 0,0054x - 0,016 | 0,895 |
| 8 | DWL= 0,0091x - 0,108 | 0,871 |
| 9 | DWL= 0,0499x - 0,451 | 0,910 |
| 10 | DWL= 0,0379x - 0,037 | 0,836 |




**Şekil 5.8.** Örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama kuru ağırlık kaybı (DWL-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

## 5.3. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi

Bu bölümde, doğal ve tuz kristallenmesine (5 periyot) maruz kalan kayaçların dayanımlarındaki değişimleri belirlenmek amacıyla tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ve Brazilian yöntemi ile dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) deneyleri yapılarak deney sonucu elde edilen parametreler incelenmiştir.

### 5.3.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) üzerine etkisi

Çalışmada kullanılan 10 farklı kayaç örneğine ait doğal ve 15'er günlük 5 tuz kristallenmesi periyoduna maruz kalan BX çaplı karot numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ISRM (1981)'de önerilen yönteme göre belirlenmiştir. Standart tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değerlerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen tek eksenli basma dayanımından yararlanılmıştır. Belirlenen doğal ve 5 periyota ait ortalama tek eksenli sıkışma dayanım değerleri Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Deneyde kullanılan 10 farklı kayaçdan elde edilen ortalama en düşük tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değeri 8,89 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ise 144,10 MPa ile 1 nolu örnekte (granit) belirlenmiştir. Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin 5. periyotundan sonraki en düşük ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 5,68 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ise 134,21 MPa ile 1 nolu örnekte (granit) bulunmuştur (Çizelge 5.14).

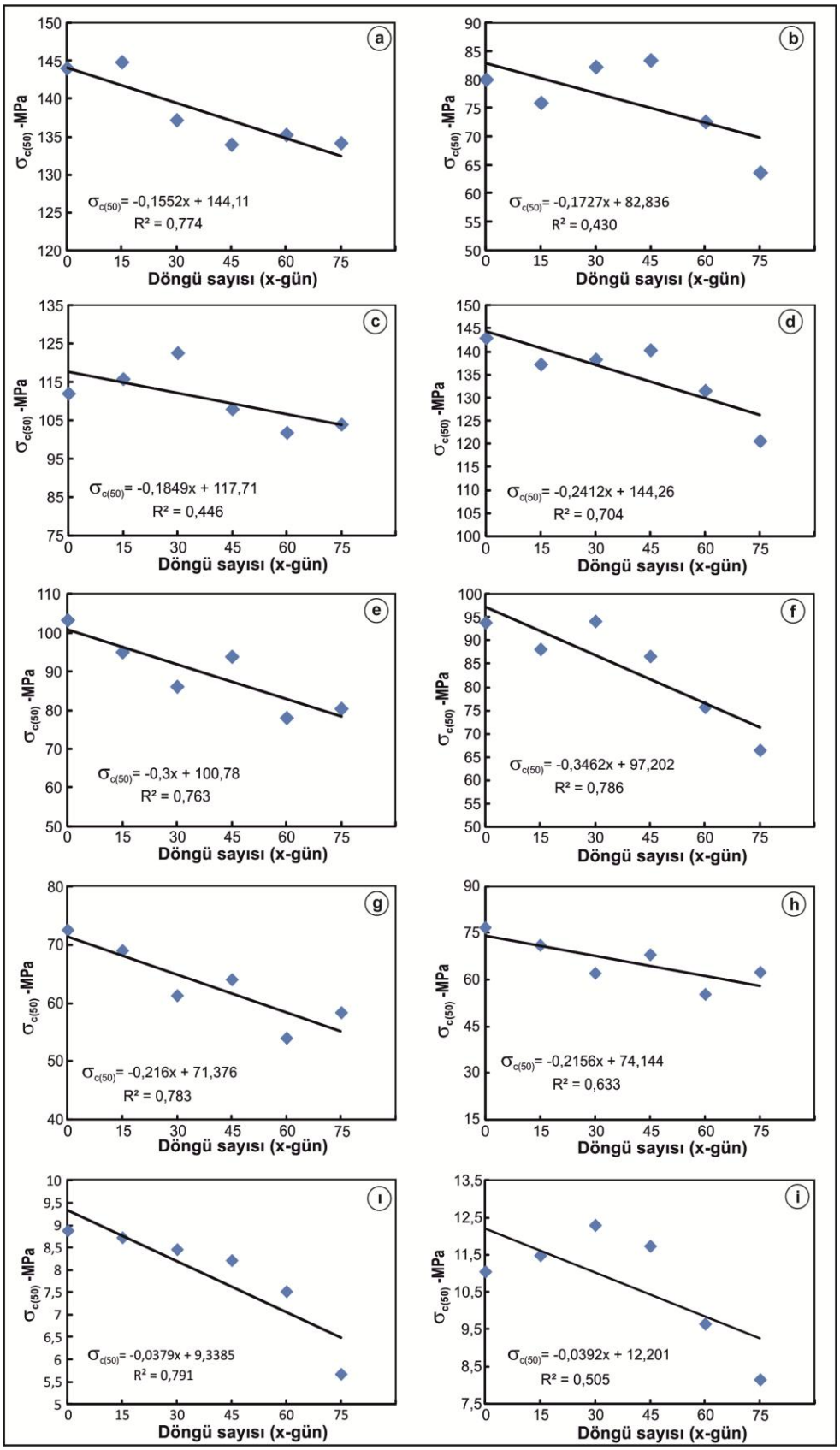
Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.9; Çizelge 5.15). Grafikler incelendiğinde tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile periyot sayısı arasında negatif bir ilişki gözlenmektedir. Yani periyot sayısı arttıkça kayaçların sıkışma dayanımları düşmektedir. Periyot ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasında en yüksek korelasyon katsayısı değeri 0,791 ile 9 nolu örnekte (tüf), en düşük korelasyon katsayısı değeri ise 0,430 ile 2 nolu örnekte (granit porfir) bulunmuştur.

**Çizelge 5.14**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra belirlenen ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$- MPa) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 144,10±12,70 | 144,90±13,50 | 137,24±20,95 | 134,01±17,36 | 135,30±16,94 | 134,21±15,35 |
| 2 | 80,07±6,34 | 75,98±7,80 | 82,30±10,50 | 83,46±8,35 | 72,64±7,80 | 63,72±10,21 |
| 3 | 112,12±10,71 | 115,90±12,10 | 122,70±14,51 | 108,02±8,66 | 101,90±13,21 | 104,04±13,60 |
| 4 | 143,00±11,82 | 137,30±13,30 | 138,35±18,18 | 140,38±13,95 | 131,59±20,00 | 120,70±17,26 |
| 5 | 103,36±8,83 | 95,10±13,20 | 86,18±11,14 | 93,94±12,31 | 78,12±14,64 | 80,50±13,62 |
| 6 | 93,91±5,89 | 88,20±6,80 | 94,21±7,02 | 86,69±8,72 | 75,78±6,43 | 66,52±8,18 |
| 7 | 72,63±10,11 | 69,10±11,20 | 61,35±14,27 | 64,10±12,38 | 54,04±13,45 | 58,43±12,75 |
| 8 | 76,88±7,30 | 71,20±8,05 | 62,20±7,09 | 68,17±6,92 | 55,40±10,61 | 62,53±9,39 |
| 9 | 8,89±0,53 | 8,73±0,65 | 8,46±1,08 | 8,22±0,97 | 7,52±1,11 | 5,68±1,13 |
| 10 | 11,05±0,49 | 11,49±0,62 | 12,30±1,02 | 11,74±1,39 | 9,65±0,40 | 8,16±1,46 |

**Çizelge 5.15**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$-MPa) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ($\sigma_{c(50)}$: tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri, x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | R² Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,155x + 144,110 | 0,774 |
| 2 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,173x + 82,836 | 0,430 |
| 3 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,185x + 117,710 | 0,446 |
| 4 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,241x + 144,260 | 0,704 |
| 5 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,30x + 100,780 | 0,763 |
| 6 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,347x + 97,202 | 0,786 |
| 7 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,216x + 71,376 | 0,783 |
| 8 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,216x + 74,144 | 0,633 |
| 9 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,038x + 9,339 | 0,791 |
| 10 | $\sigma_{c(50)}$ = -0,039x + 12,201 | 0,505 |

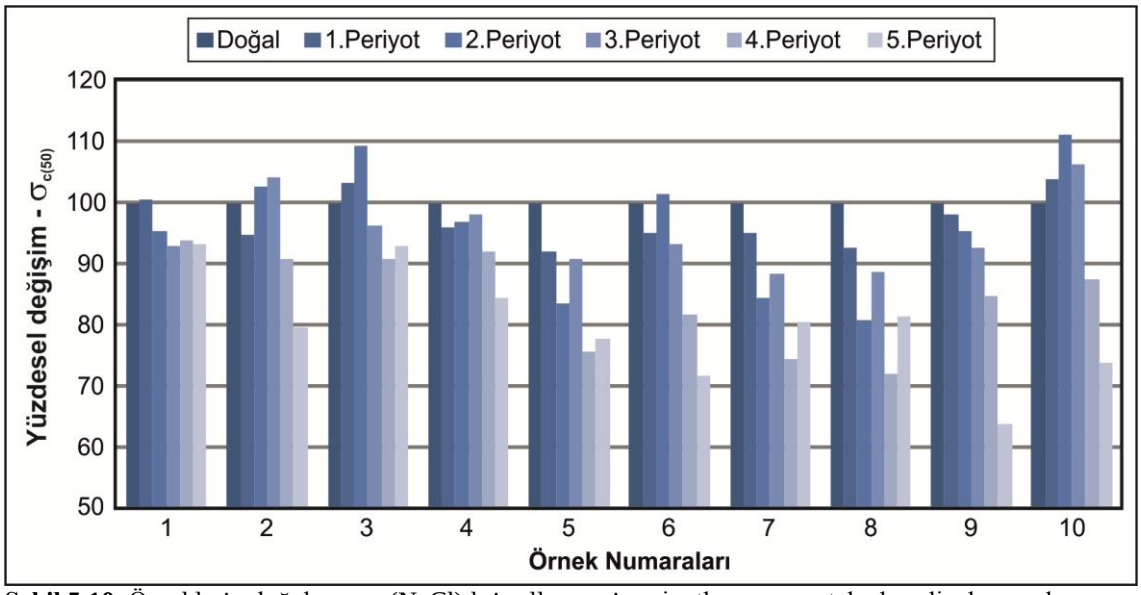



**Şekil 5.9.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$-MPa) değerlerinin değişimini gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

Her bir kayaç örneğine ait tuz kristallenmesi periyotları sonrası tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde 3 (bazalt) ve 10 (tüf) nolu örneklerin tuz kriztallenmesinin ilk 3 periyodunda artma gözlenmiştir. 3 nolu örnekteki artış porozite değerinin periyotlar arasındaki farklılığından kaynaklanmaktadır. 10 nolu örnekteki artış ise, deney sırasında kayaçta gözlenen sertleşmeden kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 5.16; Şekil 5.10). Fakat örneklerin genelinde tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde yüzdesel bir azalma mevcut olup en fazla yüzdesel azalma değeri özellikle 4. ve 5. periyotlarda gözlenmektedir. İncelenen örneklerin 5. periyot sonunda yüzdesel değişimi % 36,09 (9 nolu örnek-tüf) ile % 6,86 (1 nolu örnek-granit) arasındadır. Tek eksenli sıkışma deneyine tabii tutulan örnek üzerine yüklenen yük, üst ve alt plakalar ile örneğin tüm yüzeyine aktarılmaktadır. Bu nedenle, tuz kristallenmesi sonucu homojenliği bozulan kayacın, yüzdesel tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde periyotlar arasında hafif dalgalanma gözlenmektedir.

**Çizelge 5.16.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 100 | 100,56 | 95,24 | 93,00 | 93,89 | 93,14 |
| 2 | 100 | 94,89 | 102,78 | 104,23 | 90,72 | 79,57 |
| 3 | 100 | 103,37 | 109,44 | 96,35 | 90,89 | 92,80 |
| 4 | 100 | 96,01 | 96,75 | 98,16 | 92,02 | 84,40 |
| 5 | 100 | 92,01 | 83,38 | 90,89 | 75,58 | 77,88 |
| 6 | 100 | 94,91 | 101,38 | 93,29 | 81,54 | 71,58 |
| 7 | 100 | 95,14 | 84,47 | 88,26 | 74,41 | 80,46 |
| 8 | 100 | 92,62 | 80,91 | 88,67 | 72,07 | 81,34 |
| 9 | 100 | 98,25 | 95,26 | 92,51 | 84,67 | 63,91 |
| 10 | 100 | 103,94 | 111,29 | 106,22 | 87,32 | 73,78 |




**Şekil 5.10.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.3.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) üzerine etkisi

Nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) kayaç sınıflaması için ve sağlam kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarını tahmin etmede kullanışlı bir yöntemdir (Broch ve Franklin 1972). Birçok araştırmacı tarafından nokta yük dayanım indeksi kayaçların dayanım özelliklerini belirlemede kullanılmıştır (Fookes ve ark. 1971; Lumb, 1983; İrfan ve Powell 1985; Gupta ve Seshagiri Rao, 1998). Yapılan çalışmada örneklerin nokta yük dayanım indeksi ($I_s$) ISRM (1985)'de belirtilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Standart nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen nokta yük dayanım indeksi değerlerinden yararlanılmıştır.

Deneyde kullanılan 10 farklı kayaçtan elde edilen en düşük ortalama nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değeri 0,82 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek nokta yük dayanım indeksi değeri ise 10,97 MPa ile 4 nolu örnekte (andezit) belirlenmiştir. Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin 5. periyotundan sonraki en düşük ortalama nokta yük dayanım indeksi değeri 0,66 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf), en yüksek ortalama nokta yük dayanım indeksi değeri ise 9,32 MPa ile 3 nolu örnekte (bazalt) bulunmuştur (Çizelge 5.17).

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.11; Çizelge 5.18).

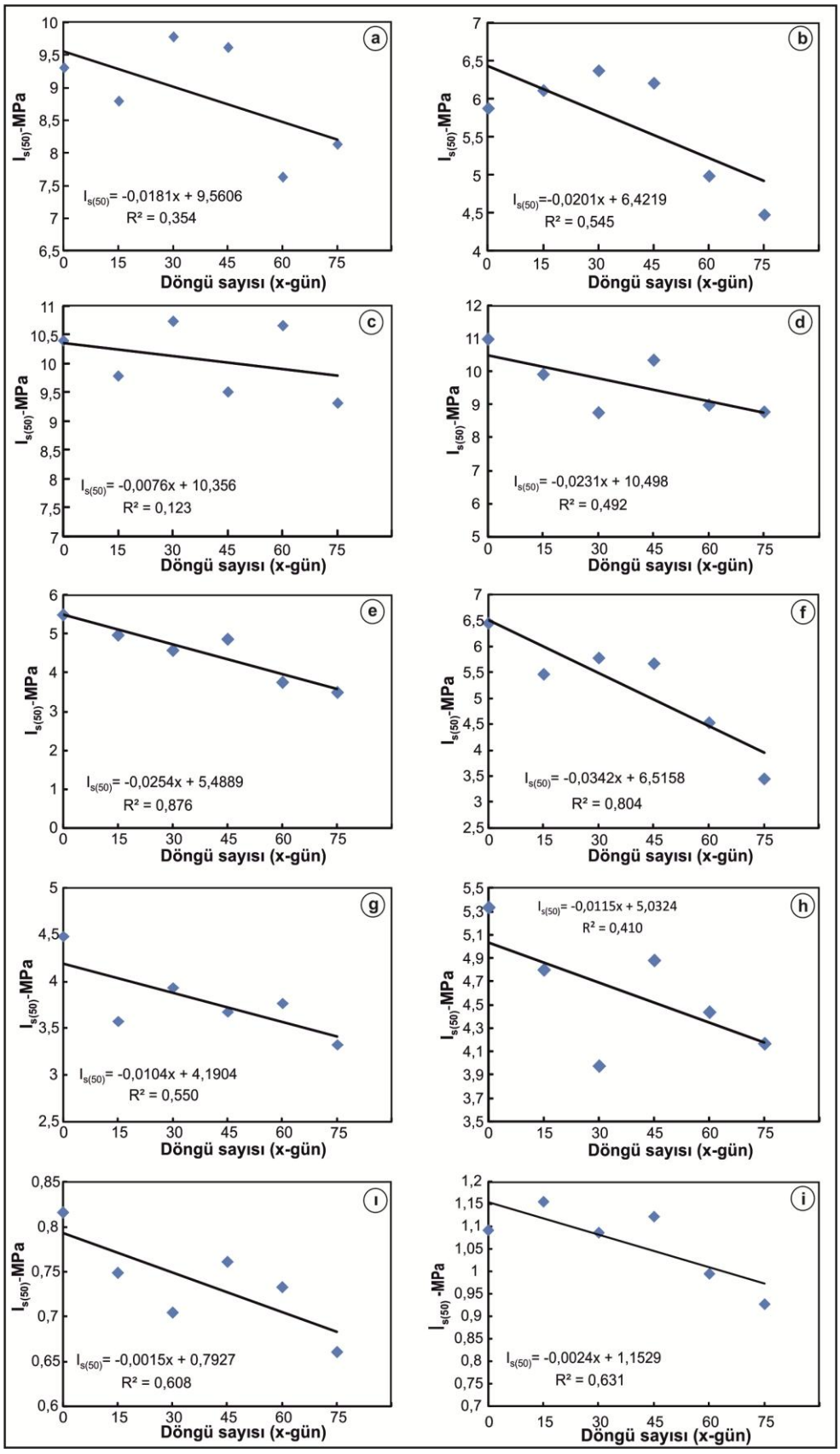
Grafikler incelendiğinde nokta yükü dayanım indeksi değerleri ile periyot sayısı arasında negatif bir ilişki gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve nokta yükü dayanım indeksi değerleri arasında korelasyon katsayısı ($R^2$) 0,876 ile 0,123 arasında değişmektedir. 1 (granit), 3 (bazalt), 4 (andezit) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örneklerin nokta yük dayanım indeksi değerlerinin periyot sayısıyla azaldığı gözlenmektedir. Fakat, bu örneklerin nokta yük dayanım indeksi değerleri periyot sayısının ilerlemesi ile dalgalanma sunduğu için korelasyon katsayısı değerleri 0,5'in altında bulunmuştur.

**Çizelge 5.17**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra belirlenen ortalama nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$-MPa) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 9,31±0,37 | 8,80±0,61 | 9,78±1,22 | 9,62±1,04 | 7,64±0,99 | 8,14±0,66 |
| 2 | 5,87±0,85 | 6,11±0,68 | 6,37±1,24 | 6,21±1,34 | 4,98±0,86 | 4,48±1,06 |
| 3 | 10,40±0,79 | 9,79±0,91 | 10,74±1,44 | 9,51±1,78 | 10,66±1,95 | 9,32±1,09 |
| 4 | 10,97±1,05 | 9,92±0,99 | 8,77±1,16 | 10,35±0,85 | 8,99±1,02 | 8,79±1,26 |
| 5 | 5,50±1,17 | 4,98±1,82 | 4,59±2,25 | 4,87±2,89 | 3,76±2,49 | 3,50±1,50 |
| 6 | 6,46±0,68 | 5,48±0,61 | 5,79±0,35 | 5,68±0,43 | 4,54±0,86 | 3,46±0,67 |
| 7 | 4,49±0,70 | 3,58±0,83 | 3,94±0,62 | 3,68±0,96 | 3,77±0,86 | 3,33±0,92 |
| 8 | 5,34±0,48 | 4,80±0,35 | 3,98±0,29 | 4,88±0,36 | 4,44±0,78 | 4,17±0,58 |
| 9 | 0,82±0,05 | 0,75±0,06 | 0,70±0,06 | 0,76±0,06 | 0,73±0,07 | 0,66±0,05 |
| 10 | 1,09±0,08 | 1,15±0,08 | 1,09±0,05 | 1,12±0,08 | 0,99±0,15 | 0,93±0,12 |

**Çizelge 5.18**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların nokta yük dayanımı ($I_{s(50)}$-MPa) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ($I_{s(50)}$: nokta yük dayanım indeksi değerleri; x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $I_{s(50)}$ = -0,0181x + 9,561 | 0,354 |
| 2 | $I_{s(50)}$ =-0,0201x + 6,422 | 0,545 |
| 3 | $I_{s(50)}$ = -0,0076x + 10,356 | 0,123 |
| 4 | $I_{s(50)}$ = -0,0231x + 10,498 | 0,492 |
| 5 | $I_{s(50)}$ = -0,0254x + 5,489 | 0,876 |
| 6 | $I_{s(50)}$ = -0,0342x + 6,516 | 0,804 |
| 7 | $I_{s(50)}$ = -0,0104x + 4,190 | 0,550 |
| 8 | $I_{s(50)}$ = -0,0115x + 5,032 | 0,410 |
| 9 | $I_{s(50)}$ = -0,0015x + 0,793 | 0,608 |
| 10 | $I_{s(50)}$ = -0,0024x + 1,153 | 0,631 |

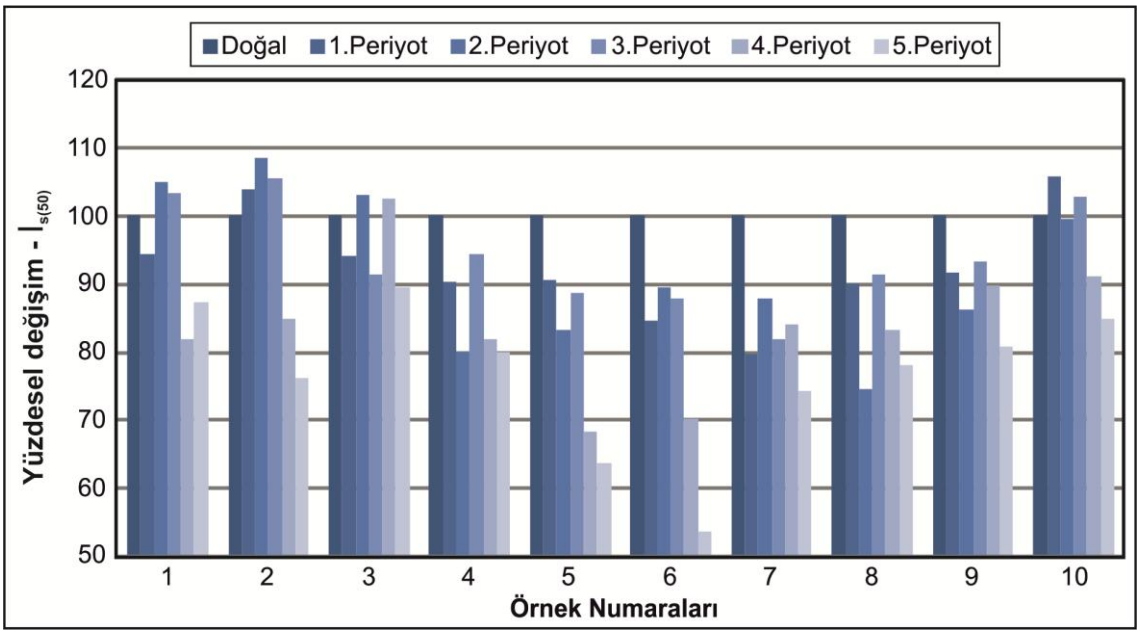



**Şekil 5.11.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$-MPa) değerlerinin değişimini gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

Her bir kayaç örneğine ait tuz kristallenmesi periyotları sonrası nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde tüm kayaç örneklerinde tuz kristallenmesine bağlı olarak nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerlerinde yüzdesel bir azalma saptanmıştır. En fazla yüzdesel azalma 6 (mermer) ve 5 (spilit) nolu örneklerde gözlenirken en düşük yüzdesel azalma ise 3 (bazalt) nolu örnekte gözlenmektedir (Çizelge 5.19; Şekil 5.12). 1 (granit) nolu örnekte en fazla yüzdesel azalma 4. periyotta izlenirken diğer tüm örneklerde en fazla yüzdesel azalma 5. periyotta gerçekleşmiştir. İncelenen örneklerin 5. periyot sonunda yüzdesel değişimi % 46,51 (6 nolu örnek) ile % 10,39 (3 nolu örnek) arasındadır. 6 (mermer) nolu örneğin 5. Periyodundaki yüzdesel azalmanın sebebinin kayacın heterojenleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nokta yük deneyinde, kayaç örneğinin bir noktasından geçen çap boyunca yükleme yapıldığı için örneğin bu eksen boyunca yenilmesinden dolayı örnekte bozulan homojenlik dahada belirginleşmiştir. Bu durum, homojenliği bozulan kayacın, yüzdesel nokta yükü dayanım indeksi değerlerinde periyotlar arasında belirgin şekilde dalgalanmaya sebep olmuştur.

**Çizelge 5.19.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel nokta yük dayanımı indeksi değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 100 | 94,51 | 105,09 | 103,34 | 82,02 | 87,41 |
| 2 | 100 | 103,99 | 108,42 | 105,63 | 84,87 | 76,18 |
| 3 | 100 | 94,14 | 103,25 | 91,47 | 102,53 | 89,61 |
| 4 | 100 | 90,44 | 79,90 | 94,36 | 81,97 | 80,10 |
| 5 | 100 | 90,52 | 83,36 | 88,59 | 68,41 | 63,69 |
| 6 | 100 | 84,76 | 89,62 | 87,95 | 70,27 | 53,49 |
| 7 | 100 | 79,78 | 87,79 | 82,02 | 84,07 | 74,20 |
| 8 | 100 | 89,98 | 74,53 | 91,49 | 83,19 | 78,12 |
| 9 | 100 | 91,74 | 86,32 | 93,25 | 89,79 | 80,93 |
| 10 | 100 | 105,81 | 99,50 | 102,77 | 91,11 | 84,92 |




**Şekil 5.12.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası nokta yükü dayanım indeksi değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.3.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) üzerine etkisi

Çalışmada kullanılan 10 farklı kayaç örneğinin dolaylı çekilme dayanım ($\sigma_t$) değerleri CANMET (1977)'de belirtilen yöntem ile belirlenmiştir.

Deneyde kullanılan doğal kayaç örneklerinden elde edilen verilere göre; en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 11,53 MPa ile 3 nolu örnekte (bazalt), en düşük dolaylı çekilme dayanımı değeri ise 1,00 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinin 5. periyodu sonunda en yüksek dolaylı çekilme dayanımı değeri 10,93 MPa ile 3 nolu örneklerde (bazalt), en düşük değer ise 0,87 MPa ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur (Çizelge 5.20).

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.13; Çizelge 5.21). Tuz kristallenmesi periyotları ile dolaylı çekilme dayanımı değerleri arasında en yüksek korelasyon katsayısı ($R^2$) 0,824 ile 9 nolu örnekte (tüf), en düşük korelasyon katsayısı ise 0,345 ile 3 (bazalt) ve 10 (tüf) nolu örneklerde belirlenmiştir. 1 (granit), 4 (andezit), 6 (mermer), 8 (kristalin kireçtaşı) ve 9 (tüf) numaralı örneklerde negatif bir ilişki gözlenmektedir (sırasıyla $R^2$ = 0,630; 0,642; 0,659; 0,701 ve 0,824). 2 (granit porfir), 3 (bazalt), 5 (spilit), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 10 (tüf) numaralı örneklerde ise periyot

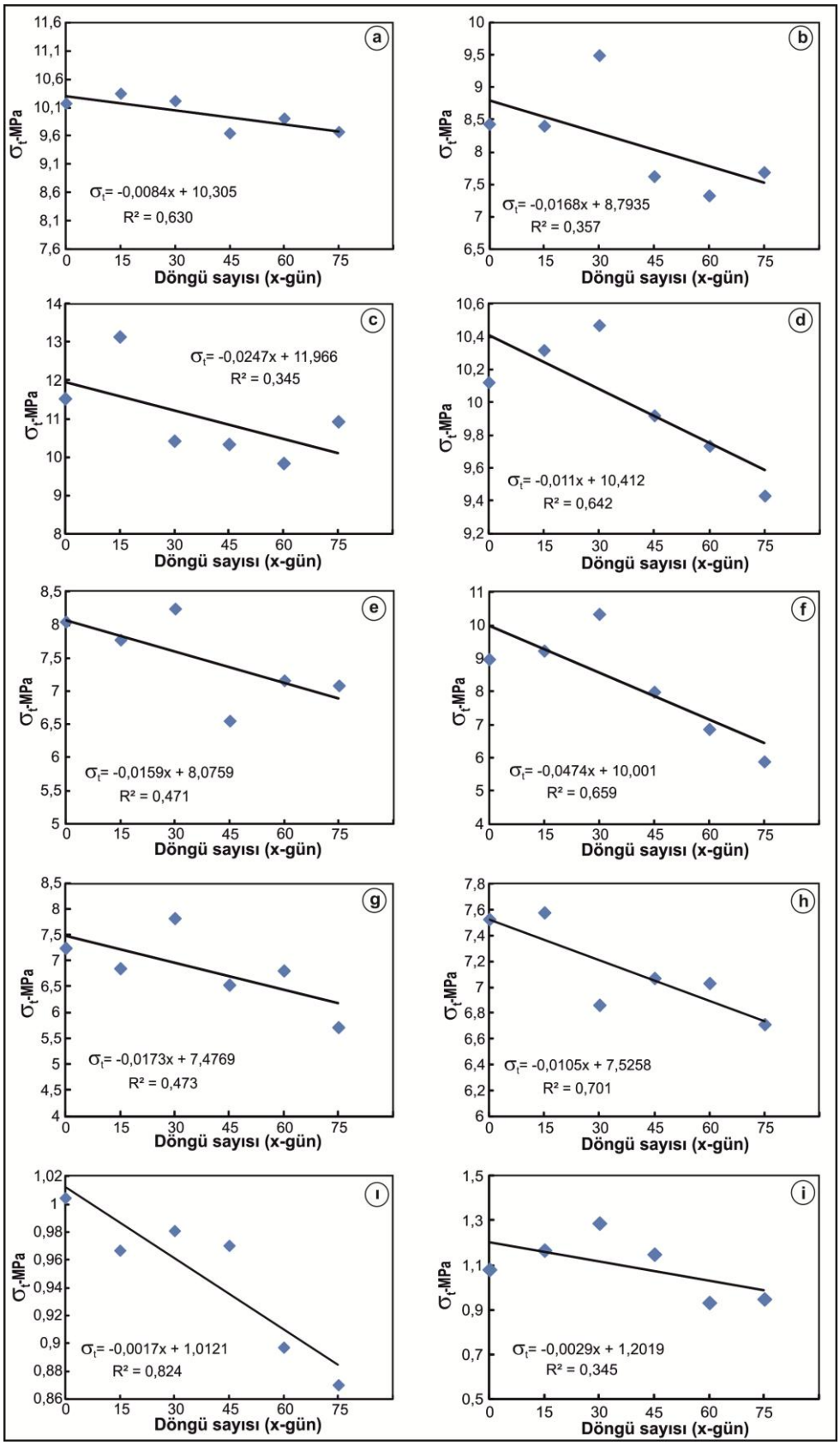
sayısı ile dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) değerleri arasında negatif bir ilişki olmasına rağmen korelasyon katsayısı değerleri 0,5'in altında bulunmuştur (Çizelge 5.21).

**Çizelge 5.20**. İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra belirlenen ortalama dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$-MPa) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 10,17±1,41 | 10,34±1,20 | 10,21±1,13 | 9,64±1,69 | 9,91±2,32 | 9,68±1,91 |
| 2 | 8,43±1,40 | 8,41±1,62 | 9,49±1,29 | 7,63±0,69 | 7,33±1,70 | 7,69±1,11 |
| 3 | 11,53±2,63 | 13,15±2,94 | 10,43±2,60 | 10,34±2,58 | 9,84±2,07 | 10,93±1,55 |
| 4 | 10,12±1,17 | 10,32±1,63 | 10,47±1,83 | 9,92±1,37 | 9,73±2,01 | 9,43±1,91 |
| 5 | 8,05±1,15 | 7,78±1,61 | 8,25±1,53 | 6,56±2,06 | 7,16±1,53 | 7,09±1,79 |
| 6 | 8,98±1,28 | 9,24±1,52 | 10,35±1,12 | 8,00±1,51 | 6,87±1,03 | 5,89±1,25 |
| 7 | 7,25±1,43 | 6,85±1,23 | 7,82±1,95 | 6,53±2,45 | 6,81±2,22 | 5,72±1,47 |
| 8 | 7,53±1,08 | 7,58±1,29 | 6,86±1,25 | 7,07±1,01 | 7,03±1,31 | 6,71±1,56 |
| 9 | 1,00±0,10 | 0,97±0,13 | 0,98±0,14 | 0,97±0,12 | 0,90±0,10 | 0,87±0,13 |
| 10 | 1,08±0,08 | 1,17±0,10 | 1,29±0,07 | 1,15±0,20 | 0,93±0,16 | 0,95±0,21 |

**Çizelge 5.21**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$-MPa) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ($\sigma_t$: dolaylı çekilme dayanımı değerleri; x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $\sigma_t = -0,0084x + 10,305$ | 0,630 |
| 2 | $\sigma_t = -0,0168x + 8,794$ | 0,357 |
| 3 | $\sigma_t = -0,0247x + 11,966$ | 0,345 |
| 4 | $\sigma_t = -0,011x + 10,412$ | 0,642 |
| 5 | $\sigma_t = -0,0159x + 8,076$ | 0,471 |
| 6 | $\sigma_t = -0,0474x + 10,001$ | 0,659 |
| 7 | $\sigma_t = -0,0173x + 7,477$ | 0,473 |
| 8 | $\sigma_t = -0,0105x + 7,526$ | 0,701 |
| 9 | $\sigma_t = -0,0017x + 1,012$ | 0,824 |
| 10 | $\sigma_t = -0,0029x + 1,202$ | 0,345 |

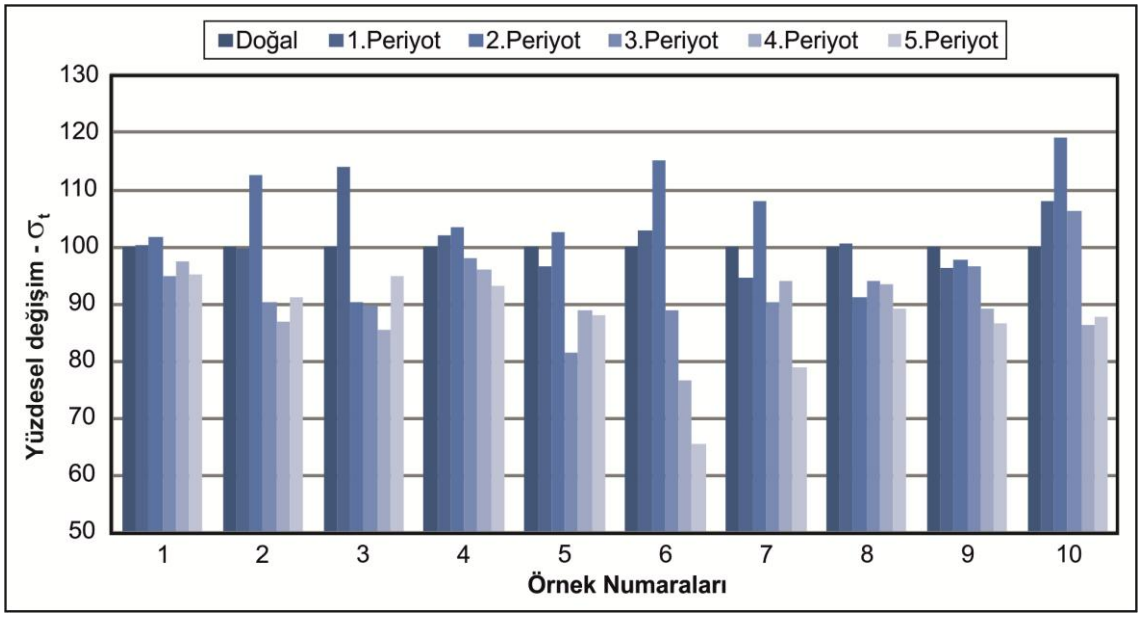



**Şekil 5.13.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$-MPa) değerlerinin değişimini gösteren grafikler; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

Her bir kayaç örneğine ait tuz kristallenmesi periyotları sonrası dolaylı çekilme dayanımı değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde tüm kayaç örneklerinde tuz kristallenmesine bağlı olarak dolaylı çekilme dayanımı değerlerinde yüzdesel bir azalma saptanmıştır (Çizelge 5.22; Şekil 5.14). İncelenen tüm örneklerde yüzdesel değişimin dalgalı bir yapı sunduğu gözlenmektedir. Örneklerin 5. periyot sonunda yüzdesel değişimi % 34,39 (6 nolu örnek- mermer) ile % 4,94 (1 nolu örnek-granit) arasındadır. Dolaylı çekilme dayanımı deneyinde karotların ekseni boyunca yükleme yapılarak kayaç yenilmektedir. Bu durum örnekte bozulan homojenliği belirgin hale getirerek yüzdesel dolaylı çekilme dayanımı değerlerinde dalgalanmalara sebep olmaktadır.

**Çizelge 5.22.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel dolaylı çekilme dayanımı değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 100 | 100,43 | 101,71 | 94,83 | 97,40 | 95,06 |
| 2 | 100 | 99,66 | 112,57 | 90,43 | 86,91 | 91,18 |
| 3 | 100 | 113,99 | 90,42 | 89,67 | 85,36 | 94,80 |
| 4 | 100 | 101,94 | 103,44 | 98,00 | 96,17 | 93,17 |
| 5 | 100 | 96,61 | 102,45 | 81,43 | 89,00 | 88,04 |
| 6 | 100 | 102,86 | 115,21 | 89,02 | 76,51 | 65,61 |
| 7 | 100 | 94,58 | 107,91 | 90,19 | 93,98 | 78,90 |
| 8 | 100 | 100,68 | 91,16 | 93,93 | 93,41 | 89,18 |
| 9 | 100 | 96,24 | 97,65 | 96,59 | 89,30 | 86,61 |
| 10 | 100 | 108,00 | 119,23 | 106,33 | 86,27 | 87,76 |




**Şekil 5.14.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası dolaylı çekilme dayanımı değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

## 5.4. Tuz (NaCl) Kristallenmesinin Kayaçların Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi

Bu bölümde, doğal ve tuz kristallenmesine (5. periyot) maruz kalan kayaçların dayanımlarındaki değişimleri belirlenmek amacıyla Los Angeles ($LA_{100}$, $LA_{500}$ ve $LA_{1000}$), Agrega darbe dayanım direnci (a), Böhme aşınma dayanımı ($\Delta V$) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$, $I_{d4}$) deneyleri yapılarak elde edilen parametreler değerlendirilmiştir.

### 5.4.1. Tuz (NaCl) kristallenmesinin Los Angeles aşınma kaybı ($LA_{100}$, $LA_{500}$, $LA_{1000}$) üzerine etkisi

Betonun içerisine giren, doğal kayaçlardan oluşan agregaların aşınma kayıplarını bulabilmek için Los Angeles aşınma kaybı deneyi yapılmaktadır. TS 706 EN 12620, standartına göre; agregaların 500 devir sonunda aşınma oranı % 50'nin altında ise beton agregası olarak kullanılabilmektedir. Çalışmada doğal ve 5 tuzlu su periyotlarına maruz kalan agregalarda Los Angeles aşınma kaybı deneyi, ASTM C 131-06'da (2006) belirtilen esaslara göre yapılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir (Çizelge 5.23). Kayaçların 10 yıllık, 50 yıllık ve 100 yıllık aşınma oranlarını belirleyebilmek için agregaların 100 ($LA_{100}$), 500 ($LA_{500}$) ve 1000 ($LA_{1000}$) devir sonundaki aşınma değerleri incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan agregalarda yapılan Los Angeles aşınma kaybı deneyine göre doğal agregalardan elde edilen aşınma değerlerine bakıldığında; 100 devir sonunda 9 nolu örnekte (tüf) % 17,25 ve 10 nolu örnekte % 15,85 (tüf) aşınma kaybı değerleri % 10 üzerinde bulunmuştur. 500 devir sonunda ise 9 nolu örnekte (tüf) % 77,85 ve 10 nolu örnekte (tüf) % 70,71 aşınma kaybı değerleri belirlenmiş olup bu aşınma değerleri % 50'nin üzerine çıkmıştır.

Tuz kristallenmesinin 5. periyotu sonunda agregalardan elde edilen Los Angeles aşınma değerlerine göre; 100 devir sonunda en yüksek aşınma değeri % 22,80 ile 9 nolu örnekte (tüf), en düşük aşınma değeri ise % 3,97 ile 3 (bazalt) nolu örnekte bulunmuştur. 500 devir sonunda ise 9 (tüf) ve 10 nolu örneğin (tüf) bütün periyotlarında aşınma değerleri % 50'nin üzerinde bulunmuştur. Doğal ve tuz kristallenmesine maruz kalan kayaçlarda 500 devir sonundaki parçalanma değerleri % 50'nin üstünde ise bu kayaçların beton agregası olarak kullanılması halinde mühendislik problemleri oluşturması muhtemeldir (Çizelge 5.23).

**Çizelge 5.23**. Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası belirlenen Los Angeles aşınma kaybı (LA-%) değerleri.

