



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DONMA-ÇÖZÜLME DÖNGÜSÜNÜN KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

İsmail İNCE

DOKTORA TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DONMA-ÇÖZÜLME DÖNGÜSÜNÜN KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

İsmail İNCE

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa FENER

2013, 197 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mustafa FENER
Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BAYRAM
Yrd. Doç. Dr. A. Rıza SÖĞÜT
Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY

Bu çalışmada, laboratuar ortamında donma çözülme (D-Ç) sürecinin kayaçların mühendislik ve dokusal özelliklerinde meydana getirdiği değişimler araştırılmıştır.

Bu amaçla Konya, Aksaray, Niğde, Kayseri, Nevşehir ve Kırşehir illerinde yapı malzemesi olarak kullanılan veya kullanılabilecek farklı dayanım ve dokusal özelliklere sahip 22 kayaç örneği belirlenerek, bu örneklere ait yeterli miktarda blok numune laboratuara getirilmiştir. Belirlenen 22 örnekte D-Ç süreci öncesi (doğal) ve sonrası yapılacak fiziksel, mekanik ve aşınma deneyleri ile dokusal (makroskobik ve mikroskobik) değişimlerin incelemesi için bloklardan ilgili standartla uygun numuneler hazırlanmıştır. Kayaçlarda D-Ç sürecinin etkisi doğal başta olmak üzere 5, 10, 15, 20 ve 30 çevrimlerinden oluşan beş donma çözülme döngüsü ile araştırılmıştır.

D-Ç sürecinin kayaçların fiziksel özellikleri üzerine etkisi; porozite, ağırlıkça su emme, P dalgası yayılma hızındaki değişimler ile araştırılmıştır. Porozite ve ağırlıkça su emme değerleri D-Ç çevrim sayısının artışıyla doğru orantılı olarak (lineer olmayan) bir artış, P dalgası yayılma hızında ise lineer olmayan bir azalış gözlenmiştir.

D-Ç sürecinin kayaçların mekanik özellikleri üzerine etkisi; tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi ve Brazilian çekme dayanımındaki değişimlerle incelenmiş ve mühendislik özelliklerinde D-Ç çevrim sayısının artışıyla ters orantılı olarak lineer olmayan bir azalış belirlenmiştir.

D-Ç sürecinin kayaçların aşınma özellikleri üzerine etkisi; Böhme aşınma kaybı, agrega darbe dayanımı, Los Angeles aşınma kaybı ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri ile araştırılmıştır. Böhme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri D-Ç çevrim sayısının artışıyla doğru orantılı olarak lineer olmayan bir artış, agrega

darbe dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık değerlerinde ise lineer olmayan bir azalış gözlenmiştir.

Laboratuar çalışmaları ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kayaçların fiziksel, mekanik ve aşınma özellikleri ile D-Ç çevrim sayısı arasında 0,50 ile 0,99 arasında değişen belirlilik katsayıları (R^2) elde edilmiştir.

Kayaçlarda makro ve mikro ölçekte yer alan dokusal kusurlar (çatlak, damar, fisür vb.), kayacın dokusunu oluşturan minerallerin tane boyutu, cinsi ve çeşitliği örneğin D-Ç sürecinden etkilenme oranını doğrudan etkileyen önemli bir özellik olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözülme, indeks özellikler, dayanım özellikleri, aşınma özellikleri, mikroskobik ve makroskobik özellikler, doğal yapı taşı

ABSTRACT

Ph. D THESIS

EFFECT OF FREEZING-THAWING CYCLE ON ENGINEERING PAREMETERS OF ROCK

İsmail İNCE

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN GEOLOGY ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa FENER

2013, 197 Pages

Jury
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa FENER
Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Asst. Prof. Dr. A. Ferhat BAYRAM
Asst. Prof. Dr. A. Rıza SÖĞÜT
Asst. Prof. Dr. Rahmi AKSOY

In this study, variations in engineering and textural properties of rocks were investigated under laboratory conditions during freeze-thaw (F-T) cycles.

For this purpose, 22 different rock units being used as building stone or potential building stone were determinedand collected from Konya, Aksaray, Niğde, Kayseri, Nevşehir and Kırşehir cities. The specimens were prepared for physical, mechanical and abrasive tests and textural changes before and after freeze-thaw cycles in accordance with the standards. The effect of freezing-thawing cycles was examined in five cycles as 5, 10, 15, 20 and 30 in turn.

The effect of freezing-thawing cycles on physical properties of rocks was determined by changes in porosity, water absorption in weight and P-wave velocity. Values of porosity and water absorption in weight increased directly proportional with freezing-thawing (F-T) cycles. P-wave velocity values decreased non-linearly with an increase infreezing-thawing (F-T) cycles.

The effect of freezing-thawing cycles on mechanical properties of rocks was investigated by changes in uniaxial compressive strength, point load strength index and Brazilian tensile strength. These mechanical properties of rocks decreased non-linearly with an increase infreezing-thawing (F-T) cycles.

The effects of freezing-thawing cycles on abrasion properties of rocks were examined by Bohme abrasion loss, aggregate impact value, Los Angeles abrasion loss and slake durability tests. The test results indicated that Bohme and Los Angeles abrasion loss values increased directly proportional with freezing-thawing (F-T) cycles. However, aggregate impact value and slake durability test values decreased non-linearly with an increase in freezing-thawing (F-T) cycles.

Results of physical, mechanical and abrasional properties of rocks andfreezing-thawing (F-T) cycles indicate that the coefficient of determination (R^2) ranges between 0, 50 and 0, 99.

Macroscopic and microscopic textural defects (fracture, veins and fissure etc.) of rocks and their mineralogical and textural characteristics influence the rate of freezing-thawing cycles directly.

Keywords: Freeze-thaw, index properties, strength properties, abrasion properties, microscopic and macroscopic properties, natural building stone

TEŞEKKÜR

Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamış olduğum bu çalışmada, başta konu seçimi olmak üzere ders aşamasından tezin bitimine kadar geçen süre içerisinde bilimsel, teknik ve tecrübeleriyle beni destekleyen ve yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Mustafa FENER'e teşekkür ederim.

Çalışmamın başından sonuna kadar hiçbir şekilde maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN, Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY, Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BAYRAM' a, Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuarlarını kullanmamızı olanak sağlayan değerli bilim insanları Prof. Dr. Sair KAHRAMAN ile Prof. Dr. İbrahim ÇOPUROĞLU' na teşekkür ederim.

Doktora danışmanımın belirlenmesinde ve doktora çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüseyin KURT' a teşekkür ederim.

Çalışmanın numune derleme esnasında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Ali BOZDAĞ ve laboratuar çalışmaları esnasında yadımlarını esirgemeyen Fatma ÖZER' e teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan kayaçların ince kesit araştırmalarında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Gürsel KANSUN ve Yrd. Doç. Dr. A. Müjdat ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Laboratuar çalışmalarımda staj kapsamında bana yardım eden Niğde Ünüversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü lisans ve yüksek lisans öğrencilerinede teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, hayatım boyunca benden hiçbir şekilde emeğini esirgemeyen başta annem, babam ve kardeşlerim olmak üzere, tez yazım aşamasında geç saatlere kadar çalışmamda özveride bulunan, bana her türlü desteği veren değerli eşim Şerife İNCE ve kızım Elif İrem İNCE' ye itaf ediyorum.

İsmail İNCE
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

TEŞEKKÜR ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER ..... **xii**

ÇİZELGELER ..... **xxii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xxiv**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Yapı Taşı Kavramı 3
1.1.1. Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar 4
1.1.2. Kesilmiş ve işlenmiş doğal taşlar (mermerler) 6
1.1.3. Dekoratif doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar 6
1.1.4. Çakıl taşları 6
1.2. Dünya ve Türkiye'de Yapı Taşı Sektörü 6
1.2.1. Dünya'da yapı taşı sektörü 6
1.2.2. Türkiye'de yapı taşı sektörü 7
1.3. Donma-Çözülme Süreci ve Yapı Taşlarına Etkisi 9
1.4. İnceleme Alanın Tanımı ve Jeolojisi 11
1.4.1. Ulumuhsine formasyonu 14
1.4.2. Aksazak traverteni 16
1.4.3. Erenlerdağı volkanitleri 17
1.4.4. Küçükmuhsine formasyonu 19
1.4.5. Ağaçören plütonu 21
1.4.6. Ürgüp formasyonu 22
1.4.6.1. Aksaray bölgesi örnekleri 23
1.4.6.1.1. Dokuz nolu örnek 23
1.4.6.1.2. On nolu örnek 23
1.4.6.2. Niğde bölgesi örneği 24
1.4.6.2.1. Oniki nolu pembe tüf 24
1.4.6.3. Kayseri bölgesi örnekleri 25
1.4.6.3.1. Ondört nolu örnek (sarı tüf) 26
1.4.6.3.2. Onbeş nolu örnek (gri tüf) 26
1.4.6.3.3. Onaltı nolu örnek (pembe tüf) 27
1.4.6.3.4. Onyedi nolu örnek (Siyah tüf) 28
1.4.6.4. Nevşehir bölgesi örnekleri 29
1.4.6.4.1. Onsekiz nolu örnek (beyaz tüf) 29
1.4.6.4.2. Ondokuz nolu örnek (sarı tüf) 30
1.4.6.4.3. Yirmi nolu örnek (vişne renkli tüf) 30
1.4.6.4.4. Yirmibir nolu örnek (gülkurusu renkli tüf) 31

1.4.7. Basmakçı kireçtaşları 31
1.4.8. Erkilet bazaltı 32
1.4.9. Hamit plütonu 33

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 35

3. MATERYAL VE METOT 40

3.1. Arazi Çalışmaları 40
3.1.1. Schmidt çekici ile sertlik belirleme 40
3.1.2. Petrografik örnekleme ve blok örnek derleme 41
3.2. Laboratuar Çalışmaları 41
3.2.1. Numune hazırlama 42
3.2.1.1. Jeomekanik deneyler için numune hazırlama 42
3.2.1.2. Petrografik analiz için numune hazırlama 43
3.2.2. Laboratuar deneyleri 45
3.2.2.1 Temel fiziksel özellikler 45
3.2.2.1.1. Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyleri 46
3.2.2.1.2. Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık deneyi 46
3.2.2.1.3. Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini 47
3.2.2.1.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi 48
3.2.2.1.5. Su içeriği tayini 49
3.2.2.1.6. Ultrasonik hız deneyi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi 49
3.2.2.1.7. Kapilarite deneyi 51
3.2.2.2. Dayanım özellikleri 52
3.2.2.2.1. Tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi 53
3.2.2.2.2. Nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi 55
3.2.2.2.3. Brazilian deneyi 56
3.2.2.3. Aşınma deneyleri 58
3.2.2.3.1. Böhme aşınma deneyi 58
3.2.2.3.2. Agrega darbe dayanım deneyi 59
3.2.2.3.3. Los Angeles deneyi 61
3.2.2.3.4. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi 63
3.2.2.4. Donma-çözülme deneyi 64
3.3. Büro Çalışması 66