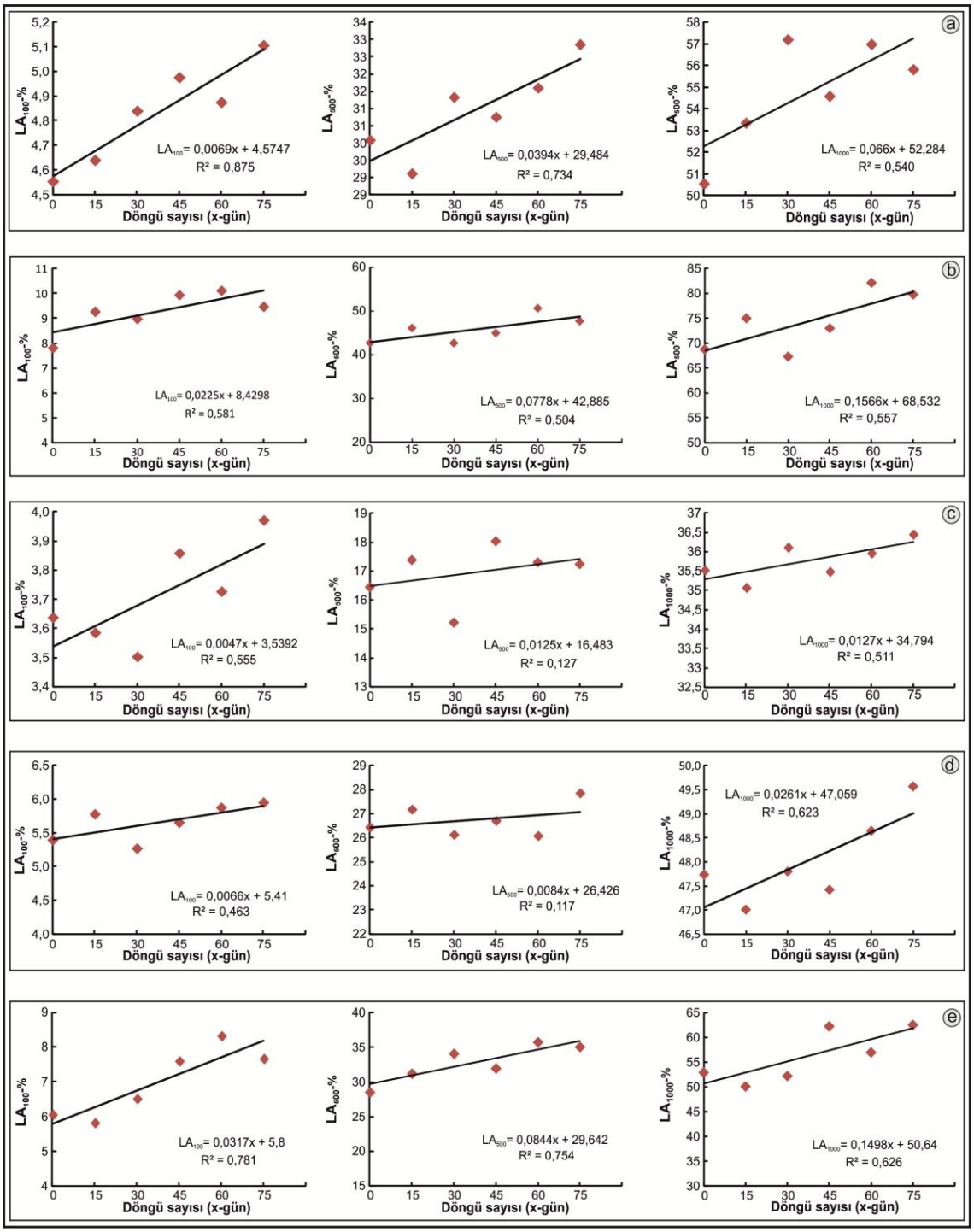
| Örnek No | | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | $LA_{100}$ | 4,55 | 4,64 | 4,84 | 4,98 | 4,88 | 5,11 |
| | $LA_{500}$ | 30,10 | 29,12 | 31,33 | 30,76 | 31,60 | 32,86 |
| | $LA_{1000}$ | 50,56 | 53,36 | 57,21 | 54,60 | 57,00 | 55,83 |
| 2 | $LA_{100}$ | 7,82 | 9,28 | 8,99 | 9,95 | 10,12 | 9,48 |
| | $LA_{500}$ | 42,71 | 46,12 | 42,67 | 44,97 | 50,64 | 47,7 |
| | $LA_{1000}$ | 68,83 | 75,08 | 67,38 | 73,07 | 82,21 | 79,85 |
| 3 | $LA_{100}$ | 3,64 | 3,59 | 3,50 | 3,86 | 3,73 | 3,97 |
| | $LA_{500}$ | 16,46 | 17,40 | 15,23 | 18,05 | 17,32 | 17,25 |
| | $LA_{1000}$ | 35,03 | 34,58 | 35,62 | 34,99 | 35,47 | 35,95 |
| 4 | $LA_{100}$ | 5,40 | 5,78 | 5,27 | 5,66 | 5,88 | 5,95 |
| | $LA_{500}$ | 26,44 | 27,19 | 26,14 | 26,71 | 26,09 | 27,86 |
| | $LA_{1000}$ | 47,74 | 47,02 | 47,81 | 47,43 | 48,65 | 49,58 |
| 5 | $LA_{100}$ | 6,05 | 5,81 | 6,51 | 7,59 | 8,31 | 7,66 |
| | $LA_{500}$ | 28,55 | 31,26 | 34,13 | 32,01 | 35,80 | 35,11 |
| | $LA_{1000}$ | 53,03 | 50,19 | 52,31 | 62,34 | 57,07 | 62,62 |
| 6 | $LA_{100}$ | 6,57 | 7,51 | 7,00 | 7,63 | 8,52 | 8,80 |
| | $LA_{500}$ | 30,74 | 32,35 | 30,00 | 36,15 | 42,04 | 40,03 |
| | $LA_{1000}$ | 62,93 | 64,82 | 61,38 | 62,11 | 68,76 | 74,00 |
| 7 | $LA_{100}$ | 7,22 | 7,53 | 7,30 | 7,81 | 8,10 | 7,96 |
| | $LA_{500}$ | 30,45 | 31,56 | 29,96 | 31,01 | 31,51 | 31,84 |
| | $LA_{1000}$ | 54,07 | 53,63 | 52,93 | 54,52 | 56,61 | 56,25 |
| 8 | $LA_{100}$ | 7,77 | 7,48 | 7,68 | 8,24 | 8,14 | 8,61 |
| | $LA_{500}$ | 36,43 | 36,85 | 35,91 | 36,54 | 37,61 | 38,23 |
| | $LA_{1000}$ | 58,09 | 59,70 | 57,91 | 60,05 | 59,60 | 61,02 |
| 9 | $LA_{100}$ | 17,25 | 18,95 | 18,25 | 19,74 | 23,37 | 22,80 |
| | $LA_{500}$ | 77,85 | 79,38 | 80,30 | 79,02 | 80,31 | 80,90 |
| | $LA_{1000}$ | 99,18 | 99,97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | $LA_{100}$ | 15,85 | 16,65 | 16,04 | 16,82 | 19,06 | 20,11 |
| | $LA_{500}$ | 70,71 | 72,07 | 70,40 | 73,07 | 74,27 | 74,11 |
| | $LA_{1000}$ | 99,99 | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Los Angeles aşınma kaybı değerleri ve periyot sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 5.15 ve 5.16'da gösterilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri Çizelge 5.24'de verilmiştir. Tüm örneklerin tuz kristalizasyonu periyotları ile 100, 500 ve 1000 devir sonundaki Los Angles aşınma kaybı değerleri paralellik göstermektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve 100 devir sonunda aşınma kaybı değerleri arasında en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,463 ile 4 nolu örnekte (andezit), en yüksek korelasyon katsayısı değeri ise 0,875 ile 1 nolu

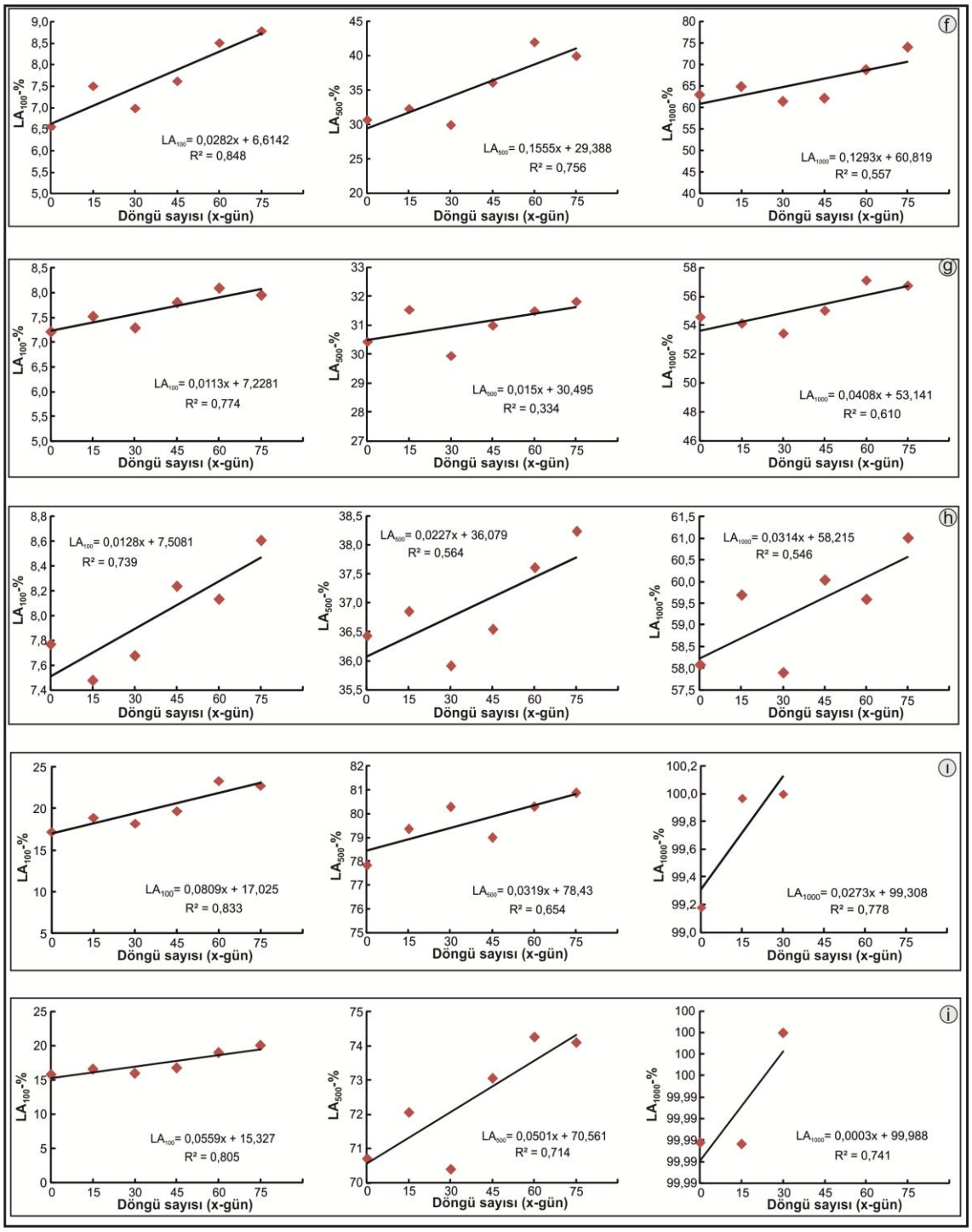
örnekte (granit) gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve 500 devir sonunda aşınma kaybı değerleri arasında en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,127 ile 3 nolu örnekte (bazalt), en yüksek korelasyon katsayısı değeri ise 0,756 ile 6 nolu örnekte (mermer) gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve 1000 devir sonunda aşınma kaybı değerleri arasında en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,511 ile 3 nolu örnekte (bazalt), en yüksek korelasyon katsayısı ise 0,778 ile 9 nolu örnekte (tüf) gözlenmektedir.

**Çizelge 5.24.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların Los Angeles aşınma kaybı (LA-%) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri ( $LA_{100}$: 100 devir sonrası Los Angeles aşınma kaybı, $LA_{500}$: 500 devir sonrası Los Angeles aşınma kaybı, $LA_{1000}$:1000 devir sonrası Los Angeles aşınma kaybı, x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $LA_{100}$= 0,0069x + 4,575 | 0,875 |
| | $LA_{500}$= 0,0394x + 29,484 | 0,734 |
| | $LA_{1000}$= 0,066x + 52,284 | 0,540 |
| 2 | $LA_{100}$= 0,0225x + 8,430 | 0,581 |
| | $LA_{500}$= 0,0778x + 42,885 | 0,504 |
| | $LA_{1000}$= 0,1566x + 68,532 | 0,557 |
| 3 | $LA_{100}$= 0,0047x + 3,539 | 0,555 |
| | $LA_{500}$= 0,0125x + 16,483 | 0,127 |
| | $LA_{1000}$= 0,0127x + 34,794 | 0,511 |
| 4 | $LA_{100}$= 0,0066x + 5,410 | 0,463 |
| | $LA_{500}$= 0,0084x + 26,426 | 0,117 |
| | $LA_{1000}$= 0,0261x + 47,059 | 0,623 |
| 5 | $LA_{100}$= 0,0317x + 5,800 | 0,781 |
| | $LA_{500}$= 0,0844x + 29,642 | 0,754 |
| | $LA_{1000}$= 0,1498x + 50,640 | 0,626 |
| 6 | $LA_{100}$= 0,0282x + 6,6142 | 0,848 |
| | $LA_{500}$= 0,1555x + 29,388 | 0,756 |
| | $LA_{1000}$= 0,1293x + 60,819 | 0,557 |
| 7 | $LA_{100}$= 0,0113x + 7,228 | 0,774 |
| | $LA_{500}$= 0,015x + 30,495 | 0,334 |
| | $LA_{1000}$= 0,0408x + 53,141 | 0,610 |
| 8 | $LA_{100}$= 0,0128x + 7,508 | 0,739 |
| | $LA_{500}$= 0,0227x + 36,079 | 0,564 |
| | $LA_{1000}$= 0,0314x + 58,215 | 0,546 |
| 9 | $LA_{100}$= 0,0809x + 17,025 | 0,833 |
| | $LA_{500}$= 0,0319x + 78,43 | 0,654 |
| | $LA_{1000}$=0,0273x+99,31 | 0,778 |
| 10 | $LA_{100}$= 0,0559x + 15,327 | 0,805 |
| | $LA_{500}$= 0,0501x + 70,561 | 0,714 |
| | $LA_{1000}$= 0,0003x + 99,988 | 0,741 |




**Şekil 5.15.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası Los Angeles aşınma kaybı (LA-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit).



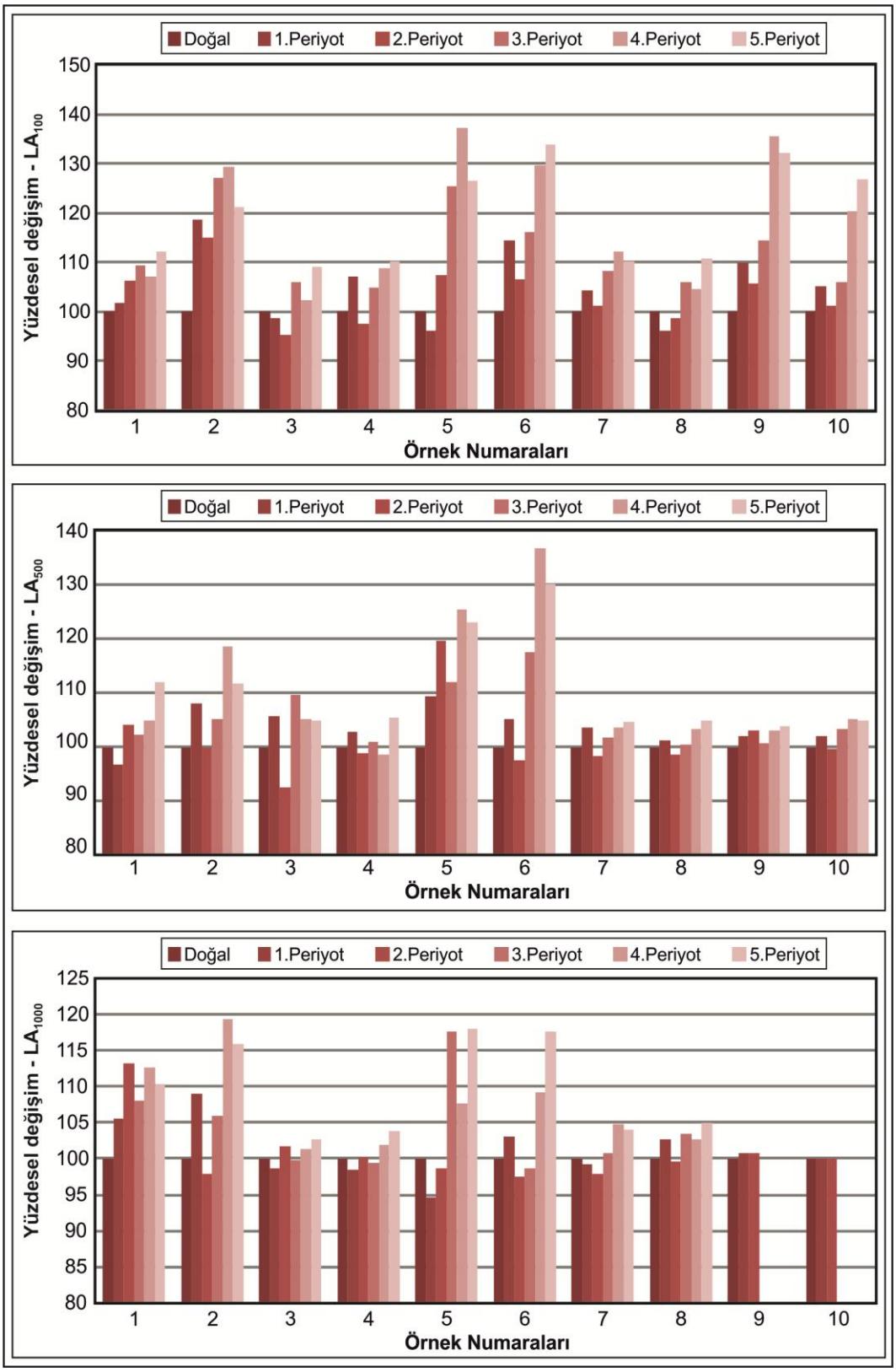

**Şekil 5.16.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası Los Angeles aşınma kaybı (LA-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

**Çizelge 5.25.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel Los Angeles aşınma değerleri.

| Örnek No | | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | $LA_{100}$ | 100 | 101,89 | 106,27 | 109,27 | 107,05 | 112,12 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 96,76 | 104,11 | 102,20 | 105,01 | 112,00 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 105,54 | 113,16 | 108,00 | 112,74 | 110,43 |
| 2 | $LA_{100}$ | 100 | 118,68 | 114,96 | 127,25 | 129,48 | 121,22 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 107,97 | 99,90 | 105,28 | 118,57 | 111,68 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 108,96 | 97,82 | 106,02 | 119,29 | 115,85 |
| 3 | $LA_{100}$ | 100 | 98,57 | 95,17 | 106,06 | 102,45 | 109,17 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 105,70 | 92,55 | 109,66 | 105,21 | 104,83 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 98,71 | 101,68 | 99,89 | 101,25 | 102,64 |
| 4 | $LA_{100}$ | 100 | 107,07 | 97,65 | 104,76 | 108,87 | 110,26 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 102,82 | 98,84 | 101,02 | 98,65 | 105,38 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 98,47 | 100,14 | 99,34 | 101,90 | 103,84 |
| 5 | $LA_{100}$ | 100 | 96,09 | 107,55 | 125,45 | 137,42 | 126,62 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 109,50 | 119,57 | 112,12 | 125,42 | 122,99 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 94,65 | 98,64 | 117,57 | 107,63 | 118,10 |
| 6 | $LA_{100}$ | 100 | 114,35 | 106,49 | 116,11 | 129,71 | 133,89 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 105,24 | 97,60 | 117,59 | 136,74 | 130,21 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 103,01 | 97,53 | 98,69 | 109,26 | 117,59 |
| 7 | $LA_{100}$ | 100 | 104,30 | 101,09 | 108,19 | 112,24 | 110,28 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 103,63 | 98,39 | 101,84 | 103,47 | 104,56 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 99,19 | 97,90 | 100,83 | 104,70 | 104,03 |
| 8 | $LA_{100}$ | 100 | 96,26 | 98,81 | 106,02 | 104,68 | 110,77 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 101,16 | 98,58 | 100,32 | 103,23 | 104,95 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 102,77 | 99,69 | 103,37 | 102,60 | 105,04 |
| 9 | $LA_{100}$ | 100 | 109,89 | 105,81 | 114,46 | 135,47 | 132,19 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 101,96 | 103,15 | 100,68 | 103,16 | 103,91 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 100,79 | 100,83 | - | - | - |
| 10 | $LA_{100}$ | 100 | 105,04 | 101,17 | 106,14 | 120,26 | 126,89 |
| | $LA_{500}$ | 100 | 101,92 | 99,56 | 103,33 | 105,04 | 104,81 |
| | $LA_{1000}$ | 100 | 100,00 | 100,01 | - | - | - |

Her bir kayaç örneğine ait tuz kristallenmesi periyotları sonrası 100, 500 ve 1000 devir sonunda Los angles aşınma kaybı değerlerindeki yüzdesel değişimlere göre 100 devir sonunda en fazla aşınma kaybı 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerde (sırasıyla % 26,62; % 33,89; % 32,19 ve % 26,89), en az aşınma kaybı ise 3 (bazalt) nolu örnekte (% 9,17) belirlenmiştir. 500 devir sonunda en fazla aşınma kaybı % 22,99 ile 5 (spilit) nolu örnekte ve % 30,21 ile 6 (mermer) nolu örnekte belirlenmiştir. 1000 devir sonunda ise 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örnekler 3. periyot sonunda tamamen aşınmıştır. 5 (spilit) ve 6 (mermer) nolu örneklerin yüzdesel aşınma

kaybı değerleri ise sırasıyla % 18,10 ve % 17,59 olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.25; Şekil 5.17).




**Şekil 5.17.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası Los Angeles aşınma kaybı ($LA_{100}$, $LA_{500}$, $LA_{1000}$) değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.4.2. Tuz (NaCl) kristallenmesinin agrega darbe dayanım direnci (a) üzerindeki etkisi

Darbe dayanım deneyi genellikle, yol ve hava meydanlarındaki pist v.b. yerlerde kullanılan yapı malzemesinin ani çarpmalar sonucu dayanımını belirlemek amacıyla yapılır. Bu yapılarda kullanılan malzemelerinin belirli bir kısmı agregalardan oluşmaktadır. Bu agregalar hızlı ve sert yüklemeler altında kırılma, parçalanma ve ufalanmaya maruz kalırlar. Beton ve asfalt içinde kullanılan agregaların dayanımlarını belirleyebilmek için standartlar çerçevesinde hazırlanan numuneler deneye tabi tutulur. Bu deneyin sonunda darbe etkisinde kalan agrega 2,36 mm'lik elekten geçirilir. Elek üstünde kalan malzeme miktarının, deney öncesindeki malzeme miktarına oranı agregaların dayanımını vermektedir.

Agrega darbe dayanım direnci BS 812 (1990)'da önerilen esaslara göre belirlenmiştir. Deneyde kullanılan doğal agregalardan elde edilen darbe dayanımı değerlerine göre; en yüksek aşınma miktarı değeri % 61,09 ile 10 nolu örnekte (tüf), en düşük aşınma miktarı değeri ise % 92,43 ile 1 nolu örnekte (granit) bulunmuştur (Çizelde 5.26). Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinde 5. tuzlu su periyodu sonunda agregalardan elde edilen darbe dayanımı değerlerine göre; en yüksek aşınma miktarı % 52,86 ile 10 nolu örnekte (tüf) bulunurken, en düşük aşınma miktarı ise % 89,53 ile 1 nolu örnekte (granit) gözlenmektedir.

**Çizelge 5.26**. Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra belirlenen ortalama agrega darbe dayanım direnci (a-%) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 92,43±1,51 | 90,71±1,66 | 91,84±1,52 | 89,94±1,71 | 89,03±1,87 | 89,53±1,81 |
| 2 | 82,77±2,03 | 81,35±2,72 | 82,21±2,69 | 80,92±2,33 | 78,42±2,82 | 78,95±3,03 |
| 3 | 90,13±1,28 | 90,79±1,31 | 90,23±1,18 | 89,98±1,49 | 90,19±1,28 | 89,17±1,40 |
| 4 | 84,55±2,59 | 83,68±2,71 | 84,13±2,10 | 83,01±2,86 | 83,65±3,28 | 82,27±3,00 |
| 5 | 90,94±4,61 | 88,15±4,23 | 89,32±4,82 | 87,79±4,31 | 86,31±5,60 | 84,48±5,15 |
| 6 | 90,42±3,31 | 88,80±2,87 | 87,11±3,75 | 87,59±3,92 | 86,99±3,45 | 83,32±4,21 |
| 7 | 88,60±1,68 | 88,70±1,39 | 87,39±1,64 | 86,73±1,50 | 87,33±1,92 | 86,55±1,81 |
| 8 | 85,33±4,37 | 84,39±3,94 | 84,90±4,34 | 83,61±4,08 | 84,20±4,49 | 82,03±4,81 |
| 9 | 78,94±5,12 | 79,75±4,77 | 70,55±4,55 | 67,21±4,85 | 67,80±5,31 | 66,34±4,89 |
| 10 | 61,09±3,77 | 60,04±4,04 | 58,33±3,45 | 59,63±4,26 | 57,00±4,64 | 52,86±4,47 |

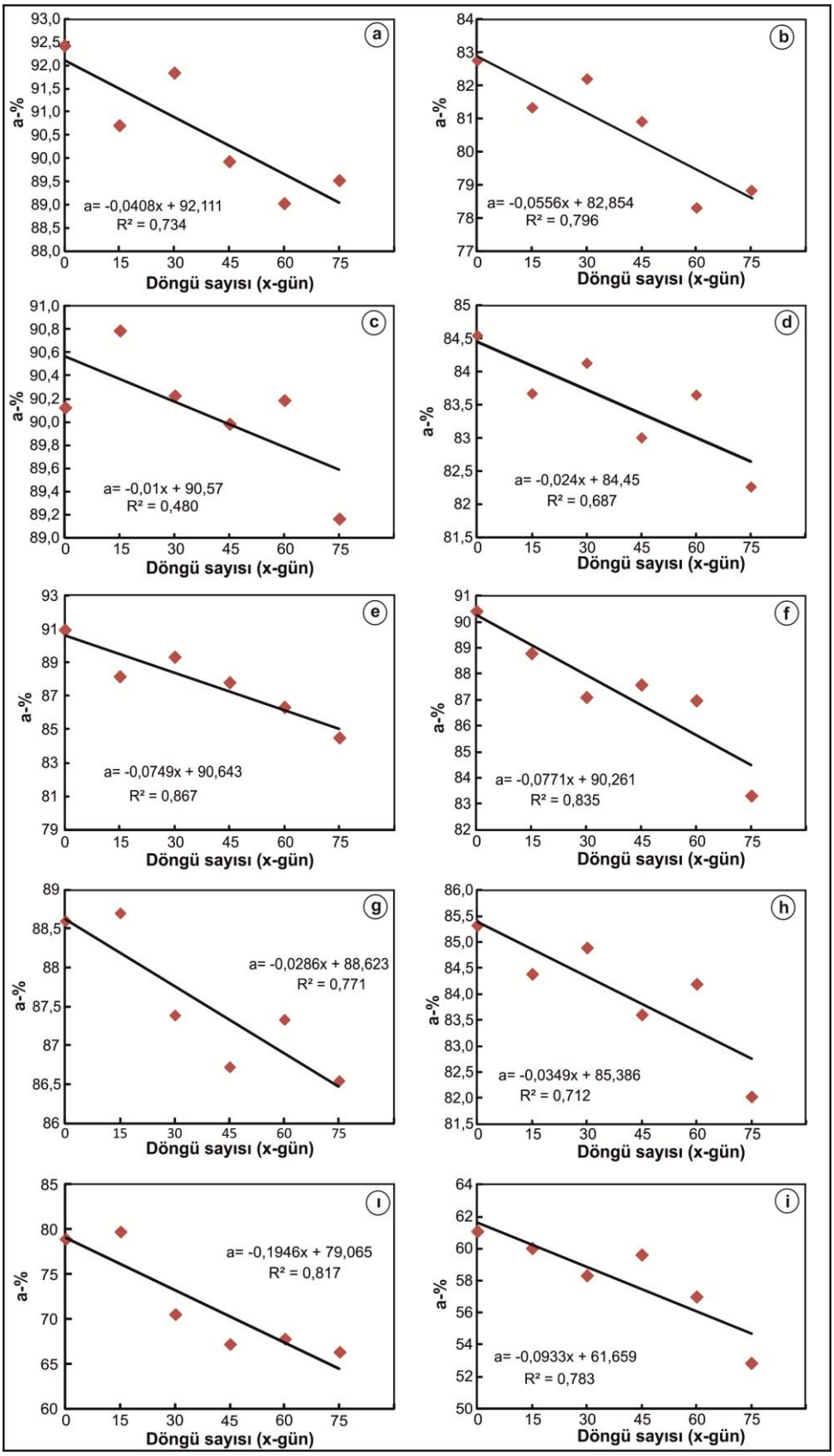
Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait agrega darbe dayanım direnci (a) değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.18). Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri Çizelge 5.27'de verilmiştir. Şekil 5.18 incelendiğinde örneklerin genelinde periyot sayısı ile dayanım değerleri arasında negatif bir ilişki gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi periyotları ve agrega darbe dayanım direnci (a) değerleri arasında en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,480 ile 3 nolu örnekte (bazalt), en yüksek korelasyon katsayısı değeri ise 0,867 ile 5 nolu örnekte (spilit) gözlenmektedir.

**Çizelge 5.27.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların agrega darbe dayanım direnci (a) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (a: agrega darbe dayanım direnci değeri, x: döngü (gün) sayısı).

| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | a= -0,0408x + 92,111 | 0,734 |
| 2 | a= -0,0556x + 82,854 | 0,796 |
| 3 | a= -0,010x + 90,570 | 0,480 |
| 4 | a= -0,024x + 84,450 | 0,687 |
| 5 | a= -0,0749x + 90,643 | 0,867 |
| 6 | a= -0,0771x + 90,261 | 0,835 |
| 7 | a= -0,0286x + 88,623 | 0,771 |
| 8 | a= -0,0349x + 85,386 | 0,712 |
| 9 | a= -0,1946x + 79,065 | 0,817 |
| 10 | a= -0,0933x + 61,659 | 0,783 |

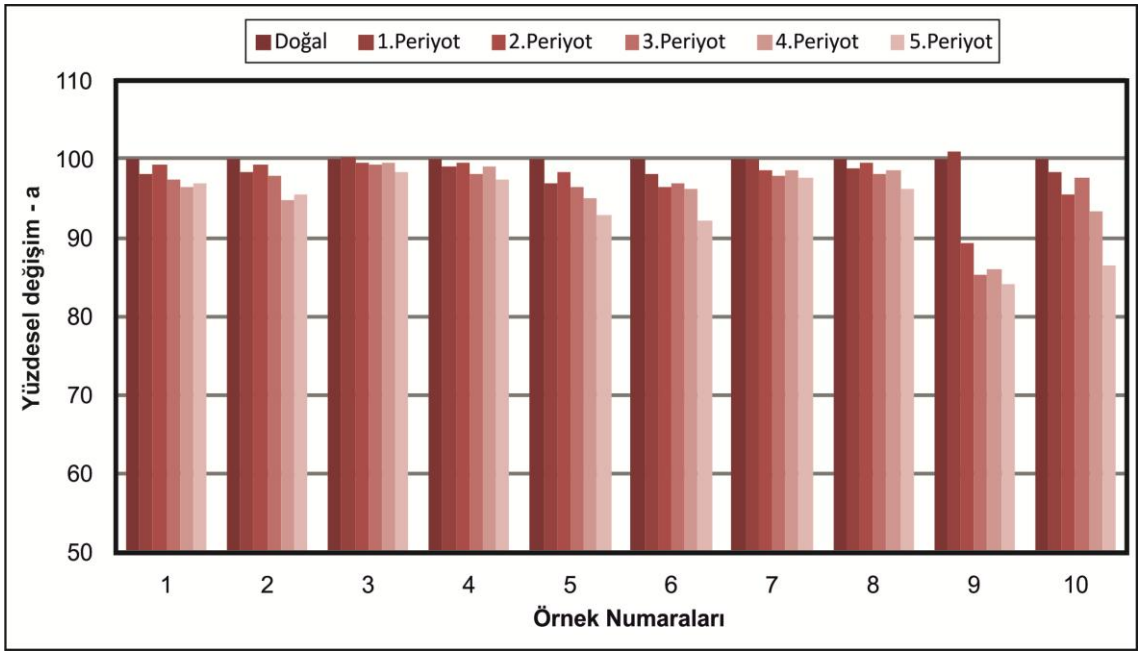
**Çizelge 5.28.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel agrega darbe dayanım direnci değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 100 | 98,14 | 99,37 | 97,30 | 96,33 | 96,86 |
| 2 | 100 | 98,28 | 99,32 | 97,77 | 94,74 | 95,38 |
| 3 | 100 | 100,18 | 99,57 | 99,30 | 99,52 | 98,39 |
| 4 | 100 | 98,96 | 99,51 | 98,18 | 98,94 | 97,30 |
| 5 | 100 | 96,93 | 98,22 | 96,54 | 94,91 | 92,90 |
| 6 | 100 | 98,21 | 96,34 | 96,87 | 96,20 | 92,15 |
| 7 | 100 | 100,11 | 98,63 | 97,88 | 98,57 | 97,68 |
| 8 | 100 | 98,90 | 99,49 | 97,98 | 98,68 | 96,14 |
| 9 | 100 | 101,03 | 89,37 | 85,14 | 85,89 | 84,04 |
| 10 | 100 | 98,27 | 95,48 | 97,60 | 93,31 | 86,52 |




**Şekil 5.18.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama agrega darbe dayanım direnci (a-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

Deneyde kullanılan kayaç örneklerinin tuz kristallenmesi periyotları sonrası agrega darbe dayanım direnci değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde tüm kayaç örneklerinde tuz kristallenmesine bağlı olarak darbe dayanım direnci değerlerinin yüzdesel olarak azaldığı gözlenmektedir. En fazla aşıma 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerde, en az aşınma ise 3 (bazalt) nolu örnekte bulunmuştur. Tüm örneklerde, tuz kristallenmesinin özellikle 3. periyotundan sonra aşınma miktarının arttığı gözlenmektedir (Çizelge 5. 28; Şekil 5.19).




**Şekil 5.19.** Agregaların doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası agrega darbe dayanım direnci değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.4.3. Tuz (NaCl) kristallenmesinin Böhme aşınma dayanımı (∆V) üzerindeki etkisi

Yapı malzemeleri olarak kullanılan kayaçların fiziksel, mekanik, kimyasal ve petrografik özellikleri günlük hayatta kullanımları bakımından önemlidir. Örneğin aşınma değeri, yollarda ve zeminlerde kullanılan kayaçlar için en önemli mekanik özelliktir (Karaca ve ark., 2010). Böhme aşınma dayanımı deneyi doğal kayaçların aşınma değerlerini belirlemek için kullanılan deneysel bir test metodudur (Çobanoğlu ve ark., 2010) ve bu metod, kaya mekaniğinde 1950'lerden beri kullanılmaktadır (İphar ve Gökhan, 2006). Böhme aşınma dayanımı deneyi, kayaçların yüzeyinin toz (aşındırıcı) ile sürtünerek aşındırmaya karşı direncini tespit etmeye yarar. Mühendislik

yapılarında kullanılan kayaçların yüzey aşınmalarından kaynaklanan problemleri aydınlatmak için Böhme aşınma dayanımı deneyi uygulanmaktadır. Bu çalışmada da kayaçların yapay bozunma deneyi (tuz kristallenmesi) ile yüzeylerinde oluşan bozunmanın, aşınma dayanımına etkisi Böhme aşınma dayanımı deneyi ile aydınlatılmaya çalışılmıştır. Örneklerin Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerleri EN 14157 (2004)'de önerilen yöntem vasıtasıyla belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan 10 farklı kayaç örneğine ait doğal ve tuz kristallenmesi periyotlarından sonra elde edilen ortalama Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerleri Çizelge 5.29'da verilmektedir. Deneyde kullanılan doğal örneklerden en büyük Böhme aşınma dayanımı değeri 28,22 $cm^3/50\ cm^2$ ile 10 nolu (tüf) örnekte, en küçük Böhme aşınma dayanımı değeri ise 6,88 $cm^3/50\ cm^2$ ile 1 nolu (granit) örnekte bulunmuştur. Tuz kristallenmesi deneyinin 5. tuzlu su periyodu sonunda kayaç örneklerinden elde edilen Böhme aşınma dayanımı değerlerine göre; en büyük aşınma miktarı 37,39 $cm^3/50\ cm^2$ ile 8 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı), en küçük aşınma miktarı 7,22 $cm^3/50\ cm^2$ ile 1 nolu (granit) örnekte bulunmuştur.

**Çizelge 5.29**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası belirlenen ortalama Böhme aşınma dayanımı (ΔV- $cm^3/50\ cm^2$) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 6,88±0,18 | 6,97±0,16 | 6,99±0,19 | 7,10±0,30 | 7,08±0,19 | 7,22±0,25 |
| 2 | 8,30±0,67 | 7,94±0,51 | 8,35±0,87 | 8,27±0,79 | 9,74±1,29 | 10,02±1,16 |
| 3 | 9,84±0,32 | 10,32±0,23 | 10,77±0,63 | 10,98±0,52 | 10,81±0,77 | 11,24±0,79 |
| 4 | 12,97±0,99 | 12,32±0,82 | 13,55±0,73 | 16,85±1,28 | 15,78±1,12 | 18,63±1,49 |
| 5 | 9,27±0,90 | 8,76±1,10 | 9,85±1,51 | 10,08±1,34 | 11,68±1,84 | 14,03±1,66 |
| 6 | 20,82±1,65 | 23,96±1,77 | 24,22±1,65 | 23,85±2,05 | 26,73±2,42 | 25,83±2,14 |
| 7 | 22,04±1,16 | 22,89±1,02 | 24,41±1,25 | 23,98±1,22 | 26,14±1,49 | 28,35±1,32 |
| 8 | 24,19±1,52 | 28,55±1,71 | 29,24±1,88 | 27,29±1,62 | 32,43±2,09 | 37,39±2,31 |
| 9 | 27,65±1,64 | 29,30±1,56 | 28,71±1,81 | 30,29±2,11 | 32,70±1,82 | 36,53±2,52 |
| 10 | 28,22±1,83 | 26,91±1,44 | 27,82±1,55 | 28,36±2,03 | 32,44±2,39 | 35,63±1,98 |

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.20; Çizelge 5.30). Tüm örneklerde tuz kristallenmesi periyotları ile Böhme aşınma dayanımı değerleri arasında pozitif bir ilişki gözlenmektedir. En yüksek korelasyon katsayısı değeri 0,935 ile 1 (granit) nolu örnekte, en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,721 ile 2 (granit porfir) nolu örnekte bulunmuştur.

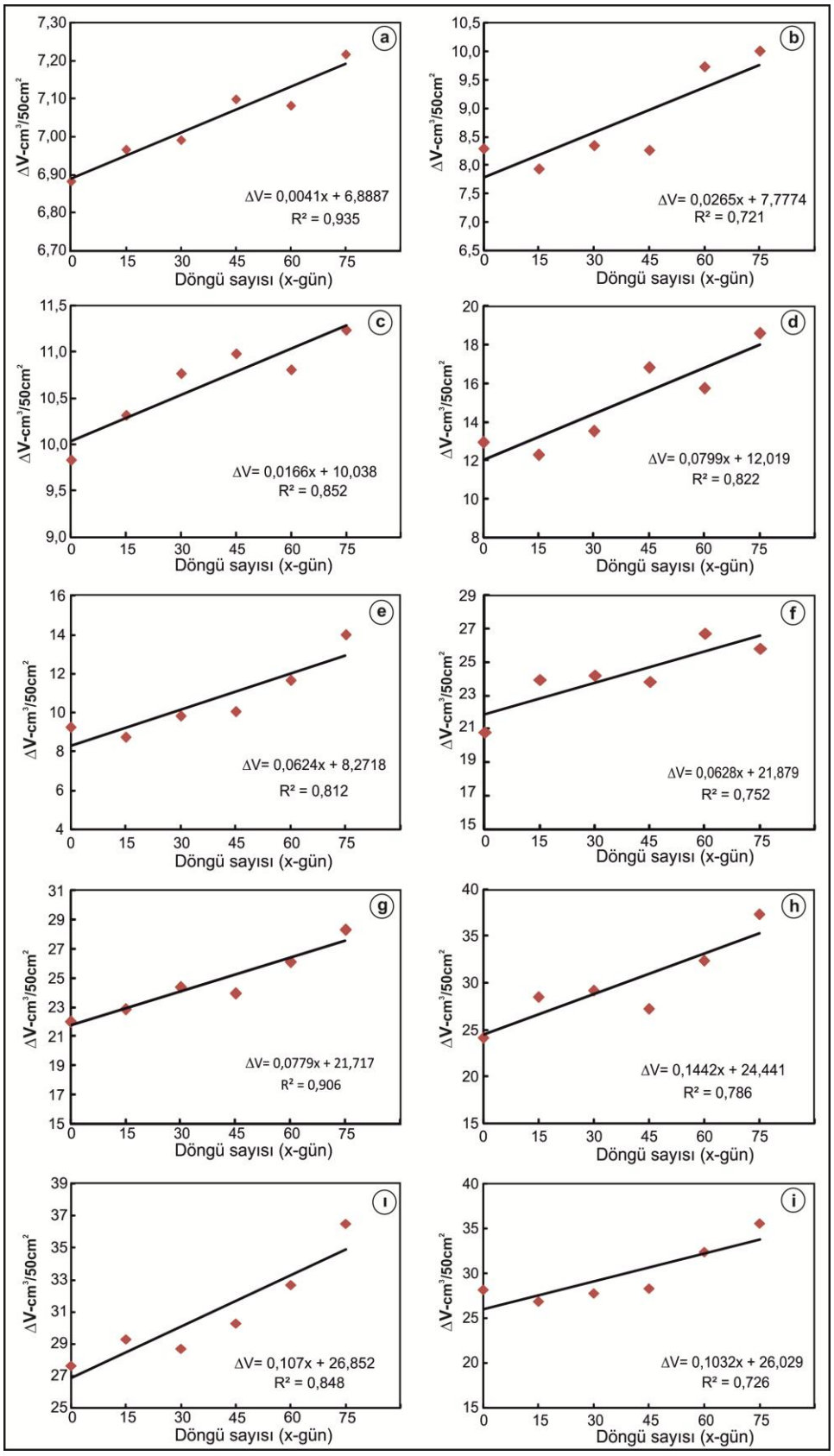
Deneyde kullanılan kayaç örneklerinin tuz kristallenmesi periyotları sonrası Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde tüm kayaç örneklerinde tuz kristallenmesine bağlı olarak Böhme aşınma dayanımı değerlerinin yüzdesel olarak arttığı gözlenmektedir (Çizelge 5.31). En fazla aşınma % 54,57 ile 8 (kristalin kireçtaşı) ve % 51,31 ile 5 (spilit) nolu örneklerde, en az aşınma ise % 4,86 ile 1 (granit) nolu örnekte olmuştur (Şekil 5.21). Porozitesi % 5'ten düşük olan 5 (spilit) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örneklerin Böhme aşınma dayanımı değerlerinin yüzdesel olarak daha yüksek çıkması bu kayaçların tuz kristallenmesi sonucu yüzeysel aşınmaya daha hassas olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm örneklerde Böhme aşınma dayanımı değerleri ilk 3 periyotta dalgalanma gösterirken en fazla yüzdesel aşınma 4. ve 5. periyotlarda meydana gelmiştir.

**Çizelge 5.30.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların Böhme aşınma dayanımı (ΔV- $cm^3/50\ cm^2$) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (x: döngü (gün) sayısı).

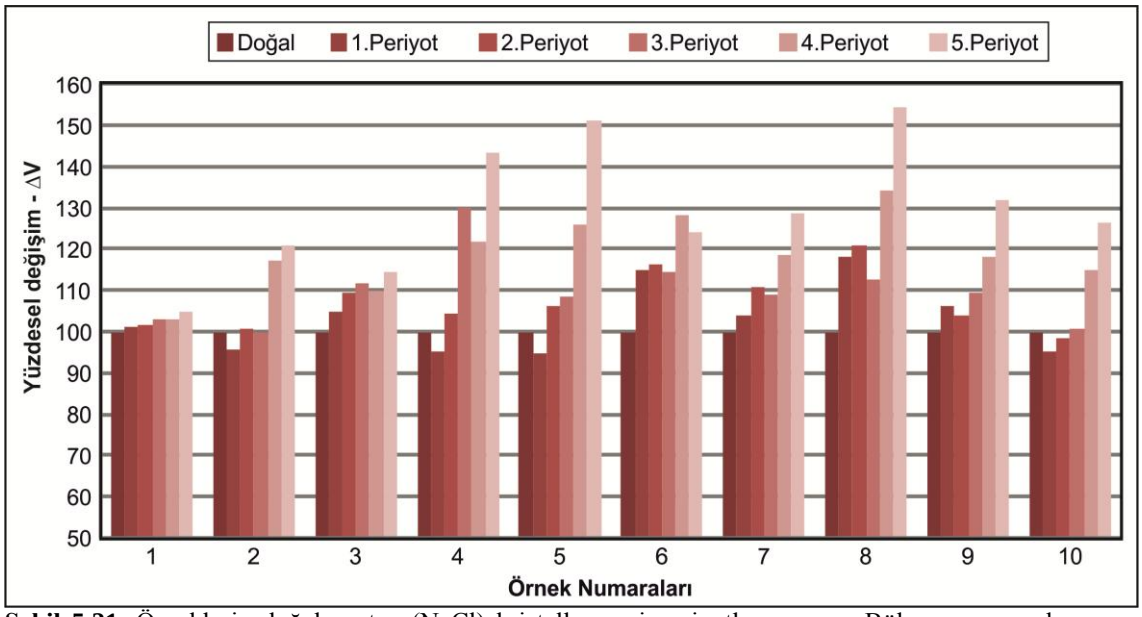
| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | ΔV= 0,0041x + 6,889 | 0,935 |
| 2 | ΔV = 0,0265x + 7,777 | 0,721 |
| 3 | ΔV = 0,0166x + 10,038 | 0,852 |
| 4 | ΔV = 0,0799x + 12,019 | 0,822 |
| 5 | ΔV = 0,0624x + 8,272 | 0,812 |
| 6 | ΔV = 0,0628x + 21,879 | 0,752 |
| 7 | ΔV = 0,0779x + 21,717 | 0,906 |
| 8 | ΔV = 0,1442x + 24,441 | 0,786 |
| 9 | ΔV = 0,107x + 26,852 | 0,848 |
| 10 | ΔV = 0,1032x + 26,029 | 0,726 |

**Çizelge 5.31**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel Böhme aşınma dayanımı değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 100 | 101,21 | 101,58 | 103,14 | 102,90 | 104,86 |
| 2 | 100 | 95,70 | 100,64 | 99,66 | 117,36 | 120,69 |
| 3 | 100 | 104,92 | 109,50 | 111,67 | 109,92 | 114,27 |
| 4 | 100 | 94,98 | 104,47 | 129,92 | 121,63 | 143,62 |
| 5 | 100 | 94,51 | 106,25 | 108,70 | 126,00 | 151,31 |
| 6 | 100 | 115,09 | 116,34 | 114,53 | 128,40 | 124,07 |
| 7 | 100 | 103,88 | 110,77 | 108,80 | 118,61 | 128,65 |
| 8 | 100 | 118,03 | 120,89 | 112,81 | 134,07 | 154,57 |
| 9 | 100 | 105,99 | 103,85 | 109,57 | 118,28 | 132,12 |
| 10 | 100 | 95,36 | 98,57 | 100,49 | 114,94 | 126,26 |




**Şekil 5.20.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama Böhme aşınma dayanımı ($\Delta V$- $cm^3/50\ cm^2$) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.21.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası Böhme aşınma dayanımı değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri.

### 5.4.4. Tuz (NaCl) kristallenmesinin suda dağılmaya karşı duraylılık İndeksi değerleri ($I_{d1}$, $I_{d2}$, $I_{d3}$, $I_{d4}$) üzerindeki etkisi

Franklin ve Chandra (1972), kayaçların ıslanma ve kuruma döngülerine maruz kaldığı zaman bozunma ve parçalanmaya karşı gösterdikleri direncin ölçülmesiyle kayaçlardaki alterasyonun etkisini değerlendirmek için Slake duraylılık testini geliştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerini belirlemek için yapılan deneyde, ISRM (1981)' de belirtilen yöntem uygulanmıştır. Gamble (1971), Ulusay ve ark. (1995 ve 2005) ve Gökçeoğlu ve ark. (2000), suda dağılmaya karşı duraylılığı yüksek kayaçlarda 2'den fazla tercihen 4 çevrim yapılarak, bu çevrimlerden elde edilen kayaç örneğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indekslerinin ($I_{d1}$, $I_{d2}$, $I_{d3}$, $I_{d4}$) kullanılmasını önermişlerdir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_d$) değeri belirlenirken 2 standart çevrim uygulanmaktadır. Bu çalışmada suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_d$) belirlenirken 4 standart çevrim uygulanmıştır. Tuz kristallenmesine maruz kalan 10 farklı kayaç örneğinin dış yüzeyinde bozunmalar meydana gelirken, bozunan bu kayaçların su altındaki duraylılığını aydınlatmak için, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi yapılarak kayaçların aşınımındaki değişimler ortaya konulmuştur.

Doğal ve tuz kristallenmesine maruz bırakılmış yuvarlak ve az yuvarlak şekilli numunelerde yapılan ortalama suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi % $I_{d1}$, % $I_{d2}$, %

$I_{d3}$ ve % $I_{d4}$ değerleri Çizelge 5.32'de verilmektedir. Buna göre doğal numuneler arasında; en yüksek % $I_{d2}$ değeri % 99,41 ile 1 nolu örnekte (granit), en düşük değer ise % 87,12 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. Doğal numuneler arasında en yüksek $I_{d4}$ değeri % 99,00 ile 1 nolu örnekte (granit), en düşük $I_{d4}$ değeri % 82,30 ile 10 nolu örnekte (tüf) belirlenmiştir. Deney yapılan doğal kayaç örneklerinin suda dağılmaya karşı indeks ($I_{d1}$ ve $I_{d4}$) değerleri arasındaki farka göre en küçük değer % 0,51 ile 1 nolu örnekte (granit) izlenirken en büyük değer ise % 10,31 ile 10 nolu örnekte (tüf) izlenmektedir.

Tuz kristallenmesi deneyinde 5. tuzlu su periyodu sonunda örnekler arasında en yüksek $I_{d2}$ değeri % 99,31 ile 1 nolu örnekte (granit), en düşük $I_{d2}$ değeri % 83,84 ile 9 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. 5. periyoda ait numuneler arasında en fazla % $I_{d4}$ değeri % 98,91 ile 1 nolu örnekte (granit), en az % 80,41 ile 10 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur. Tuz kristallenmesi deneyinin 5. tuzlu su periyodu sonunda kayaç örneklerinin $I_{d1}$ ve $I_{d4}$ değerleri arasındaki fark en az % 0,55 ile 1 nolu örnekte (granit), en fazla % 9,23 ile 10 nolu örnekte (tüf) bulunmuştur (Çizelge 5.32).

Tuz kristallenmesi (NaCl) deneyinde her bir periyota ait $I_{d2}$ ve $I_{d4}$ değerlerindeki değişimi yansıtan grafikler hazırlanarak bu grafiklere ait denklem ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.22 ve 5.23; Çizelge 5.33). Çalışmada kullanılan tüm kayaçların $I_{d1}$ ve $I_{d4}$ değerlerinde tuz kristallenmesinin (NaCl) ilk periyodundan itibaren bir azalma olup periyot sayısı ile $I_{d2}$ ve $I_{d4}$ değerleri arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Periyot sayısı ile $I_{d2}$ değeri arasında en yüksek korelasyon katsayısı değeri 0,963 ile 10 nolu örnekte (tüf), en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,758 ile 3 nolu örnekte (bazalt) bulunmuştur. Periyot sayısı ile $I_{d4}$ değeri arasında en yüksek korelasyon katsayısı değeri 0,965 ile 6 nolu örnekte (mermer), en düşük korelasyon katsayısı değeri 0,808 ile 3 nolu örnekte (bazalt) bulunmuştur.

Gamble (1971) tarafından yapılan suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi sınıflamasından yararlanılarak, çalışmada kullanılan kayaçların doğal ve 5. periyot sonunda elde edilen $I_{d2}$ ve $I_{d4}$ değerlerine göre, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi sınıflaması yapılmıştır (Çizelge 5.34). $I_{d4}$ göre; 1 (granit), 2 (granit porfir) ve 3 (bazalt) nolu örnekler "çok yüksek duraylı", 4 (andezit), 5 (spilit), 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekler "yüksek duraylı", 9 ile 10 nolu örnekler (tüf) ise "orta duraylı" sınıfına girmektedirler.

**Çizelge 5.32**. Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası belirlenen ortalama suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d1}$-%, $I_{d4}$-%) değerleri.

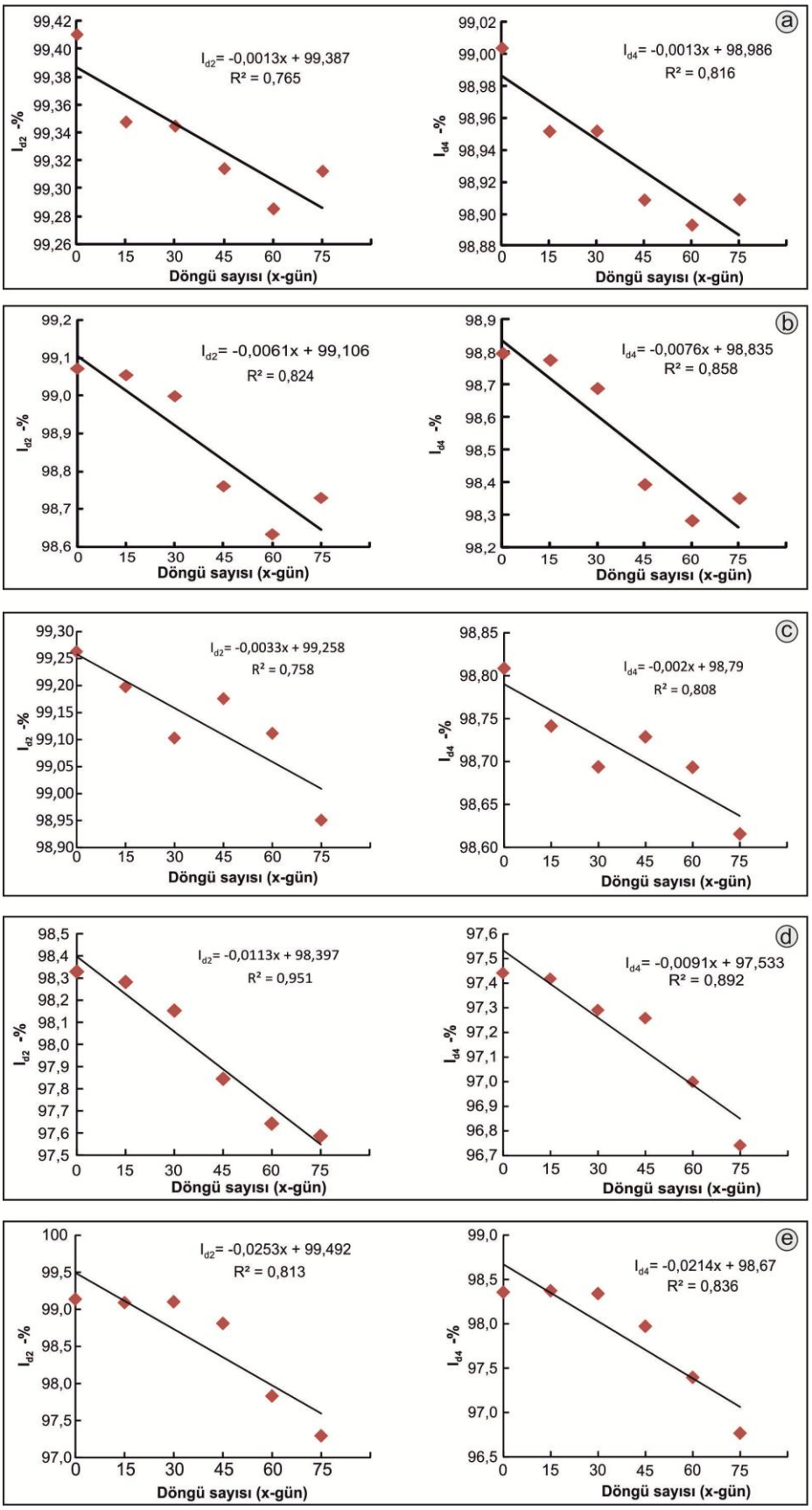
| Örnek No | | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | % $I_{d1}$ | 99,51 | 99,48 | 99,47 | 99,46 | 99,44 | 99,46 |
| | % $I_{d2}$ | 99,41 | 99,35 | 99,35 | 99,31 | 99,29 | 99,31 |
| | % $I_{d3}$ | 99,15 | 99,11 | 99,11 | 99,03 | 99,01 | 99,04 |
| | % $I_{d4}$ | 99,00 | 98,95 | 98,95 | 98,91 | 98,89 | 98,91 |
| 2 | % $I_{d1}$ | 99,40 | 99,40 | 99,37 | 99,17 | 99,09 | 99,15 |
| | % $I_{d2}$ | 99,07 | 99,06 | 99,00 | 98,76 | 98,63 | 98,73 |
| | % $I_{d3}$ | 98,93 | 98,91 | 98,83 | 98,56 | 98,44 | 98,54 |
| | % $I_{d4}$ | 98,80 | 98,78 | 98,69 | 98,39 | 98,28 | 98,35 |
| 3 | % $I_{d1}$ | 99,43 | 99,41 | 99,37 | 99,40 | 99,38 | 99,32 |
| | % $I_{d2}$ | 99,26 | 99,20 | 99,10 | 99,18 | 99,11 | 98,95 |
| | % $I_{d3}$ | 98,92 | 98,87 | 98,83 | 98,86 | 98,81 | 98,70 |
| | % $I_{d4}$ | 98,81 | 98,74 | 98,69 | 98,73 | 98,69 | 98,62 |
| 4 | % $I_{d1}$ | 98,91 | 98,86 | 98,70 | 98,37 | 98,24 | 97,97 |
| | % $I_{d2}$ | 98,33 | 98,28 | 98,15 | 97,84 | 97,64 | 97,59 |
| | % $I_{d3}$ | 97,74 | 97,73 | 97,60 | 97,56 | 97,29 | 97,17 |
| | % $I_{d4}$ | 97,44 | 97,42 | 97,29 | 97,26 | 97,00 | 96,74 |
| 5 | % $I_{d1}$ | 99,37 | 99,16 | 99,20 | 99,06 | 98,47 | 97,82 |
| | % $I_{d2}$ | 99,14 | 99,09 | 99,10 | 98,81 | 97,83 | 97,29 |
| | % $I_{d3}$ | 98,77 | 98,83 | 98,76 | 98,45 | 97,58 | 97,16 |
| | % $I_{d4}$ | 98,36 | 98,37 | 98,34 | 97,97 | 97,39 | 96,76 |
| 6 | % $I_{d1}$ | 97,69 | 97,47 | 97,52 | 97,29 | 97,12 | 96,98 |
| | % $I_{d2}$ | 97,07 | 96,93 | 96,76 | 96,31 | 96,07 | 96,06 |
| | % $I_{d3}$ | 96,82 | 96,52 | 96,41 | 96,03 | 95,84 | 95,72 |
| | % $I_{d4}$ | 96,46 | 96,08 | 96,07 | 95,74 | 95,60 | 95,31 |
| 7 | % $I_{d1}$ | 99,01 | 98,95 | 98,82 | 98,86 | 98,68 | 98,71 |
| | % $I_{d2}$ | 98,74 | 98,71 | 98,59 | 98,63 | 98,45 | 98,44 |
| | % $I_{d3}$ | 98,58 | 98,52 | 98,45 | 98,44 | 98,25 | 98,23 |
| | % $I_{d4}$ | 98,41 | 98,32 | 98,30 | 98,22 | 98,07 | 97,98 |
| 8 | % $I_{d1}$ | 98,15 | 97,88 | 97,99 | 97,80 | 97,29 | 97,08 |
| | % $I_{d2}$ | 97,61 | 97,66 | 97,33 | 97,39 | 97,11 | 96,65 |
| | % $I_{d3}$ | 97,30 | 97,34 | 97,26 | 97,04 | 96,75 | 96,57 |
| | % $I_{d4}$ | 97,04 | 96,97 | 96,82 | 96,79 | 96,52 | 96,18 |
| 9 | % $I_{d1}$ | 90,37 | 90,24 | 89,17 | 89,08 | 87,44 | 87,42 |
| | % $I_{d2}$ | 87,12 | 87,10 | 85,91 | 85,68 | 84,01 | 83,84 |
| | % $I_{d3}$ | 85,59 | 85,28 | 84,10 | 83,33 | 82,54 | 82,60 |
| | % $I_{d4}$ | 82,97 | 82,75 | 82,09 | 81,16 | 80,46 | 80,52 |
| 10 | % $I_{d1}$ | 92,61 | 91,61 | 90,93 | 90,59 | 90,26 | 89,64 |
| | % $I_{d2}$ | 87,88 | 87,34 | 86,18 | 85,61 | 85,08 | 84,81 |
| | % $I_{d3}$ | 84,40 | 83,94 | 82,89 | 82,41 | 82,25 | 81,64 |
| | % $I_{d4}$ | 82,30 | 82,11 | 81,78 | 81,03 | 80,54 | 80,41 |

**Çizelge 5.33.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$-%, $I_{d4}$-%) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (x: döngü (gün) sayısı).

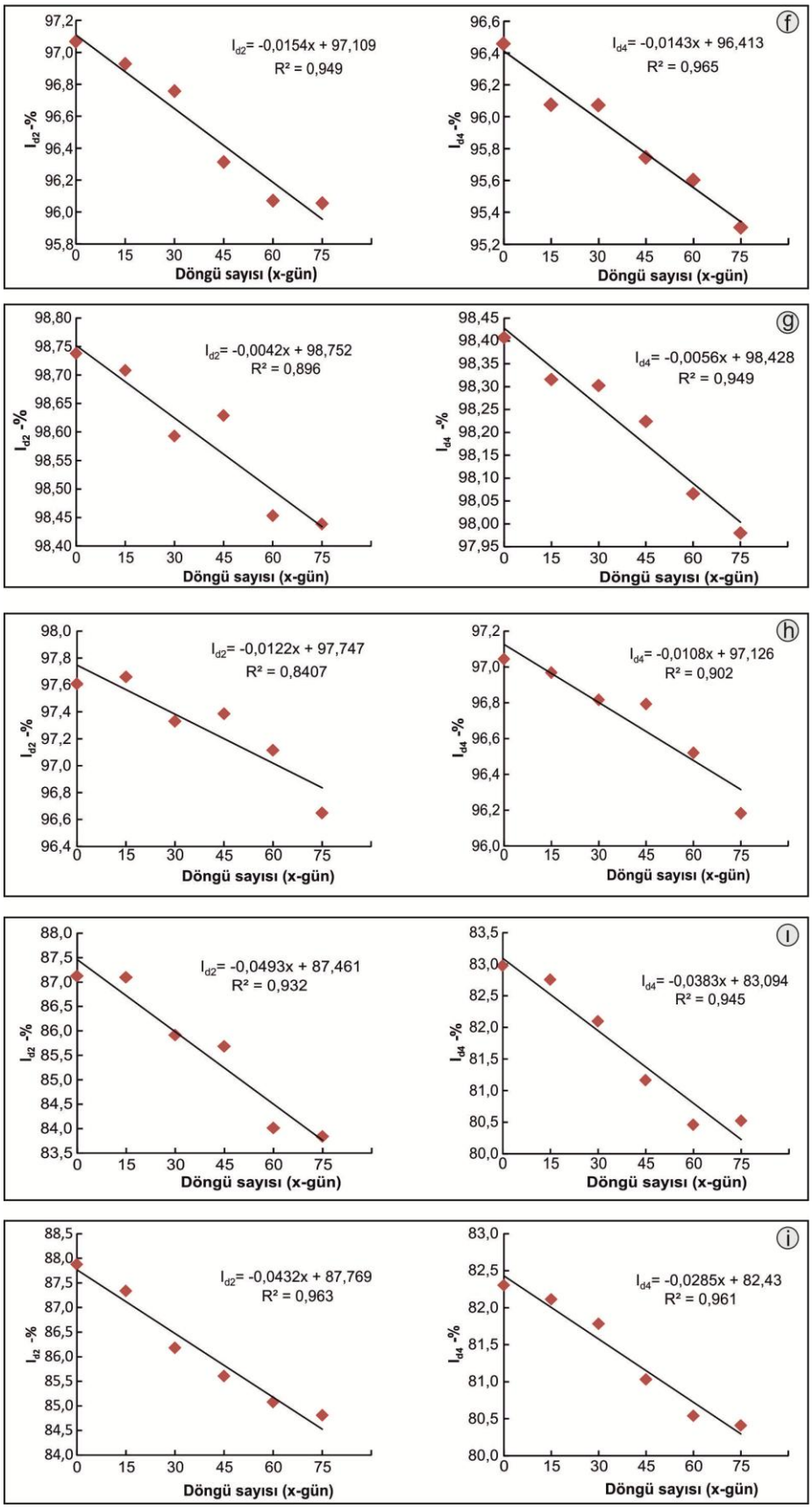
| Örnek No | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|
| 1 | $I_{d2}$= -0,0013x + 99,387 | 0,765 |
| | $I_{d4}$= -0,0013x + 98,986 | 0,816 |
| 2 | $I_{d2}$= -0,0061x + 99,106 | 0,824 |
| | $I_{d4}$= -0,0076x + 98,835 | 0,858 |
| 3 | $I_{d2}$= -0,0033x + 99,258 | 0,758 |
| | $I_{d4}$= -0,002x + 98,790 | 0,808 |
| 4 | $I_{d2}$= -0,0113x + 98,397 | 0,951 |
| | $I_{d4}$= -0,0091x + 97,533 | 0,892 |
| 5 | $I_{d2}$= -0,0253x + 99,492 | 0,813 |
| | $I_{d4}$= -0,0214x + 98,670 | 0,836 |
| 6 | $I_{d2}$= -0,0154x + 97,109 | 0,949 |
| | $I_{d4}$= -0,0143x + 96,413 | 0,965 |
| 7 | $I_{d2}$= -0,0042x + 98,752 | 0,896 |
| | $I_{d4}$= -0,0056x + 98,428 | 0,949 |
| 8 | $I_{d2}$= -0,0122x + 97,747 | 0,841 |
| | $I_{d4}$= -0,0108x + 97,126 | 0,902 |
| 9 | $I_{d2}$= -0,0493x + 87,461 | 0,932 |
| | $I_{d4}$= -0,0383x + 83,094 | 0,945 |
| 10 | $I_{d2}$= -0,0432x + 87,769 | 0,963 |
| | $I_{d4}$= -0,0285x + 82,430 | 0,961 |

**Çizelge 5.34.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi sınıflaması (Gamble,1971).

| Örnek No | Doğal | | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | |
|---|---|---|---|---|
| | % $I_{d2}$ | % $I_{d4}$ | % $I_{d2}$ | % $I_{d4}$ |
| 1 | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı |
| 2 | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı |
| 3 | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı |
| 4 | Çok yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı |
| 5 | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı |
| 6 | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı |
| 7 | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Çok yüksek duraylı | Yüksek duraylı |
| 8 | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı | Yüksek duraylı |
| 9 | Orta yüksek duraylı | Orta duraylı | Orta duraylı | Orta duraylı |
| 10 | Orta yüksek duraylı | Orta duraylı | Orta duraylı | Orta duraylı |




**Şekil 5.22.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$-%, $I_{d4}$-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit).

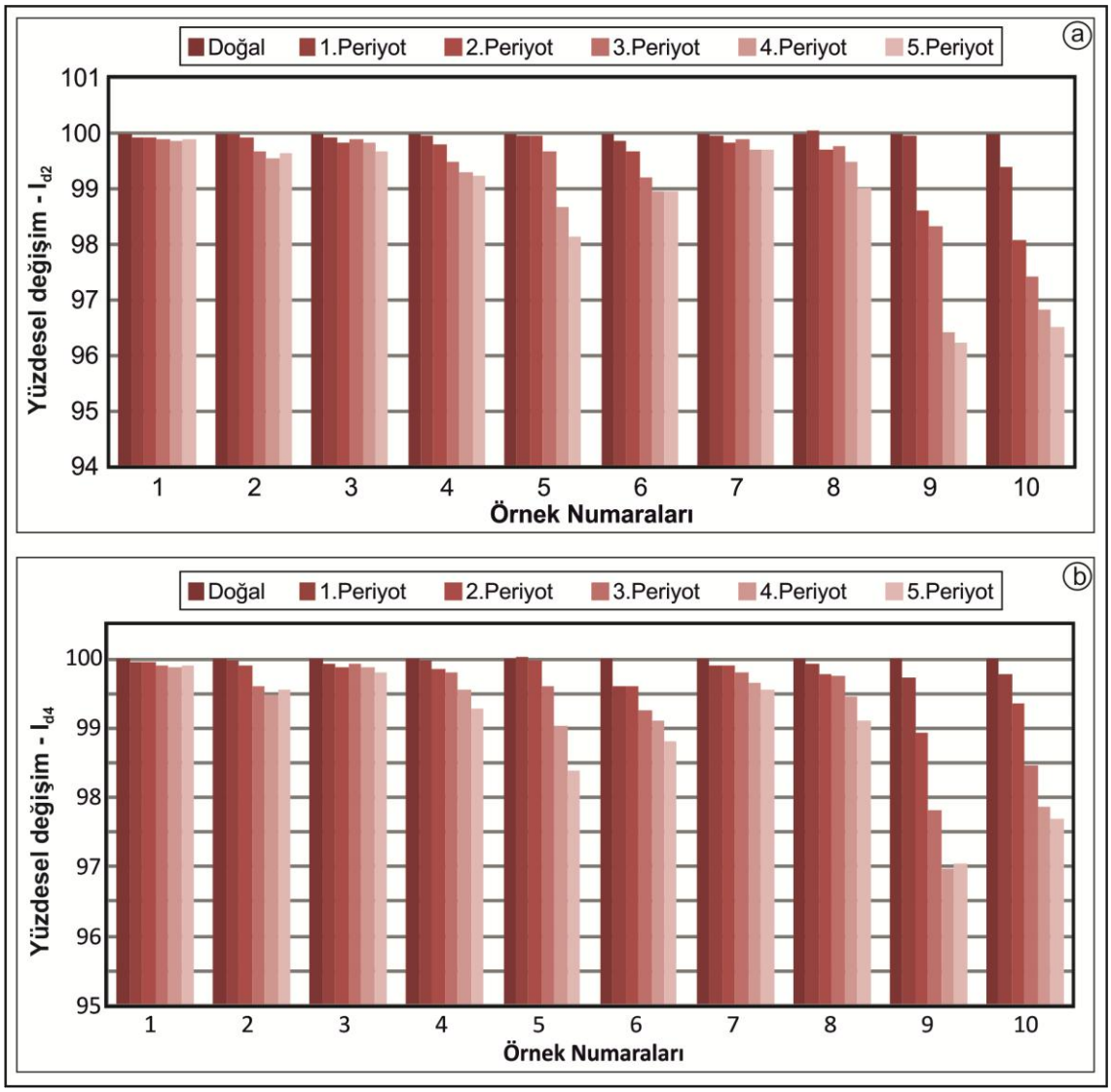



**Şekil 5.23.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası ortalama suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$-%, $I_{d4}$-%) değerlerindeki değişimlerin grafiksel gösterimi: f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

Kayaçların tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$, $I_{d4}$) değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde tüm örneklerde yüzdesel bir azalmanın olduğu gözlenmektedir. Tuz kristallenmesinin 5. periyotu sonunda $I_{d2}$ değerinde en fazda yüzdesel değişim % 3,49 ile 10 (tüf) ve % 3,77 ile 9 (tüf) nolu örneklerde, en az yüzdesel değişim ise % 0,099 ile 1 (granit) nolu örnekte bulunmuştur. Tuz kristallenmesinin 5. periyotu sonunda $I_{d4}$ değerinde en fazda yüzdesel değişim % 2,96 ile 9 (tüf) ve % 2,30 ile 10 (tüf) nolu örneklerde, en az yüzdesel değişim ise % 0,096 ile 1 (granit) nolu örnekte bulunmuştur (Çizelge 5.35 ve Şekil 5.24 a, b).

**Çizelge 5.35.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası yüzdesel suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri.

| Örnek No | | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,937 | 99,934 | 99,903 | 99,874 | 99,901 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,947 | 99,948 | 99,904 | 99,888 | 99,904 |
| 2 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,983 | 99,926 | 99,685 | 99,557 | 99,654 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,979 | 99,891 | 99,592 | 99,480 | 99,549 |
| 3 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,934 | 99,839 | 99,912 | 99,848 | 99,686 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,932 | 99,884 | 99,919 | 99,883 | 99,805 |
| 4 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,953 | 99,821 | 99,507 | 99,302 | 99,245 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,975 | 99,845 | 99,812 | 99,546 | 99,282 |
| 5 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,951 | 99,962 | 99,670 | 98,682 | 98,141 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 100,016 | 99,982 | 99,609 | 99,022 | 98,382 |
| 6 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,857 | 99,681 | 99,224 | 98,974 | 98,958 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,604 | 99,601 | 99,260 | 99,113 | 98,806 |
| 7 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,970 | 99,853 | 99,890 | 99,712 | 99,697 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,907 | 99,894 | 99,814 | 99,653 | 99,566 |
| 8 | % $I_{d2}$ | 100 | 100,053 | 99,715 | 99,773 | 99,494 | 99,017 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,922 | 99,765 | 99,741 | 99,460 | 99,111 |
| 9 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,970 | 98,612 | 98,349 | 96,431 | 96,233 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,737 | 98,943 | 97,820 | 96,970 | 97,044 |
| 10 | % $I_{d2}$ | 100 | 99,385 | 98,070 | 97,415 | 96,815 | 96,511 |
| | % $I_{d4}$ | 100 | 99,768 | 99,367 | 98,454 | 97,856 | 97,699 |




**Şekil 5.24.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotları sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerindeki yüzdesel değişimlerin sütunsal grafikleri a) $I_{d2}$, b) $I_{d4}$.

## 5.5. Tuz (NaCl) Kristallenmesi Sonucu Kayaçların Makroskopik ve Mikroskopik Özelliklerinin İncelenmesi

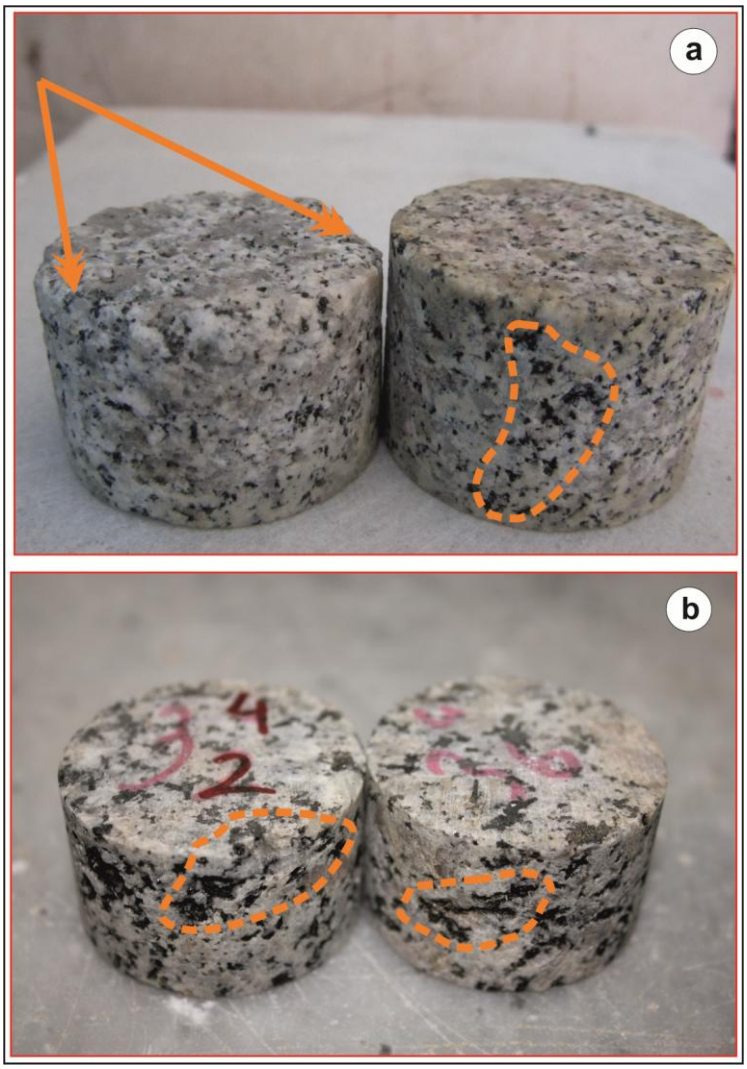
Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaç örneklerinde gözlenen makroskopik (gözle ayırt edilebilen) ve mikroskopik (polarizan mikroskop altında ve taramalı elektron mikroskop (SEM) ile gözlenebilen) değişimler incelenmiştir.

### 5.5.1. Makroskopik özellikler

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabi tutulan kayaç örneklerinin dış yüzeylerinde gözle görülür düzeyde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu dokusal değişiklikler bazı kayaç örneklerinde az gözlemlenirken, bazı kayaç örneklerinde ise oldukça belirgindir. Tuz (NaCl) kristalizasyonudan kaynaklanan bozunma sonucu makroskopik olarak meydana gelen değişimler, periyotlar arasında bazen az, bazen fazla olmaktadır. Ancak aynı periyot içinde tuz kristallenmesine maruz kalan aynı kayacın farklı numunelerinde bile farklı dokusal değişiklikler izlenmiştir.

**1 nolu örnekte (granit) ve 2 nolu örnekte (granit porfir) gözlenen makroskopik değişimler:**

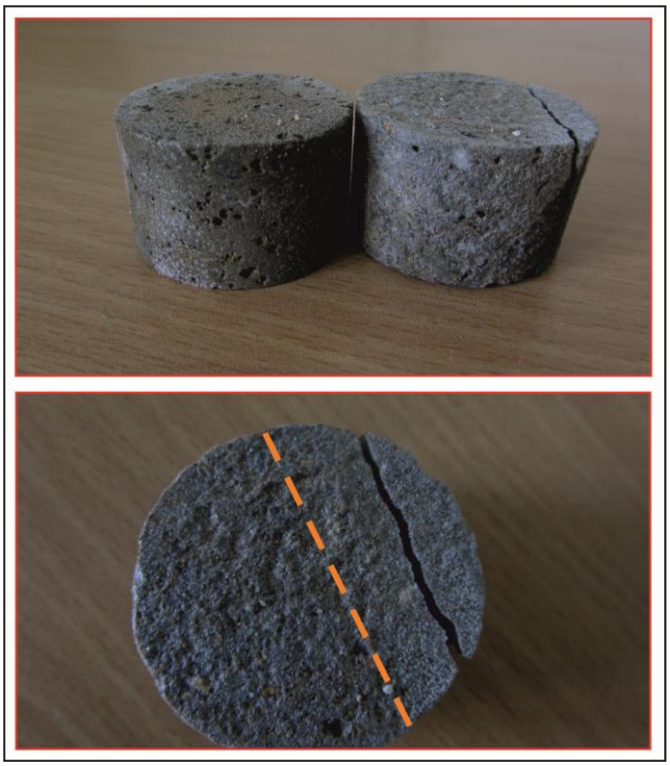
Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 1 ve 2 numaralı kayaç örneklerine ait karot numunelerinin dış yüzeyleri incelendiğinde bozunmanın köşelerden başladığı gözlenmektedir. Özellikle 1 numaralı kayaç örneğindeki kenarların aşınarak örneğin şeklini (dairesel) değiştirdiği gözlenmektedir. Ayrıca her iki kayaç örneğinde de biyotit minerallerinde meydana gelen bozulmalara bağlı dökülmeler sonucu kayaç yüzeyindeki röliyef farkı çok net olarak izlenmektedir. Bu mineraller bir toplu iğne veya tırnak ile kolayca yerinden oynatılabilmektedir. Kayaçta yan yana bulunan minerallerden bozulması daha kolay olan mineralin bozulmasına bağlı olarak yanında bulunan bozulması daha zor mineralleri yerinden oynatarak kayaçtan kopardığı izlenmektedir. Örneğin koyu renkli minerallerin (biyotit) daha kolay bozuşarak kayaçtan ayrıldığı fakat ilerleyen periyotlarla koyu renkli mineraller yanında bulunan açık renkli minerallerinde (feldispat ve kuvars) kayaçtan koparak ayrıldığı izlenmiştir (Şekil 5.25).




**Şekil 5.25.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra bozunmadan kaynaklanan kayaç yüzeyinde gözlenen röliyef farkı ve mineral kopmaları a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir).