4. BULGULAR 68

4.1. Donma-Çözülmenin Kayaçların Temel Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi 69
4.1.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların porozite (n) değeri üzerine etkisi 70
4.1.2. Donma-çözülme sürecinin kayaların ağırlıkça su emme (A_w) değeri üzerine etkisi 75
4.1.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların P dalgası yayılma hızı (Vp) değeri üzerine etkisi 80
4.1.4. Kayaçların donma-çözülme sonrası ağırlık kayıpları ($DÇ_k$) 86
4.2. Donma-Çözülmenin Kayaçların Dayanım Parametreleri Üzerine Etkisi 91
4.2.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{C(50)}$) üzerine etkisi 91
4.2.2. Donma-çözülme sürecinin kayaçların nokta yük dayanım indeks değerleri ($I_{S(50)}$) üzerine etkisi 93

4.2.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların dolaylı çekilme dayanımı (σ_t) üzerine etkisi 101
4.3. Donma-Çözülmenin Aşınma Parametreleri Üzerine Etkisi 106
4.3.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların Böhme aşınma dayanımı (ΔV) üzerine etkisi 107
4.3.2. Donma-çözülme sürecinin kayaçların agrega darbe dayanım direnci değeri (a) üzerine etkisi 113
4.3.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların Los Angeles aşınma kaybı değerleri ($LO_{100} - LO_{500}$) üzerine etkisi 117
4.3.4. Donma-çözülme sürecinin kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri ($I_{d2} - I_{d4}$) üzerine etkisi 126
4.4. Donma-Çözülme Sürecinin Kayaçların Dokusu Üzerine Makroskobik ve Mikroskobik Ölçekte Etkisi 136
4.4.1. Donma-çözülme sürecinin kayacın dokusu üzerine makroskobik etkisi 136
4.4.2. Donma-çözülme sürecinin örneklerin mikroskobik dokusu üzerine etkisi 159

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 182

6. KAYNAKLAR 185

ÖZGEÇMİŞ 196

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. a) Kesme taşın bina duvarında kullanımı, b) taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c) moloz taşlardan görünüm, d) parke taşı, e) kesme küp taş, f) bordür taşı, g) döşeme taşı.....5
Şekil 1.2. a) Mermerlerden genel bir görünüm, b) yüzeyi cilalı mermerler, c) yüzeyi cilasız (honlu) mermerler, d) kayrak taşları, e) çakıl taşları 7
Şekil 1.3. 1999-2011 yılları arası toplam maden ihracatı içinde doğal taş ihracatı kıyaslaması (Anonim, 2013a).....8
Şekil 1.4. a) Avanos' da tarihi bir yapıda bozunmalar, b) Konya' da tarihi bir yapıda bozunmalar, c) Konya' da bir çevre düzenlemesinde gözlenen bozunmalar 10
Şekil 1.5. Türkiye için hazırlanmış eş donma-çözülme çevrim sayısı kontur haritası (Binal ve ark.,1997b) 12
Şekil 1.6. İnceleme alanın numune lokasyon haritası.....13
Şekil 1.7. Konya bölgesinine ait jeoloji haritaları a) Konya il merkezi ve çevresinin genelleştirimiş jeoloji haritası (Aksoy ve Demiröz, 2012 ve R. Aksoy'un yayınlanmamış çalışmasından sadeleştirilerek alınmıştır), b) Habiller Köyü'nün güneybatısının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Biricik ve ark. 1999'dan değiştirilerek alınmıştır).....14
Şekil 1.8. 1 nolu kayaç (Gödene taşı) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Mik: mikrit, Sp: sparit Po: porozite) (çapraz nikol).....15
Şekil 1.9. 2 nolu kayacın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol) 16
Şekil 1.10. 7 nolu taşın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol).....17
Şekil 1.11. 3 nolu kayacın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol).....17
Şekil 1.12. 4 nolu kayaç (Sille taşının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Vc: volkanik cam)(çapraz nikol).....18
Şekil 1.13. 5 nolu kayaç (Meram andezitinin) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Si: silisleşmiş hamur fazı) (çapraz nikol).....19
Şekil 1.14. 6 nolu kayaç (Kızılören taşının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Q: kuvars, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol) 20
Şekil 1.15. Orta Anadolu Kristalin Kompleksinin (OAKK) jeolojisi (Bingöl, 1989'dan değiştirilerek alınmıştır) 21
Şekil 1.16. 8 nolu kayaç (Aksaray Yaylak granitinin) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Or: ortaklas) (çapraz nikol).....22
Şekil 1.17. 9 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....24
Şekil 1.18. 10 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol) 25

Şekil 1.19. 12 nolu(Kızılkaya) taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....25
Şekil 1.20. 14 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Q: kuvars Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....26
Şekil 1.21. 15 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Bi: biyotit, Q: kuvars, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol) 27
Şekil 1.22. 16 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Q: kuvars Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....28
Şekil 1.23 17 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....28
Şekil 1.24. 18 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....29
Şekil 1.25. 19 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Q: kuvars, Vc: volkanik cam)(çapraz nikol).....30
Şekil 1.26. 20 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Vc: volkanik cam, Ka: karbonat) (çapraz nikol).....31
Şekil 1.27. 21 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (K:kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol).....32
Şekil 1.28. 21 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Mik: mikrit, Po: porozite) (çapraz nikol) 33
Şekil 1.29. 13 nolu kayacın (Erkilet bazaltının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Ol: Olivin, PljM: plajoklas mikrolitleri, Px: proksen) (çapraz nikol).....33
Şekil 1.30. 22 nolu kayacın (Kaman Rose) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Amf: amfibol, Or: ortoklas) (çapraz nikol).....34
Şekil 3.1. a) Schmidt çekicinin kesit görünümü b) Schmidt çekicinin genel görünümü c) Schmidt çekici ile sertlik belirleme deneyinin yapılışı 41
Şekil 3.2. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller, 1966) 42
Şekil 3.3. a) Karot alma makinesi ve karot alma işleminden bir görünüm, b) değişik çaptaki karotiyerler, c) araziden alınan blok örnek, d) blok örneğin karot alındıktan sonraki görünümü, e) alınan değişik karot örnekleri, f) karot kesme makinesi genel görünümü, g) karot düzleme makinesi genel görünümü, h) alt ve üst yüzeyi kesilip ve düzeltilmiş deney numuneleri, i) deneye hazır hale getirilmiş numunelerin görünümü.....44
Şekil 3.4 a) Karot örneğin boyunun (L) ölçümü, b) karot örneğin çapının (D) ölçümü, c) numunenin kütlesinin hassas terazide tartımı.....47
Şekil 3.5. a) Ultrasonik hız deney aletinin aparatları, b) numune ile alıcı ve verici arasındaki teması artırmak için numunenin alt ve üst yüzeyine jel sürümü, c) ultrasonik hız deneyinin yapılışı.....51
Şekil 3.6. a) Kapilarite deneyinde kullanılan tank ve ızgara, b) kapilarite deneyinin yapılışı, c) kapilarite deneyinde farklı numunelerde su yükselimi 53

Şekil 3.7. a) Hidrolik pres ve yükleme başlıkları 1: küresel başlık, 2: sabit alt plaka, b) yükleme hızının ayarlanabildiği ve okumaların yapıldığı kontrol paneli, c) tek eksenli sıkışma dayanım deneyinin yapılışı, d) deney sonrası örneklerde oluşan yenilme yüzeylerinin görünümü 54
Şekil 3.8. a) Nokta yük dayanımı indeks deney aletinin aparatları, b) nokta yük dayanımı indeks deneyinin yapılışı 56
Şekil 3.9. a) Çapsal deney için geçerli deney örnekleri, b) Çapsal deney için geçersiz deney örneği (Ulusay ve ark., 2001) 56
Şekil 3.10. a) Brazilian yöntemiyle endirekt çekilme dayanımı belirlenmesinde kullanılan yükleme çeneleri ve pimler, b) Brazilian yöntemiyle endirekt çekilme dayanımı deneyinin yapılışı 57
Şekil 3.11. a) Böhme aşınma deney aletinin şematik görünümü, 1: döner disk, 2: döner disk üzerinde yer alan sürtünme şeridi, 3: ağırlık, 4: deney numunesinin yerleştirildiği hücre, b) Böhme deney aletinin genel görünümü 59
Şekil 3.12. a) Darbe dayanımı deney aletinin şematik görünümü, b) darbe dayanımı deney aletinin görünümü 60
Şekil 3.13. a) Los Angeles deney aletinin aparatları, b) Los Angeles deneyinde kullanılan değişik elek açıklığına sahip elekler, c) Los Angeles deneyi için hazırlanan örnek 61
Şekil 3.14. a) Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deney aletinin aparatları, b) deney için numune hazırlanışından bir görünüm, c) deneyi için hazırlanan örneklerden görünüm 65
Şekil 3.15. a) Donma-çözülme deneyinde donma aşaması için kullanılan dondurucu, kabin ve izopropil alkol, b) deneyden önce numunelerin görüntüsü, c) doygun hale gelen örnekler su geçirmez naylon torbalara yerleştirilmiş hali, d) 5. Döngüden (30 donma-çözülme çevriminden) sonra numunelerin görünümü 67
Şekil 4.1. İncelenen örneklerin porozite değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek 73
Şekil 4.2. İncelenen örneklerin porozite değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 76
Şekil 4.3. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek 78
Şekil 4.4. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 81
Şekil 4.5. İncelenen örneklerin P dalgası yayılma hızı değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu

örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek.....84
Şekil 4.6. İncelenen örneklerin P dalga hızı değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri.....87
Şekil 4.7. İncelenen örneklerin donma-çözülme kaybı değerlerinin ($D\text{Ç}_k$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek,.....89
Şekil 4.8. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin($\sigma_{C(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek.....94
Şekil 4.9. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin($\sigma_{C(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri.....97
Şekil 4.10. İncelenen örneklerin düzeltilmiş nokta yük dayanım değerlerinin ($I_{S(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek 99
Şekil 4.11. İncelenen örneklerin düzeltilmiş nokta yük dayanım değerlerinin ($I_{S(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 102
Şekil 4.12. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t), değerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek.....104
Şekil 4.13. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t) değerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafiği 107
Şekil 4.14. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı değerinin (ΔV) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek,

j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek.....109
Şekil 4.15. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri.....112
Şekil 4.16. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerlerinin (a) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek.....114
Şekil 4.17. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerinin (a) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 117
Şekil 4.18. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı (LO_{100} - LO_{500}) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek 119
Şekil 4.19. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı değerinin (LO_{100}) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri.....125
Şekil 4.20. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı değerinin (LO_{500}) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri.....126
Şekil 4.21. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}), değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek 130
Şekil 4.22. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($Id2$) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 134
Şekil 4.23. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ($Id4$) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri 135
Şekil 4.24. 1 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) I. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma, h) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma 136

Şekil 4.25. 2 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....138
Şekil 4.26. 3 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....139
Şekil 4.27. 4 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....140
Şekil 4.28. 5 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) I. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma, h) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....141
Şekil 4.29. 6 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....142
Şekil 4.30. 7 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....143
Şekil 4.31. 8 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....144
Şekil 4.32. 9 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü,

d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....145
Şekil 4.33. 10 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....146
Şekil 4.34. 11 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....147
Şekil 4.35. 12 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar 148
Şekil 4.36. 13 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....149
Şekil 4.37. 14 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....150
Şekil 4.38. 15 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....151
Şekil 4.39. 16 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....152
Şekil 4.40. 17 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme

döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....153
Şekil 4.41. 18 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....154
Şekil 4.42. 19 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin toplu görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....155
Şekil 4.43. 20 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....156
Şekil 4.44. 21 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar.....157
Şekil 4.45. 22 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü.....158
Şekil 4.46. 1 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 159
Şekil 4.47. 2 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal

özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 160
Şekil 4.48. 3 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 161
Şekil 4.49. 4 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 162
Şekil 4.50. 5 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 164
Şekil 4.51. 6 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 165
Şekil 4.52. 7 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 166
Şekil 4.53. 8 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 167
Şekil 4.54. 9 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 168
Şekil 4.55. 10 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 169
Şekil 4.56. 10 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 170
Şekil 4.57. 12 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (tek nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 171
Şekil 4.58. 13 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 172
Şekil 4.59. 14 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 173

Şekil 4.60. 15 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 174
Şekil 4.61. 16 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 175
Şekil 4.62. 17 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 176
Şekil 4.63. 18 nolu örneğin şahitl ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 177
Şekil 4.64. 19 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 178
Şekil 4.65. 20 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 179
Şekil 4.66. 21 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 180
Şekil 4.67. 22 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü 181

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. 2007-2012 yılları arası Türkiye doğal taş ihracat değerleri (1000 $) (Anonim, 2013b) 9
Çizelge 1.2. İncelenen örneklerin bölge ve kaya birimlerine göre dağılımı 12
Çizelge 3.1. Los Angeles deneyi için test örneklerinin sınıflaması (ASTM C 131-06) 62
Çizelge 3.2. Los Angeles deneyi için test örneklerinin sınıflarına göre bilye dağılımı (ASTM C 131-06) 63
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan numunelerin Schmidt çekici geri sıçrama sertlik değerleri (SÇD) 68
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan numunelerin kılcal su emme (C- gr/m^{2}s^{0,5}) değerleri. 69
Çizelge 4.3. İncelenen örneklerin bazı özellikleri (ρ_d:kuru yoğunluk (gr/cm^3); w: su muhtevası (%); e: boşluk oranı (%); E_d: dinamik elastisite modülü (MPa x 10^{-6})) 70
Çizelge 4.4. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası porozite (n-%) değerleri 71
Çizelge 4.5. İncelenen örneklerin porozite değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (n:porozite, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı) 72
Çizelge 4.6. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası ağırlıkça su emme (A_w-%) değerlerindeki değişimler 77
Çizelge 4.7. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (A_w: ağırlıkça su emme, x: çevrim sayısı, R^2: belirlik katsayısı) 77
Çizelge 4.8. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası P dalgasının yayılma hızı (V_p-km/s) değerlerindeki değişimler 82
Çizelge 4.9. İncelenen örneklerin P dalgasının yayılma hızı (V_p-km/s), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (V_p: P dalgasının yayılma hızı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı) 83
Çizelge 4.10. İncelenen örneklerin donma-çözünme döngüleri sonrası donma-çözülme kaybı ($DÇ_k$-%) değerlerindeki değişimler 88
Çizelge 4.11. İncelenen örneklerin donma-çözülme kaybı değerinin ($DÇ_k$), donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($DÇ_k$: donma-çözülme kaybı değerleri, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı) 88
Çizelge 4.12. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası tek eksenli sıkışma dayanım (σ_{C50}-MPa) değerlerindeki değişimler 92
Çizelge 4.13. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım (σ_{C50}), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (σ_{C50}: tek eksenli sıkışma dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı) 93
Çizelge 4.14. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{S(50)}$-MPa) değerlerindeki değişimler 98

Çizelge 4.15. İncelenen örneklerin 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{S(50)}$), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($I_{S(50)}$: 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı) 98
Çizelge 4.16. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası dolaylı çekilme dayanım (σ_t-MPa) değerlerindeki değişimler 103
Çizelge 4.17. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (σ_t: dolaylı çekilme dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı) 103
Çizelge 4.18. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası Böhme aşınma dayanımı (ΔV- $cm^3/50\ cm^2$) değerlerindeki değişimler...108
Çizelge 4.19. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (ΔV: Böhme aşınma dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı).....109
Çizelge 4.20. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası agrega darbe dayanım (a), değerlerindeki değişimler.....113
Çizelge 4.21. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerinin (a) donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (a: agrega darbe dayanımı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı).....114
Çizelge 4.22. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası Los Angeles aşınma kaybı (LO_{100} - LO_{500}) değerlerindeki değişimler ...118
Çizelge 4.23. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı (LO_{100} ve LO_{500}), değerlerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklere ait denklemler ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (LO_{100}: 100 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı, LO_{500}: 500 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı).....124
Çizelge 4.24. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}) değerlerindeki değişimler.....128
Çizelge 4.25. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - $Id4$), değerlerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklere ait denklemler ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (I_{d2}: 2 çevrim sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, I_{d4}: 4 çevrim sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı).....129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Numune yüzeyin alanı	m^2
$A_{DÇ}$	: D-Ç deneyi öncesi kuru ağırlığı	gr
A_y	: Suya batırılmış yüzeyin alanı	m^2
A_w	: Ağırlıkça su emme oranı	%
A_1	: Deney öncesi kap ve kuru numunenin ağırlığı	gr
a	: Numunenin agrega darbe dayanımı direnci	%
B	: I. çevrim sonrası kap ve kuru numunenin ağırlığı	gr
$B_{DÇ}$	: D-Ç deneyi sonrası numune kuru ağırlığı	gr
C	: Kayacın anizotropi düzlemine dik kapilerite değeri	$gr/m^2\sqrt{s}$
C_1	: II. çevrim sonrası kap ve kuru numunenin ağırlığı	gr
D	: Karot çapı	mm
$DÇ_k$	: Donma çözülme sonrası ağırlık kaybı	%
D_d	: Kullanılan kabın ağırlığı	gr
D_e	: Eşdeğer karot çapı	mm
E	: III. çevrim sonrası kap ve kuru numunenin ağırlığı	gr
E_d	: Dinamik elastisite madülü	MPa
e	: Boşluk oranı	%
F	: Boyut düzeltme faktörü	-
F_1	: IV. Çevrim sonrası kap ve kuru numunenin ağırlığı	gr
H_w	: Hacimce su emme oranı	%
I_{d2}	: II. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi	%
I_{d3}	: III. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi	%
I_{d4}	: IV. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi	%
I_s	: Belirli örnek çapı için nokta yük dayanım indeksi	MPa
$I_{s(50)}$	: 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi	MPa
L	: Karot boyu	mm
L_0	: Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi	gr
L_{100}	: 100 çevrim sonunda 1,7 mm açıklığa sahip elek üstünde kalan numunenin kuru kütlesi	gr
L_{500}	: 500 çevrim sonunda 1,7 mm açıklığa sahip elek üstünde kalan numunenin kuru kütlesi	gr
LO_{100}	: 100 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı	%
LO_{500}	: 500 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı	%
M	: Numunenin doğal kütlesi	gr
M_b	: Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi	gr
M_f	: Numunenin deney sonundaki kütlesi	gr
M_i	: Numunenin su emmiş kütlesi	gr
M_k	: Numunenin kuru kütlesi	gr
M_s	: Numunenin doygun kütlesi	gr
M_{son}	: Numunenin deney sonrası 2 mm elek üstünde kalan kütlesi	gr
m_f	: Numunenin deney sonrası kütlesi (Böhme)	gr
m_i	: Numunenin başlangıç kütlesi (Böhme)	gr
n	: Porozite	%
P	: Yenilme anındaki yük	kN
t	: Örneğin kalınlığı	mm
t_i	: Numunenin su emmesinin ölçüldüğü süreler	s
T_P	: P dalgasının ölçülen yayılma zamanı	μs
V	: Numunenin Hacmi	cm^3
V_P	: P dalgasının yayılma hızı	m/s
V_v	: Boşlukların hacmi	cm^3
W	: Silindir biçimli hücrenin darası	gr
W_1	: Hücre ve içindeki numunenin kütlesi	gr
w	: Su muhtevası	%

ΔV	: Numunenin 16 döngü sonrası hacim kaybı	$cm^3/50cm^2$
ρ	: Yoğunluk	gr/cm^3
ρ_k	: Kuru yoğunluk	gr/cm^3
ρ_w	: Suyun yoğunluğu	gr/cm^3
γ	: Birim hacim ağırlık	kN/m^3
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık	kN/m^3
σ_c	: Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı	MPa
$\sigma_{c(50)}$	: 50 mm çapındaki karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı	MPa
σ_t	: Örneğin çekilme dayanımı	MPa

Kısaltmalar

Amf : Amfibol
Bi : Biyotit
BX : 42 mm çapında karot örneği
D-Ç : Donma-Çözülme
Fo : Fosil
I-S : Isınma-Soğuma
K : Kayaç parçası
Ka : Karbonat
Mik : Mikrit
OAKK: Orta Anadolu Kristalin Kopleksi
Ol : Olivin
Or : Ortaklas
Plj : Plajoklas
PljM : Plajoklas mikrolitleri
Po : İnce kesite porozite
Px : Proksen
R : Berlilkik katsayısı
SÇD : Schmidt çekici geri sıçrama sertlik değeri
Si : Silisleşmiş hamur fazı
Sp : Sparit
T-Ş : Termal-Şok
Vc : Volkanik cam
Q : Kuvars
x : Çevrim sayısı

1. GİRİŞ

Dünyanın yüzeyi zemin ve kaya olarak nitelendirilen doğal malzemeler ile kaplıdır. Kayaların üzerindeki kuvveti ve bu kuvvetin kayanın üzerindeki etkisini incelemek kaya mekaniğinin konusunu oluşturmaktadır. Kaya mekaniği günümüzde maden, inşaat, jeoloji, petrol mühendisliği gibi birçok mühendislik dalını ilgilendiren uygulamalı bir bilim dalıdır.