**3 nolu örnekte (bazalt) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 3 numaralı kayaç örneğinin dış yüzeyinde çok belirgin bir bozunma izlenmemektedir. Fakat kayacın dış yüzeyinde doğal olarak bulunan boşlukların daha belirgin hal aldığı ve ondüleli yapı kazandığı gözlenmektedir. Deneye tabii tutulan bazalt örnekleri arasında bazı kayaç örneklerinde tamamen ayrılmalar gözlenmiştir (Şekil 5.26).



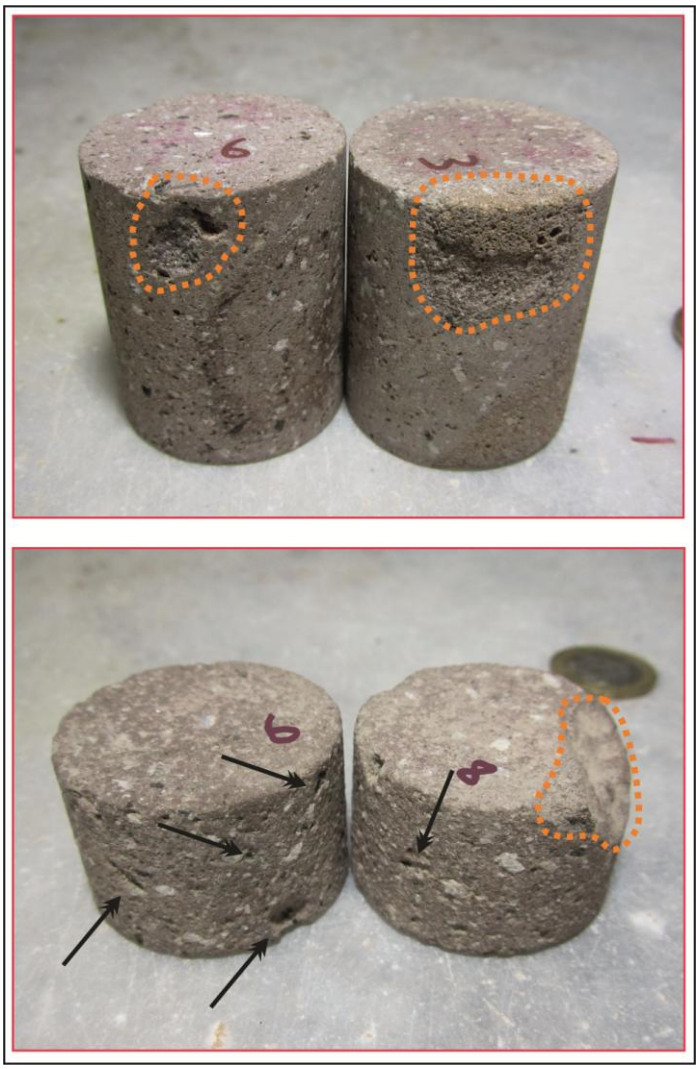
**Şekil. 5.26.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 3 nolu örnekte (bazalt) gözlenen gözeneklerde genişleme ve yüzeydeki dalgalanma ile süreksizlik oluşumu.

**4 nolu örnekte (andezit) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 4 numaralı kayaç örneğinin dış yüzeyinde bulunan anklavların bozunma ile aşındığı, ayrıca plajiyoklas fenokristalleri ve biyotitlerin bozulmalara bağlı olarak koptuğu gözlenmektedir. Kayaçtan koparak ayrılan minerallerin yerlerinde boşluklar bulunmaktadır. Bazı kayaçların ise kenarlarında kopmalar gözlenmektedir (Şekil 5.27).

**5 nolu örnekte (spilit) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 5 numaralı kayaç örneğinin bütününde belirgin bir şekilde yayılım gösteren çubuksu minerallerin (plajiyoklas fenokristalleri) tuz kristallenmesi sonucu yer yer tamamen aşınarak yerinden koptuğu ve kayaçta gözenekli yapı oluşturduğu gözlenmektedir. Bazı kayaç örneklerinde ise süreksizlik düzlemleri gözlenmiştir. Deneyin ilerleyen periyotlarında ise yer yer kayaç hamurunun (plajiyoklas mikrolitleri, volkanik cam ve opak mineraller) bozunarak boşluk oluşturduğu gözlenmektedir (Şekil 5.28).



**Şekil 5.27.**Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 4 nolu örnekte (andezit) gözlenen minerallerin bozunmaları sonucu oluşan boşluklar ve yüzeydeki aşınma ve kopmalar.



**Şekil 5.28.**Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 5 nolu örnekte (spilit) gözlenen süreksizlik düzlemi, aşınma ve kopmalar.

**6 nolu örnekte (mermer) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 6 numaralı kayaç örneğinin dış yüzeyinde belirginleşen bozunmalar izlenmektedir. Köşelerin çoğunlukla aşındığı ve pütürlü bir yüzey oluştuğu, yer yer de kopmaların olduğu gözlenmektedir. Tuz kristallenmesi sonucu kayacın çekilme basıncı yenilmiş ve buna bağlı olarak kayaçta küçük çatlaklar oluşmuştur. Kayacın dış yüzeyindeki bozunmanın bir görünümü de kavlama şeklinde izlenmektedir. Ayrıca kayaçta bulunan süreksizlikler arasındaki dolgu malzemesinin de bozunduğu ve burada zayıf bir zon oluşturduğu gözlenmektedir (Şekil 5.29).



**Şekil 5.29.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 6 nolu örnekte (mermer) süreksizlik düzlemi boyunca gözlenen bozunma ile kayaç yüzeyindeki kavlamalar.

**7 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 7 numaralı örneğin kenarlarında yer yer kopmalar gözlenirken bazı kayaç örneklerinde ise kenarların aşınarak pürüzlü bir yapı kazandığı gözlenmiştir. Kayaçtaki muhtemel fosil izlerinin ve mikro çatlakların ilerleyen tuz kristallenmesi periyotları sonucunda daha fazla bozundukları izlenmiştir (Şekil 5.30).



**Şekil 5.30.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı) yüzeyinde gözlenen dalgalanma, kopma ve yüzeyde $CaCO_3$ birikimi.

**8 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 8 numaralı örneğin tuzlu su ile teması sonucu kayaçtaki bazı mineraller çözünerek dış yüzeylerin pütürlü bir görünüm kazanmasına yol açmıştır. Kayacın dış yüzeyinde yer yer beyaz renkli ince zar şeklinde $CaCO_3$ bileşimli kabuk oluşumları izlenmektedir. Ayrıca kayaçta var olan boşlukların genişlediği ve bu boşlukların etrafında çatlakların geliştiği gözlenmektedir (Şekil 5.31).



**Şekil 5.31.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 8 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) gözlenen $CaCO_3$ bileşimli kabuk oluşumları, mineral bozunmaları sonucu oluşan boşluklar, aşınmalar ve kopmalar.

**9 nolu örnekte (tüf) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 9 numaralı örneğin var olan gözeneklerin boyutlarının büyüdüğü izlenmektedir. Ayrıca dış yüzeyde izlenen anklavlar daha hızlı bozunarak dış yüzeyde belirgin boşlukların oluşmasına sebep olmuştur. Kayacın kenarlarında ise kopmalar izlenmektedir (Şekil 5.32).



**Şekil 5.32.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 9 nolu örnekte (tüf) gözeneklerde genişleme, aşınma ve kopmalar.

**10 nolu örnekte (tüf) gözlenen makroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 10 numaralı örnekte var olan gözeneklerin boyutlarının büyüdüğü ve sayısının arttığı izlenmektedir. Kayacın dış yüzeyinde ise yer yer kopmalar gözlenmiştir. Ayrıca kayaçta bulunan beyaz renkli pomzalar daha hızlı bir şekilde bozularak, bulundukları yerlerde boşluklar meydana getirmişlerdir (Şekil 5.33).



**Şekil 5.33.** Tuz kristallenmesi deneyinden sonra 10 nolu örneğin (tüf) gözeneklerinin genişlemesi, aşınma ve kopmalar.

### 5.5.2. Mikroskopik özellikler

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaçlarda meydana gelen dokusal değişimler Polarizan mikroskop altında ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizleri ile incelenmiştir.

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaçlarda deneyin ilerleyen periyotlarına bağlı olarak kayaç dokusunda değişiklikler gözlenmektedir. Bu dokusal değişiklikler bazı kayaç örneklerinde az gözlemlenirken, bazı kayaç örneklerinde ise oldukça belirgindir. Tuz kristallenmesinden kaynaklanan bozunmanın dokusal özelliklerde meydana getirdiği değişimler, periyotlar arasında göreceli olarak bazen az

bazen fazla olmaktadır. Bu bağlamda son periyottaki tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan kayaç örneklerinden yapılan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelendiğinde değişimler daha açık gözlemlenmektedir. Ayrıca taramalı elektron mikroskop (SEM) ve EDS analizleri yardımı ile tuz kristallenmesinin kayaç üzerinde etkileri daha detaylı biçimde araştırılmıştır.

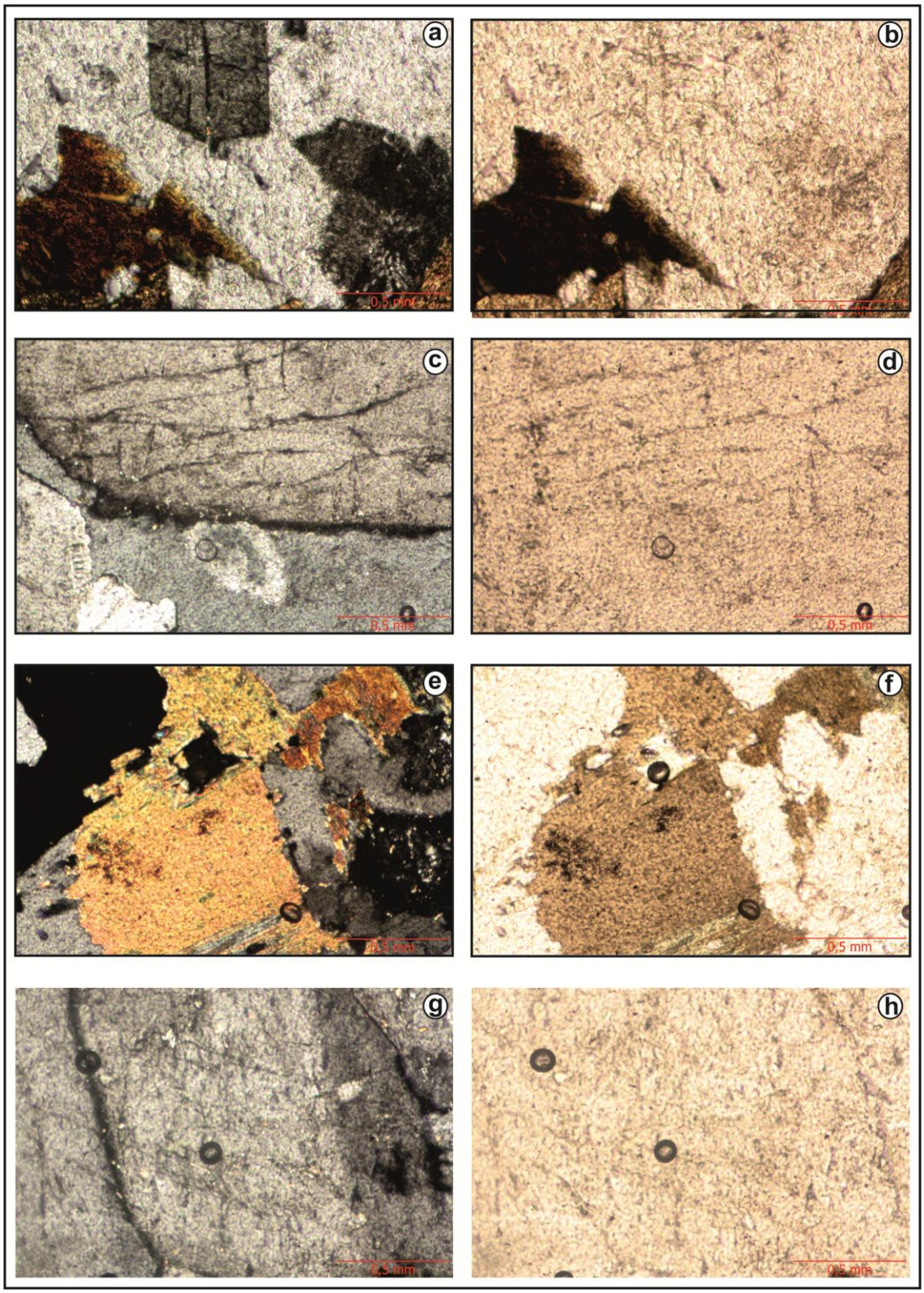
#### 5.5.2.1. Tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası polarizan mikroskop ile mikroskopik değişimlerin incelenmesi

**1 nolu (granit) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

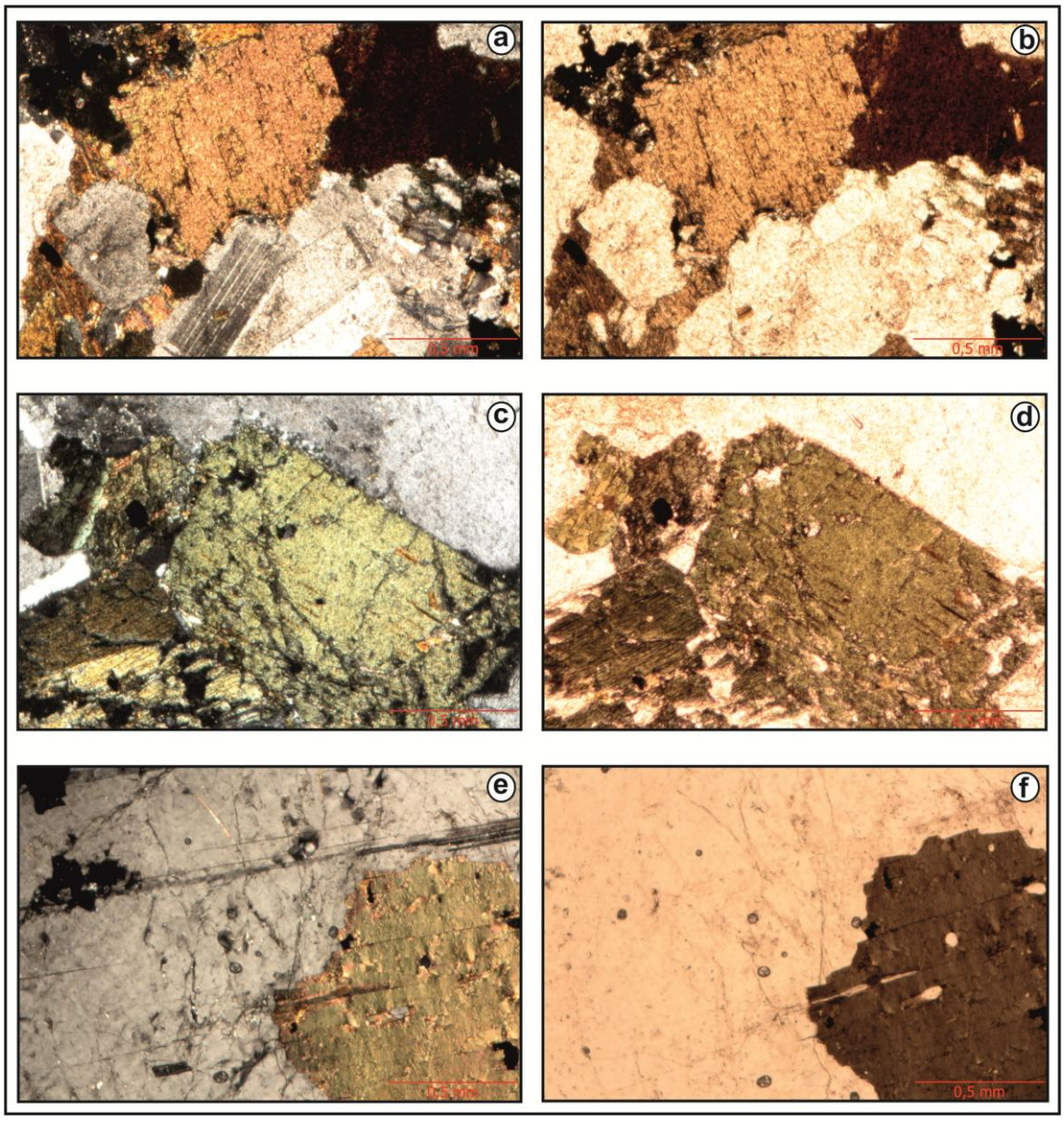
Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 1 numaralı örneğe ait dokusal değişiklik çok belirgin olmamakla birlikte bazı plajiyoklas minerallerinde dilinimler ve mikro çatlak oluşumları gözlenmektedir. Biyotit minerallerinde ise çoğunlukla bozunma ile gözenek oluşumu ve dilinim düzlemine dik veya belirli açılarda gelişmiş çatlaklar gözlenmektedir (Şekil 5.34)

**2 nolu (granit porfir) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

2 nolu doğal örneğe ait incekesitler incelendiğinde biyotit minerallerinde dilinime paralel küçük boyutlu çatlaklar mevcut olmasına rağmen plajiyoklas minerallerinde herhangi bir çatlak veya bozunma gözlenmemektedir (Şekil 5.35 a, b). Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine maruz kalan örneklerde ise özellikle plajiyoklas minerallerinde uzun eksene dik veya belirli bir açı ile gelişmiş çatlaklar gözlenmektedir. Biyotit minerallerinde ise dilinim düzlemleri boyunca ayrılmalar ve çatlak oluşumları gözlenmektedir. Ayrıca amfibol minerallerinde ise düzensiz çatlak oluşumu ve yer yer gözeneklilik oluşumu gözlenmektedir (Şekil 5.35 c, d, e, f).



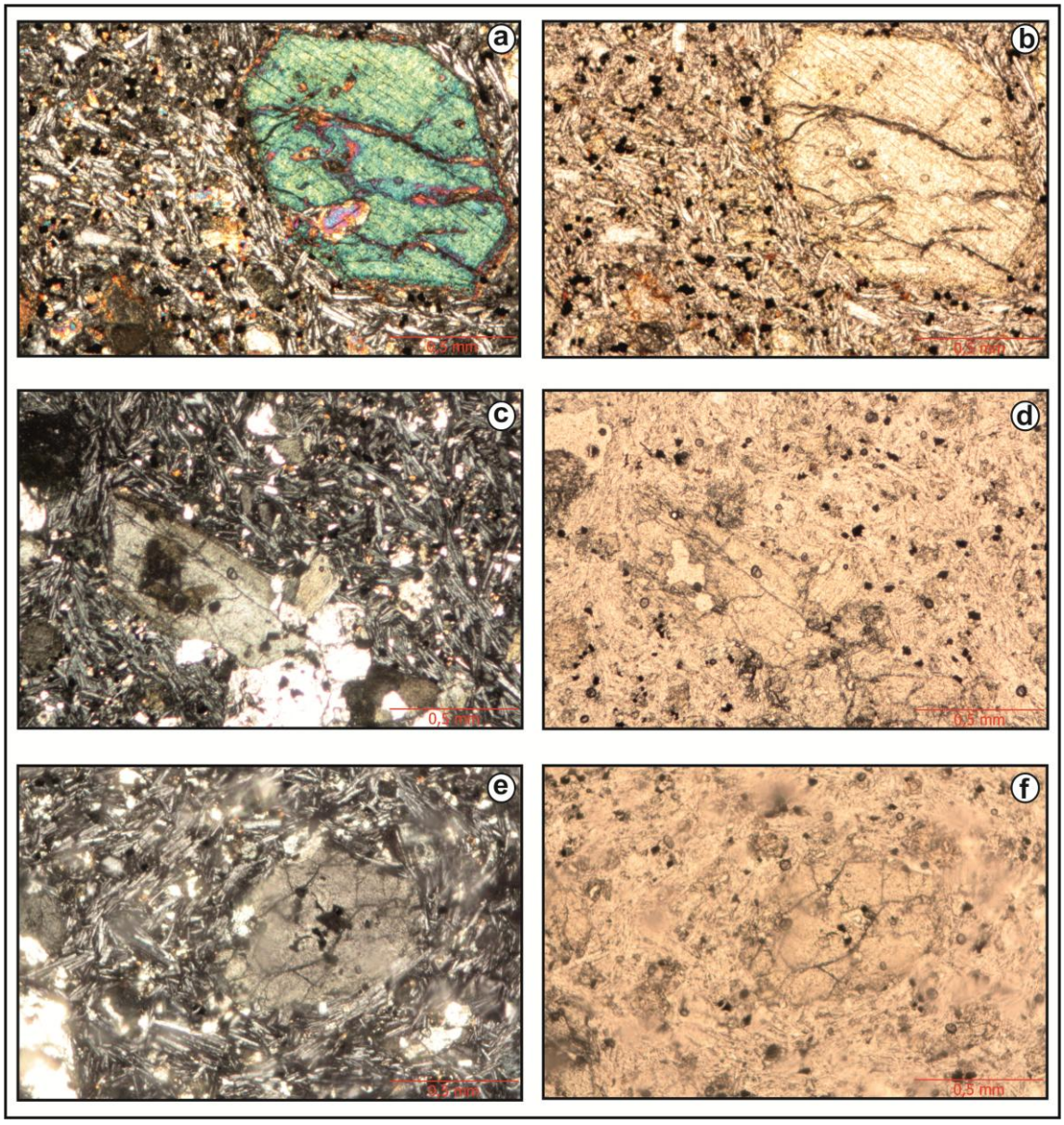

**Şekil 5.34.** 1 nolu örneğe (granit) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f,g,h: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) (a,c,e,g: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri; b,d,f,h: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).




**Şekil 5.35.** 2 nolu örneğe (granodiyorit) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

**3 nolu (bazalt) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 3 numaralı bazalt örneğinde çok belirgin dokusal değişiklik gözlenmemektedir. Fakat kayaçta var olan boşlukların boyutlarının genişlediği gözlenirken bazı mineral (plajiyoklas, piroksen) yüzeylerinde var olan çatlakların genişlediği ve yer yer yeni çatlak oluşumlarının geliştiği gözlenmektedir (Şekil 5.36).

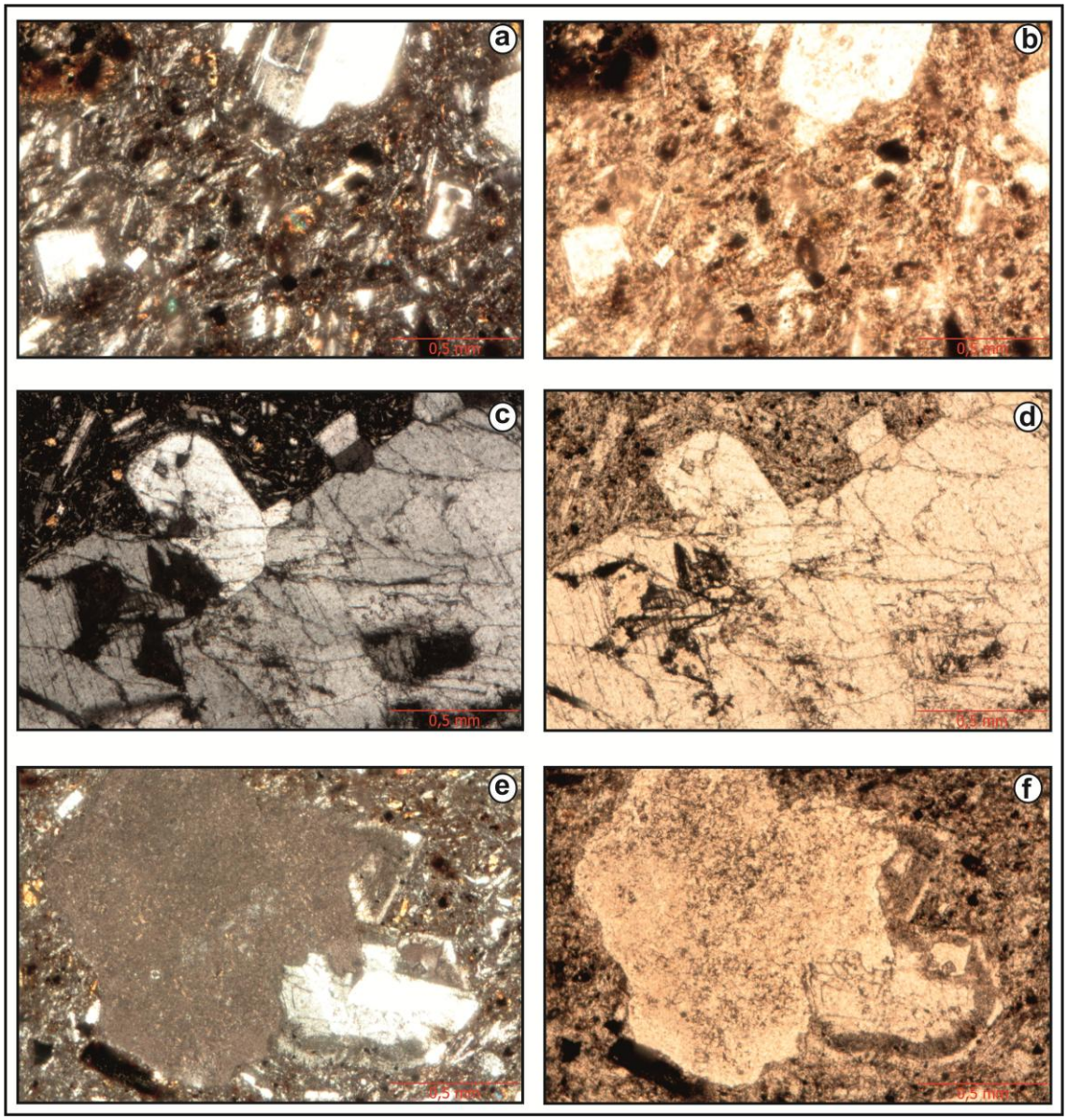



**Şekil 5.36.** 3 nolu örneğe (bazalt) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

**4 nolu (andezit) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 4 numaralı andezit örneğinde dokusal değişiklikler genellikle belirgin şekilde gözlenmektedir. Tuz kristalizasyonu sonucu kayaçta var olan plajiyoklas fenokristalleri bol krıklı çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Ayrıca bozunma sonucu bazı plajiyoklas fenokristallerde kopmalara bağlı olarak gelişen boşluk oluşumları gözlenmektedir. Kayacın ana bileşenini oluşturan volkanik hamurun, tuz (NaCl) kristallenmesi sonucu dokusal özelliklerinde değişiklik

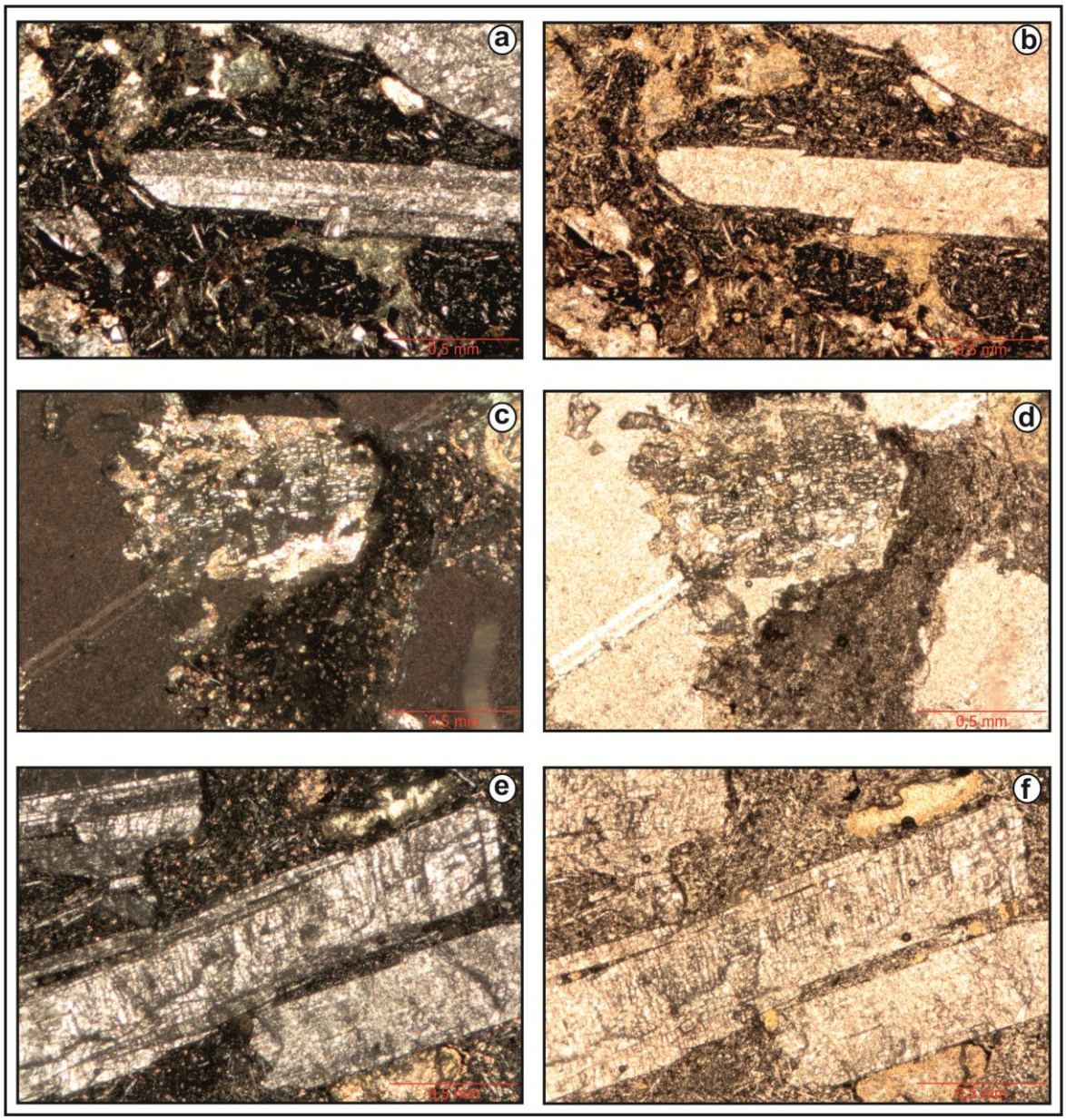
gözlenmektedir. Özellikle hamur içerisinde var olan boşlukların boyutlarının genişlediği veya bozunma ile yeni boşluklar oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.37 a, b, c, d). Ayrıca var olan ve/veya tuz kristallenmesi sonucu gelişen boşluklar etrafında bulunan plajiyoklas minerallerinde çatlaklanlanmalar ve kopmalar izlenenmektedir (Şekil 5.37 e, f).




**Şekil 5.37.** 4 nolu örneğe (andezit) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

**5 nolu (spilit) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine tabii tutulan 5 numaralı spilit örneğinde dokusal değişiklikler belirgin şekilde izlenmektedir. Kayacın hamurunu oluşturan volkanik cam hızlı bir şekilde bozularak büyük boyutlu boşluklar oluşturmuştur. Hamur içerisinde bulunan iri fenokristallerde (plajiyoklas) var olan çatlakların boyutlarının büyüdüğü ve yeni çatlak oluşumlarının geliştiği gözlenmektedir. Yer yer bu çatlaklara bağlı olarak fenokristallerde kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.38 b, c, d, e, f).




**Şekil 5.38.** 5 nolu örneğe (spilit) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

**6 nolu (mermer) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

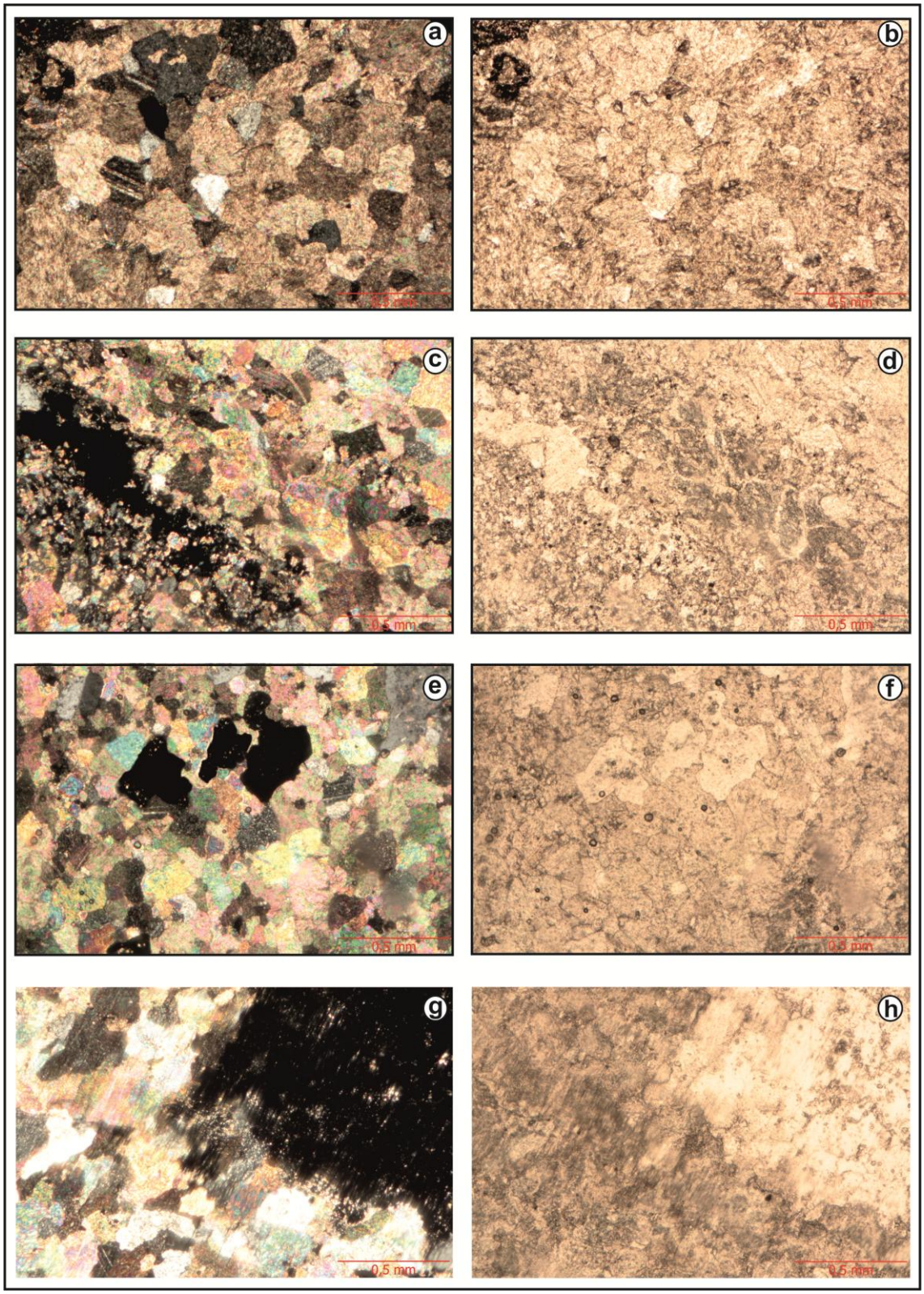
6 nolu doğal örneğe ait dokusal özellikler incelendiğinde kalsit kristallerinde herhangi bir çatlaklanma veya bozunma gözlenmemektedir (Şekil 5.39 a, b). Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyine maruz kalan örneklerde ise iri kalsit kristalleri arasındaki dolguların (küçük kalsit kristalleri) tuz kristallenmesinden daha fazla etkilenerek bozulduğu, hatta tamamen bozunarak ve koparak bulundukları yerde büyük boşluklar oluşturduğu gözlenmektedir. Bazı örneklerde ise iri kalsit kristallerinin de tuz kristallenmesinden etkilenerek bozulduğu ve gözenek oluşturduğu, buna ilaveten kalsit kristallerinin yüzeylerinde mikroçatlakların geliştiği gözlenmektedir. 6 numaralı örneğin genelinde ilerleyen tuz kristallenmesi periyotlarına bağlı olarak gözeneklerin arttığı ve genişlediği gözlenmektedir (Şekil 5.39 c, d, e, f).

**7 nolu (kristalin kireçtaşı) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

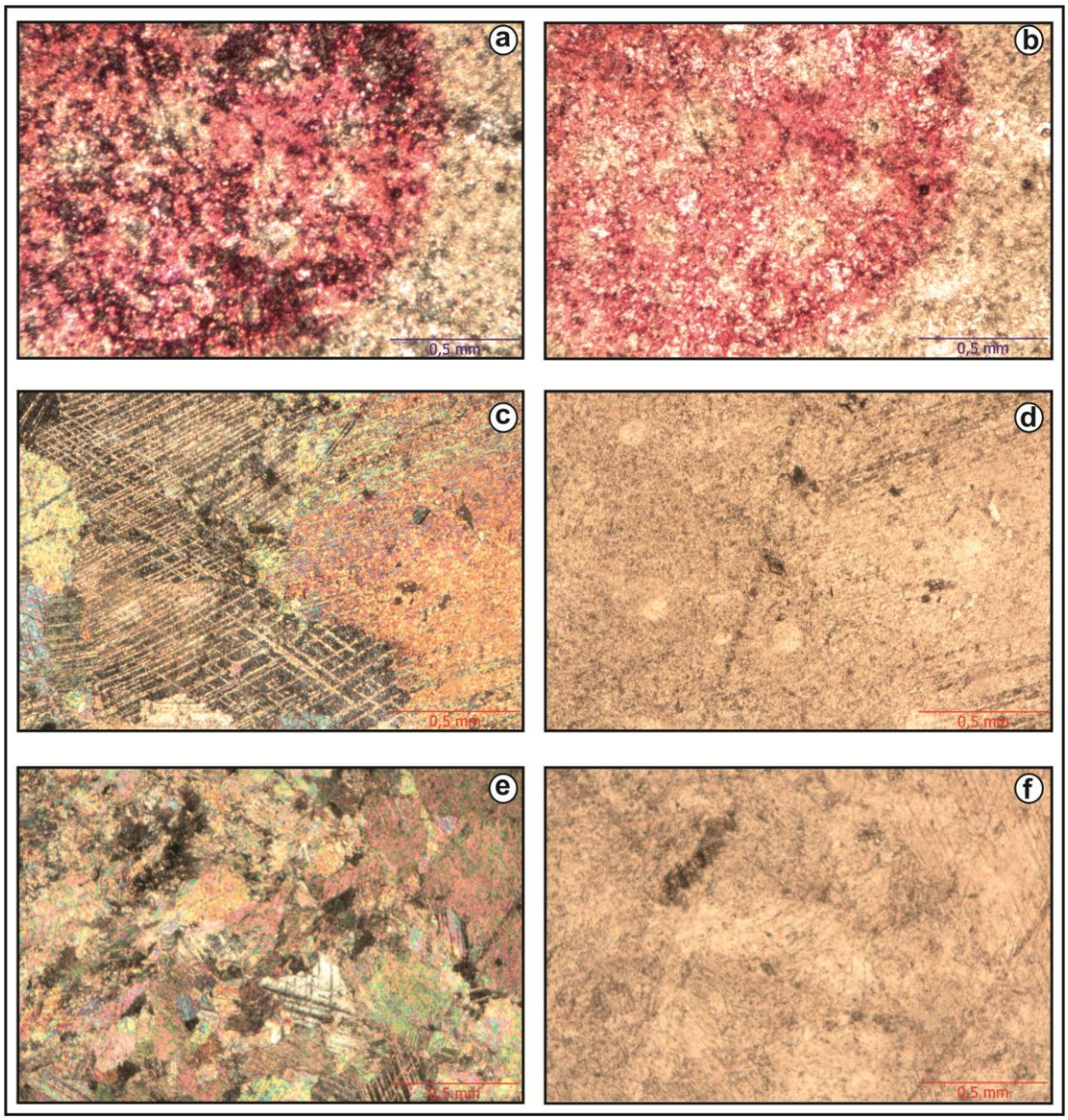
7 numaralı mermer örneğinde, tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinden önce ve sonra çok belirgin bir dokusal değişim gözlenememektedir. Fakat kayacı oluşturan iri ve küçük boyutlu kalsit kristallerinin tuz kristallenmesinden etkilendiği söylenebilir. Ayrıca kalsit kristallerinin yüzeyinde gelişen bozunmadan dolayı yer yer gözenek oluşumları ve yer yer de mikro çatlak oluşumları izlenmektedir (Şekil 5.40 a, b, c, d, e, f)

**8 nolu (kristalin kireçtaşı) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

8 nolu doğal örneğe ait dokusal özellikler incelendiğinde genellikle kalsit minerallerin yüzeylerinin temiz ve çatlaksız olduğu boşlukların ise küçük boyutlu oldukları gözlemlenmektedir (Şekil 4.64 a, b). Tuz kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaç örneğinde ise tuz kristallenmesi deneyinin ilerleyen periyotlarına bağlı olarak yeni gözenek oluşumları ve var olan gözeneklerin ise genişlediği gözlenmektedir. Gözenek ve tane sınırları boyunca kristallerin koparak gözenek boyutunu arttırdığı açıkca izlenmektedir. Ayrıca gözenek ile taneler arasındaki sınırda ve tanelerde yer yer yoğun çatlaklanmaların olduğu izlenmektedir (Şekil 5.41 b, c, d, e).