Yerkabuğunun ana malzemesi ve kaya mekaniğinin inceleme konusu olan kayaçlar hidrosfer ve atmosferle doğrudan temas ettiklerinde değişmeler gösterirler. Bu değişimler ayrışma olarak tanımlanır. Genel anlamıyla ayrışma, kaya bünyesinde, ortam şartlarının etkisiyle çoğunlukla yavaş gelişen ilerleyici, mühendislik açısından önemli sonuçlar doğuran fiziksel mekanik olaylar serisi olarak tanımlanır (Tuğrul, 1995).

Ayrışma, zaman ve ortam şartlarının bir fonksiyonudur. Bu şartların etkisi altında kayaçlar kimyasal, biyolojik ve fiziksel (mekaniksel) ayrışmalara uğrarlar (Beavis, 1985; Perry, 1986; Johnson ve DeGraff, 1988). Kimyasal değişmelerin başında çözünme, oksitlenme, su alma ve karbonatlaşma gelmektedir. Biyolojik değişimler, bitkilerin ve hayvanların fiziksel ve kimyasal etkileri sonucu oluşur ve kaya mühendisliği açısından değerlendirme dışı bırakalabilir (Ünver ve Ünal, 1995).

Kayaçlardaki fiziksel ayrışma ise ani sıcaklık değişimleri, basınç rahatlaması ve suyun mekanik etkisi (don) gibi olaylarla oluşur. Isı farklılaşmasından kaynaklanan fiziksel bozunma daha çok günlük ısı farklarının çok yüksek olduğu yörelerde gerçekleşir. Basınç rahatlaması kaya üzerindeki örtü basıncının azalmasıyla oluşur.

Suyun mekanik etkisi ise sıcaklığın 0 ^{0}C'nin altına indiği bölgelerde kayacın gözeneklerindeki suyun donması sonucu hacminin genişlemesiyle oluşan basınçların kayaçların parçalanmasına ve ufalanmasıyla gerçekleşir.

Soğuk bölgelerde kış mevsimi boyunca sıcaklı birkaç defe 0 ^{0}C'nin altından 0 ^{0}C' nin üstüne değişir. Bu esnada kayaçların gözeneklerinde bulunan su birkaç kez donar ve çözülür. Bu sürece donma-çözünme denir.

İklim şartlarının kayaçların mekanik davranışlarına etkisini araştırmak için bir çok laboratuar testleri tasarlanmıştır (Hudec, 1998). İlk olarak kullanılan test ise donma-çözülme deneyidir (Bell, 1983). Bugüne kadar ayrışma derecesi ve oranını belirlemek için birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen bilim insanlarını tatmin edici sonuçlar alınamamıştır (Beavis, 1985). Bunun sebebi doğadaki bozunma sürecine etki eden

bütün faktörlerin yeterince yansıtıldığı deneylerin olmaması ve sürecin doğal olandan daha hızlı gerçekleşmesidir (Beavis, 1985; Leinhart,1988).

Donma-çözülme sürecinin kayaların jeomekanik özelliklerine olan etkilerinin incelenmesi için sistematik verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler; kayaların fiziksel, dayanım, aşınma gibi mühendislik özellikleri yanında bu özellikleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen mineralojik bileşim, kayacı oluşturan katı kısımların kendileri ve boşluklarla olan sınır ilişkisini gösteren yapı ve doku özellikleridir. Verileri sistematik hale getirmek için, kayacın maruz kalabileceği donma-çözünme sayısının belirlenerek örneğin laboratuarda bu sayıda donma-çözünme çevrimi tabi tutularak gerçekleştirilmektedir.

Gerek tarihi eser niteliği taşıyan yapıların gerekse de günümüzdeki yapıların atmosferik etkilerden korunması uzun yıllardan beri üzerinde durulan bir konudur. Tarihi yapıların öneminden ötürü, bu tür yapılarda meydana gelen bozunma birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Binal ve ark., 1997a, 1997b; Topal ve Doyuran, 1998; Topal ve Sözmen, 2000, 2001, 2003; Degryse ve ark., 2002; Prikryl ve ark., 2003; Binol, 2005; Lee ve ark., 2005; Zedef ve ark., 2007; Ratnayake ve Pitawala, 2009; Fener ve İnce, 2012a; Van den Eynde ve ark. 2013, vb.).

Günümüzde yapı taşı sektöründe yaşanan gelişmelere bağlı olarak daha ekonomik olarak üretilmesinden ve dekoratif özelliklerinden dolayı bina dış yüzey kaplamasında, merdiven, yer döşemesi, korkuluk, kemer, sütun, şömine, balkon süslemeleri, camii minareleri ve restorasyon uygulamalarındaki kullanımı giderek artan doğal yapı taşlarının dona karşı dayanımının belirlenmesi amacıyla donma-çözünme deneyi yapılmaktadır. Donma-çözünme sürecinin etkisiyle doğal yapıtaşlarında oluşabilecek zararların belirlenmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada; kayalarda donma-çözünme (D-Ç) sürecinin kayaçların fiziksel, dayanım, aşınma parametreleri üzerine ve bu parametreleri doğrudan etkileyen yapı ve doku özellikleri üzerine nasıl bir etkisinin olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinden sedimanter, magmatik, volkanik, volkonasedimanter ve metamorfik kaya türlerinden oluşan, bölgede yaygın olarak kullanılan 22 adet yapı taşı örneği belirlenmiştir. Seçilen numunelerden alınan blok örnekleri laboratuara getirilmiştir. Bu örneklerin fiziksel ve dayanım parametrelerinin belirlenmesi için blok örneklerden BX (42,0 mm) çapında karot örnekler alınarak yapılacak deneyler için numuneler standartlara uygun hale getirilmiştir. Aşınma parametrelerinin belirlenmesi amacıyla çeneli kırıcılar yardımıyla

kırılarak belirli çap ve boyutta örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 5, 10, 15, 20 ve 30 donma-çözünme çevrimine maruz bırakılmıştır. Her örneğin doğal ve döngülerden sonraki fiziksel, dayanım, aşınma ve doku özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler ve incelemeler yapılmıştır.

Belirlenen bu değerler değişik hesaplama ve grafikler yardımıyla yorumlanarak, kayacın donma-çözünme sonrası fiziksel, dayanım, aşınma ve dokusal özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

1.1. Yapı Taşı Kavramı

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak doğal taşları kesen ve işleyen makinelerin üretilmesi ile her türlü doğal taş kullanılmaya başlanmıştır. Doğal taşlar insanoğlunun yaşamını sürdürdüğü binaların iç, dış yüzeyleri ve çevre düzenlemelerinde ebatlı ve şekilsiz olarak kullanımının artmasıyla mermer ve yapı taşı kavramı dilimize geçmiştir.

Mermerin jeolojik ve ticari olmak üzere iki tanımı vardır. Jeolojik olarak mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Ticari veya endüstriyel anlamda ise, ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan ya da yüzeyi işlenebilen ve kaya özellikleri kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (sedimanter, magmatik ve metamorfik) "mermer" olarak bilinmektedir (DPT, 2001). Bu tanım uyarınca kireçtaşı, traverten, kumtaşı gibi sedimanter; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir.

Ticari dilde çok kapsamlı olarak kullanılan “mermer” terimini daha dar bir kapsamda ise yapıların düşey yüzeylerinde (iç ve dış), taban döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif amaçlı gerçekleştirilen her türlü kaplamalarda kullanılan taşlar ticari alanda "mermer" adıyla anılmaktadır (DPT, 2001).

Genel anlamda yapı taşı; yerkabuğundan çıkarılıp, doğrudan veya işlenerek çeşitli amaçlarla kullanılan doğal taşlara denir. Daha kapsamlı bir tanım yaparsak; yol ve kaldırım döşemesi, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir alanda kullanılan doğal taşlar için de "yapı taşı" terimi kullanılmaktadır. Doğal taş sektörü kapsamı içinde ise yalnızca peyzaj amaçlı kullanılanlar "yapı taşı" olarak kabul edilmektedir. Bunlar granit, siyenit gibi plutonitler, bazalt, andezit gibi volkanitler, tüfit gibi

volkanosedimanterler olabileceği gibi traverten, kumtaşları gibi sedimanter kayaçlar da olabilir. Bazı durumlarda ise doğal süreksizlikleri boyunca plaka şeklinde ayrılan gnayslar, fillit ve arduvazlar gibi metamorfikler de peyzaj amacıyla yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Ürün ebat ve özellikleri kullanım alanlarına göre farklılıklar göstermektedir (DPT, 2001; Erdoğan ve Yüzer, 1999).

Doğal taşların veya mermerlerin değerlendirilmesinde jeolojik, mineralojik, petrografik, yapısal, jeoteknik unsurlar ve teknolojik unsurlara göre değişik sınıflamalar mevcuttur (Kulaksız, 2005). Dekorasyon amacıyla, mermer ve yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar kullanım yerlerine, ebatlarına ve yüzey şekillerine göre 4 ana grupta incelenebilir (Çelik, 2003).

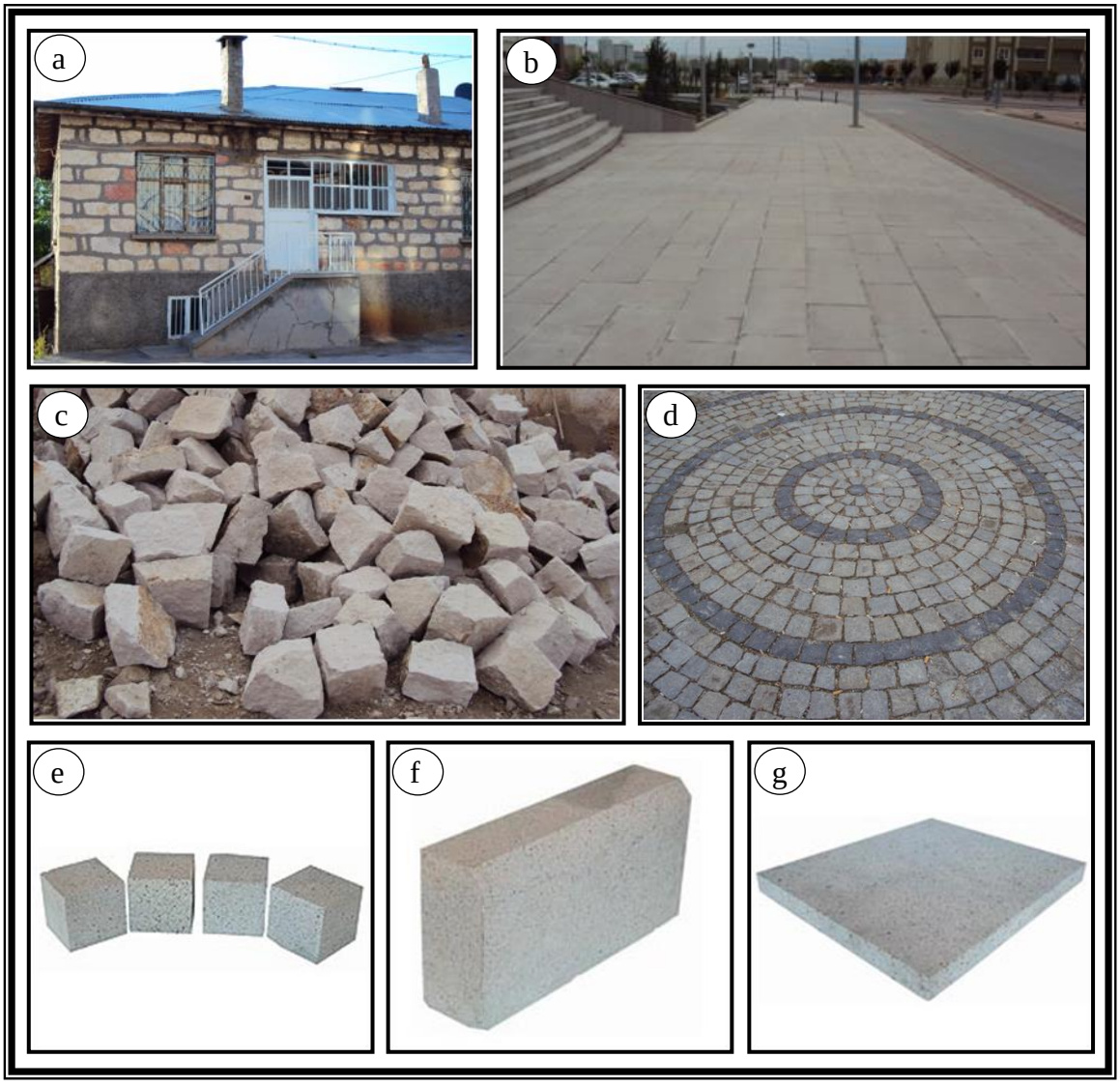
1. Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar (blok ve moloz taşlar, ocak taşı)
    a. Geometrik şekilsiz bloklar
    b. Geometrik şekilli bloklar
2. Kesilmiş ve işlenmiş doğal taşlar (mermer)
    a. Yüzeyi düzgün doğal taşlar(cilalı)
    b. Yüzeyi pürüzlü doğal taşlar(cilasız)
3. Doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar.
4. Çakıl taşları (toplama taş)

1.1.1. Yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar

Yapı taşları, insanoğlunun en eski yapı malzemelerinden birisidir. İnsanlar uzun yıllardan beri yapılarını, doğal taşları kullanarak yapmışlardır. Yapı taşı olarak binalarda kesme taş ve moloz taşlar kullanılmaktadır. Moloz taşın bütün yüzeyleri şekilsiz olabilirken yüzeylerin el aletleri ile düzeltilmesi sonucunda kesme taş elde edilmektedir. Moloz taş ve kesme taş binaların temel ve duvarlarında kullanılabileceği gibi parke ve bordur taşı olarak yol ve kaldırımlarda kullanılmaktadır (Şekil. 1.1.a, b). Şekil faktörü göz önünde bulundurulduğunda dekoratif yapı taşı olarak kullanılan doğal taşlar, geometrik şekilsiz bloklar ve geometrik şekilli bloklar olarak sınıflandırılabilir.

Ocaklardan sökülen değişik ebatlı ve geometrik şekle sahip olmayan taşlar "moloz taş" olarak isimlendirilir. Moloz taşlar genellikle ocaklarından elde edildiği şekilde ya da çok az bir işlem sonrasında kullanılabilen ve düzgün yüzeyler taşımayan yapı taşlarıdır (Şekil 1.1.c).

Geometrik şekilli bloklar, düzlemsel yüzeylere ve prizmatik bir şekle sahip olan yapı taşlarıdır. Bu tip yapı taşları kullanım yerleri ve amaçlarına göre mekanik olarak ya da çeşitli el aletleri yardımıyla işlenerek dekoratif amaçlı olarak da kullanılabilir. Burada kullanılacak olan taşın en önemli özelliği renk ve boyutun yanı sıra el aletleri ile düzgün şekil alabilmesidir (Çelik, 2003). Gerek makine gerekse el ile şekillendirilen taşlar, kullanım yerine, boyutlarına ve şekillerine göre de parke taşı (elle kırma küp taş), kaldırım taşı, bordür taşı, döşeme taşı, kesme küp taş gibi değişik isim alırlar (Şekil 1.1.d- g).



Şekil 1.1. a) Kesme taşın bina duvarında kullanımı, b) taşların yol ve kaldırımlarda kullanımı, c) moloz taşlardan görünüm, d) parke taşı, e) kesme küp taş, f) bordür taşı, g) döşeme taşı

1.1.2. Kesilmiş ve işlenmiş doğal taşlar (mermerler)

Dekoratif taş endüstrisinde en çok bilinen ve kullanılan yapı taşları bu gruptandır. Kesilip işlenebilen her türlü taş bu grup içerisinde değerlendirilmektedir. Bu tanım uyarınca kireçtaşı, traverten, kumtaşı gibi tortul, gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da "mermer" olarak isimlendirilmektedir. Yüzeyleri cilalı olan ya da özel işlemler yardımıyla değişik dekoratif özellikler kazandırılan cilasız (honlu) taşlar olarak iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.2.a-c).

1.1.3. Dekoratif doğal yarılmış, yüzeyi pürüzlü doğal taşlar

Bu gruba giren doğal taşlar, kayrak taşı, sleyt ya da arduvaz olarak bilinirler ve metamorfizma sırasında kazanılan klivaj düzlemi boyunca düzgün yüzeyler halinde ayrılma özelliklerinden faydalanılarak kullanılan taşlardır (Şekil 1.2.d).

1.1.4. Çakıl taşları

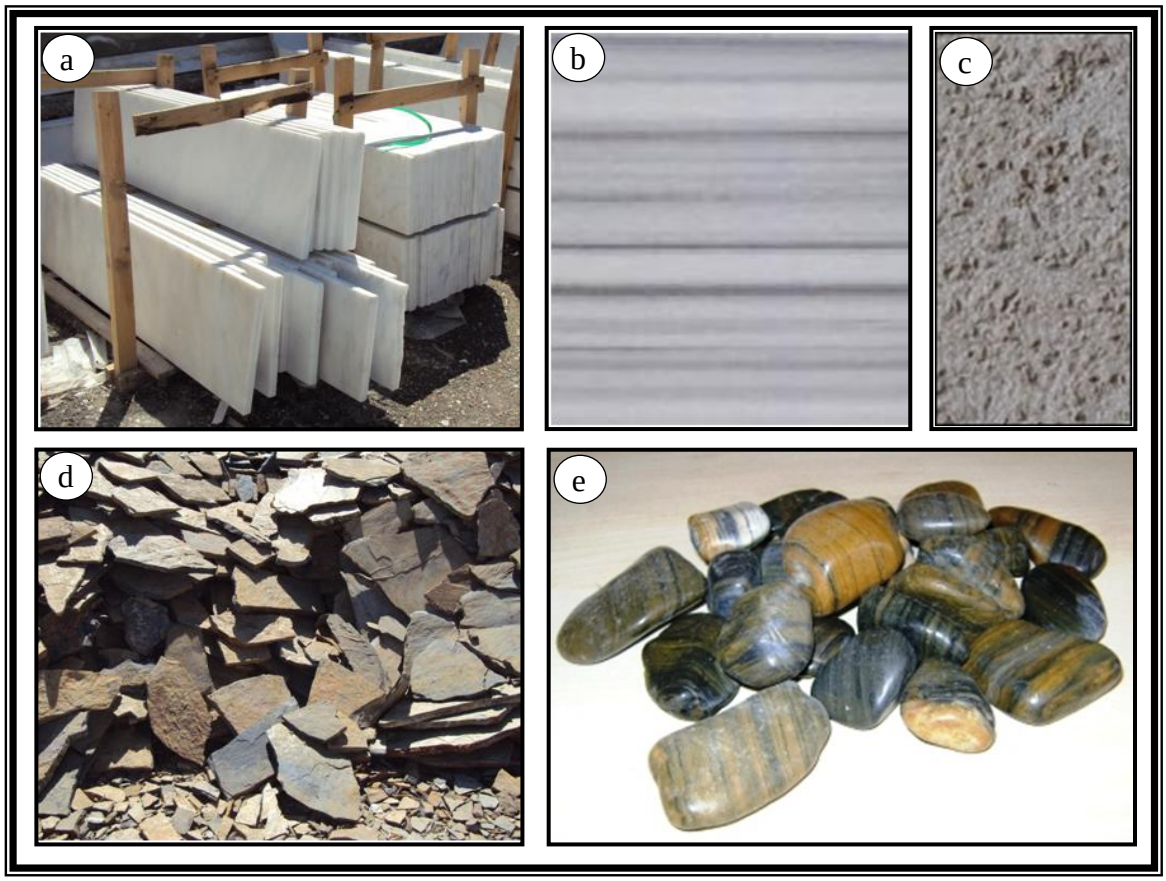
Yeryüzünde mostra veren kayaların zamanla ayrışma, parçalanma ve taşınma süreci sonucunda dış yüzeyleri yuvarlak ve yuvarlağa yakın biçimli, genellikle dere yataklarında ve dağ yamaçlarında bulunan çakıl taneleri bu grubu oluşturur (Şekil 1.2.e). Bu taşların dekoratif amaçla kullanılabilmesi için aynı cins, renk, özellik ve boyutlarda yeteri kadar sağlanması gereklidir.

1.2. Dünya ve Türkiye'de Yapı Taşı Sektörü

1.2.1. Dünya'da yapı taşı sektörü

Dünya doğal taş rezervleri incelendiğinde, Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye gibi ülkelerde kalsiyum karbonat oranı yüksek kayaçların, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Çin, Brezilya, İran ve Kanada gibi ülkelerde ise cila alma kabiliyeti yüksek, genellikle koyu renge sahip magmatik kökenli kayaçların bulunduğu dikkati çekmektedir.

Dünya doğal taş sektöründe Çin, İtalya, İspanya, Türkiye, Hindistan, Brezilya ve Portekiz dünya doğal taş üretiminin yaklaşık % 70'ni gerçekleştirmekte, son yıllarda üretimini arttıran ülkeler sıralamasında Çin, Türkiye ve Brezilya ilk üç sırada yer almaktadır.