**Şekil 5.39.** 6 nolu örneğe (mermer) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

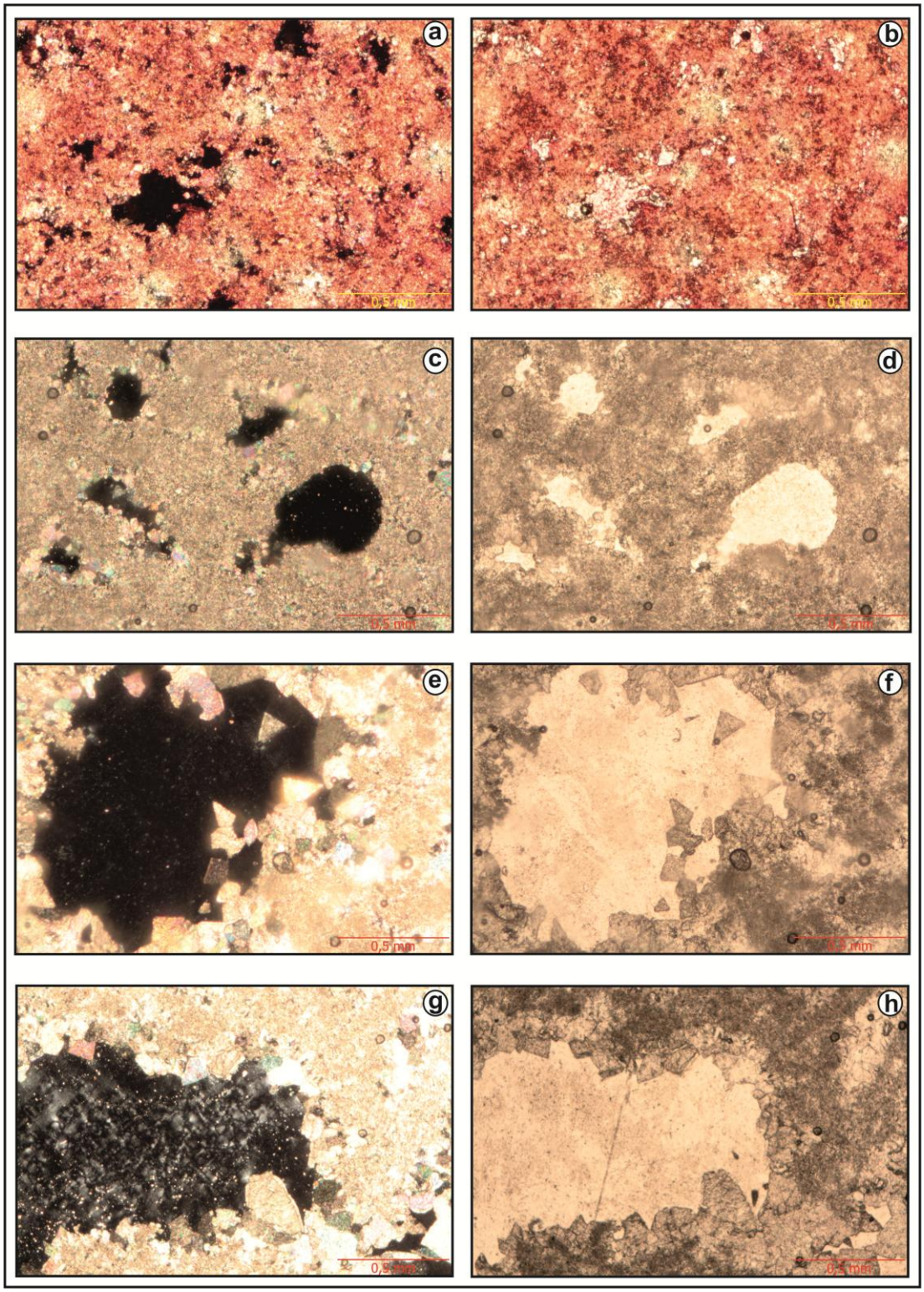



**Şekil 5.40.** 7 nolu örneğe (kristalin kireçtaşı) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

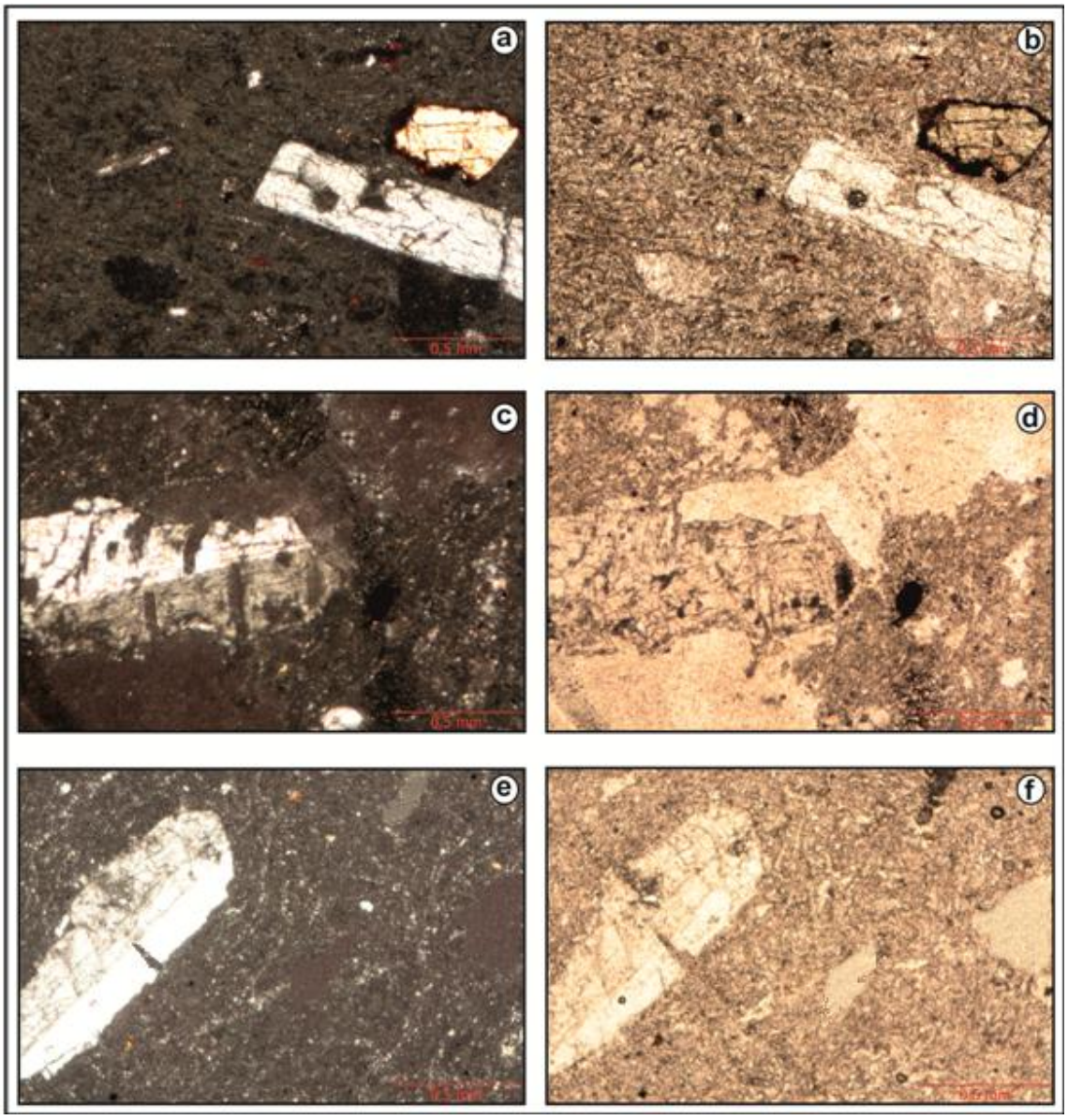
**9 nolu (tüf) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

9 nolu doğal örneğe ait dokusal özellikler incelendiğinde kayacın hamurunu oluşturan volkanik cam içerisinde gözeneklerin oldukça az olduğu, playiyoklas fenokristallerinde ise var olan çatlakların boyutlarının küçük ve az olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.42 a, b). Tuz kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaç örneğinde ise tuz kristallenmesi deneyinin ilerleyen periyotlarına bağlı olarak volkanik camın bozunması sonucu büyük boyutlu yeni gözenek oluşumları izlenmektedir. Plajiyoklas fenokristallerinde var olan veya sonradan gelişen çatlakların boyutları genişleyerek plajiyoklas fenokristallerinin prizmatik (genellikle uzun prizmatik ve yarı

öz şekilli) şekillerini bozarak yer yer parçalanmasına sebep olmuştur (Şekil 5.42 c, d, e, f).




**Şekil 5.41.** 8 nolu örneğe (kristalin kireçtaşı) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f,g,h: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,g,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f,h: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

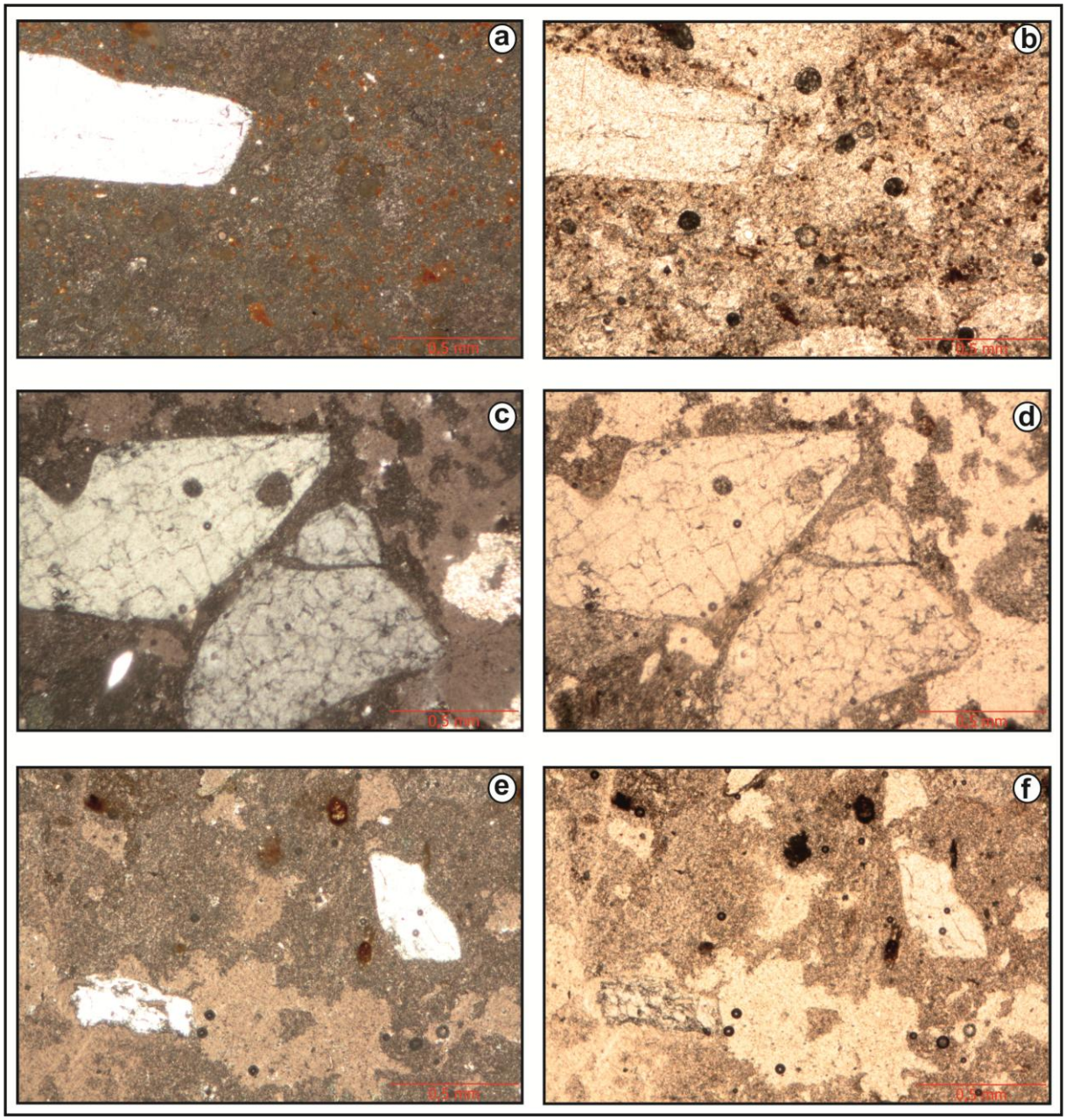



**Şekil 5.42.** 9 nolu örneğe (tüf) ait doğal ve tuz (NaCl) kristalizasyonu sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait incekesitlerin tek nikol görüntüleri).

**10 nolu (tüf) örnekte gözlenen mikroskopik değişimler:**

10 nolu doğal örneğe ait dokusal özellikler incelendiğinde kayacın hamurunu oluşturan volkanik cam içerisinde gözeneklerin oldukça az olduğu, playiyoklas fenokristallerinde ise temiz yüzeyli ve çoğunlukla çatlaksız olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.43 a, b). Tuz kristallenmesi deneyine maruz kalan kayaç örneğinde ise tuz kristallenmesi deneyinin ilerleyen periyotlarına bağlı olarak volkanik camın bozunması sonucu büyük boyutlu yeni gözenek oluşumları izlenirken yer yer ise volkanik camın

büyük çoğunluğunun bozunarak boşluk oluşturduğu gözlenmektedir. Plajiyoklas fenokristallerinde ise mikro çatlakların geliştiği ve yer yer kristallerde kopmaların olduğu gözlenmektedir. Bu durum büyük bir olasılıkla, tuz kristallenmesinin kayacı oluşturan fenokristallerin çekilme basınçlarını yenmesinden dolayı gerçekleşmiştir (Şekil 5.43 c, d, e, f).




**Şekil 5.43.** 10 nolu örneğe (tüf) ait doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonrası mikro değişimlerinin gösterimi (a,b:doğal; c,d,e,f: tuz kristalizasyonu deneyi sonrası) ( a,c,e,: Örneğe ait incekesitlerin çift nikol görüntüleri ; b,d,f: Örneğe ait ince kesitlerin tek nikol görüntüleri).

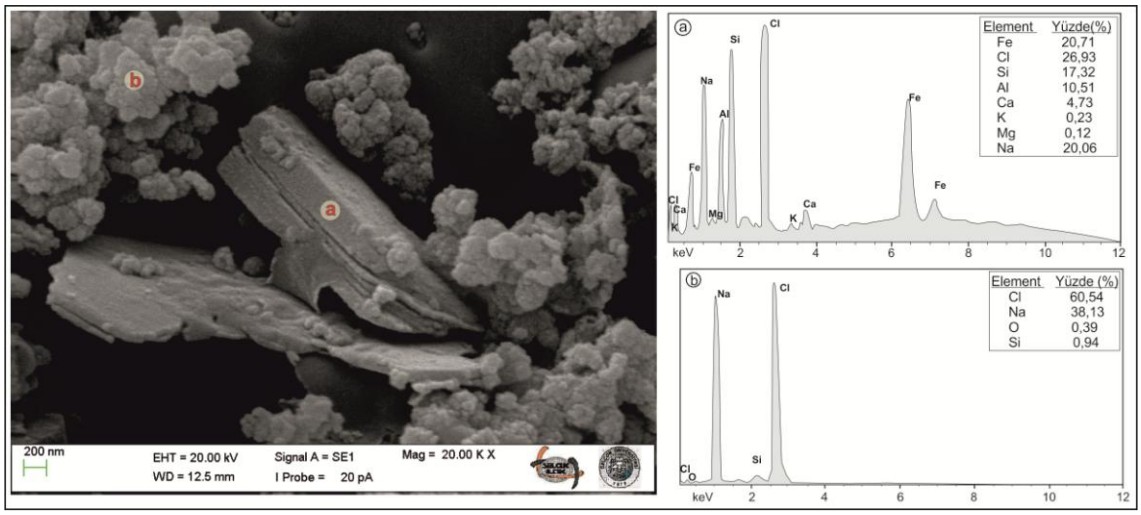
### 5.5.2.2 Tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası SEM ve EDS analizi ile mikroskopik değişimlerin incelenmesi

Tuzlu su ile deneye tabii tutulan kayaçların, tuz kristalizasyonu sonucunda bünyelerinde değişiklikler olmaktadır. Kayaç içerisine giren tuzlu su, kayaç içerisinde yeterli sıcaklık altında kristalleşmektedir. Kayaçta bulunan boşluk ve süreksizlikler içerisine yerleşen tuzlu suyun kristallenmesine bağlı olarak bir basınç oluşmaktadır. Kayaçta oluşan bu basınç yeni süreksizliklerin oluşumu, var olanların gelişimi ve genişlemesi gibi deformasyonlara sebep olmaktadır.

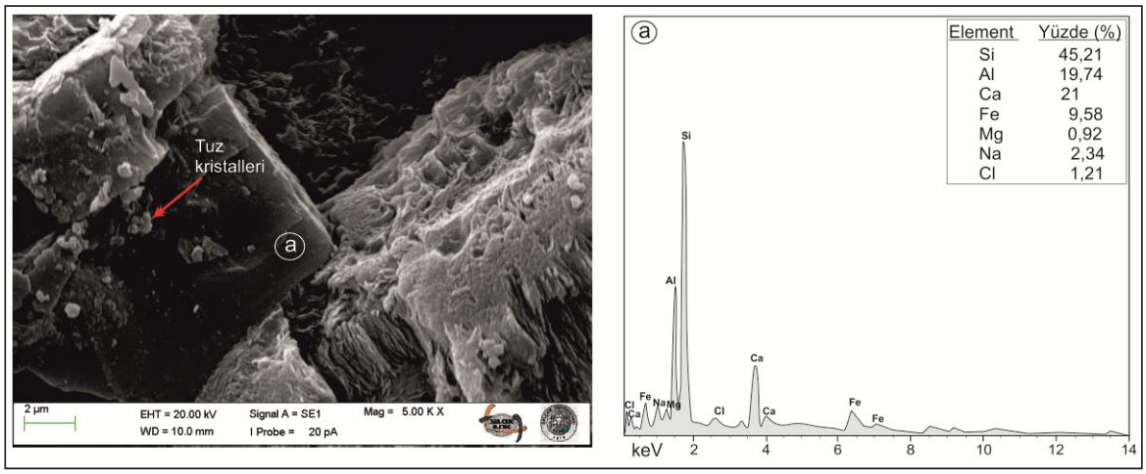
Deneye tabii tutulan kayaçların bünyelerine giren tuzlu suyun kristallenmesiyle kayaç içerisindeki boşluk, süreksizlikler ve mineral çeperlerinde nasıl yer aldığını görebilmek için taramalı elektron mikroskop (SEM) yapılmıştır. SEM çalışması 75 günlük (5. periyot) tuzlu su deneyine tabii tutulan 1cm x 1cm x 1cm boyutundaki kayaçların dış yüzeyinde yapılmıştır. Yapılan SEM analizi sonucunda çalışmada kullanılan 10 adet örneğin SEM analizleri sonucu halit mineralinin kayacın yüzeyini kapladığı yer yer boşluklar ve çatlakları doldurduğu gözlenmiştir. Bu nedenle bu bölümde SEM analizinden en belirgin etkileşimi yansıtan görüntüler verilmiştir.

3 nolu örneğin (bazalt) 75 günlük (5. periyot) tuzlu su döngüsünden sonraki elektron mikroskop görüntüsünde, kayaç içerisindeki boşlukların halit mineralleri ile kaplandığı, ayrıca piroksen mineralinin yüzeyinin ve arasının halit mineralleri ile sıvandığı gözlenmektedir (Şekil 5.44). Piroksen (a) ve halit (b) mineralinden yapılan Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) analizlerinde; halit mineralinde % 60,54 Cl, % 38,13 Na, % 0,94 Si ve % 0,39 O tespit edilirken, piroksen mineralinde % 26,93 Cl, % 20,71 Fe, % 20,06 Na, % 17,32 Si, % 10,51 Al, % 4,73 Ca, % 0,23 K ve % 0,12 Mg tespit edilmiştir.

5 nolu örneğin (spilit) 75 günlük tuzlu su döngüsünden sonraki elektron mikroskop analizinde bazı mineral yüzeylerinde bozunmalara bağlı olarak parçalar koptuğu izlenmektedir. Ayrıca bazı yapraksı mineraller arası ve yüzeyi halit mineralleri ile kaplanmıştır. Silikat mineralinde yapılan EDS analizine göre % 45,21 Si, % 19,74 Al, % 21 Ca, % 9,58 Fe, % 2,34 Na, % 1,21 Cl ve % 0,92 Mg tespit edilmiştir (Şekil 5.45).



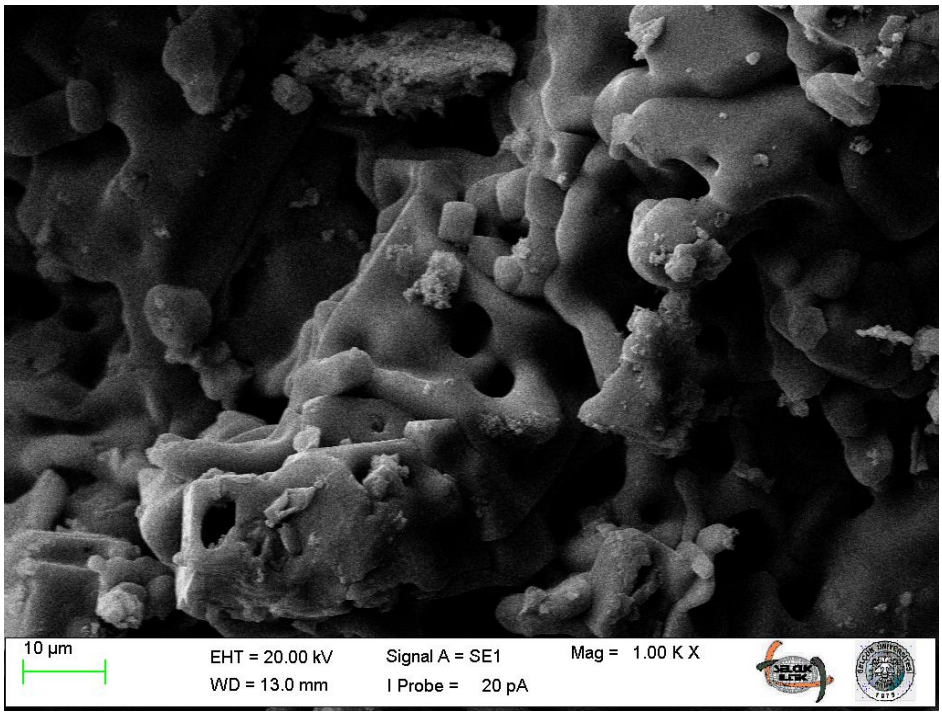

**Şekil 5.44.** 3 nolu örneğin (bazalt) SEM görüntüsü ve EDS analizleri.



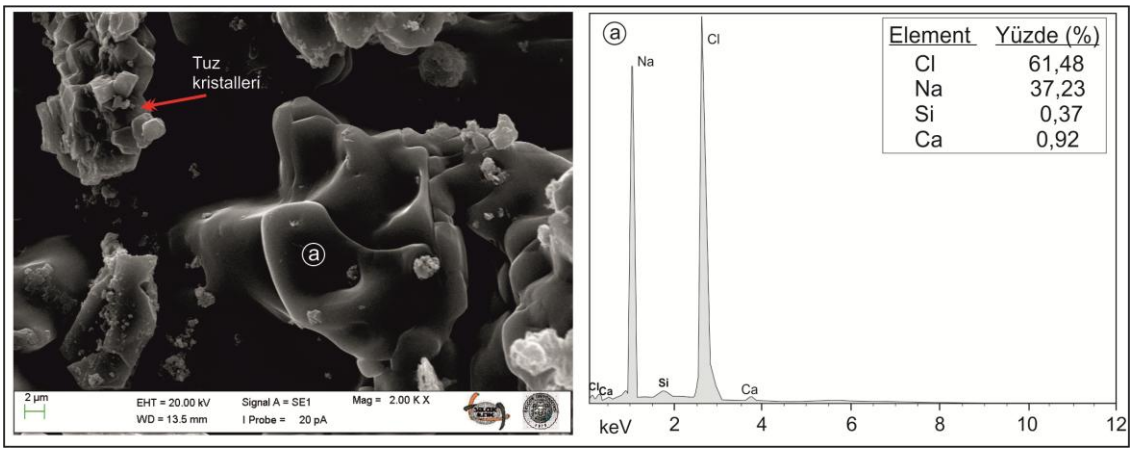

**Şekil 5.45.** 5 Nolu örneğin (spilit) SEM görüntüsü ve EDS analizi.

9 nolu örneğin (tüf) 75 günlük tuzlu su döngüsünden sonraki elektron mikroskop analizinde, genel olarak amorf cam yüzeylerinin tamamen halit minerali ile kaplanmış olduğu ve boşlukların yer yer iyi gelişmiş iri, kübik halit kristalleri ile doldurulduğu gözlenmektedir (Şekil 5.46).

10 nolu örneğin (tüf) 75 günlük tuzlu su döngüsünden sonraki elektron mikroskop analizinde, boşluklara ve amorf camların yüzeylerine tamamen tuzlu suyun işlediği gözlenmektedir. Yapılan EDS analizine göre % 61,48 Cl, % 37,23 Na, % 0,37 Si ve % 0,92 Ca tespit edilmiştir (Şekil 5.47). 10 nolu örneğin (tüf) elektron mikroskop çalışmaları sırasında amorf cam üzerinden alınan EDS analiz sonuçları yaklaşık aynı değerler vermektedir. Buda tuzlu suyun, kayacı oluşturan amorf yüzeyine ve içerisine nüfus ettiğini göstermektedir.



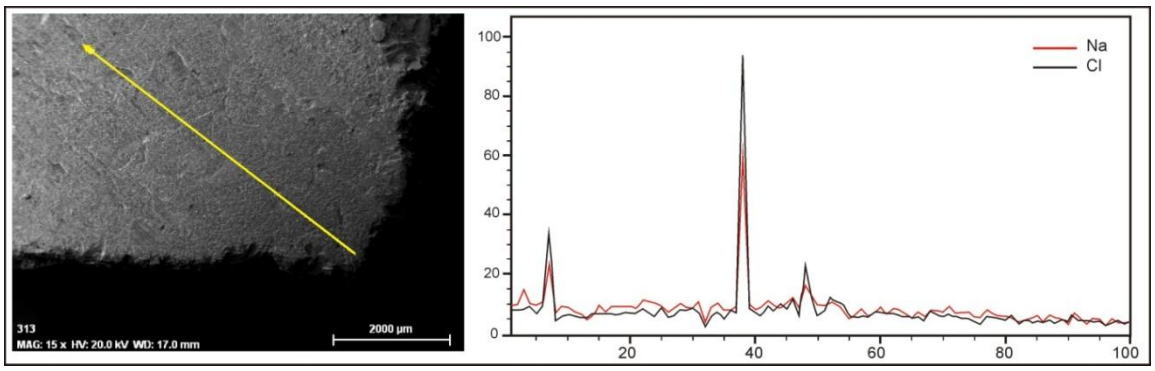

**Şekil 5.46.** 9 Nolu örneğin (tüf) SEM görüntüsü.



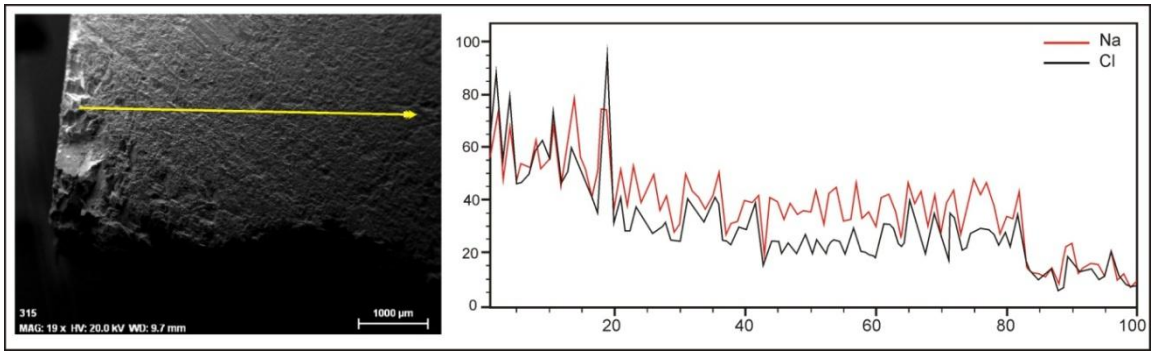

**Şekil 5.47.** 10 nolu örneğin (tüf) SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Tuzlu suyun kayaç içerisine muhtemel nüfus etme derinliğini belirlemek için örneklerde SEM ile Edx-Line yapılmıştır. 1cm x 1cm x 1cm boyutunda 75 günlük tuzlu su döngüsüne maruz kalan kayaçlar ikiye ayrılmış ve bir parçasının dış yüzeyinden içine doğru çeşitli yönlerde Edx-Line yapılmıştır. Kayaçların dış yüzeyinde Na ve Cl elementlerinin yüksek oranda olduğu, merkezinde ise belirli bir seviyede olduğu görülmüştür. 1 (granit), 2 (granit porfir), 6 (mermer), 8 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) nolu kayaçların Edx-Line sonuçlarına göre Na ve Cl elementlerinin kayacın iç kısımlarına doğru azaldığı ve bir noktadan sonra belirli bir seviyede olduğu izlenmektedir. Muhtemelen kayacın dış yüzeyindeki Na ve Cl elementlerinin fazla olması bu bölgedeki

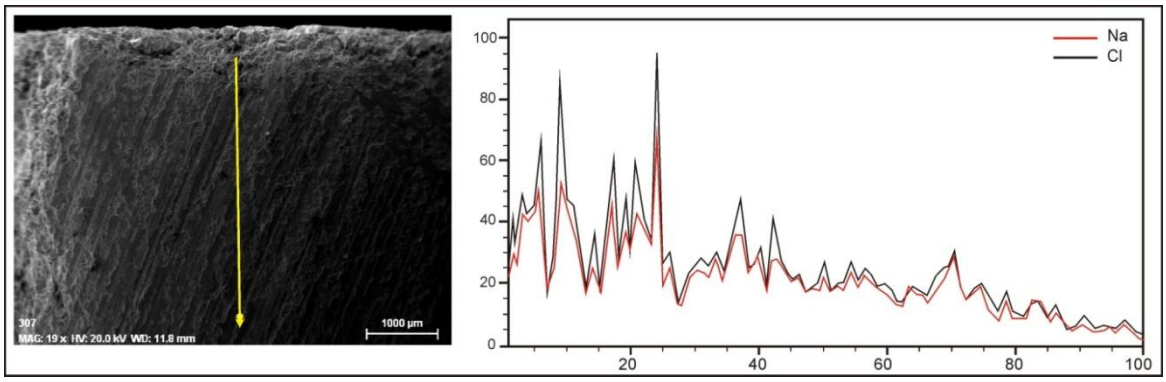
tuz kristallenmesinin etkisinin fazla olduğunu gösterirken, Na ve Cl elementlerinin kayacın iç kısımlarına doğru azalması etkinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca, kayaçın iç kısımlarına doğru Na ve Cl elementlerinin belirli bir seviyede izlemesinin sebebi muhtemelen kayaç bünyesinde doğal olarak bulunan Na ve Cl elementlerinin varlığından kaynaklanmaktadır. 1 nolu örnekte (granit) yapılan Edx-Line analizine göre Na ve Cl oranlarında kayacın genelinde çok büyük değişiklik olmadığı izlenirken Edx-Line hattının orta kısımlarındaki ani artışın muhtemelen burada bulunan mikro çatlağın tuz kristalleri tarafından doldurulmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 5.48). 2 nolu örnekte (granit porfir) yapılan Edx-Line analizine göre Na ve Cl oranlarının belirli bir seviyeye kadar lineer olarak azaldığı ve bir noktadan sonra azalmanın durarak aynı oranda seyrettiği görülmektedir (Şekil 5.49). 6 nolu örnek (mermer) ve 8 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) yapılan Edx-Line analizlerine göre Na ve Cl elementlerinin lineer olarak azaldığı izlenmektedir (Şekil 5.50; 5.51). 9 Nolu örnekte (tüf) yapılan Edx-Line analizine göre Na ve Cl değerleri belirli bir seviyeye kadar yüksek oranda izlenirken bir noktadan sonra ani olarak azalıp aynı oranda seyrettiği görülmektedir (Şekil 5.52).



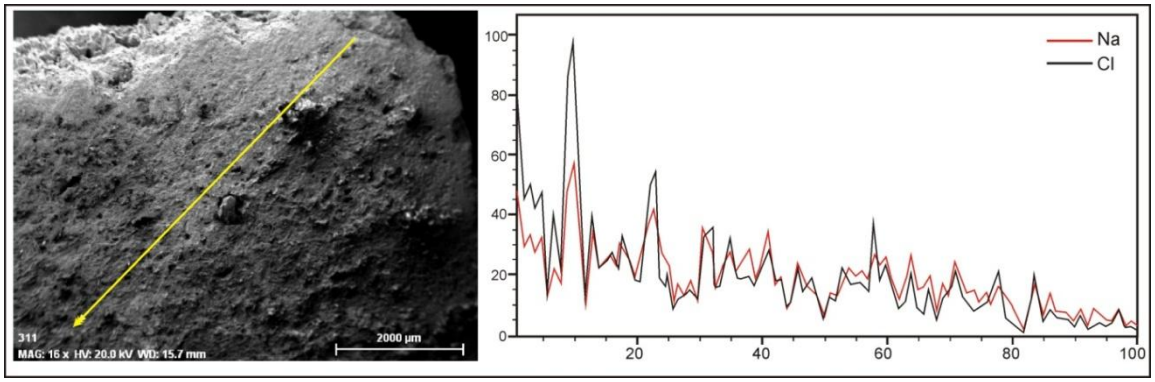

**Şekil 5.48.**1 nolu örnekte (granit) yapılan Edx-Line görüntüsü ve grafiği.



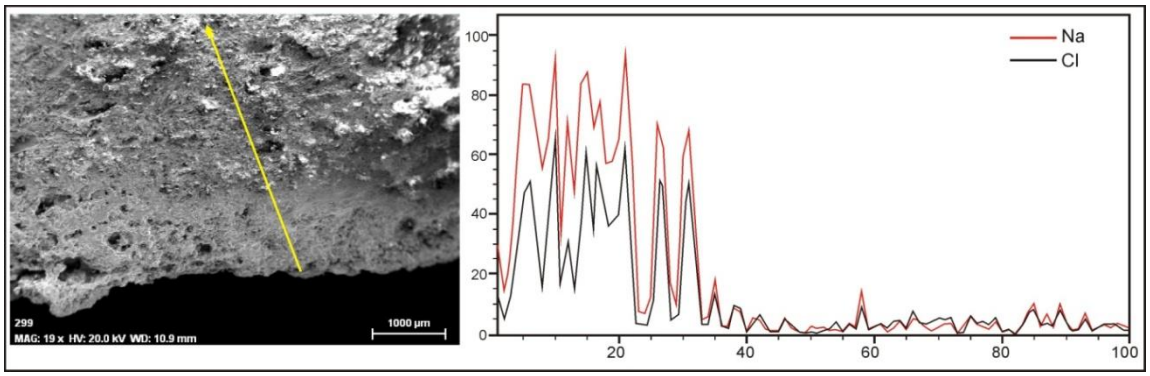

**Şekil 5.49.** 2 nolu örnekte (granit porfir) yapılan Edx-Line görüntüsü ve grafiği.




**Şekil 5.50.** 6 nolu örnekte (mermer) yapılan Edx-Line görüntüsü ve grafiği.




**Şekil 5.51.** 8 nolu örnekte (kristalin kireçtaşı) yapılan Edx-Line görüntüsü ve grafiği.




**Şekil 5.52.** 9 nolu örnekte (tüf) yapılan Edx-Line görüntüsü ve grafiği.

## 5.6. Tuz (NaCl) Kristallenmesi Öncesi ve Sonrası Kayaçlara Ait Standart Sapma Değişimleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan bütün kayaç örneklerinin deneysel sonuçlardan elde edilen standart sapma değerlerinin doğal ve her bir periyottan sonraki değişimleri belirlenmiştir. Böylece her bir kayaç örneğinin tuz kristallenmesinin ilerleyen periyotları karşısında değişimi istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Standart sapma değişimlerinden örneklerin homojenlik ve/veya heterojenlikleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

### 5.6.1. Kayaçların fiziksel özelliklerine ait standart sapma değerleri

İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra elde edilen porozite (n), ağırlıkça su emme (Aw), P dalga hızı (Vp) ve kuru ağırlık kaybı (DWL) verilerine ait standart sapma değerleri Çizelge 5.36; 5.37; 5.38 ve 5.39'da verilmiştir. Bu verilere ait sütunsal grafikler ise Şekil 5.53; 5.54; 5.55 ve 5.56'da gösterilmektedir.

İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonraki fiziksel parametrelerine ait standart sapma değerleri incelendiğinde her bir kayaç örneğinin tuz kristallenmesi periyotları arasında farklılık sunduğu gözlenmektedir. 1 (granit) ve 2 (granit porfir) nolu örneklerin porozite ve ağırlıkça su emme verilerine ait standart sapma değerlerinde periyot sayısının ilerlemesiyle artış olmasına rağmen artış oranı başlangıç değerine göre yüksek düzeyde değildir. Bu da örneklerin döngülerden olumsuz etkilenmediklerini ve örneklerin homojenliğini koruduğunu göstermektedir. 3 nolu örneğin (bazalt) tuz kristallenmesi deneyi sonrası tüm fiziksel parametrelerinden elde edilen standart sapma değerleri 2. periyotta en yüksek değere ulaşmış, ilerleyen periyotlarda ise azalan bir dalgalanma göstermiştir. Buradan bazalt örneğininin homojenliğini kaybettiği söylenebilinir. 4 nolu örneğin (andezit) porozite, ağırlıkça su emme ve P dalga hızından elde edilen standart sapma değerleri periyot sayısı ile artış göstermiştir. Kuru ağırlık kaybı verilerinden elde edilen standart sapma değeri ise başlangıç değerine göre artış göstermesine rağmen periyotlar arasında dalgalanma sunmaktadır. Andezit örneğinin bu değişimleri heterojenleştiğini göstermektedir.

5 nolu örneğin (spilit) tuz kristallenmesi deneyi sonrası tüm fiziksel parametrelerinden elde edilen standart sapma değerleri 2. ve/veya 3. periyotlarda en

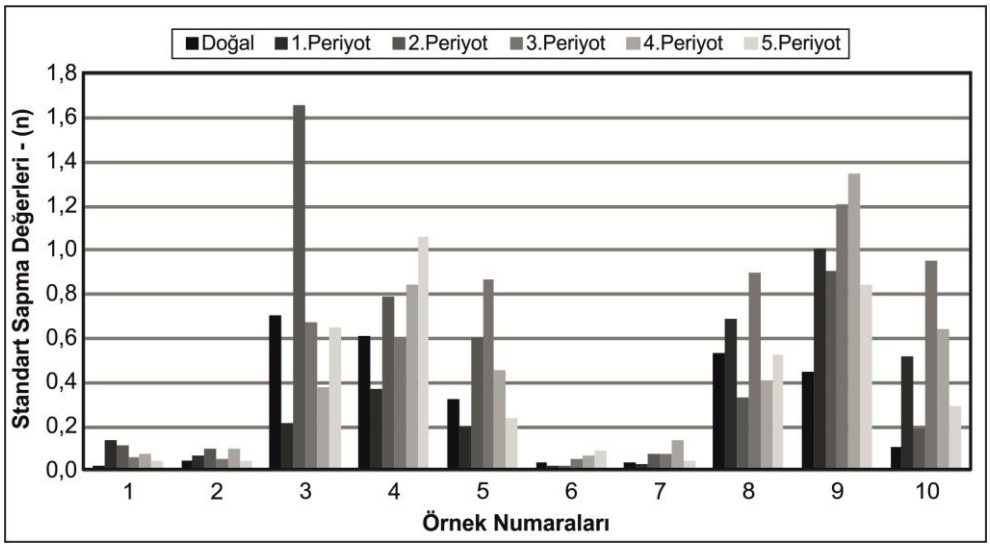
yüksek değere ulaşmış ve 4. ve 5. periyotlarda ise azalmıştır. 3. periyotta heterojenleşen örneğin 4. ve 5. periyotlarda yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. 6 nolu örneğin (mermer) porozite, ağırlıkça su emme, kuru ağırlık kaybı ve P dalga hızı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri tuz kristallenmesinin ilerleyen periyotlarıyla doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Buradan örneğin her döngü sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz.

7 nolu örneğin (kristalin kireçtaşı) tuz kristallenmesi deneyi sonrası porozite ve ağırlıkça su emme verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyota kadar artmış, son periyotta ise azalmıştır. P dalga hızı ve kuru ağırlık kaybı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri ise periyot sayısının artması ile artış göstermektedir. Örneğin 4. periyoda kadar giderek bozulduğunu ve bu periyottan sonra yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.