Şekil 1.2. a) Mermerlerden genel bir görünüm, b) yüzeyi cilalı mermerler, c) yüzeyi cilasız (honlu) mermerler, d) kayrak taşları, e) çakıl taşları

1.2.2. Türkiye'de yapı taşı sektörü

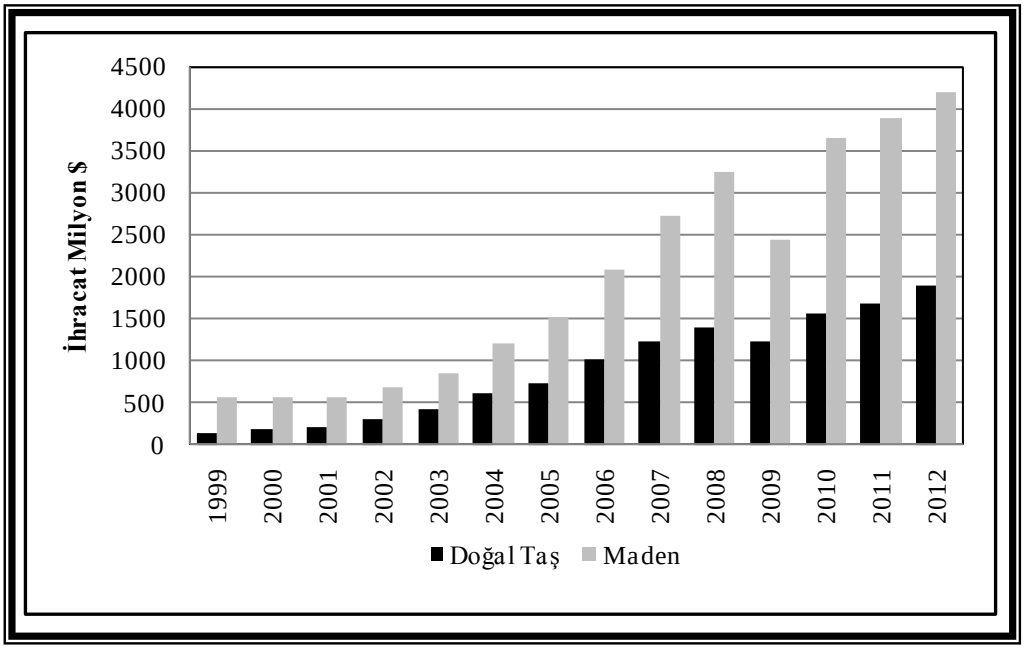
Türkiye'nin jeolojik yapısı itibariyle hemen hemen her bölgesinde çok çeşitli ve zengin doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bu doğal taşlar Anadolu'yu tarihin ilk çağlarından itibaren yurt edinen bütün uygarlıklar tarafından işletilmiştir. Anadolu'da yaşamış uygarlıkların doğal taşları kullandıklarının en önemli göstergesi etrafımızdaki tarihi yapılardır.

Türkiye doğal taş rezervine ilişkin ilk değerlendirme 1966 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılmış ve yaklaşık 5.000.000.000 m^3 (Görünür + Muhtemel + Mümkün) ile dünya mermer potansiyelinin % 40'ına sahiptir.

1990-1994 yılları arasında Devlet Planlama Teşkilatı'nin (DPT) Türkiye Mermer Envanteri" çalışması sonucunda ise bu miktar 7.600.000.000 m^3 olarak hesaplanmıştır.

Ülkemiz jeolojik yapısı itibariyle çeşitli renk ve desende zengin doğal taş rezervlerine sahiptir. Yapı taşı olarak kullanılan kayaçların en çok bilinen ve tercih edilenleri bazalt, granit, andezit, kumtaşı, kireçtaşı, tüf, mermer, arduvaz ve diyabazdır. Uluslararası piyasalarda en tanınmış mermer çeşitleri, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diyabaz ve Afyon Şeker'dir (Çetin, 2003).

Türkiye'nin doğal taş sektöründe, 2.100 adet mermer ocağı, küçük ve orta ölçekli 1.500 fabrika ve 7.500 atölyede yaklaşık 250.000 kişi istihdam edilmektedir (Anonim, 2012). Türkiye'nin maden ihracatı içindeki doğal taş ihracatının payı incelendiğinde her geçen yıl artığı gözlenmektedir. Bu artış 1999-2011 yılları arası verilerde açıkça görülmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. 1999-2011 yılları arası toplam maden ihracatı içinde doğal taş ihracatı kıyaslaması (Anonim, 2013a)

Doğal taş ihracatı 2007 yılında, 152 farklı ülkeyle yapılmış ve doğal taş ticaretinde en önemli pazarlarımız ABD, Çin ve Avrupa Birliği ülkeleri olmuştur (Uyanık, 2008). 2007 ile 2012 yılları arasında doğal taş ihracatı içinde en önemli kalemler ise işlenmiş mermer-traverten ve blok mermer-traverten olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1.1). Türkiye'nin yıllık doğal taş üretimi 2009 yılında yaklaşık 4 milyon m^3

civarında iken 2010 yılında yaklaşık 5 milyon m^3 üretim yapılmıştır (Anonim, 2012). 2009 yılında ülkemiz mermer ve traverten üretiminde dünyada 3'üncü sırada yer almıştır. Aynı yıl Türkiye doğal taş sektörü, mermer ve traverten ihracatında ise en fazla ihracat gerçekleştiren ülke olmuştur (Anonim, 2012).

Çizelge 1.1. 2007-2012 yılları arası Türkiye doğal taş ihracat değerleri (1000 $) (Anonim, 2013b)

Ürünler	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Blok Mermer-Traver.	162913	307818	319837	363676	785200	860075
Blok Granit	342	164	91	701	11900	8616
İşlenmiş Mermer-Traver.	414799	893849	698592	774239	819600	828162
İşlenmiş granit	12546	25679	19030	18346	12700	15671
Diğer	652039	187782	203392	411257	45600	30070
Toplam	1242639	1415292	1240942	1568219	1675000	1742594

1.3. Donma-Çözülme Süreci ve Yapı Taşlarına Etkisi

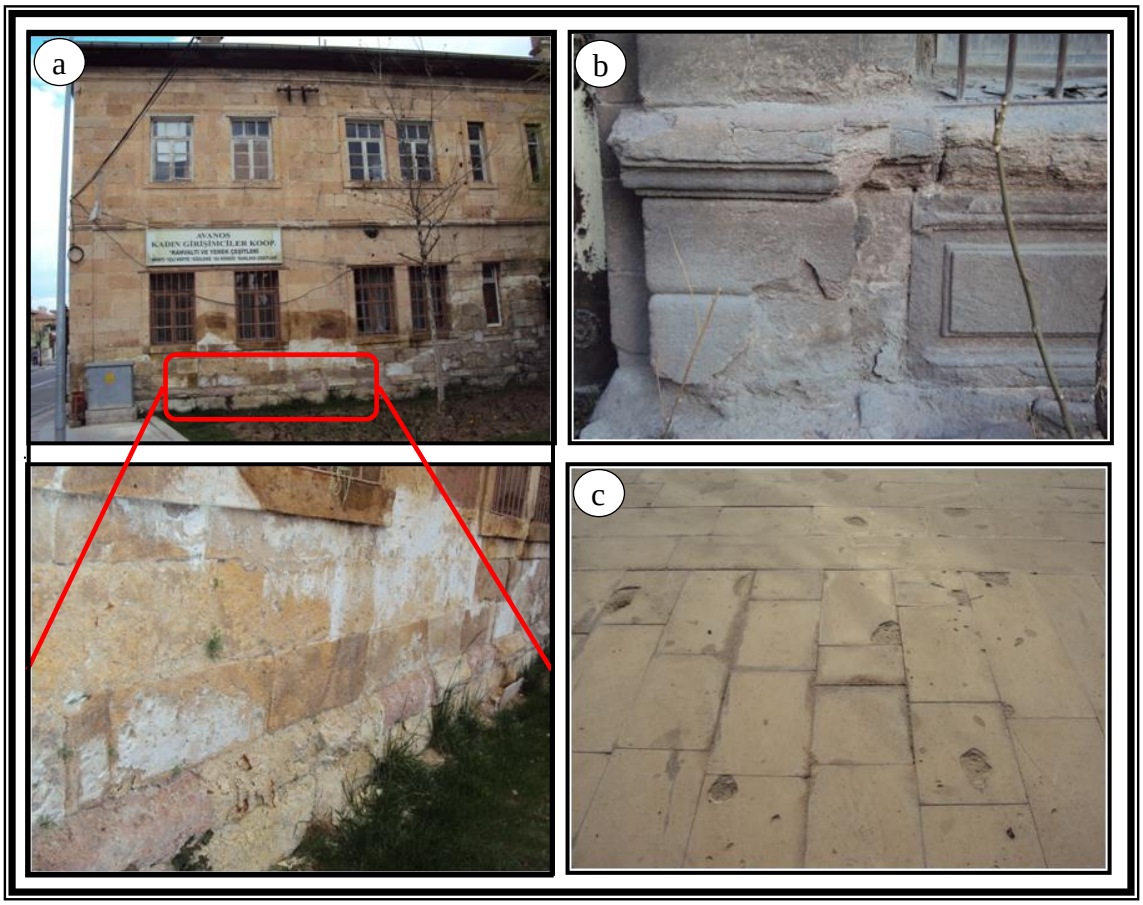
1800'lü yıllara kadar "masif eleman" olarak kullanılan doğal taş, bu tarihten sonra endüstri devriminin de etkisiyle işlenmesi kolaylaşmış ve yapı sektöründe çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlamıştır.

Doğal yapı taşları, yapı sektöründe farklı kullanım alanlarına bağlı olarak doğrudan veya dolaylı çevresel etkileşimler sonucu bozunurlar. Bozunmalar yapı taşlarının kullanıldığı bina ve çevre düzenlemelerinde küçük veya büyük ölçekli problemler oluşturmaktadır (Şekil 1.4.a-c). Bu sorunların çözümü ise kişi veya kurumların bütçelerine ilave yükler getirmektedir.

Bozunmayı önlemek için öncelikle bozunmaya neden olan faktörlerin ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bozunmaya neden olan faktörler; deprem, yangın, su baskını, rüzgar, donma-çözülme, sıcaklık dalgalanmaları, kimyasal malzemeler, kirlilik, tuz kristalleşmesi ve biyolojik bozunma olarak sıralana bilir. Bu faktörlerden donma-çözülme süreci yapı taşlarının kötüleşmesine neden olan en önemli etkendir (Bell, 2006).