**Çizelge 5.36.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz kristallenmesi (NaCl) periyotlarından sonra porozite (n) değerlerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,026 | 0,137 | 0,118 | 0,064 | 0,075 | 0,049 |
| 2 | 0,049 | 0,067 | 0,097 | 0,055 | 0,098 | 0,044 |
| 3 | 0,701 | 0,215 | 1,658 | 0,676 | 0,376 | 0,653 |
| 4 | 0,616 | 0,375 | 0,787 | 0,595 | 0,843 | 1,060 |
| 5 | 0,328 | 0,202 | 0,600 | 0,868 | 0,455 | 0,243 |
| 6 | 0,036 | 0,025 | 0,027 | 0,057 | 0,068 | 0,095 |
| 7 | 0,038 | 0,033 | 0,078 | 0,081 | 0,139 | 0,043 |
| 8 | 0,536 | 0,691 | 0,336 | 0,900 | 0,409 | 0,526 |
| 9 | 0,446 | 1,009 | 0,906 | 1,211 | 1,346 | 0,843 |
| 10 | 0,108 | 0,519 | 0,192 | 0,956 | 0,646 | 0,295 |

8 nolu örneğin (kristalin kireçtaşı) porozite, ağırlıkça su emme ve P dalga hızı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 3. veya 4. periyota kadar düzensiz olarak artmış, son periyotta ise azalmıştır. Kuru ağırlık kaybı verilerine ait standart sapma değerleri ise periyot sayısının ilerlemesi ile doğrusal olarak artmaktadır. Buradan örneğin her periyot sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz.




**Şekil 5.53.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası porozite (n) değerlerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

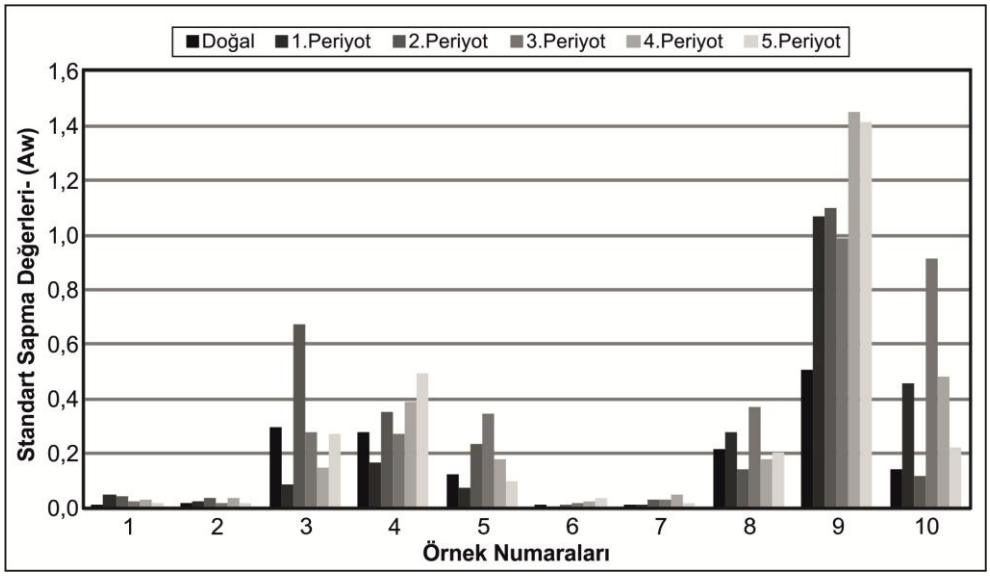
**Çizelge 5.37.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra ağırlıkça su emme (Aw) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,010 | 0,052 | 0,044 | 0,024 | 0,028 | 0,019 |
| 2 | 0,019 | 0,025 | 0,036 | 0,020 | 0,037 | 0,017 |
| 3 | 0,297 | 0,088 | 0,672 | 0,277 | 0,148 | 0,270 |
| 4 | 0,280 | 0,169 | 0,354 | 0,274 | 0,387 | 0,494 |
| 5 | 0,126 | 0,077 | 0,234 | 0,346 | 0,180 | 0,096 |
| 6 | 0,013 | 0,009 | 0,010 | 0,021 | 0,025 | 0,036 |
| 7 | 0,015 | 0,012 | 0,029 | 0,030 | 0,047 | 0,016 |
| 8 | 0,213 | 0,280 | 0,140 | 0,372 | 0,179 | 0,206 |
| 9 | 0,509 | 1,068 | 1,102 | 0,990 | 1,452 | 1,416 |
| 10 | 0,140 | 0,456 | 0,120 | 0,911 | 0,479 | 0,221 |

9 nolu örneğin (tüf) tuz kristallenmesi deneyi sonrası porozite ve ağırlıkça su emme verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyota kadar artmış, son periyotta ise azalmıştır. P-dalga hızı ve kuru ağırlık kaybına ait standart sapma değeri ise periyot sayısı ile artış göstermektedir. 9 nolu örneğin her periyot sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz.

10 nolu örneğin (tüf) tuz kristallenmesi deneyi sonrası porozite, ağırlıkça su emme ve kuru ağırlık kaybı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 3. periyota

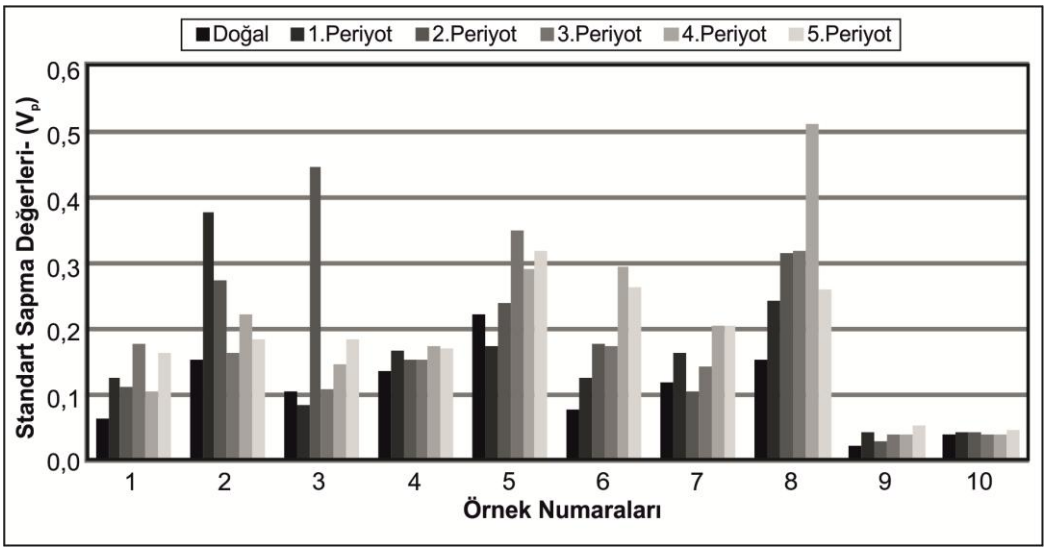
kadar artmış, 4. ve 5. periyotlarda azalmıştır. 3. periyotta hetorojenleşen örneğin 4. ve 5. periyotlarda yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.




**Şekil 5.54.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası ağırlıkça su emme (Aw) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

**Çizelge 5.38.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra P dalga hızı (Vp) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,064 | 0,124 | 0,111 | 0,177 | 0,105 | 0,162 |
| 2 | 0,154 | 0,378 | 0,274 | 0,162 | 0,223 | 0,185 |
| 3 | 0,107 | 0,084 | 0,447 | 0,110 | 0,147 | 0,183 |
| 4 | 0,137 | 0,166 | 0,153 | 0,155 | 0,174 | 0,172 |
| 5 | 0,223 | 0,175 | 0,240 | 0,349 | 0,291 | 0,317 |
| 6 | 0,077 | 0,125 | 0,178 | 0,175 | 0,296 | 0,263 |
| 7 | 0,120 | 0,164 | 0,104 | 0,142 | 0,204 | 0,204 |
| 8 | 0,153 | 0,243 | 0,314 | 0,317 | 0,512 | 0,259 |
| 9 | 0,024 | 0,045 | 0,030 | 0,041 | 0,040 | 0,052 |
| 10 | 0,039 | 0,045 | 0,044 | 0,039 | 0,041 | 0,047 |

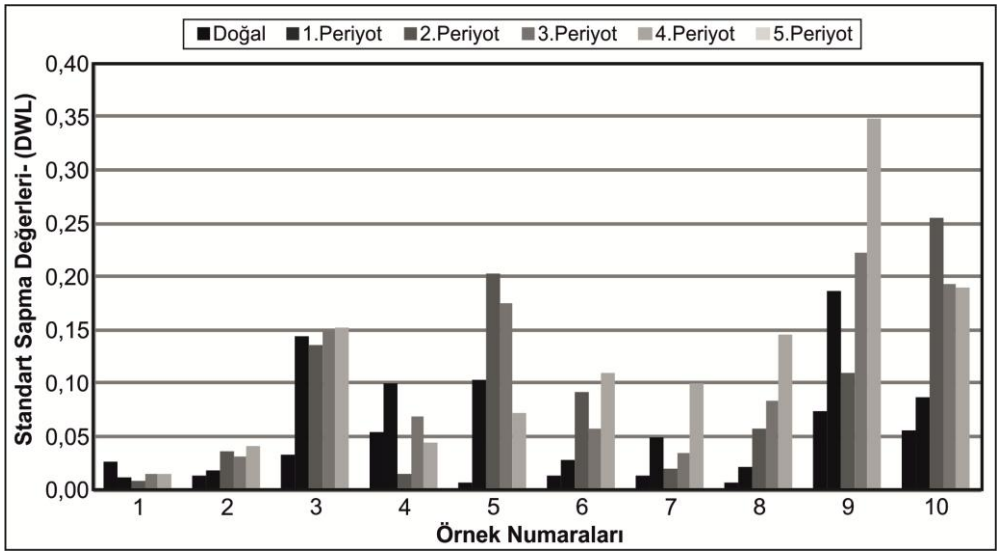



**Şekil 5.55.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası P dalga hızı (Vp) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

**Çizelge 5.39.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra kuru ağırlık kaybı (DWL) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1.Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,000 | 0,027 | 0,011 | 0,008 | 0,014 | 0,014 |
| 2 | 0,000 | 0,014 | 0,018 | 0,036 | 0,030 | 0,041 |
| 3 | 0,000 | 0,032 | 0,145 | 0,136 | 0,149 | 0,152 |
| 4 | 0,000 | 0,054 | 0,100 | 0,014 | 0,069 | 0,044 |
| 5 | 0,000 | 0,007 | 0,103 | 0,204 | 0,174 | 0,072 |
| 6 | 0,000 | 0,013 | 0,028 | 0,092 | 0,057 | 0,109 |
| 7 | 0,000 | 0,013 | 0,049 | 0,020 | 0,035 | 0,099 |
| 8 | 0,000 | 0,006 | 0,021 | 0,057 | 0,084 | 0,146 |
| 9 | 0,000 | 0,074 | 0,186 | 0,109 | 0,222 | 0,348 |
| 10 | 0,000 | 0,055 | 0,086 | 0,255 | 0,192 | 0,190 |

Çalışmada kullanılan tüm örneklerin tuz kristallenmesi deneyi sonrası fiziksel parametrelerinden elde edilen standart sapma değerleri genel olarak başlangıç değerlerine göre periyot sayısının ilerlemesine bağlı olarak artış göstermiştir. Tuz kristallenmesi deneyinin ilerleyen periyotlarına bağlı olarak kayaçların fiziksel özelliklerine ait standart sapma değerlerindeki artışlara göre kayaçta bozunmanın meydana geldiği ve kayacın homojenliğinin bozunduğu söylenebilir. Bazı kayaç örneklerinin standart sapma değerlerinin belirli periyottan sonra azalma göstermesi ise o kayaç örneğinin yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.




**Şekil 5.56.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası kuru ağırlık kaybı (DWL) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

### 5.6.2. Kayaçların dayanım özelliklerine ait standart sapma değerleri

İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) ve dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) verilerine ait standart sapma değerleri Çizelge 5.40; 5.41 ve 5.42'de verilmiştir. Bu verilere ait sütunsal grafikler ise Şekil 5.57; 5.58 ve 5.59'da gösterilmektedir.

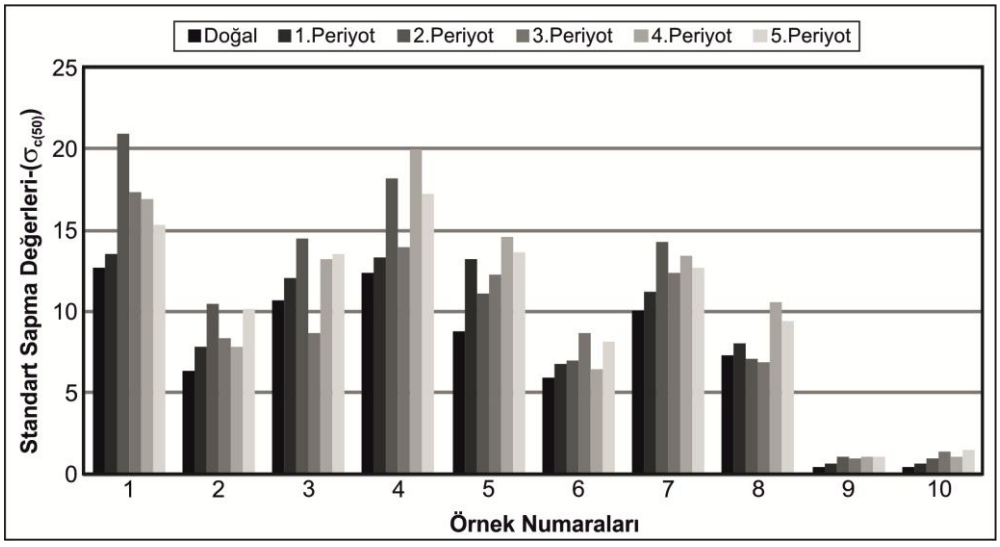
İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonraki dayanım özelliklerine ait standart sapma değerlerinde başlangıç değerlerine göre artış gözlenmektedir. Fakat bu artış her kayaç örneğinde periyotlara göre farklılık göstermektedir.

1 nolu örneğin (granit) tek eksenli sıkışma dayanımı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri ilk 2 periyotta artış gösterirken daha sonraki periyotlarda başlangıç değerine göre yüksek olmasına rağmen azalım yönündedir. 2. periyotta hetorojenleşen örneğin daha sonraki periyotlarda yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. 9 ve 10 nolu örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri ilerleyen periyot sayısıyla artış göstermiştir. Diğer örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı verilerinden elde edilen standart sapma

değerleri ise periyot sayısının artmasıyla dalgalı bir artış göstermektedir. Buradan örneklerin her döngü sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz (Çizelge 5.40; Şekil 5.57).

**Çizelge 5.40.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 12,70 | 13,50 | 20,95 | 17,36 | 16,94 | 15,35 |
| 2 | 6,34 | 7,80 | 10,50 | 8,35 | 7,80 | 10,21 |
| 3 | 10,71 | 12,10 | 14,51 | 8,66 | 13,21 | 13,60 |
| 4 | 11,82 | 13,30 | 18,18 | 13,95 | 20,00 | 17,26 |
| 5 | 8,83 | 13,20 | 11,14 | 12,31 | 14,64 | 13,62 |
| 6 | 5,89 | 6,80 | 7,02 | 8,72 | 6,43 | 8,18 |
| 7 | 10,11 | 11,20 | 14,27 | 12,38 | 13,45 | 12,75 |
| 8 | 7,30 | 8,05 | 7,09 | 6,92 | 10,61 | 9,39 |
| 9 | 0,53 | 0,65 | 1,08 | 0,97 | 1,12 | 1,13 |
| 10 | 0,49 | 0,62 | 1,02 | 1,39 | 1,11 | 1,46 |



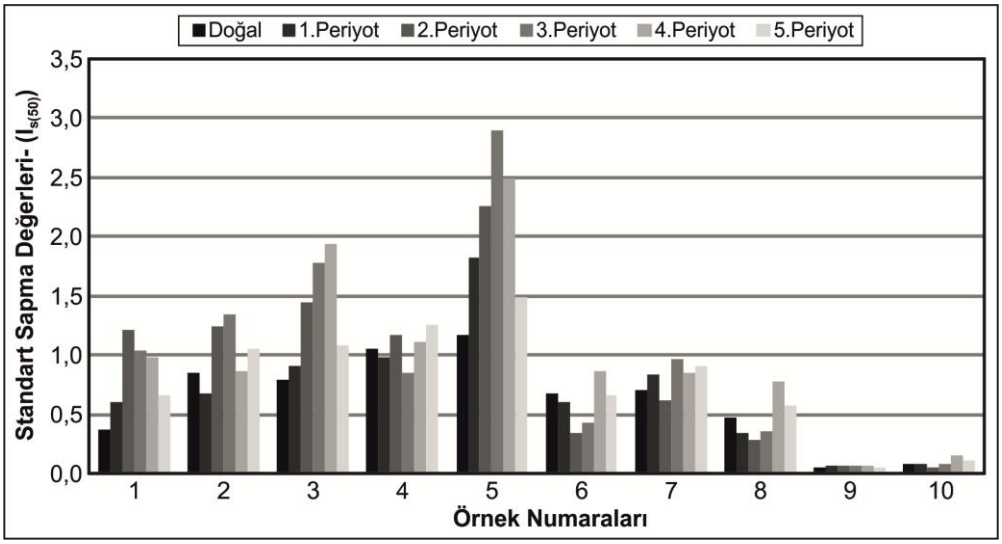

**Şekil 5.57.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

1 nolu örneğin (granit) nokta yük dayanım indeksi verilerinden elde edilen standart sapma değeri 2. periyota kadar artmış ilerleyen periyotlarda azalmıştır. 2 (granit porfir), 5 (spilit) ve 7 (mermer) nolu örneklerin nokta yük dayanım indeksi verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 3. periyota kadar artmış ilerleyen periyotlarda azalmıştır. 3 (bazalt), 6 (mermer), 8 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin ise nokta yük dayanım indeksi verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyota kadar artmış son periyotta azalmıştır. Buradan örneklerin standart sapma değerlerinin artış gösterdiği periyotlarda heterojenleştiği ve sonraki periyotlarda yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. 4 (andezit) nolu örneğin standart sapma değeri ise periyot sayısının ilerlemesine bağlı olarak başlangıç değerine göre düzensiz bir artış göstermiştir. 4 nolu örneğin her periyot sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz.

Dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) verilerinden elde edilen standart sapma değerlerine göre 3 nolu örnek (bazalt) hariç diğer tüm örneklerde tuz kristallenmesinin periyotları arasında düzensiz bir artış gözlenmektedir. 9 nolu örneğin (tüf) tuz kristallenmesi periyotları sonunda dolaylı çekilme dayanımı verilerinden elde edilen standart sapma değerleri arasında düşük artış oranı bulunmuştur. 3 nolu örneğin (bazalt) dolaylı çekilme dayanımı verilerinden elde edilen standart sapma değeri ilk periyotta en yüksek değere ulaşmış ilerleyen periyotlarda ise başlangıç değerine göre azalma olmuştur.

**Çizelge 5.41.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,37 | 0,61 | 1,22 | 1,04 | 0,99 | 0,66 |
| 2 | 0,85 | 0,68 | 1,24 | 1,34 | 0,86 | 1,06 |
| 3 | 0,79 | 0,91 | 1,44 | 1,78 | 1,95 | 1,09 |
| 4 | 1,05 | 0,99 | 1,16 | 0,85 | 1,12 | 1,26 |
| 5 | 1,17 | 1,82 | 2,25 | 2,89 | 2,49 | 1,50 |
| 6 | 0,68 | 0,61 | 0,35 | 0,43 | 0,86 | 0,67 |
| 7 | 0,70 | 0,83 | 0,62 | 0,96 | 0,86 | 0,92 |
| 8 | 0,48 | 0,35 | 0,29 | 0,36 | 0,78 | 0,58 |
| 9 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,05 |
| 10 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,15 | 0,12 |



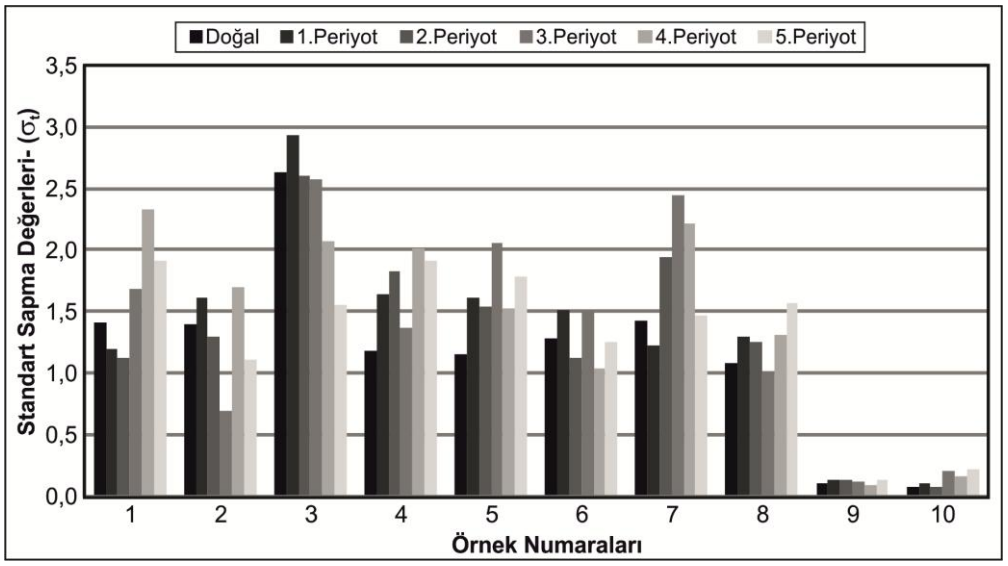

**Şekil 5.58.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası nokta yük dayanım indeksi ($Is_{(50)}$) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

**Çizelge 5.42.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz kristallenmesi (NaCl) periyotlarından sonra dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 1,41 | 1,20 | 1,13 | 1,69 | 2,32 | 1,91 |
| 2 | 1,40 | 1,62 | 1,29 | 0,69 | 1,70 | 1,11 |
| 3 | 2,63 | 2,94 | 2,60 | 2,58 | 2,07 | 1,55 |
| 4 | 1,17 | 1,63 | 1,83 | 1,37 | 2,01 | 1,91 |
| 5 | 1,15 | 1,61 | 1,53 | 2,06 | 1,53 | 1,79 |
| 6 | 1,28 | 1,52 | 1,12 | 1,51 | 1,03 | 1,25 |
| 7 | 1,43 | 1,23 | 1,95 | 2,45 | 2,22 | 1,47 |
| 8 | 1,08 | 1,29 | 1,25 | 1,01 | 1,31 | 1,56 |
| 9 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,13 |
| 10 | 0,08 | 0,10 | 0,07 | 0,20 | 0,16 | 0,21 |

Çalışmada kullanılan tüm örneklerin tuz kristallenmesi deneyi sonrası dayanım özelliklerinden elde edilen standart sapma değerleri genel olarak başlangıç değerlerine göre periyot sayısının ilerlemesine bağlı olarak artış göstermiştir. Kayaçların dayanım özelliklerine ait standart sapma değerlerindeki bu artışlara göre kayaçta bozunmanın meydana geldiği ve kayacın homojenliğinin bozulduğu söylenebilir. Bazı kayaç

örneklerinin standart sapma değerlerinin belirli periyottan sonra azalma göstermesi ise o kayaç örneklerinin yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.




**Şekil 5.59.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

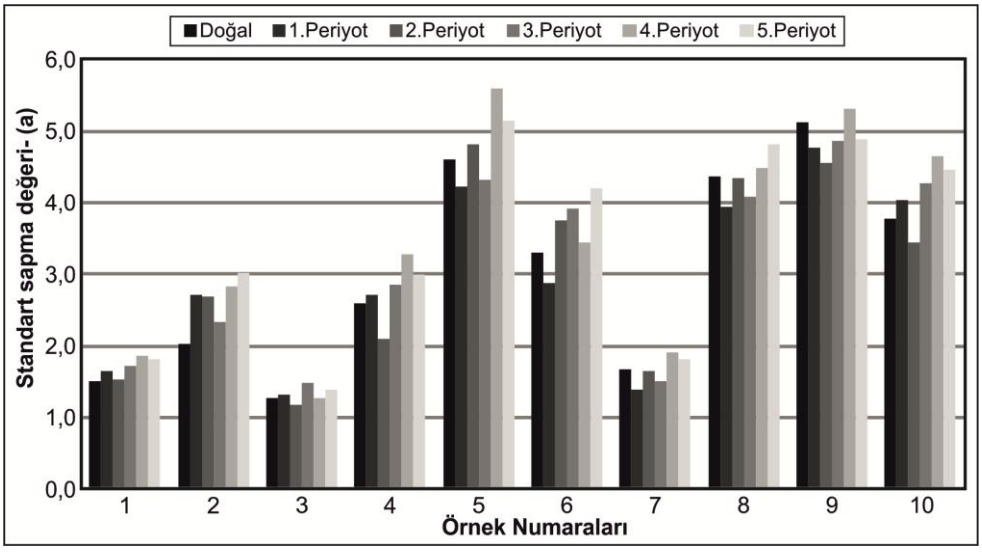
### 5.6.3. Kayaçların aşınma özelliklerine ait standart sapma değerleri

İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra elde edilen agrega darbe dayanım direnci (a), Böhme aşınma dayanım ($\Delta V$) ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_d$) verilerine ait standart sapma değerleri Çizelge 5.43; 5.44; 5.45 ve 5.46'da verilmiştir. Bu verilere ait sütunsal grafikler ise Şekil 5.60; 5.61; 5.62 ve 5.63'te gösterilmektedir.

İncelenen örneklerin tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonraki aşınma özelliklerine ait standart sapma değerlerinde başlangıç değerlerine göre artış gözlenmektedir. Agrega darbe dayanım direnci (a) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri tuz kristallenmesinin artan periyot sayısıyla dalgalı bir şekilde artış göstermiştir. 4 (andezit), 5 (spilit), 7 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin agrega darbe dayanım direnci (a) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyottan sonra azalma göstermiştir. Fakat azalma olmasına rağmen bu örneklerin başlangıç değerine göre standart sapma değerleri yüksektir. Buradan örneklerin 4. periyotta heterojenleşerek son periyotta yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.

**Çizelge 5.43.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra agrega darbe dayanım direnci (a) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 1,51 | 1,66 | 1,52 | 1,71 | 1,87 | 1,81 |
| 2 | 2,03 | 2,72 | 2,69 | 2,33 | 2,82 | 3,03 |
| 3 | 1,28 | 1,31 | 1,18 | 1,49 | 1,28 | 1,40 |
| 4 | 2,59 | 2,71 | 2,10 | 2,86 | 3,28 | 3,00 |
| 5 | 4,61 | 4,23 | 4,82 | 4,31 | 5,60 | 5,15 |
| 6 | 3,31 | 2,87 | 3,75 | 3,92 | 3,45 | 4,21 |
| 7 | 1,68 | 1,39 | 1,64 | 1,50 | 1,92 | 1,81 |
| 8 | 4,37 | 3,94 | 4,34 | 4,08 | 4,49 | 4,81 |
| 9 | 5,12 | 4,77 | 4,55 | 4,85 | 5,31 | 4,89 |
| 10 | 3,77 | 4,04 | 3,45 | 4,26 | 4,64 | 4,47 |

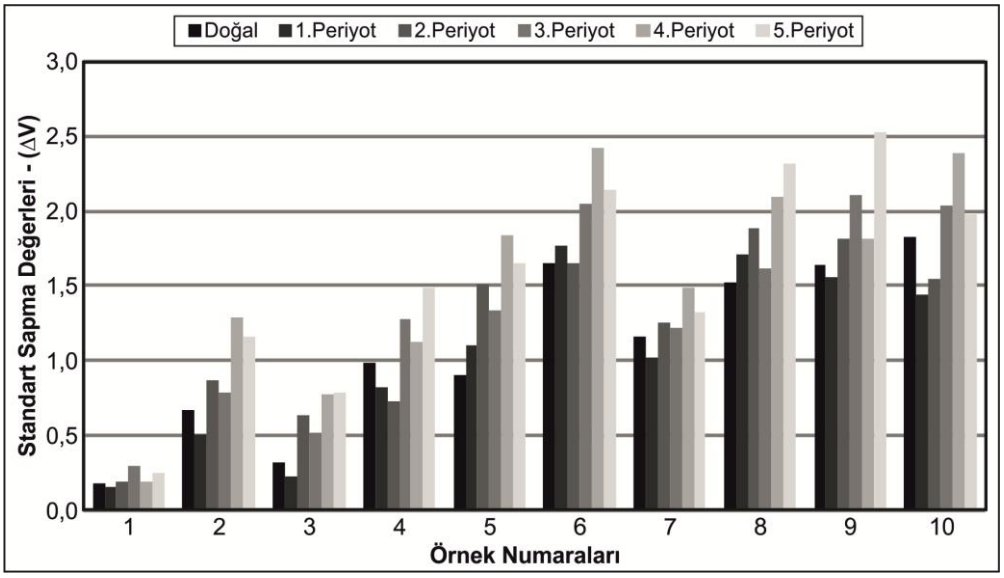



**Şekil 5.60.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası agrega darbe dayanım direnci (a) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

Böhme aşınma dayanımı (ΔV) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri, ilerleyen tuz kristallenmesi periyotlarıyla arttığı gözlenmektedir. Buradan örneklerin her periyot sonrası giderek bozulduğunu ve heterojen bir davranış gösterdiğini söyleyebiliriz. 2 (granit porfir), 5 (spilit), 7 (kristalin kireçtaşı), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin Böhme aşınma dayanım (ΔV) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyottan sonra azalma göstermiştir. Buradan 4. periyotta heterojenleşen bu örneklerin son periyotta yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir.

**Çizelge 5.44.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra Böhme aşınma dayanım (ΔV) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,18 | 0,16 | 0,19 | 0,30 | 0,19 | 0,25 |
| 2 | 0,67 | 0,51 | 0,87 | 0,79 | 1,29 | 1,16 |
| 3 | 0,32 | 0,23 | 0,63 | 0,52 | 0,77 | 0,79 |
| 4 | 0,99 | 0,82 | 0,73 | 1,28 | 1,12 | 1,49 |
| 5 | 0,90 | 1,10 | 1,51 | 1,34 | 1,84 | 1,66 |
| 6 | 1,65 | 1,77 | 1,65 | 2,05 | 2,42 | 2,14 |
| 7 | 1,16 | 1,02 | 1,25 | 1,22 | 1,49 | 1,32 |
| 8 | 1,52 | 1,71 | 1,88 | 1,62 | 2,09 | 2,31 |
| 9 | 1,64 | 1,56 | 1,81 | 2,11 | 1,82 | 2,52 |
| 10 | 1,83 | 1,44 | 1,55 | 2,03 | 2,39 | 1,98 |




**Şekil 5.61.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası Böhme aşınma dayanım (ΔV) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri tuz kristallenmesinin artan periyot sayısıyla dalgalı bir şekilde artış göstermiştir. 6 nolu örneğin (mermer) $I_{d2}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyota kadar düzenli bir şekilde artış göstermektedir. Buradan örneğin 4. periyoda kadar giderek bozulduğunu ve bu periyottan sonra yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. 5 nolu örneğin $I_{d2}$ verilerinden elde edilen standart sapma

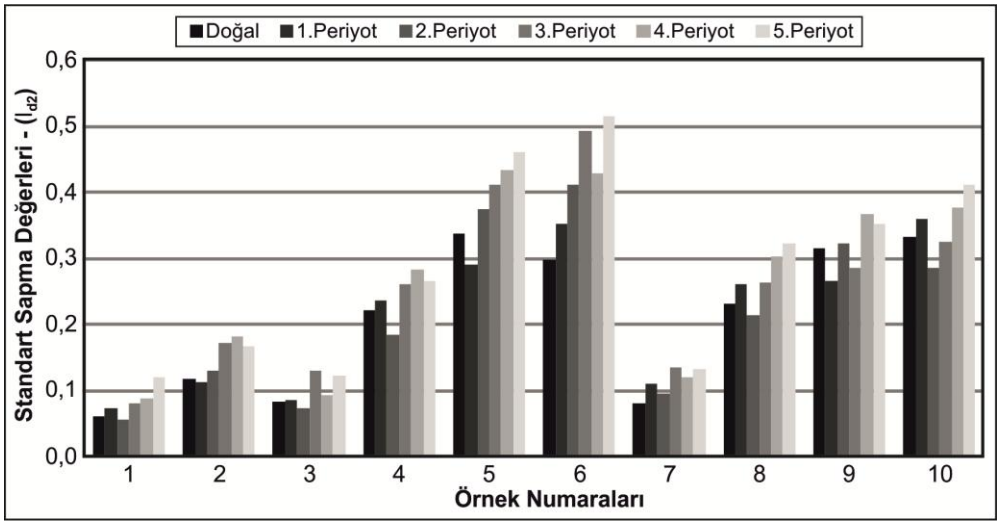
değerleri 2. periyottan sonra periyot sayısının ilerlemesiyle artış göstermiştir. Buradan örneğin ilerleyen periyotlara bağlı olarak bozulduğunu söyleyebiliriz. 2 (granit porfir), 4 (andezit) ve 9 (tüf) nolu örneklerin $I_{d2}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 4. periyota kadar dalgalı bir şekilde artmış ve son periyotta azalmıştır. Buradan örneklerin 4. periyotta heterojenleşerek son periyotta yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. Fakat genel olarak tüm örneklerin $I_{d2}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 2. periyottan sonra artış göstermiştir.

**Çizelge 5.45.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,12 |
| 2 | 0,12 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 0,17 |
| 3 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,13 | 0,09 | 0,12 |
| 4 | 0,22 | 0,24 | 0,18 | 0,26 | 0,28 | 0,27 |
| 5 | 0,34 | 0,29 | 0,37 | 0,41 | 0,43 | 0,46 |
| 6 | 0,30 | 0,35 | 0,41 | 0,49 | 0,43 | 0,52 |
| 7 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 0,13 |
| 8 | 0,23 | 0,26 | 0,21 | 0,26 | 0,30 | 0,32 |
| 9 | 0,31 | 0,27 | 0,32 | 0,29 | 0,37 | 0,35 |
| 10 | 0,33 | 0,36 | 0,29 | 0,33 | 0,38 | 0,41 |

**Çizelge 5.46.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi periyotlarından sonra suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$) verilerine ait standart sapma değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz kristallenmesi (NaCl) periyotları sonrası | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1. Periyot | 2. Periyot | 3. Periyot | 4. Periyot | 5. Periyot |
| 1 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,12 |
| 2 | 0,15 | 0,16 | 0,12 | 0,14 | 0,19 | 0,20 |
| 3 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,13 | 0,11 |
| 4 | 0,26 | 0,24 | 0,31 | 0,27 | 0,35 | 0,33 |
| 5 | 0,37 | 0,42 | 0,38 | 0,46 | 0,51 | 0,47 |
| 6 | 0,37 | 0,44 | 0,40 | 0,51 | 0,45 | 0,54 |
| 7 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,13 | 0,17 |
| 8 | 0,28 | 0,29 | 0,26 | 0,33 | 0,34 | 0,31 |
| 9 | 0,32 | 0,31 | 0,36 | 0,34 | 0,37 | 0,40 |
| 10 | 0,35 | 0,38 | 0,33 | 0,40 | 0,44 | 0,42 |

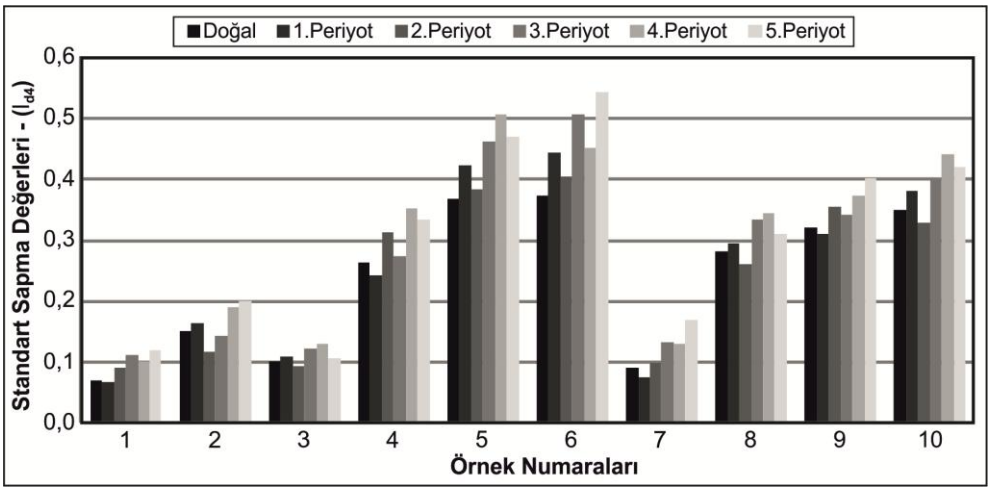



**Şekil 5.62.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d2}$) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$) verilerinden elde edilen standart sapma değerleri tuz kristallenmesinin artan periyot sayısıyla dalgalı bir şekilde artış göstermiştir. 3 (bazalt), 4 (andezit), 5 (spilit), 8 (kristalin kireçtaşı) ve 10 (tüf) nolu örneklerin $I_{d4}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri 5. periyota kadar dalgalı bir şekilde artmış ve son periyotta azalmıştır. Buradan örneklerin 5. periyota kadar giderek bozulduğunu ve 5 periyotta yeni bir boşluklu yapı kazandığı söylenebilir. 1 (granit) ve 2 (granit porfir) nolu örneklerin $I_{d4}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri tüm periyotlar boyunca düzensiz bir artış göstermiştir. Buda örneklerin giderek bozunduğunu göstermektedir. 6 (mermer), 7 (kristalin kireçtaşı) ve 9 (tüf) nolu örneklerin $I_{d4}$ verilerinden elde edilen standart sapma değerleri ilerleyen periyotlar arasında düzensiz bir artış göstermiş olup en fazla artış 5. periyotta gözlenmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm örneklerin tuz kristallenmesi deneyi sonrası aşınma özelliklerinden elde edilen standart sapma değerleri genel olarak başlangıç değerlerine göre periyot sayısının ilerlemesine bağlı olarak artış göstermiştir.

Kayaçların fiziksel, dayanım ve aşınma özelliklerinden elde edilen standart sapma değerlerindeki artışlar kayaçta bozunmanın meydana geldiğini ve kayacın homojenliğinin bozunduğunu göstermektedir. Bazı kayaç örneklerinin standart sapma değerlerinin belirli periyottan sonra azalma göstermesinin nedeni ise o kayaç örneğinin yeni bir mekanik özellik kazandığına işaret etmektedir.




**Şekil 5.63.** İncelenen örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$) verilerine ait standart sapma değerlerinin sütunsal grafikleri.

## 5.7. Tuz(NaCl) Kristallenmesinden Kaynaklanan Bozunmaların Değerlendirilmesi

Yapılan tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda 10 farklı kayaç örneğinin indeks, aşınma ve dayanım özelliklerinin farklılık gösterdiği bu farklılığın gözeneklilik, mineral içeriği, mikro çatlakların varlığı, dokusal özellik, homojenlik ve heterojenlik gibi özelliklerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bölümde ise kayaçların bozunma hızı (AV) ve yarı-ömür ($N_{1/2}$) değerleri sayısal olarak ifade edilip tanımlanmaya çalışılmıştır.

### 5.7.1. Bozunma hızı (AV)

Bozunma hızı (AV) örnek kütlesinde meydana gelen değişimin bir ifadesidir. Yapılan çalışmada; tuz kristallenmesi deneyleri sonucu kayaçlarda meydana gelen kütle azalımı dalgalı bir şekilde tüm periyotlar boyunca devam etmektedir. Buna göre AV; örneğin deney sonundaki yüzdesel kütle değeri ile deneyin başlangıcındaki yüzdesel kütle değeri arasındaki farkın periyot sayısına oranı olarak aşağıdaki 5.1 nolu eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$AV = \frac{Kayacın\ son\ kütlesi\ (\%) - Kayacın\ ilk\ kütlesi\ (\%)}{Periyot\ sayısı\ (gün)} \qquad (5.1)$$

Tuz kristallenmesi periyotlarından önce ve sonra her bir kayaç örneğine ait kuru kütle değerleri ile her bir periyot sonunda kalan kütle miktarının yüzdesel ifadesi

Çizelge 5.47'de verilmiştir. Bu verilerden elde edilen her periyot sonundaki bozunma hızı değerleri Çizelge 5.48'de verilmektedir.

Angeli ve ark. (2007)'nın silindirik kayaç örnekleri üzerinde yaptıkları tuz kristallenmesi deneylerinden elde ettikleri bozunma hızı (AV) değerlerine göre kayaçların sınıflandırılması ise Çizelge 5.49'da gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan örneklerin tuz kristallenmesine karşı gösterdikleri bozunma hızı (AV) değerleri % 1'den oldukça düşük olup Angeli ve ark. (2007)'nin önerdikleri bozunma sınıflamasına göre tüm kayaçlar "düşük bozunma hızına" sahiptir. En yüksek ortalama bozunma hızı değerleri 10 ve 9 nolu örneklerde (sırasıyla AV: 0,039; 0,038), en düşük ortalama bozunma hızı değerleri ise 1 (granit) ve 4 (andezit) nolu örneklerde (AV:0,004) bulunmuştur.

**Çizelge 5.47.** Tuz (NaCl) kristallenmesi deneyinden önce ve sonra elde edilen her bir kayaç örneğine ait kuru kütle değerleri ve bu değişimlerin yüzdesel ifadesi.

| Örnek No | | 1. Periyot(15) | | 2. Periyot(30) | | 3. Periyot(45) | | 4. Periyot(60) | | 5. Periyot(75) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Önce | Sonra | Önce | Sonra | Önce | Sonra | Önce | Sonra | Önce | Sonra |
| 1 | Kuru Kütle | 392,23 | 391,95 | 389,86 | 389,33 | 391,26 | 390,78 | 393,81 | 393,18 | 393,83 | 392,80 |
| | % Değişim | 99,93 | | 99,87 | | 99,88 | | 99,84 | | 99,74 | |
| 2 | Kuru Kütle | 378,96 | 378,42 | 380,56 | 379,76 | 378,75 | 377,86 | 378,38 | 377,27 | 378,94 | 376,89 |
| | % Değişim | 99,86 | | 99,79 | | 99,77 | | 99,71 | | 99,47 | |
| 3 | Kuru Kütle | 356,41 | 356,05 | 369,35 | 365,75 | 353,80 | 352,37 | 375,55 | 371,03 | 361,24 | 359,48 |
| | % Değişim | 99,90 | | 99,02 | | 99,60 | | 98,80 | | 99,51 | |
| 4 | Kuru Kütle | 366,58 | 366,41 | 353,99 | 353,48 | 364,63 | 364,19 | 357,11 | 356,30 | 362,14 | 360,75 |
| | % Değişim | 99,95 | | 99,86 | | 99,88 | | 99,77 | | 99,62 | |
| 5 | Kuru Kütle | 391,97 | 391,47 | 377,68 | 376,20 | 378,09 | 376,30 | 383,68 | 381,74 | 381,29 | 362,17 |
| | % Değişim | 99,87 | | 99,61 | | 99,52 | | 99,49 | | 94,98 | |
| 6 | Kuru Kütle | 385,07 | 384,45 | 388,41 | 385,85 | 379,60 | 377,42 | 389,07 | 384,12 | 389,58 | 384,99 |
| | % Değişim | 99,84 | | 99,34 | | 99,43 | | 98,73 | | 98,82 | |
| 7 | Kuru Kütle | 369,06 | 368,87 | 360,98 | 360,42 | 362,00 | 361,01 | 371,82 | 370,90 | 358,88 | 357,44 |
| | % Değişim | 99,95 | | 99,84 | | 99,72 | | 99,75 | | 99,60 | |
| 8 | Kuru Kütle | 355,63 | 355,38 | 364,40 | 363,64 | 357,67 | 357,06 | 362,53 | 361,03 | 361,49 | 359,13 |
| | % Değişim | 99,93 | | 99,79 | | 99,83 | | 99,59 | | 99,35 | |
| 9 | Kuru Kütle | 200,67 | 199,64 | 202,42 | 200,14 | 202,40 | 199,49 | 202,81 | 198,47 | 200,74 | 193,20 |
| | % Değişim | 99,48 | | 98,87 | | 98,56 | | 97,86 | | 96,25 | |
| 10 | Kuru Kütle | 218,44 | 216,69 | 220,92 | 218,37 | 217,65 | 214,97 | 219,81 | 215,71 | 220,19 | 212,95 |
| | % Değişim | 99,20 | | 98,85 | | 98,77 | | 98,13 | | 96,71 | |

**Çizelge 5.48.** Her bir kayaç örneğine ait bozunma hızı (AV) değerleri.

| Örnek No | Doğal | Tuz (NaCl) Kristallenmesi Periyotları Sonrası | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1.Periyot | 2.Periyot | 3.Periyot | 4.Periyot | 5.Periyot | Ortalama |
| **1** | 0 | -0,005 | -0,004 | -0,003 | -0,003 | -0,003 | -0,004 |
| **2** | 0 | -0,009 | -0,007 | -0,005 | -0,005 | -0,007 | -0,007 |
| **3** | 0 | -0,007 | -0,033 | -0,009 | -0,020 | -0,007 | -0,015 |
| **4** | 0 | -0,003 | -0,005 | -0,003 | -0,004 | -0,005 | -0,004 |
| **5** | 0 | -0,009 | -0,013 | -0,011 | -0,009 | -0,067 | -0,022 |
| **6** | 0 | -0,011 | -0,022 | -0,013 | -0,021 | -0,016 | -0,016 |
| **7** | 0 | -0,003 | -0,005 | -0,006 | -0,004 | -0,005 | -0,005 |
| **8** | 0 | -0,005 | -0,007 | -0,004 | -0,007 | -0,009 | -0,006 |
| **9** | 0 | -0,035 | -0,038 | -0,032 | -0,036 | -0,050 | -0,038 |
| **10** | 0 | -0,053 | -0,038 | -0,027 | -0,031 | -0,044 | -0,039 |

**Çizelge 5.49.** Bozunma hızına göre sınıflama (Angelia ve ark., 2007).

| Bozunma hızı (AV) (%) | Bozunma hızı tanımı |
|---|---|
| AV ≥ %10 | Yüksek bozunma hızı |
| AV = % (10-1) | Orta bozunma hızı |
| AV ≤ %1 | Düşük bozunma hızı |

Tuz kristallenmesi deneylerinde her bir örneğin periyotlara göre bozunma hızı değerleri incelenecek olursa; 1 (granit) ve 2 (granit porfir) nolu örnekler 1. periyotta en yüksek bozunma hızı değerine ulaşırken daha sonraki periyotlarda daha düşük bozunma hızı değerlerinin olduğu gözlenmektedir. 3 (bazalt) nolu örnek 2. periyotta en yüksek bozunma hızına ulaşılmış olup ilerleyen periyotlarda bozunma hızında azalma gözlenmiştir. 4 (andezit) nolu örnekte en yüksek bozunma hızı değeri (0,005) 2. ve 5. periyotlarda gözlenmektedir. Diğer periyotlarda bozunma hızı değerleri 0,003 ile 0,004 arasında dalgalanma gözlenmektedir. 5 (spilit) nolu örneğin ilk 4 periyotunda bozunma hızı değeri 0,009 ile 0,013 arasında değişirken 5. periyotta bozunma hızı 0,067 değerine ulaşmıştır. Bu değer 5 numaralı örneğin ortalama bozunma hızı değerini arttırmaktadır. 6 (mermer) numaralı örnekte en yüksek bozunma hızı değeri (0,022) 2. periyotta gözlenirken diğer periyotlarda bozunma hızı değerleri 0,011 ile 0,021 arasında değişmektedir. 7 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekte en yüksek bozunma hızı değeri 0,006 ile 3. periyotta gözlenirken diğer periyotlarda 0,003 ile 0,005 arasında değişmektedir. 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekte en yüksek bozunma hızı değeri 0,009 ile 5. periyotta

gözlenirken diğer periyotlarda 0,004 ile 0,007 arasında değişmektedir. 9 (tüf) nolu örnekte en yüksek bozunma hızı değeri 0,050 ile 5. periyotta gözlenirken diğer periyotlarda bozunma hızı değerleri 0,032 ile 0,038 arasında değişmektedir. 10 (tüf) nolu örnek ise 0,053 ile 1. periyotta en yüksek bozunma hızı değerine ulaşırken diğer periyotlarda bozunma hızı değerleri 0,027 ile 0,044 arasında değişmektedir.

3 (bazalt), 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin ortalama bozunma hızları incelendiğinde (sırasıyla AV: 0,015; 0,022; 0,016; 0,038 ve 0,039) diğer örneklerin bozunma hızı değerlerine göre oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. 3 (bazalt), 4 (andezit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin porozite değerlerinin % 5'ten yüksek olduğu düşünülürse tuz kristallenmesine karşı bozunma hızı değerlerinin daha yüksek olması beklenebilir. Ancak 4 (andezit) nolu örneğin bozunma hızı (0,004) diğer örneklere göre oldukça düşük değer göstermektedir. Bunun yanı sıra porozitesi % 5'ten düşük olan 5 (spilit) ve 6 (mermer) nolu örneklerin bozunma hızı değerleri ise daha yüksek bulunmuştur. Bu durumda kayaç örneklerinin bozunma hızları yalnızca poroziteye bağlı olmayıp kayacın farklı özellikleri ile de ilişkilidir. Fakat 3 nolu örneğin heterojen yapıda olması periyotlar arasında bozunma hızı değerlerinde büyük farklılıklara neden olmaktadır.

Deneyde kullanılan tüm kayaçların bozunma hızlarının genel olarak düşük çıkması, muhtemelen deneyin düşük sıcaklıkta yapılmış olması, deneyde kullanılan tuzun (NaCl) cinsi ve düşük tuz çözeltisi derişimi kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 5.7.2. Bozunma sabiti (λ) ve yarı-ömür ($N_{1/2}$) değerleri

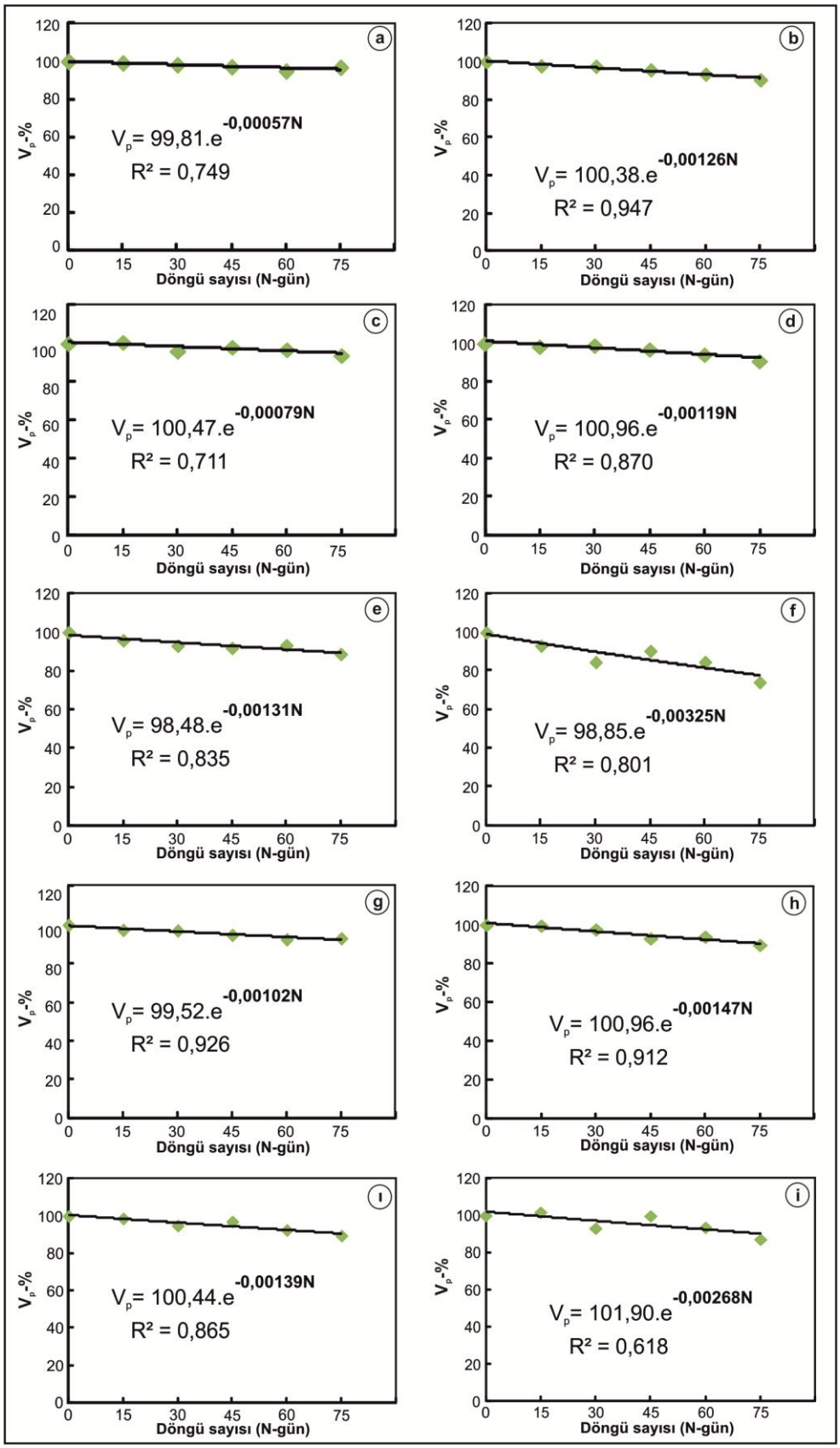
Bu çalışmada, tuz (NaCl) kristallenmesi deneyi sonucunda kayaçlardaki bozunmayı sayısal olarak değerlendirebilmek için Mutlutürk ve ark. (2004)'nın öne sürdüğü bozunma sabiti ve bozunma yarı ömrü kavramları kullanılmıştır. Bu amaçla P dalgası hızı ($V_p$), tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yük dayanımı indeksi ($I_{s(50)}$), suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$) ve darbe dayanım direnci (a) değişkenleri ele alınmıştır. Tuz kristallenmesi periyotları ile değişkenler arasında ilişkiyi yansıtan grafikler hazırlanmıştır. Bu grafiklerde değişkenlere ait azalmanın üstel ifade edilmesi ile bozunma sabiti değerleri bulunmuştur (Şekil 5.64; 5.65; 5.66; 5.67 ve 5.68). Bu grafiklerden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı değerleri Çizelge

5.50'de verilmiştir. Grafiklerden elde edilen bozunma sabiti (λ) değerleri ve bozunma yarı ömrü ($N_{1/2}$) değerleri ise Çizelge 5.51'de verilmektedir.

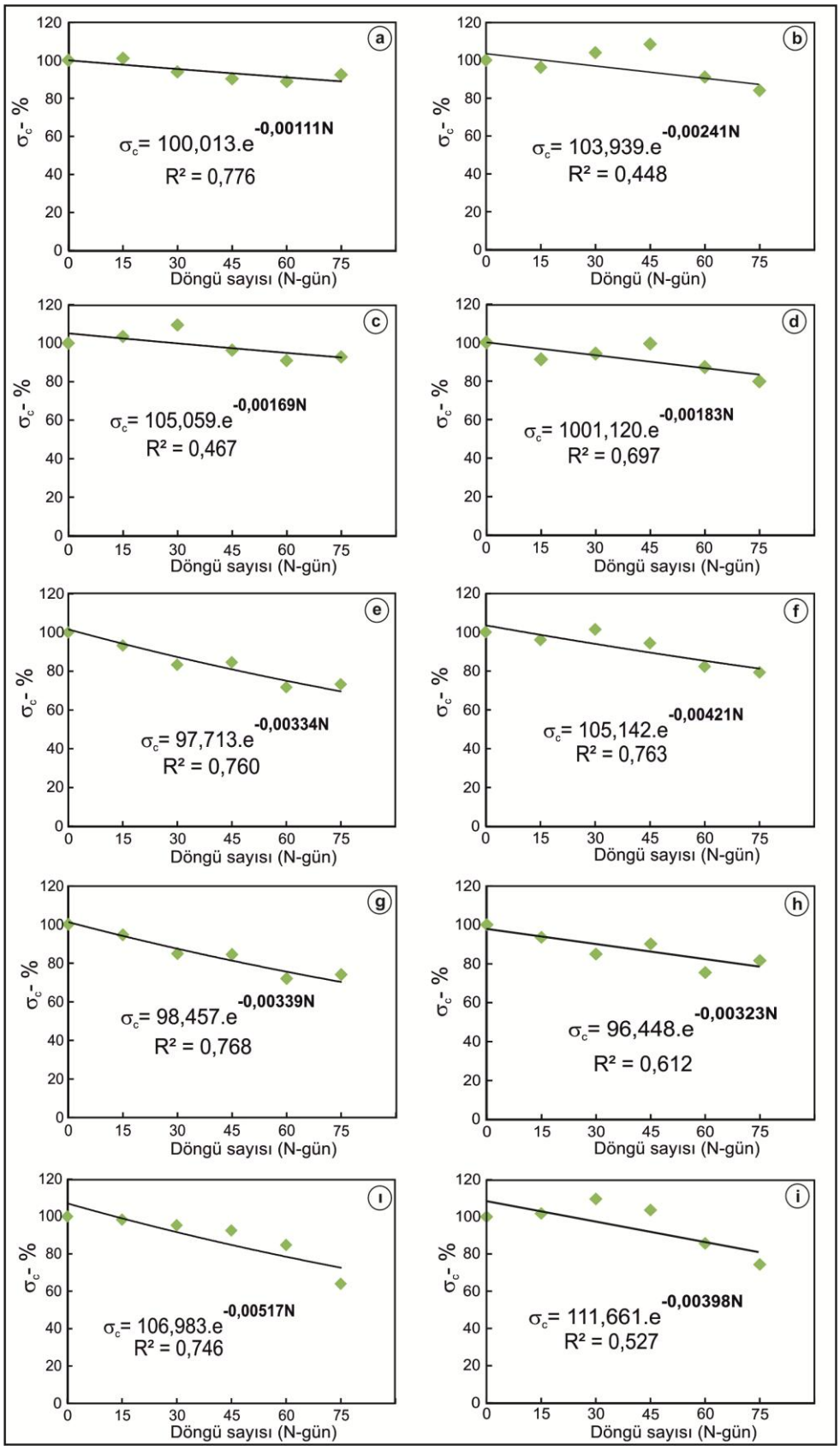
Elde edilen bozunma sabiti değerleri incelendiğinde 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin genel olarak tüm değişkenlerde diğer örneklere göre daha yüksek değerlere ulaştığı gözlenmektedir. Bu durum 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin tuz kristallenmesine karşı daha az duraylı olduğunu ve bozunma hızlarının daha yüksek olduğunu belirtmektedir.

Yapılan tuz kristallenmesi deneyi sonucunda elde edilen değişkenlere ait her bir kayaç örneğinin yarı ömrü değerleri incelendiğinde her bir değişkene ait yarı ömrü değerleri birbirleri ile paralellik sunmaktadır. 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin bozunma yarı ömrü değerleri diğer örneklere göre daha düşüktür. Bu değerler 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin bozunma yarı ömürlerinin daha kısa olduğunu göstermektedir. Bozunma yarı ömrü değerleri; porozitesi % 5'ten küçük olan 5 (spilit) ve 6 (mermer) nolu örneklerde daha düşük, porozitesi % 5'ten yüksek olan 3 (bazalt) ve 4 (andezit) nolu örnekte ise daha yüksek değerde olması kayacın yarı ömrü ve bozunma sabitinin yalnızca poroziteyle ilişkili olmayıp, kayacın mineral bileşimi ve boyutu, dokusal özellikleri, gözenekliliğin boyutu ve dağılımı, deney öncesindeki mikro çatlakların varlığı, kayacın homojen veya heterojen özellikte olması vb. gibi özelliklerin de önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

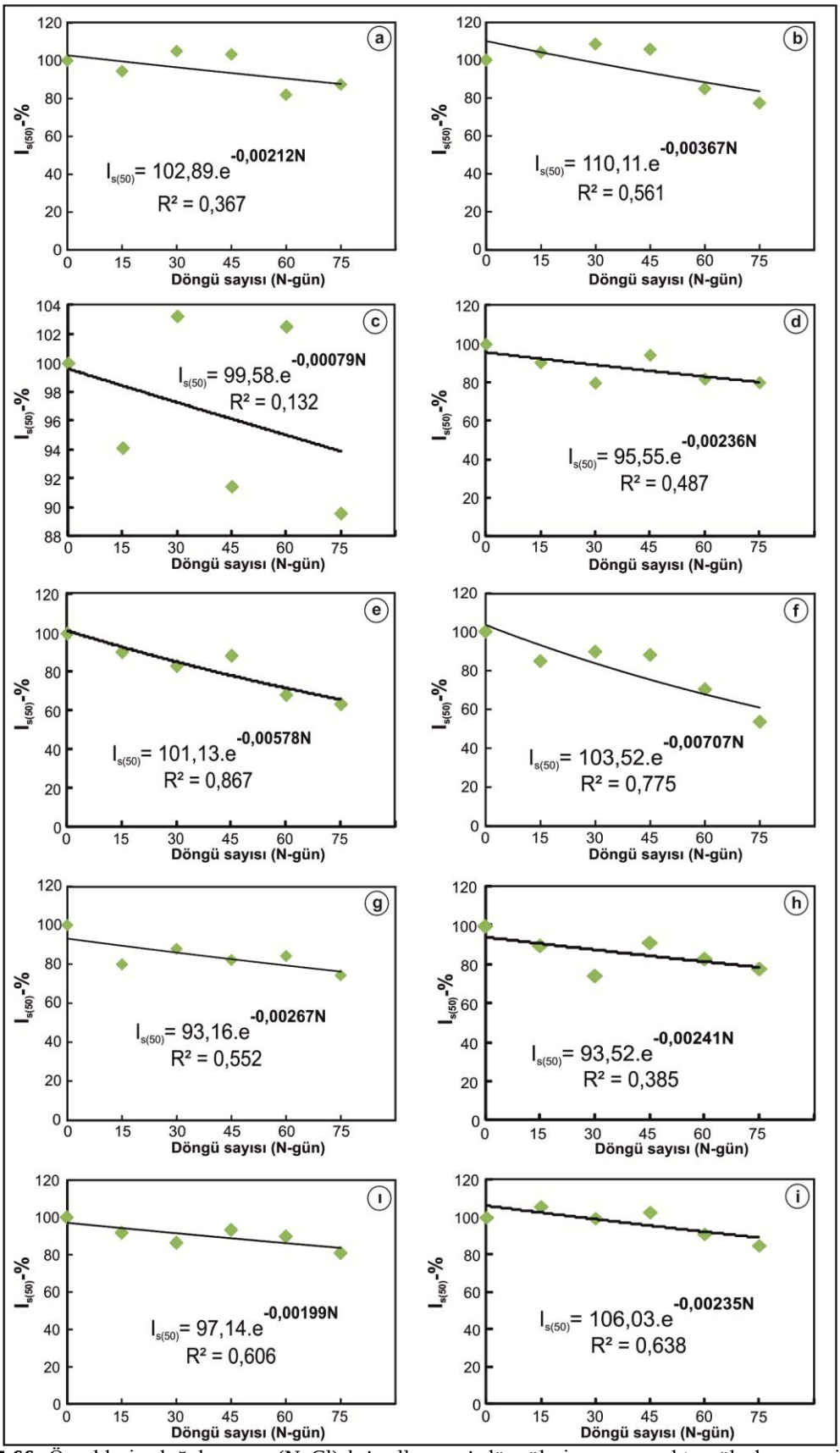
Tüm bu verilere göre, tuz kristalizasyon basıncının 5 (spilit), 6 (mermer), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örnekler üzerinde çalışmada kullanılan diğer kayaçlara göre daha etkili olduğu söylenebilir.



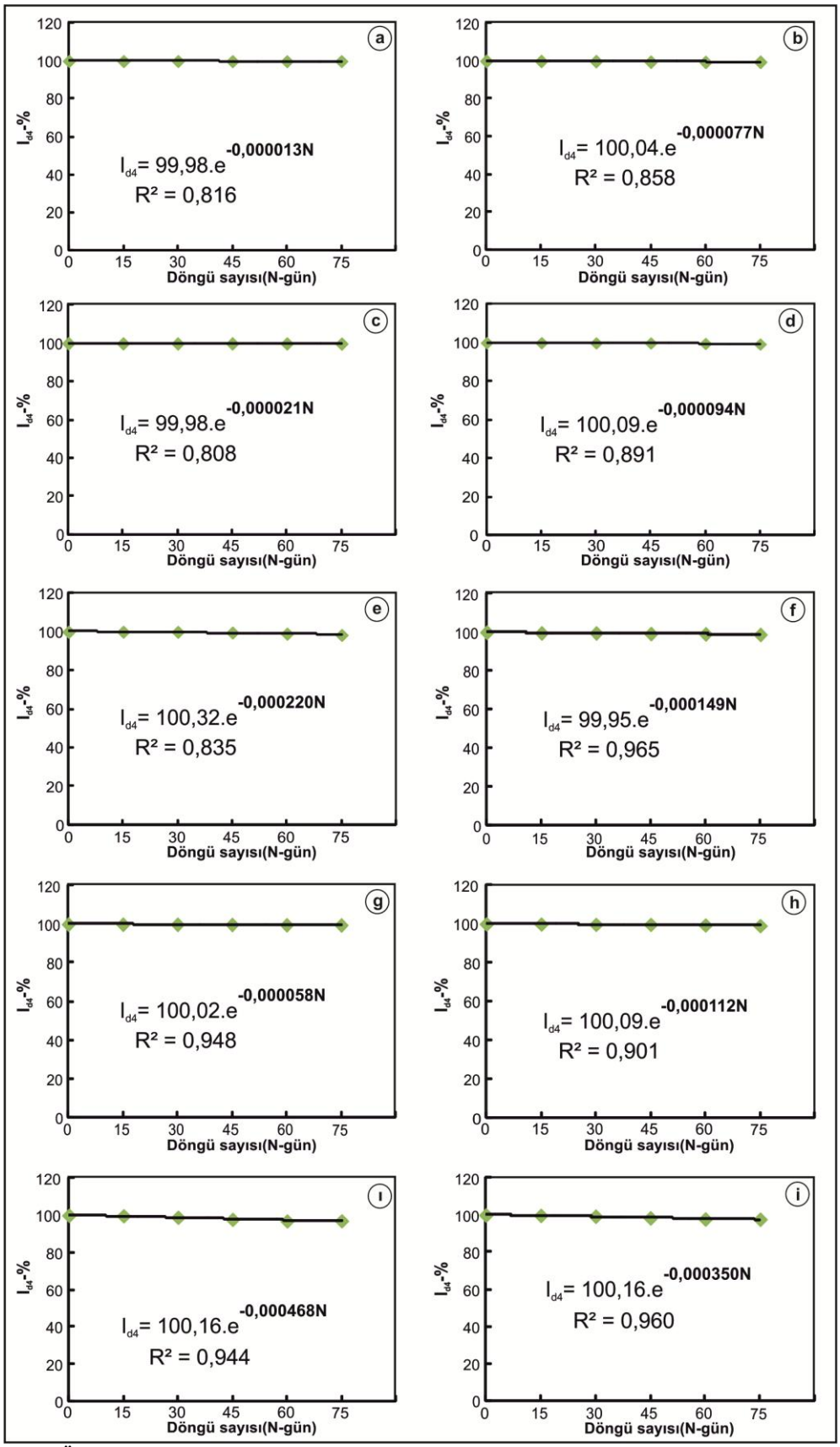

**Şekil 5.64.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası P dalga hızı (Vp) için bozunma sabitlerinin belirlenmesi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).



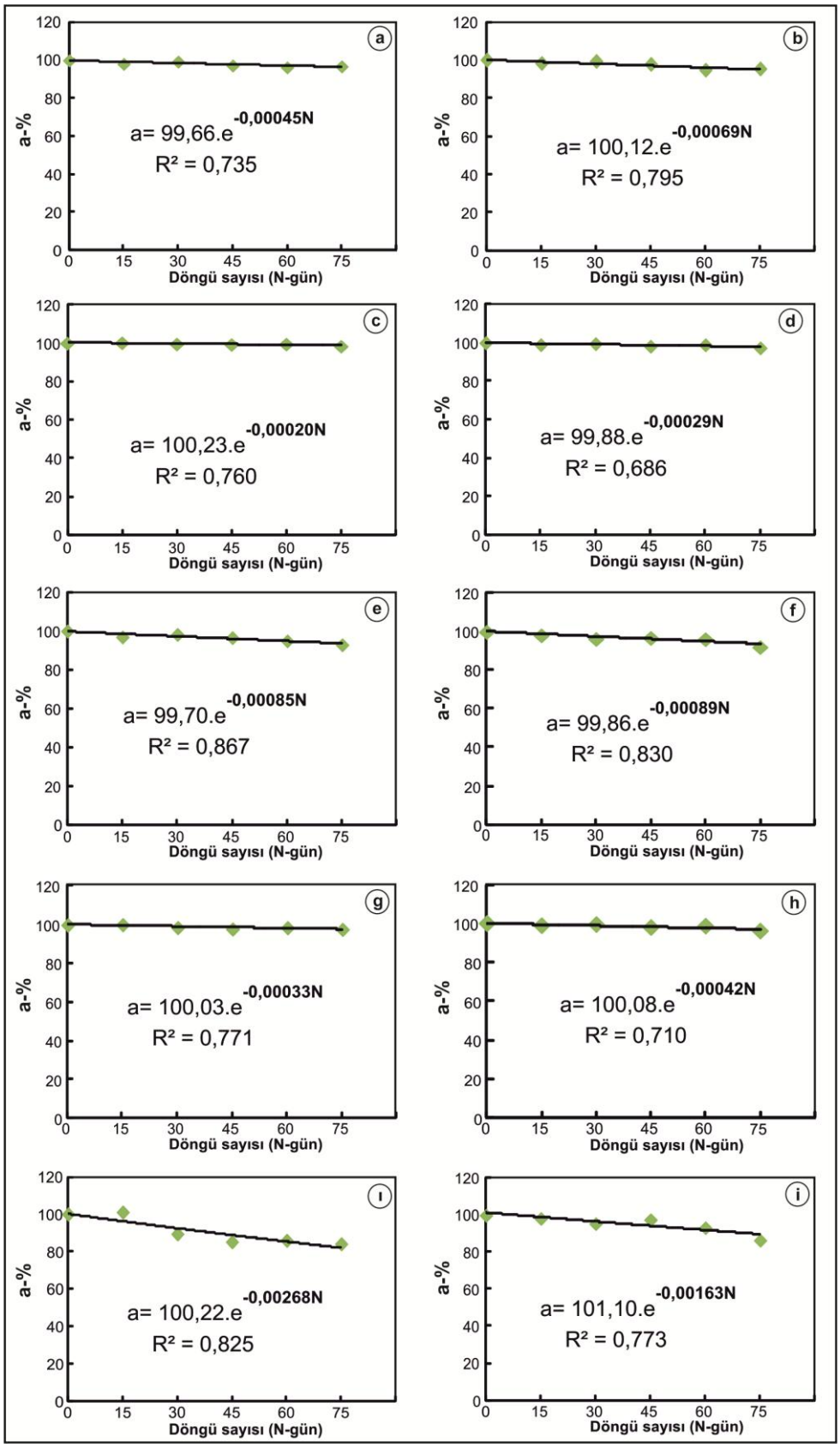

**Şekil 5.65.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_c$) için bozunma sabitlerinin belirlenmesi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.66.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) için bozunma sabitlerinin belirlenmesi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.67.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$) için bozunma sabitlerinin belirlenmesi; a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).




**Şekil 5.68.** Örneklerin doğal ve tuz (NaCl) kristallenmesi döngüleri sonrası darbe dayanım direnci (a) için bozunma sabitlerinin belirlenmesi a) 1 nolu örnek (granit), b) 2 nolu örnek (granit porfir), c) 3 nolu örnek (bazalt), d) 4 nolu örnek (andezit), e) 5 nolu örnek (spilit), f) 6 nolu örnek (mermer), g) 7 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), h) 8 nolu örnek (kristalin kireçtaşı), ı) 9 nolu örnek (tüf), i) 10 nolu örnek (tüf).

**Çizelge 5.50.** Tuz kristalizasyonu periyotları sonucu kayacın P dalgası hızı ($V_p$-%), tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$-%), nokta yük dayanımı indeksi ($I_{s(50)}$-%), suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$-%), ve darbe dayanım direnci (a-%) değerlerinden elde edilen eşitlikler ve korelasyon katsayısı ($R^2$) değerleri (N: döngü sayısı (gün)).

| Örnek No | Özellik | Eşitlik | $R^2$ Değeri |
|---|---|---|---|
| 1 | **P Dalga hızı ($V_p$)** | $V_p = 99{,}81.e^{-0{,}00057N}$ | 0,749 |
| 2 | | $V_p = 100{,}38.e^{-0{,}00126N}$ | 0,947 |
| 3 | | $V_p = 100{,}47.e^{-0{,}00079N}$ | 0,711 |
| 4 | | $V_p = 100{,}96.e^{-0{,}00119N}$ | 0,870 |
| 5 | | $V_p = 98{,}48.e^{-0{,}00131N}$ | 0,835 |
| 6 | | $V_p = 98{,}85.e^{-0{,}00325N}$ | 0,801 |
| 7 | | $V_p = 99{,}52.e^{-0{,}00102N}$ | 0,926 |
| 8 | | $V_p = 100{,}96.e^{-0{,}00147N}$ | 0,912 |
| 9 | | $V_p = 100{,}44.e^{-0{,}00139N}$ | 0,865 |
| 10 | | $V_p = 101{,}90.e^{-0{,}00268N}$ | 0,618 |
| 1 | **Tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$)** | $\sigma_c = 100{,}013.e^{-0{,}00111N}$ | 0,776 |
| 2 | | $\sigma_c = 103{,}939.e^{-0{,}00241N}$ | 0,448 |
| 3 | | $\sigma_c = 105{,}059.e^{-0{,}00169N}$ | 0,467 |
| 4 | | $\sigma_c = 1001{,}120.e^{-0{,}00183N}$ | 0,697 |
| 5 | | $\sigma_c = 97{,}713.e^{-0{,}00334N}$ | 0,760 |
| 6 | | $\sigma_c = 105{,}142.e^{-0{,}00421N}$ | 0,763 |
| 7 | | $\sigma_c = 98{,}457.e^{-0{,}00339N}$ | 0,768 |
| 8 | | $\sigma_c = 96{,}448.e^{-0{,}00323N}$ | 0,612 |
| 9 | | $\sigma_c = 106{,}983.e^{-0{,}00517N}$ | 0,746 |
| 10 | | $\sigma_c = 111{,}661.e^{-0{,}00398N}$ | 0,527 |
| 1 | **Nokta yük dayanımı indeksi ($Is_{(50)}$)** | $I_{s(50)} = 102{,}89.e^{-0{,}00212N}$ | 0,367 |
| 2 | | $I_{s(50)} = 110{,}11.e^{-0{,}00367N}$ | 0,561 |
| 3 | | $I_{s(50)} = 99{,}58.e^{-0{,}00079N}$ | 0,132 |
| 4 | | $I_{s(50)} = 95{,}55.e^{-0{,}00236N}$ | 0,487 |
| 5 | | $I_{s(50)} = 101{,}13.e^{-0{,}00578N}$ | 0,867 |
| 6 | | $I_{s(50)} = 103{,}52.e^{-0{,}00707N}$ | 0,775 |
| 7 | | $I_{s(50)} = 93{,}16.e^{-0{,}00267N}$ | 0,552 |
| 8 | | $I_{s(50)} = 93{,}52.e^{-0{,}00241N}$ | 0,385 |
| 9 | | $I_{s(50)} = 97{,}14.e^{-0{,}00199N}$ | 0,606 |
| 10 | | $I_{s(50)} = 106{,}03.e^{-0{,}00235N}$ | 0,638 |
| 1 | **Suda dağılmaya karşı durayılık indeksi ($I_{(d4)}$)** | $I_{d4} = 99{,}98.e^{-0{,}000013N}$ | 0,816 |
| 2 | | $I_{d4} = 100{,}04.e^{-0{,}000077N}$ | 0,858 |
| 3 | | $I_{d4} = 99{,}98.e^{-0{,}000021N}$ | 0,808 |
| 4 | | $I_{d4} = 100{,}09.e^{-0{,}000094N}$ | 0,891 |
| 5 | | $I_{d4} = 100{,}32.e^{-0{,}000220N}$ | 0,835 |
| 6 | | $I_{d4} = 99{,}95.e^{-0{,}000149N}$ | 0,965 |
| 7 | | $I_{d4} = 100{,}02.e^{-0{,}000058N}$ | 0,948 |
| 8 | | $I_{d4} = 100{,}09.e^{-0{,}000112N}$ | 0,901 |
| 9 | | $I_{d4} = 100{,}16.e^{-0{,}000468N}$ | 0,944 |
| 10 | | $I_{d4} = 100{,}16.e^{-0{,}000350N}$ | 0,960 |
| 1 | **Darbe dayanımı direnci (a)** | $a = 99{,}66.e^{-0{,}00045N}$ | 0,735 |
| 2 | | $a = 100{,}12.e^{-0{,}00069N}$ | 0,795 |
| 3 | | $a = 100{,}23.e^{-0{,}00020N}$ | 0,760 |
| 4 | | $a = 99{,}88.e^{-0{,}00029N}$ | 0,686 |
| 5 | | $a = 99{,}70.e^{-0{,}00085N}$ | 0,867 |
| 6 | | $a = 99{,}86.e^{-0{,}00089N}$ | 0,830 |
| 7 | | $a = 100{,}03.e^{-0{,}00033N}$ | 0,771 |
| 8 | | $a = 100{,}08.e^{-0{,}00042N}$ | 0,710 |
| 9 | | $a = 100{,}22.e^{-0{,}00268N}$ | 0,825 |
| 10 | | $a = 101{,}10.e^{-0{,}00163N}$ | 0,773 |

**Çizelge 5.51.** P dalgası hızı ($V_p$-%), tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$-%), nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$-%), suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($I_{d4}$-%) ve darbe dayanım direnci (a-%) verilerinden elde edilen bozunma sabiti (λ)ve yarı ömür ($N_{(1/2)}$) değerleri.

| Örnek No | (Vp) | | ($\sigma c_{(50)}$) | | ($Is_{(50)}$) | | ($I_{(d4)}$) | | (a) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | λ | $N_{(1/2)}$ | λ | $N_{(1/2)}$ | λ | $N_{(1/2)}$ | λ | $N_{(1/2)}$ | λ | $N_{(1/2)}$ |
| 1 | 0,00057 | 1216,05 | 0,00111 | 624,46 | 0,00212 | 326,96 | 0,000013 | 53319 | 0,00045 | 1540,33 |
| 2 | 0,00126 | 550,12 | 0,00241 | 287,61 | 0,00367 | 188,87 | 0,000077 | 9001,91 | 0,00069 | 1004,56 |
| 3 | 0,00079 | 877,40 | 0,00169 | 410,15 | 0,00079 | 877,4 | 0,000021 | 33007 | 0,0002 | 3465,74 |
| 4 | 0,00119 | 582,48 | 0,00183 | 378,77 | 0,00236 | 293,71 | 0,000094 | 7373,91 | 0,00029 | 2390,16 |
| 5 | 0,00131 | 529,12 | 0,00334 | 207,53 | 0,00578 | 119,92 | 0,00022 | 3150,67 | 0,00085 | 815,47 |
| 6 | 0,00325 | 213,28 | 0,00421 | 164,64 | 0,00707 | 98,041 | 0,000149 | 4651,99 | 0,00089 | 778,82 |
| 7 | 0,00102 | 679,56 | 0,00339 | 204,47 | 0,00241 | 287,61 | 0,000058 | 11950,8 | 0,00033 | 2100,45 |
| 8 | 0,00147 | 471,53 | 0,00323 | 214,60 | 0,00277 | 250,23 | 0,000112 | 6188,81 | 0,00042 | 1650,35 |
| 9 | 0,00139 | 498,67 | 0,00517 | 134,07 | 0,00199 | 348,32 | 0,000468 | 1481,08 | 0,00268 | 258,64 |
| 10 | 0,00268 | 346,57 | 0,00398 | 174,16 | 0,00235 | 294,96 | 0,000350 | 1980,42 | 0,00163 | 425,24 |

# 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Muğla, Mersin ve Karaman çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan farklı türdeki 10 kayacın, tuz (NaCl) kristallenmesi sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Örneklerin porozite değerleri, tuz kristallenmesi periyotlarının ilerlemesiyle artış göstermektedir. İncelenen tüm örneklerde özellikle 3. periyottan sonra porozite değerlerindeki artış daha belirgin hale gelmiştir. Porozitesi % 5'ten küçük olan 6 (mermer) ve 5 (spilit) numaralı örneklerin tuz kristallenmesi deneylerinden daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.

Tuz kristallenmesi deneylerinde örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinde porozite değerlerindekine benzer bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Ağırlıkça su emme değeri en fazla 6 nolu mermerde belirlenmiştir.

P dalgası yayılma hızı, tuz kristallenmesi periyotlarının ilerlemesiyle azalmaktadır. P dalgası yayılma hızındaki azalma en fazla 6 numaralı mermerde, en az 1 numaralı granitte bulunmuştur. 1 nolu granit hariç diğer tüm örneklerde tuz kristallenmesi 3. periyottan sonra daha etkili olmuştur. 6 nolu örneğin P dalga hızında en fazla azalmanın olmasının sebebi kayaçta var olan mevcut çatlakların deney sırasında genişlemesinden veya yeni mikro-çatlakların gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tuz kristallenmesi tüm örneklerin kohezyon eşiğini aşarak ağırlık kayıplarına neden olmuştur. En fazla kuru ağırlık kaybı 5 (spilit), 6 (mermer ), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerde bulunmuştur.