Donma-çözülme olayı ise, iki aşamadan oluşmaktadır. I. Aşama kayacın ortam sıcaklığı 0 ^{0}C'nin altına düşmesi ile gelişen donma aşaması, II. aşama ise ortam sıcaklığının 0 ^{0}C'nin üstüne çıkmasıyla kayacın çözülmesi aşamasıdır. Donma-çözülme süreci incelendiğinde en büyük etkenlerden biri olarak su görünmektedir. Bunun sebebi suyun donması ile hacminin % 9 oranında artması özelliğidir. Doygun bir kayaç donma-çözülme sürecine maruz kaldığında kayacın gözeneklerinde bulunan suyun donması ile

hacmi genişleyecektir. Kayacın içerisinde buzun genleşmesi için yer olmadığından hacmi genişleyen buz kayaya basınç uygulayacaktır. Kayacın gözeneklerinde oluşan buzun oluşturduğu basınçlar azalan sıcaklıkla artarak -22^{o}C'de 200 MPa'la ulaşabilmektedir (Bell, 2006). Bu basınç kayada yeni kılcal çatlaklar oluşumuna sebep olacaktır. Daha sonra tekrar sıcaklık yükseldiğinde buz eriyip su haline gelecek ve daha ince çatlaklardan içeri girecektir. Gözeneklerin büyümesi boşluk suyu hareketini artırır ve kaya dokusu içinde gerilme artışına sebep olur. Kayacın tekrar donma süreci etkisi altında kalması ile gözeneklerdeki su buz haline geçerken hacmi artarak kaya gerilme uygulayacaktır. Kayada bu gerilmenin etkisiyle yeni çatlakların oluşturacak ve/veya var olan çatlaklar daha da genişletecektir. Donma-çözülme süreci taş yüzeyinden bazen küçük parçalar ayrılmakla birlikte, esas etkisi süreç uzun periyotlar boyunca tekrarlandığında, kayaların parçalanmasına neden olmasıdır. Daha da ilerleyen aşamalarda, kayaçların kalıntı zemine (toprağa) dönüşmesine kadar devam edecektir.



Şekil 1.4. a) Avanos' da tarihi bir yapıda bozunmalar, b) Konya' da tarihi bir yapıda bozunmalar, c) Konya' da bir çevre düzenlemesinde gözlenen bozunmalar

Yapı taşında donma-çözülme sürecinin etkili olabilmesi için; suyun buz fazına geçtiğinde meydana gelen hacim artışı, gözenek sistemindeki suyun doygunluk derecesi, kritik gözenek boyutu, gözenek boşluğu miktarı, gözenek sisteminin devamlığına ve donma-çözünme olayının tekrarlanma sayısı önemlidir. Görüldüğü üzere donma-çözülme sürecinin yıl içinde tekrarlanma sayısı önem kazanmaktadır. Bu önemin görülmesi üzerine Binal ve ark. (1997b) tarafından Türkiye'nin yıllık donma-çözülme çevrimlerinin coğrafi dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 1.5).

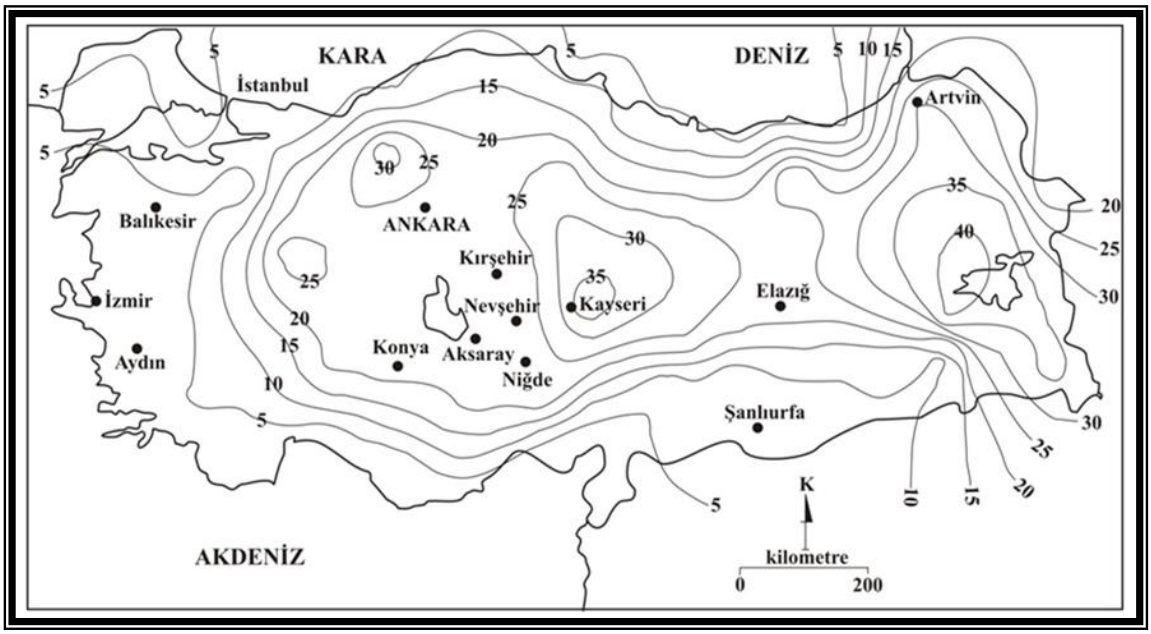
Kayacın doygunluk derecesi ve donma sırasında gelişen gerilmelerin büyüklüğü gözenek yapısı tarafından kontrol edilir. Larsen ve Cady, (1969)' da donma-çözülme kararlığı için kritik gözenek boyutunun 0,005 mm olarak belirtmiştir. Kayacın küçük gözenek çaplarına sahip olması kılcal suyun emilmesini kolaylaştır ve kayacın doygunlaşmasına yardımcı olur.

Donma sürecinde gelişen gerilmeler kayaların bloklar halinde parçalanması kaya kütlesi içindeki süreksizliklere, kayacı oluşturan minerallerin parçalanması ise yeni tane sınırlarına veya yeni mineral çatlakları gibi mikro süreksizliklerin oluşumuna sebep olacaktır. Kayaçta mikro ölçekte gerçekleşen değişiklikler kayaçların dokusal özelliklerinin değişimine sebep olacaktır. Dokusal özelliklerin önemi birçok araştırmacı tarafından vurguladığı üzere kayaçların mühendislik özelliklerini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir (Ulusay ark., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999; Koncagül ve Santi., 1999; Jeng ve ark., 2004; Götze and Siedel, 2004; Kahraman ve ark., 2005; Török, 2006; Tamrakar ve ark., 2007; Güneş Yılmaz ve ark., 2009; Diamantis ve ark., 2011; Ruedrich ve ark., 2011; Fener ve İnce, 2012b; Garcia-del-Cura, 2012; Vazquez ve ark., 2013). Donma-çözülme süreci sonrası kayacın dokusal özelliklerinde meydana gelen değişimler yapı taşının fiziksel, dayanım ve aşınma parametrelerinde önemli değişimlerin oluşmasına sebep olur. Buda yapı taşının kullanım süresinin azalmasına sebep olacaktır (Koçu ve Dereli, 2003).

1.4. İnceleme Alanın Tanımı ve Jeolojisi

İnceleme alanı İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılabilecek farklı kökenli kaya birimlerinin (sedimanter, volkanik, volkanosedimanter, magmatik ve metamorfik) mostra verdiği yerler olarak belirlenmiştir. Belirlenen yerlerden yapılacak çalışmanın amacına uygun

olabileceği düşünülen 18 lokasyondan 22 örnek derlemesi yapılmıştır. Belirlenen örneklerin kaya birimlerine ve alındığı lokasyonların dağılımı Çizelge 1.2 ve Şekil 1.6' de verilmiştir. Bu bölümde kaya örneklerin alındığı kaya biriminin kısaca formasyon bilgileri ile kayacın petrografik özelikleri verilecektir.

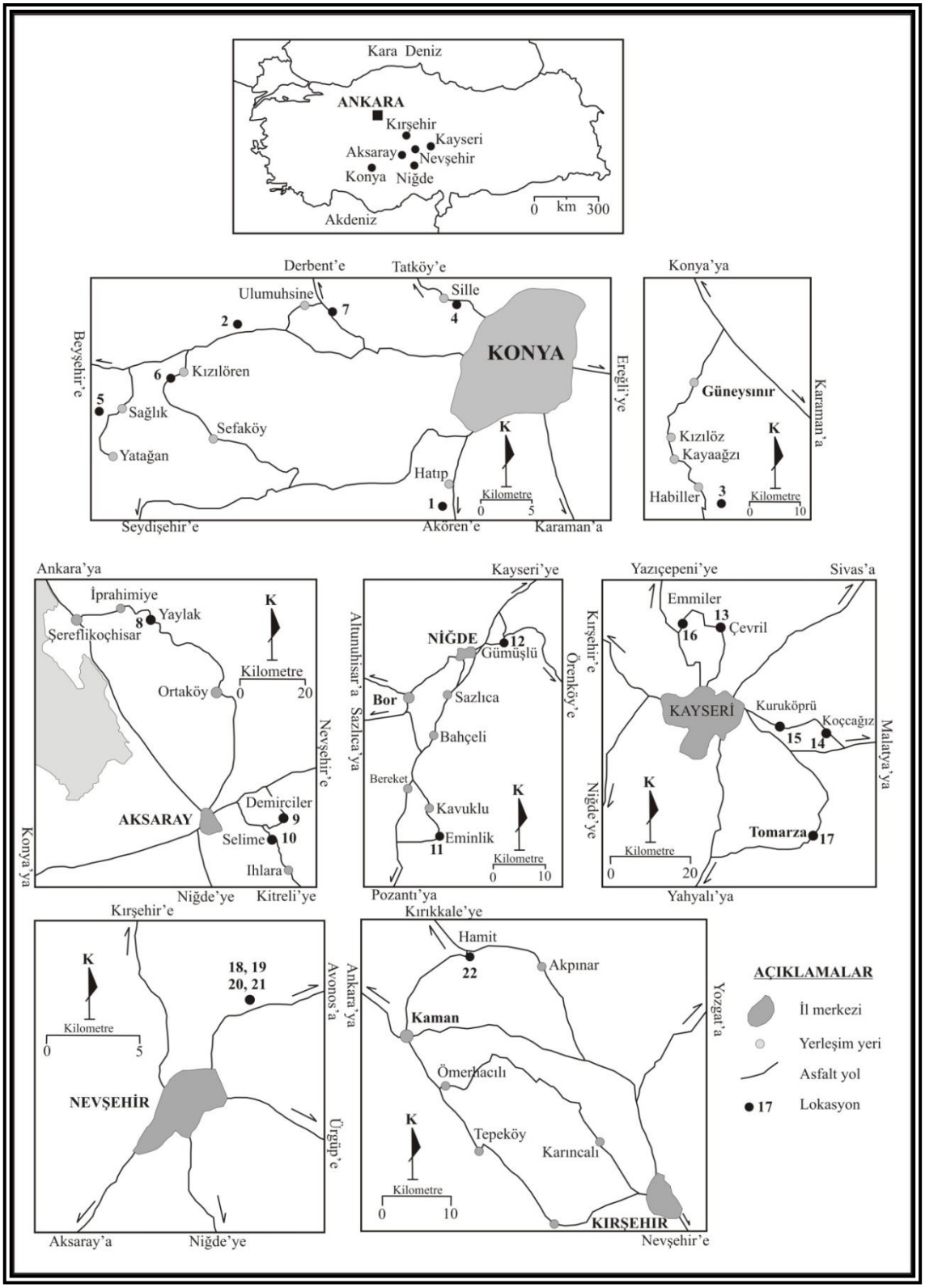


Şekil 1.5. Türkiye için hazırlanmış eş donma-çözülme çevrim sayısı kontur haritası (Binal ve ark.,1997b)