İndeks özellikleri arasında en fazla değişim 5 (spilit), 6 (mermer ), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu kayaç örneklerinde, en az değişim ise 1 (granit) ve 3 (bazalt) nolu kayaç örneklerinde bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan kayaçların tuz kristallenmesi periyotları ile tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ve dolaylı çekilme dayanımı ($\sigma_t$) değerleri arasında ters orantı bulunmuştur. Kayaçların tuz kristallenmesi deneyi sonucunda elde edilen dayanım parametrelerine göre 1 nolu granit ve 3 nolu bazalt en fazla dayanıma sahip, 6 nolu mermer ise en az dayanıma sahiptir. Diğer örneklerin

dayanım özellikleri tuz kristalizasyon deneylerinden aynı oranda (eşit derecede) etkilenmemiştir.

Los Angeles aşınma kaybı değerlerine göre; porozitesi % 5'ten büyük olan 9 ve 10 (tüf) nolu örnekler tuz kristallenmesi deneyinin 3. periyodundan sonra tamamen aşınmıştır. Ayrıca porozitesi % 5'ten küçük olan 5 nolu spilit ve 6 nolu mermer diğer örneklere göre daha fazla aşınma kaybı göstermiştir.

Agrega darbe dayanım direnci değerleri, tüm örneklerde tuz kristallenmesinin özellikle 3. periyodundan sonra daha belirgin artış göstermiştir. En fazla aşınma 9 ve 10 nolu tüflerde, en az aşınma ise 3 nolu bazaltta bulunmuştur.

Tüm örneklerde Böhme aşınma kaybı değerleri ile tuz kristallenmesi periyotları arasında pozitif ilişki bulunmuştur.

Tuz kristallenmesi deneyi sonucu tüm örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (% $I_{d2}$-% $I_{d4}$) değerlerinde azalma gözlenmiştir. Tuz kristallenmesinin 5.periyodu sonunda elde edilen $I_{d2}$-$I_{d4}$ değerlerine göre 1 (granit), 2 (granit porfir) ve 3 (bazalt) nolu örnekler "çok yüksek duraylı", 4 (andezit), 5 (spilit), 6 (mermer) ve 7 (kristalin kireçtaşı) nolu örnekler "yüksek duraylı", 8 (kristalin kireçtaşı) nolu örnek "orta yüksek duraylı" ve 9 ile 10 nolu örnekler (tüf) ise "orta duraylı" sınıfına girmektedirler.

Çalışmada kullanılan doğal kayaçların indeks, dayanım ve aşınma parametreleri arasında farklar olmasından dolayı başlangıç değerlerine göre tuz kristallenmesi periyotlarına ait yüzdesel değişim değerlerinin yorumlanması daha doğru sonuçlar vermektedir. 6 nolu mermerin tüm deneyler sonucunda en fazla yüzdesel değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Kayaçların tuz kristallenmesi deneyi sonucunda yapılan makroskobik ve mikroskobik incelemelere göre; 6 (mermer), 5 (spilit), 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örneklerin tuz kristallenmesi deneyinden en fazla etkilendikleri gözlenmiştir. 1 (granit) ve 3 (bazalt) nolu örneklerin ise tuz kristallenmesi deneyinden en az etkilendikleri gözlenmiştir. 6 nolu örnekte var olan mikro çatlaklar ve süreksizlikler, 5 nolu örnekte var olan alterasyon ile 9 ve 10 nolu örneklerin porozite değerlerinin yüksek olması bu kayaçların tuz kristallenmesi deneylerinden daha fazla etkilenmesine neden olmuştur. Taramalı elektron mikroskop çalışmalarında tuz kristallerinin kayaçların süreksizlik yüzeyi boyunca yerleşerek, bazı mineral yüzeylerinde pürüzlenmeye yol açarak ve levhamsı minerallerin ise katmanlarının arasına yerleşerek bozunmaya sebep olan zayıflık zonları oluşturduğu belirlenmiştir. Tuz kristallenmesi deneyi sonrasında yapılan

EDS çalışmaları sonucunda kayaçların dış yüzeyinden içe doğru halit mineralinden daha az etkilendiği fakat kayaç bünyesinde bulunan süreksizliklerin halit mineralinin en fazla gözlendiği yerler olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan kayaçlar bozunma hızı bakımından değerlendirildiğinde, tüm kayaçlar "düşük bozunma hızına" sahiptir. Porozitesi % 5'ten küçük olan 6 (mermer) ve 5 (spilit) nolu örnekler ile porozitesi % 5'ten büyük olan 9 (tüf) ve 10 (tüf) nolu örnekler diğer örneklere göre daha yüksek bozunma hızına sahiptir. Aynı zamanda bu kayaçların bozunma yarı ömrü diğer örneklere göre daha düşük bulunmuştur.

Yapılan incelemeler sonucunda kayaçların tuz kristallenmesi deneyinden etkilenmelerindeki en önemli nedenlerin başında kayaçlarda var olan mikro çatlaklar, süreksizlikler, porozite ve minerallerde var olan alterasyonlar olduğu saptanmıştır. Ayrıca kayaçlar içerisinde var olan piroksen, kalsit, plajiyoklas ve biyotit gibi mineraller kristallenme deneyinden daha fazla etkilenerek kayaçlarda bütünlük kayıplarına yol açmakta ve kayaçların dayanım özelliklerini etkilemektedir.

Çeşitli amaçlar için kullanılan veya muhtemel kullanılacak olan doğal yapı taşlarında bozunmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri olan tuz kristallenmesinin bu çalışmada ele alınan farklı kayaçlar üzerindeki etkisinin önceden belirlenmesi ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

Yapay bozunma deneylerinde kullanılan NaCl çözeltisinin kayaçlarda meydana getirdiği bozunmayı daha belirgin şekilde gösterebilmek için döngü sayısının arttırılması gerekmektedir. Ayrıca tuz emilimi fazla olan kayaçlarda yıkama süresinin de arttırılması daha etkili sonuçlar verebilir.

## 7. KAYNAKLAR


Akat, U., Öztürk, Z., Öztürk, E.M. ve Çağlayan A., 1975, Menderes Masifi güneyi SW Toros kuşağı ilişkisi ön rapor*, MTA raporları*, Rapor No: 3104, Ankara.

Akın, M., 2008, Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin bozunmasının araştırılması, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Ankara, 263 s.

Akın, M. and Özsan, A., 2011, Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 70:101-114. DOI 10.1007/s1 00 64-010-0287-x.

Alonso, F.J., Vazquez, P., Esbert, R. and Ordaz, J., 2008, Ornamental granite durability: evaluation of damage caused by salt crystallization. *Materiales de Construccion* 58 (289-290), pp. 191-201.

Allison, R.J., 1988, A non-destructive method of determining rock strength. *Earth Surface Processes and Landforms*. 13: pp. 729-36.

Altindag, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. and Onargan, T., 2006, Integrity loss of physıco- mechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freze-thaw (F-T) process, *Fracture and Failure of Natural Building Stones, S.K. Kourkoulis (ed.)*, pp. 363-372.

Alves, C., Figueiredo, C., Mauricio, A., Amalia, M., Braga, S. and Aires-Barros, L., 2011, Limestones under salt decay tests: assessment of pore network-dependent durability predictor. *Environmental Earth Science* 63:1511-1527. DOI 10.1007/s12665-011-0915-1.

Angeli, M., Bigas, J.P., Menendez, B., Hebert, R. and David, C., 2006, Influence of capillary properties and evaporation on salt weathering of sedimentary rocks. *Heritage, Weathering and Conservation*, pp. 253-259, Leiden.

Angeli, M., Bigas, J.P., Benavente, D., Menendez, B., Hebert, R. and David, C., 2007, Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage. *Environmental Geology*, vol. 52, pp. 187-195.

Angeli, M., Hebert, R., Menendez, B., David, C. and Bigas, J.P., 2010, Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate. *Engineering Geology*, vol. 115, pp. 193-198.

Anon, 1995, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, No. 28, pp. 207-242.

Arnold, A., 1984, Determination of salts from monuments. Studies of conservation, 29, pp. 129-138.

Arnold, A. and Zehnder, K., 1991, Monitoring wall paintings affected by soluble salts. The conservation of wall paintings, *Getty Conservation Institute*, pp 103-135. Available online (August 2010) http://getty.edu/conservation/publications/pdf publications/ wall_paintings.pdf.

ASTM (American Society for Testing and Meterials), 1994, Annual book of ASTM standart - construction: soil and rock, *ASTM Publication*, v.04.08, 978 p.

ASTM (American Society for Testing Materials) C 88, 1994, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate and Magnesium Sulfate, *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 978 p.

ASTM (American Society for Testing Materials) C-131-06, 2006, Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine, Philadelphia, USA, 4 p.

Ayhan, A. ve Papak, İ., 1988, "Aksaray-Taşpınar-Altınhisar-Çiftlik-Delihebil (Niğde) civarının jeolojisi, *MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdleri Daire Başkanlığı*, No: 2324, 98 s, Ankara.

Backstrom, A., Antikainen, J., Backers, T., Feng, X., Jing, L., Kobayashi, A., Koyama, T., Pan, P., Rinne, M., Shen, B. and Hudson, J.A., 2008, Numerical modelling of uniaxial compressive failure of granite with and without saline porewater. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 45, pp. 1126-1142.

Bağcı, M., 2006, Kozağaç - Kalınağıl (Muğla) Mermerlerinin Jeolojisi, Teknik Analizi ve Maden Ekonomisi Açısından Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Isparta, 216 s.

Beavis, F.C., 1985, *Engineering Geology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 231 pp.

Bell, F.G. and Culshaw, M.G., 1993, *A survey of the geomechanical properties of some relatively weak Triassic sandstones*. In: The Engineering Geology of Weak Rock, Engineering Geology Special Publication No. 8, Cripps, J.C., Coulthard, J.M., Culshaw, M.G., Forster, A., Hencher, S.R. and Moon, C.F., (Editors), Geological Society, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 139-148.

Bell, F.G., 2007, *Engineering geology*. Blackwell, Second edition, 581 p.

Benavente, D., Garcia del Cura, M.A., Fort, R. and Ordonez, S., 1999, Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallisation in porous media of stone. *J. Crystal Growth*, 204, pp. 168-178.

Benavente, D., Garcia del Cura, M.A., Bernabeu, A. and Ordonez, S., 2001, Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. *Engineering Geology*, 59, pp. 313-325.

Benavente, D., Del Cura, M.A.G., Fort, R. and Ordonez, S., 2004, Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength, Engineering Geology, vol. 74, pp. 113-127.

Benavente, D., Cueto, J., Martinez, N., Garcia, M.A. and Canaveras, J.C., 2007a, The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. *Environmental Geology*, vol. 52, pp. 197-206.

Benavente, D., Martinez-Martinez, J., Cueto, N. and Garcia del Cura, M.A., 2007b, Salt weathering in dual-porosity building dolostones. *Engineering Geology* 94, pp. 215 -226.

Besang, C., Eckhardt, F.J., Harre, W., Kreuzer, H. and Moller, P., 1977, Radiometricshe altersbestimmungen an Neogen eruptivgesteinen der Turkei. *Geol. Jb.* B25, pp. 3-36.

Blows, J.F., Carey, P.J. and Poole, A.B., 2003, Preliminary investigations into Caen Stone in the UK; its use, weathering and comparison with repair stone. *Build Environ* 38: pp. 1143-1149.

Blyth, F.G.H. and De Freitas M.H., 1984, *A Geology for Engineers*, 7th Edition, Biddies Ltd. London, 365 p.

Boztuğ, D., Güney, Ö., Heizler, M., Jonckheere, R., Tıchomırowa, M. and Otlu, N., 2009a, $^{207}Pb$-$^{206}Pb$, $^{40}Ar$-$^{39}Ar$ and fission-track geothermochronology quantifying cooling and exhumation history of the Kaman-Kırşehir region intrusions, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 18, pp. 85-108.

Boztuğ, D., Güney, Ö., Heizler, M., Jonckheere, R. and Tıchomırowa, M., 2009b, $^{207}Pb$-$^{206}Pb$, $^{40}Ar$-$^{39}Ar$ and apatit fission-track geothermochronology revealing the emplacement, cooling and exhumation history of the Karaçayır syenite (N Sivas), East-Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 18, pp. 109-125.

Brinkmann, R., 1966, Geotektonische Gliederung von West-Anatolien. *N. Jb. Geol. Palâont. Mh.* 603-618, Stuttgart.

Brinkman, R., 1967, Die Südflanke des Menderes Massivs bie Milas, Bodrum und Ören, Scient. *Report of Faculty of Science, Ege University*., 43p. 12, 2 abb., 1 Tab., İzmir-Bornava.

Broch, E. and Franklin, J.A., 1972, The point load strength test. *Int J Rock Mech Min Sci* 9, pp. 669-697.

BS 812 Part 112, 1990, Methods for determination of aggregate impact value (AIV). *British Standards Institution*, London, 12 p.

Buj, O. and Gisbert, J., 2010, Influence of pore morphology on the durability of sedimentary building stones from Aragon (Spain) subjected to standard salt decay tests. *Earth Environ Sci* 61:1327-1336. doi: 10.1007/s12665-010-0451-4

CANMET, 1997, Laboratory classification test, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, *Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report*: 77, pp. 25-31.

Carpenter, J.M., Davies, E.S., Hall, C., Hall, L.D., Haff, W.D. and Wilson, A., 1993, Capillary water migration in rock: process and material properties examined by NMR imaging. *Materials and Structures*. 26, pp. 286-292.

Carretero, M.I. and Galan, E., 1996, Marine spray and urban pollution as the main factors of stone damage in the Cathedral of Malaga (Spain). In: Riederer, J., (editors), Deterioration and Conservation of stone. *Proceedings of the Eighth International Congress*, Berlin, September 30 - October 4, pp. 311-324.

Chang, R., 2008, *General Chemistry: The Essential Concepts*. 5th edition, The McGraw-Hill Companies, New York, USA, 757 p.

Coussy, O., 2006, Deformation and stress from in-pore drying-induced crystallization of salt. *J Mech Phys Solids* 54:1517-1547. doi: 10.1016/j.jmps.

Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B. and Alkaya, D., 2010, Correlation between "wide wheel abrasion (capon)" and "Bohme abrasion" test results for some carbonate rocks. *Scientific Research and Essays* vol. 5(22), pp. 3398-3404.

Dellaloğlu, A.A. ve Aksu, R., 1986, Ereğli (Konya)-Ulukışla-Çiftehan-Çamardı (Niğde) Dolayının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, T.P.A.O. Rapor No: 2205, Ankara.

Demircioğlu, R., 2001, Çamardı (Niğde) Yöresinin Jeolojisi ve yapısal özellikleri, *Niğde Üniersitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde, 89 s.

Demirtaşlı, E., 1978, Carboniferous of the area between Pınarbaşı and Sariz. In: Guide Book of Field Excursions on the Carboniferous Stratigraphy of Turkey, *Spec. Publ. M.T.A*, Ankara, pp. 25-29.

DIN 52111, 1990, Testing of natural stone and mineral aggregates; crystallisation test with sodium sulfate, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, German. 5 p.

Dirik, E. ve Şener, M., 2007, *Fiziksel Jeoloji: Yeryuvarı'nın araştırılması* (Çeviri). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 642s. Orijinal; Monroe J.S. and Wicander R., 2005, *Physical Geology: Exploring the Earth*. 5th edition, *Thomson Books/Cole*, 644 p.

Doehne, E., 2002, Salt weathering: a selective review. In: Siegesmund, S., Weiss, T. and Vollbrecht, A., (editors) Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies, *Special Publications* 205. *Geological Society of London*, London, pp 51-64. doi: 10.1144/GSL.SP.2002.205.01.05.

Doehne, E. and Price, C.A., 2010, Stone Conservation: An Overview of Current Research. *The Getty Conservation Institute*, second edition, Los Angeles, California, 158 p.

Doornkamp, J.C. and Ibrahim, H.A.M., 1990, Salt weathering. *Progress Phys Geogr* 14: 335-348. doi: 10.1177/030913339001400303.

Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, A.E., 2003, Kayseri-Nigde-Nevşehir Yöresi Tersiyer Volknitleri. *M.T.A Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı*, Ankara, Derleme No: 10575.

Drever, J.I. and Stillings, L.L., 1997, The role of organic acid in mineral weathering. *Colloids and Surfaces*, 120, pp. 167-181.

Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture; In: Classification of carbonate rocks (Ed.by W.E. Ham.), *A. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*,1, pp. 108-121.

EN 14157, 2004, Natural stone determination of the abrasion resistance, CEN, Brussels, Belgium, 13 p.

Ercan, T., 1987, Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması. *M.T.A. Dergisi*, c. 107, s. 119-140.

Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Tokel, S., Notsu, K., Ui, T., Can, B., Selvi, Y., Yıldırım, T., Fişekçi, A., Ölmez, M. and Akbaşlı, A., 1990, Hasandağı-Karacadağ (Orta Anadolu) dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmanın kökeni ve evrimi, *Jeomorfoloji Dergisi*, c.18, s. 39-54.

Eren, Y., 1993, Konya kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 36, s.7-23.

Espinosa Marzal, R.M. and Scherer, G.W., 2008, Crystallization of sodium sulfate salts in limestone. *Environ Geol* 56:605-621. doi: 10.1007/s00254-008-1441-7.

Feng, X.T., Chen, S. and Li, S., 2001, Effects of water chemistry on microcracking and compressive strength of granite. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 38, pp. 557-568.

Feucht, L.J. and Logan, J.M., 1990, Effects of chemically active solutions on shearing behavior of a sandstone. *Tectonophysics*; 175, pp. 159-176.

Fitzer, B. and Snethlage, R., 1982, Ueber Zusammenhange zwischen salz kristallisations druck und Porenradien verteilung. *GP News-letter* 3, pp. 13-24.

Flatt, R.J., Steiger, M. and Scherer, G.W., 2007, A commented translation of the paper by CW Correns and W Steinborn on crystallization pressure. *Environ Geol* 52:187-203. doi:10.1007/s00254-006-0509-5.

Fookes, P.G., Dearman W.R. and Franklin, J.A., 1971, Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere. *Q J Eng Geol* 4, pp. 139-185.

Franklin, J.A., Chandra, R., 1972, The slake durability test, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr*, 9, pp. 325–341.

Fritsch, W., Meixner, H. and Wieseneder, H., 1967, Zur quantitativen Klassifikation der kristallinen Schiefer.-Neues Jahrb. Mineral. Monatsh., pp. 364-376.

Gamble, J.C., 1971, Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Ph.D. Thesis, *University of Illinois*, Chıcago, USA, (unpublished).

Gauri, K.L. and Bandyopadhyay, J.K., 1999, Carbonate stone: chemical behavior. *Durability and conservation. John Wiley & Sons,* New York, USA, 284 p.

Goudie, A.S. and Viles, H., 1995, The nature and pattern of debris liberation by salt weathering: a laboratory study. *Earth Surface Processes and Landforms*. 20, pp. 437-449.

Goudie, A.S. and Viles, H., 1997, Salt weathering hazards. *Wiley*, Chichester, UK, 241p.

Goudie, A.S., 1999, Experimental salt weathering of limestones in relation to rock properties. *Earth Surface Processes and Landforms*. 24, pp. 715-724.

Göğer, E. ve Kıral, K., 1969, Kızılören dolayının jeolojisi, *M.T.A.* Rapor No: 5204 (yayınlanmamış), Ankara.

Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. and Sönmez, H., 2000, Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey with particular emphasis on the influence of the number of drying and witting cycles. *Engineering Geology*, 57, pp. 215-237.

Göncüoğlu, M.C., 1986, Geochronological data from the southern part (Niğde area) of the Central Anatolian Massif. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi,* 105/106, 111-124.

Guolin, R. and Yushan, L., 1990, Engineering geological zonation of Xiamen granitic weathered crust and bearing capacity of residual soil. Proceedings of the 6th. *International Congress IAEG*, vol. 3. Balkema, Rotterdam, pp. 1989-1995.

Gupta, A.S. and Seshagiri Rao, K., 1998, Index properties of weathered rocks: interrelationships and applicability. *Bull Eng Geol Env* 57, pp. 161-172.

Halsey, D.P., Mitchell, D.J. and Dews, S.J., 1998, Inuence of climatically induced cycles in physical weathering. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 31, pp. 359-367.

Hamblin, W.K. and Christiansen, E.H., 2004, *Earth's Dynamic Systems* (10th edition) Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 790 p.

Helvacı, C., 2013, *Genel Jeoloji Temel İlkeleri* (Çeviri). Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti., Ankara, 547s. Orijinal; Lutgens, F.K., Tarbuck, E.J. and Tasa, D., 2011, *Essentials of Geology*. 11th edition, by Prentice Hall ISBN-13: 978-0-321-71472-5, ISBN: 0-321-71472-5, 576 p.

Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, *Stephen Austin and sons ltd.*, Hertford, England, 577 p.

Hudson, J.A., 1981, Wave speeds and attenuation of elastic waves in material containing cracks-*Geophys. J. R. astr. Soc*. 64: pp. 133-150.

ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials: Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.,* 16 p.

ISRM, 1981, Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods, E.T. Brown (ed), Pergamon, Oxford, 211 p.

ISRM, 1985, Suggested method for determining point load strength, *Int. J. Rock Mech Min. Sci. Geomech. Abstr*. 22(2), pp. 53-69.

İlbeyli, N., 2004, Field, petrographic and geochemical characteristics of the Hamit alkaline intrusion in the Central Anatolian, Crystalline Complex, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences,* vol. 13, 2004, pp. 269-286.

İlbeyli, N., Pearce, J.A., Thırlwall, M.F. and Mıtchell, J.G., 2004, Petrogenesis of collision-related plutonics in central Anatolia, Turkey. Lithos 72, pp. 163-182.

İlbeyli, N., Pearce, J.A., Meighan, I.A. and Fallıck, A.E., 2009, Contemporaneous Late Cretaceous Calc-alkaline and Alkaline Magmatism in Central Anatolia, Turkey: Oxygen Isotope Constraints on Petrogenesis, *Turkish J. Earth Sci*., vol. 18, pp. 529-547.

Innocenti, F., Mazzuoli, G., Pasquare, F., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., 1975, The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia; geochronological data on Kayseri-Niğde area. *Geol. Mag.* 112 (4), pp. 349-360.

İphar, M. ve Göktan R.M., 2006, Mermerlerde sürtünme ile aşınma kaybının uyarlanabilir sinirsel-bulanık ağ etkileşim sistemi yardımıyla kestirilmesi. *MERSEM' 2006, Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyonkarahisar, s. 171-182.

İrfan, T.Y. and Powell, G.E., 1985, Engineering geological investigations for pile foundation on a deeply weathered granitic rock in Hong Kong. *Bull Int Assoc Eng Geol* 32, pp. 67-80.

Jefferson, D.P., 1993, Building stone: the geological dimension. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 26, pp. 305-319.

Jeffreys, H., 1931, Damping in bodily seimsmic waves - Mon. *Not. R. astr. Soc. Geophys. Suppl*. 3, pp. 318-323.

Kahraman, S. and Günaydın, O., 2007, Empirical methods to predict the abrasion resistance of rock aggregates. *Bull Eng Geol Environ* 66:449-455. DOI 10.1007/s10064-007-0093-2.

Karpuz, C. ve Hindistan, M.A., 2008, Kaya Mekaniği ilkeleri, uygulamaları, *TMMOB. Maden Müh. Odası Yayınları*, No:16, Ankara, 346 s.

Knill, J.L., 1993, Material weathering. The Engineering Geology of Weak Rock. *Engineering Geology Special Publication*, No: 8, Balkema, Rotterdam, pp. 155-158.

Karaca, Z., Deliormanli, A.H., Elci, H. and Pamukcu, C., 2010, Effect of freeze–thaw process on the abrasion loss value of stones, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 47, pp. 1207-1211.

Koçyiğit, A., 1972, Üçbaş-Sarıkaya (Karaman) çevresinin jeolojisi. *Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (yayımlanmamış).

Koçyiğit, A., 1978, Sarıkaya-Üçbaş (Karaman) yöresinin jeolojisi, *T.J.K. Bülteni*, 21, 77-87, Ankara.

La Iglesia, A,, Garcia del Cura, M.A. and Ordonez, S., 1994, The physico-chemical weathering of monumental dolostones, granites and limestones; dimension stones of the Cathedral of Toledo (Spain). *Sci Total Environ*. 152, pp. 179-88.

La Iglesia, A., Gonzalez, V., Lopez-Acevedo, V. and Viedma, C., 1997, Salt crystallization in porous construction materials I estimation of crystallization pressure. *J Cryst Growth* 177:111-118. doi:10.1016/S0022-0248(96)01072-X.

Lewin, S., 1989, The susceptibility of calcareous stones to salt decay. In: Zezza F (ed) The conservation of monuments in the Mediterranean Basin: the influence of coastal environment and salt spray on limestone and marble, *Proceedings of the 1st International Symposium*, Grafo Edizioni, Brescia, pp. 59-63.

Lumb, P., 1983, Engineering properties of fresh and decomposed igneous rocks from Hong Kong. *Eng Geol* 19: pp. 81-94.

Marevelaki-Kalaitzaki, P. and Biscontin, G., 1999, Origin, characteristics and morphology of weathering crusts on Istria Stone in Venice. *Atmospheric Environment* 33, pp. 1699-1709.

Moropoulou, A., Theoulakis, P. and Chrysophakis, T., 1995, Correlation between stone weathering and environmental factors in marine atmosphere. *Atmospheric Environment* 29(8), pp. 895-903.

Mustoe, G. E., 1982, The origin of honeycomb weathering. *Geological Society of America Bulletin*, 93, pp. 108-115.

Mutlutürk, M., Altındağ, R. and Türk, G., 2004. A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling. *Int. Jour. of Rock Mech. and Mining Sciences,* vol. 41, pp. 237-244.

Nicholson, D.T., 2002, Quantification of rock breakdown for experimental weathering studies. In: Prikryl, R. and Viles, H.A., editors: Understanding and managing stone decay. Prague: *The Karolinum Press*, pp. 59-74.

Nielsen, C.B., 1991, Salts in Porous Building Materials, Ph.D. Thesis, *Technical Report*: 243/91, Building Materials Laboratory, The Technical University of Denmark,

Okay, A.C., 1954, Kayseri, Niğde ve Tuzgölü arasındaki bölgenin jeolojisi. *M.T.A.* Rapor No:2252 (yayınlanmamış), Ankara.

Oktay, F.Y., 1973, Sedimantery Tectonic History of the Ulukışla Area, Southern Turkey, Ph.D. Thesis *University of London*, 414 p.

Ollier, C.D., 1984, *Weathering, Geomorphology Texts*, 2nd edition. Longman Group, Essex, United Kingdom, 270 p.

Özer, S., 1994, Menderes Masifi'ndeki Kretase platformunun evrimi. Menderes Masifi *M.T.A. projesi brifing ve seminerleri bildiri özetleri*. s. 5-8.

Özalp, S., 1999, Orta Toroslar'da Büyükeceli (Gülnar)-Yeşilovacık (Silifke) dolayının tektono-stratigrafi birimleri ve bölgenin yapısal evrimi. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 172 s, Adana, (yayınlanmamış).

Papida, S., Murphy, W. and May, E., 2000, Enhancement of physical weathering of building stones by microbial populations. *Int Biodeterior Biodegradation* 46:305-317.

Pasquare, G., 1968, Geology of Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. Memorie: Roma, *Academia Nazionale Dei Lincei*, pp. 55-204.

Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. and Zanchi, A., 1988, Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 146, pp. 217-230.

Pehlivan, A.N., 1976, Etibank Konya civa işletmesi Sızma-Ladik sahalarına ait rapor. *M.T.A.* Rapor no:5757 (yayınlanmamış), Ankara.

Pitzurra, L., Moroni, B., Nocentini, A., Sbaraglia, G., Poli, G. and Bistoni, F., 2003, Microbial growth and air pollution in carbonate rock weathering. *Int Biodeterior Biodegradation* 52, pp. 63-68.

Price, C.A., 1996, Stone Conservation: an Overview of Current Research, Research in Conservation, *The Getty Conservation Institute*, Los Angeles, 73 p.

Prikryl, R., 2001, Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 38(5), pp. 671-682.

Prikryl, R., Lokajıcek, T., Svobodova, J. and Weishauptova, Z., 2003, Experimental weathering of marlstone from Predni Kopanina (Czech Republic)-historical building stone of Prague. *Build Environ* 38(9-10), pp. 1163-1171.

Rahn, P.H., 1996, *Engineering Geology:* An Environmental Approach. 2nd. Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey, USA, 657 p.

Ramana, Y.V. and Gogte, B.S., 1982, Quantitative studies of weathering in saprolitized charnockites associated with a landslip zonet the Porthimund dam, India. *Engineering Geology* 19, pp. 29-46.

RILEM, 1980, Recommended test to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, commission 25-PEM, *Material and Structures*, vol.13, pp. 175-253.

Richardson, B.A., 1991, *The durability of porous stones*. Stone Industries, No: 10, pp. 22-25.

Rodriguez-Navarro, C. and Doehne, E., 1999, Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, pp. 191-209.

Rothert, E., Eggers, T., Cassar, J., Ruedrich, J., Fitzner, B. and Siegesmund, S., 2007, Stone properties and weathering induced by salt crystallization of Maltese Globigerina Limestone. In: Prikryl R. and Smith B.J., (eds) Building stone decay: from diagnosis to conservation, *Special Publications* 271, *Geological Society of London*, London, pp 189-198. doi: 10.1144/GSL. SP.2007. 271.01.19.

Ruiz-Agudo, E., Mees, F., Jacobs, P. and Rodriguez-Navarro, C., 2007, The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulphates. *Environ Geol* 52:269–281. doi: 10.1007/s00254-006-0476-x.

Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G. and Papanakli, S., 2008, Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks. *Eng Geol*.97, pp. 80-90.

Schaffer, R.J., 1932, The Weathering of Natural Building Stones, DSIR, *Building Research Special Report 18, Stationery Office*, London, 34 p.

Scherer, G.W., 1999, Crystallization in pores. *Cem Concr Res* 29:1347-1358. doi: 10.1016/S0008-8846(99)00002-2.

Schmid, R., 1981, Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS Subcommision on the Systematics of Igneous rocks, *Geology*, 9, pp. 41-43.

Scherer, G,W., 2004, Stress from crystallization of salt. *Cem Concr Res* 34:1613-1624. doi: 10.1016/j.cemconres.2003.12.034.

Selby, M.J., 1993, *Hillslope Materials and Processes*, 2nd. ed. Oxford Univ. Press, Oxford. 466 p.

Sengun, N., Altindag, R., Demirdag, S. and Yavuz, H., 2011, P-wave velocity and Schmidt rebound hardness value of rocks under uniaxial compressional loading. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 48, pp. 693-696.

Seymen, İ., 1982, Kaman dolayında Kırşehir Masifi'nin jeolojisi: *İTÜ Maden Fak.*, İstanbul, Doçentlik Tezi, 164 s (yayınlanmamış).

Shakoor, A. and Bonelli, R.E., 1991, Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones. *Bull. Int. Assoc. of Eng. Geol*. XXVIII ( 1), pp. 55-71.

Smith, B.J., Turkington, A.V., Warke, P.A., Basheer, P.A.M., McAlister, J.J., Meneely, J. and Curran, J.M., 2002, Modelling the rapid retreat of building sandstones: a case study from a polluted maritime environment. In: Siegesmund, S., Weiss, T. and Vollbrecht, A., (editors) Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies, Special Publications 205, *Geological Society of London*, London pp 347-362. doi: 10.1144/GSL.SP.2002. 205.01.25.

Sousa, L.M.O., Del Rio, L.M.S., Calleja, L., De Argandona, V.G.R. and Rey, A.R., 2005, Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical

properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology,* vol. 77, pp. 153-168.

Steiger, M., 2005, Crystal growth in porous materials-I: the crystallization pressure of large crystals. *J Cryst Growth* 282:455-469. doi:10.1016/j.jcrysgro.

Streckeisen, A., 1979, Classification and nomenclature of volconic rock, lomprophyres, corbanatites and millitic rocks, *Geology*, 7, pp. 331-335.

Şafak, Ü., 1997, Karaman yöresi Üst Miyosen-Pliyosen istifinin ostrakod faunası ve ortamsal yorumu: *M.T.A. Derg.*, 119, s. 89-102.

Şen, E., Kürkcüoğlu, B., Aydar, E., Gourgaud, A. and Vincent, P.M., 2003, Volcanological evolution of Mount Erciyes stratovolcano and origin of the Valibaba Tepe ignimbrite (Central Anatolia, Turkey). *J. Vol. Geotherm. Res.,* vol. 125, pp. 225-246.

Temel, A., 1992, Kapadokya Eksplosif Volkanizmasının: Petrolojik ve Jeokimyasal Özellikleri, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Doktora Tezi, Ankara, 209 s.

Temel, A., Gundogdu, M.N., Gourgaud, A. and LePennec, L.L., 1998, Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey). *Petrol. Geochem., J. Volcano 1. Geothermal Res.*, pp. 447-471.

Theodoridou, M., 2009, Physical and Mineralogical Changes of Hungarian Monumental Stones Exposed to Different Conditions: Stone-Testing In-situ and Under Laboratory Conditions. *Ph.D. Alma Mater Studiorum-Universita di Bologna*. 124 p.

Theoulakis, P. and Moropoulou, A., 1997, Microstructural and mechanical parameters determining the susceptibility of porous building stones to salt decay. *Constr Build Materials* 11 (1), pp. 65-71.

Topal, T. and Doyuran, V., 1998, Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey, *Environmental Geology* 34 (1), pp. 5-20.

Topal, T. and Sözmen, B., 2003, Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument. *Engineering Geology* 68, pp. 201-223.

Toprak, V. and Göncüoğlu, M.C., 1993, Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey, *Geological Journal,* vol. 28, pp. 357-369.

TS EN 1925, 2000, Doğal taşlar - deney metotları - kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, *TSE yayınları*, Ankara, 7 s.

TS EN 12370, 2001, Doğal taşlar - deney metotları - tuz kristallenmesine direncin tayini, *TSE yayınları,* Ankara, 3 s.

TS EN 12407, 2002, Doğal taşlar - deney metotları - petrografik inceleme, *TSE yayınları,* Ankara, 4 s.

TS 706 EN 12620, 2003, Beton Agregaları, *TSE yayınları,* Ankara, 46 s.

TS 699, 2009, Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, *TSE yayınları*, Ankara, 36 s.

Tucker, R.L. and Poor, A.R., 1978, Field Study of Moisture Effects on Slab Movements, Proceedings of The American Society of Civil Engineers, *Journal of Geotechnical Engineering*, No:104, pp. 403-414.

Tuğrul, A. and Zarif, İ.H., 1999, Research on limestone decay in a polluting environment, İstanbul-Turkey. *Environmental Geology*, vol. 38(2), pp. 149-158.

Turan, A., 1997, Göksu Vadisi Boyunca yüzeyleyen Miyosen öncesi tektono-stratigrafik birliklerin stratigrafisi: Silifke batısı (İçel). *Çukurova Üniversitesi'nde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, Yerbilimleri- Geosound*, Özel sayı, Cilt 2, s. 855-874, Adana.

Türeli, T.K., 1991, Geology, petrography and geochemistry of Ekecikdağ Plütonic Rocks (Aksaray Region, Central Anatolia). *ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* Doktora Tezi, Ankara, 194 p.

Türeli, T.K., Göncüoğlu, M.C. ve Akıman, O., 1993, Ekecikdağ Granitoyidinin Petrolojisi ve Kökeni (Orta Anadolu Kristalen Kütlesi Batısı), *MTA Dergisi*, 115, s. 15-28.

Uchida, E., Ogawa, Y., Maeda, N. and Nakagawa, T., 1999, Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia. *Eng Geol* 55: pp. 101-112.

Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F. and Çağlan, D., 1995, Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. *Engineering Geology*, 40, pp. 77-101.

Ulusay, R., Gökçeoğlu C. ve Binal A., 2005, Kaya mekaniği laboratuar deneyleri, *TMMOB Jeoloji Müh. Odası yayınları*, (2. Baskı) No:58, Ankara, 167 s.

Ünal, M., Özkan, İ. ve Kekeç, B., 2006, Yapıtaşlarında Tuz Kristalleşmesine bağlı bozunmanın Ultrasonik Hız Ölçümleri ile Kestirimi. *MERSEM' 2006, Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyonkarahisar, s. 431-437.

Van, T.T., Beck, K. and Al-Mukhtar, M., 2007, Accelerated weathering tests on two highly porous limestones. *Environmental Geology*, vol. 52, pp. 411-420.

Vazquez, P., Alonso, F.J., Carrizo, L., Molina, E., Cultrone, G., Blanco, M. and Zamora, I., 2013, Evaluation of the petrophysical properties of sedimentary building stones in order to establish quality criteria. *Construction and Building Materials* 41: pp. 868-878.

Yavuz, A.B. and Topal, T., 2007, Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: Examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology* 90: pp. 30-40.

Yavuz, H., 2011, Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(2): pp. 187-192.

Youash, Y.Y., 1970, Dynamic physical properties of rock, *in:proceedings of 2 nd cong. Int. Soc. Rock Mech. Part-1, Theory and procedure*, Belgrade, pp. 171-183.

Yu, S. and Oguchi, C.T., 2010, Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology* 115:226–236. doi: 10.1016/ j.enggeo.2009.05.007.

Zappia, G., Sabbioni, C., Riontino, C., Gobbi, G. and Favoni, O., 1998, Exposure tests of building materials in urban atmosphere. *Sci Total Environ* 224: pp. 235-244.

Zedef, V., Döyen, A., Koçak, K., Özşen, H. ve Kekeç, B., 2005, Konya ili ve bağlı ilçeleri Beyşehir, Hüyük ve Seydişehir'de kullanılan yapıtaşlarının atmosferik etkilerle bozuşması. *Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü*. Proje No:2003/121. Konya, 54 s.

Zezza, F. and Macri, F., 1995, Marine aerosol and stone decay. *Sci Total Environ*. 167: pp. 123-43.

Wenk, C., 1963, Zur Definition von Schiefer und Gneis.-Neues Jahrb. Mineral. Monatsh., pp 97-107.

Winkler, E.M. and Singer, P.C., 1972, Crystallization pressure of salts in stone and concrete. *Geol Soc. Am. Bull.* 83:3509-3514. doi:10.1130/00167606 (1972) 83 [3509:CPOSIS] 2.0. CO; 2.

Winkler, E.M., 1978, *Decay and preservation of stone*. The geological Society of America, Engineering Geology Case Histories, No: 11, pp. 53-58.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER


**Adı Soyadı** : Ali BOZDAĞ
**Uyruğu** : T.C.
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Osmaniye, 1973
**Telefon** : 0332 2232264
**Faks** :
**e-mail** : abozdag@selcuk.edu.tr


## EĞİTİM

| Derece | | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---|---|---|---|
| Lise | : | Atatürk Lisesi, Osmaniye | 1990 |
| Ön Lisans | : | Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep | 1993 |
| Lisans | : | Selçuk Üniversitesi, Konya | 2000 |
| Yüksek Lisans | : | Selçuk Üniversitesi, Konya | 2005 |
| Doktora | : | Selçuk Üniversitesi, Konya | 2013 |

## İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|---|---|---|
| 2000 - | Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fak. | Araştırma Görevlisi |

## UZMANLIK ALANI
**Genel Jeoloji, Kaya Mekaniği**

## YABANCI DİLLER
**İngilizce**

## YAYINLAR

### B- Uluslararası Bildiriler
### B-1) Tam metinli bildiriler

1. Özkan, A.M., İnce, İ. and **Bozdağ, A**., 2010, Facies Characteristics of Lacustrine Stromatolites (Yalıtepe formation - Upper Miocene-Lower Pliocene) in the Kavak (Hatunsaray-Konya) Area, Ozean Journal of Applied Sciences, 3(2), pp. 231-237.
2. Aksoy, R., İnce İ., Bozdağ, A. and Hüseyinca M.Y., 2008, Geology and Mineralogy of The Doğanhisar Clay Beds (Central Anatolia, Turkey); International Scientific Conference GEM 2008 Conference Proceeding vol.: 1, pp. 83-90.

**D- Ulusal Çalışmalar**
**D-1) Araştırma makalesi (hakemli)**

Aksoy, R. ve **Bozdağ, A.**, 2008, Doğanhisar-Hüyük (Konya) Arasında Sultandağları Masifinin Yapısal Özellikleri, S.Ü. Müh. Mih. Fak Dergisi. 23/2, s. 37-45.

**E- Ulusal Bildiriler**
**E-1.1) Özet**

**Bozdağ, A.** ve Aksoy, R., 2010, Doğanhisar-Hüyük (Konya) arasında Sultandağları Masifinin Stratigrafisi ve Tektonik Evrimi, 35. Yıl Jeoloji Sempozyumu, s. 40-41, 4-7 Ekim, Konya.