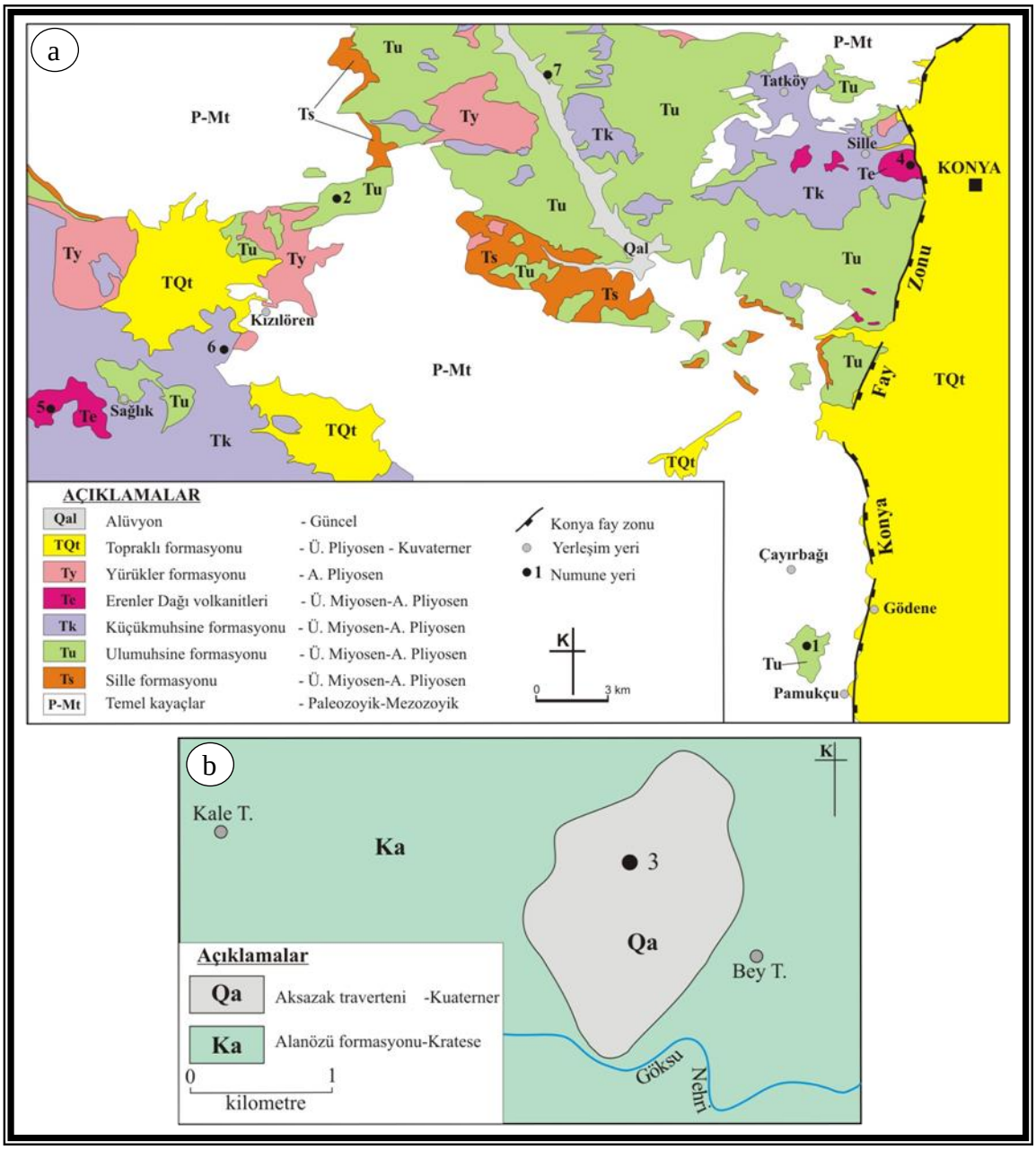
Çizelge 1.2. İncelenen örneklerin bölge ve kaya birimlerine göre dağılımı

N.No	Bölge	Formasyon	Kaya birimi	Ticari ismi / İşleten firma
1		Ulumuhsine	Traverten	Bej/Kombassan Meram Mermer AŞ
2		Ulumuhsine	Traverten	Bej / Akdeniz Mermer
3		Aksazak traverteni	Traverten	Göksu / POLMER Madencilik
4	**Konya**	Erenlerdağı volkanitlari	Dasit	Sille taşı / -
5		Erenlerdağı volkanitlari	Andezit	Andezit / Meram Andezit
6		Küçükmuhsine	Piroklastik	Kızılören taşı / Terk edilmiş ocak
7		Ulumuhsine	Kireçtaşı	İşletilmiyor
8		Ağaçören plütonu	Granit	Yaylak Graniti / Granitaş AŞ
9	**Aksaray**	Ürgüp	Piroklastik	Lila / Demirciler Belediyesi
10		Ürgüp	Piroklastik	-
11	**Niğde**	Basmakçı kireçtaşı	Kireçtaşı	İşletilmiyor
12		Ürgüp	Piroklastik	İşletilmiyor
13		Erkilet bazaltı	Bazalt	Erkilet bazaltı / Emre Taş ve Mad.
14		Ürgüp	Piroklastik	Sarı / Emre Taş ve Madencilik
15	**Kayseri**	Ürgüp	Piroklastik	Gri / Emre Taş ve Madencilik
16		Ürgüp	Piroklastik	Pembe / Emre Taş ve Madencilik
17		Ürgüp	Piroklastik	Siyah / Emre Taş ve Madencilik
18		Ürgüp	Piroklastik	Beyaz / Eltaş
19	**Nevşehir**	Ürgüp	Piroklastik	Sarı / Eltaş
20		Ürgüp	Piroklastik	Vişne / Eltaş
21		Ürgüp	Piroklastik	Gülkurusu / Eltaş
22	**Kırşehir**	Hamit Plütonu	Granit	Kaman Rose / -

Çalışmada kullanılan ilk 7 örnek Konya bölgesinden alınmış olup bölgenin genelleştirilmiş jeoloji haritaları Şekil 1.7'de verilmiştir. Bölgeden alınan numunelere ait formasyon bilgileri alt başlıklarda açıklanacaktır.



Şekil 1.6. İnceleme alanın numune lokasyon haritası



Şekil 1.7. Konya bölgesinine ait jeoloji haritaları a) Konya il merkezi ve çevresinin genelleştirimiş jeoloji haritası (Aksoy ve Demiröz, 2012 ve R. Aksoy'un yayınlanmamış çalışmasından sadeleştirilerek alınmıştır), b) Habiller Köyü'nün güneybatısının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Biricik ve ark. 1999'dan değiştirilerek alınmıştır)

1.4.1. Ulumuhsine formasyonu

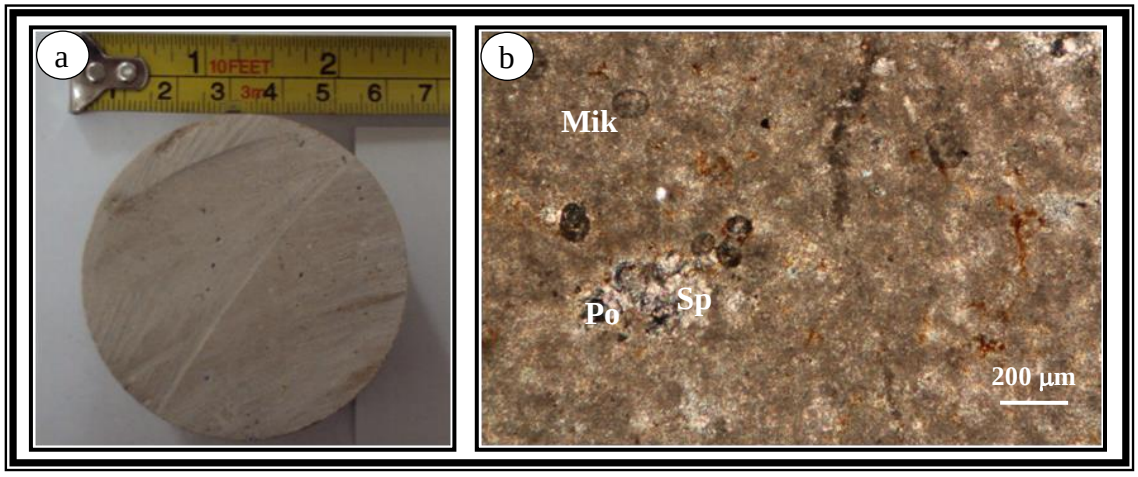
Konya bölgesinde yer alan 1, 2 ve 7 nolu örnekler yörede Ulumuhsine formasyonu adı altında incelenen kaya birimlerinden alınmıştır.

Konya ve çevresinde yaygın olarak gözlenen gölsel kireçtaşı ve kırıntılılar şeklindeki birim, Göğer ve Kıral (1969) tarafından "Dilekçi formasyonu" içinde

incelenmiş ve bu oluşuklar "Ulumuhsine kireçtaşı üyesi" olarak adlandırılmıştır. Eren (1993) tarafından yapılan çalışmada birim ‘Ulumuhsine formasyonu’ olarak incelenmiştir. Konya’nın çevresinde yaygın olarak gözlenen birim kirli beyaz, krem, gri, bej ve sarı renkli, ince - kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları, yaygın olarak onkolitik ve stromatolitik yapılar içerirler ve bazı düzeylerinde bol miktarda tatlı su gastropod ve bivalv fosilleri içerir (Eren, 1993). Ooid, pellet ve intraklast gibi allokemlerin de gözlendiği kireçtaşları bazı düzeylerde dolomitik kireçtaşı şeklindedir (Özkan, 2000). Birimin yaşı Geç Miyosen - Erken Pliyosen'dir (Eren, 1993).

1 nolu örnek Konya şehir merkezinin yaklaşık 18 km güneyinde yer alan Gödene Mahallesi’nin güneybatısında yüzeyleyen kireçtaşları içinde açılmış olan Kombassan Meram Mermer A.Ş. tarafından işletilen ocaktan alınmıştır (Şekil 1.7). Birim halk tarafından Gödene taşı olarak adlandırılmaktadır. Uysal (2008)’de yaptığı çalışmada ocağın görünür rezervinin 40.000.000 m^3 olarak vermiştir.

Ocaktan alınan kaya birimleri (Gödene taşı) bej renklidir (Şekil 1.8.a). Ocaktan alınan numunelerden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Yapılan petrografik incelemelere göre kireçtaşlarında, % 54 mikrit, % 12 pellet, % 10 sparit, % 10 fosil, % 5 intraklast, % 4 ekstraklast (kuvars ve çört), % 3 porozite ve % 2 opak mineral bulunmaktadır (Şekil 1.8.b). Kayaç Dunham (1962)’ye göre “ vake taşı” olarak adlandırılmıştır.

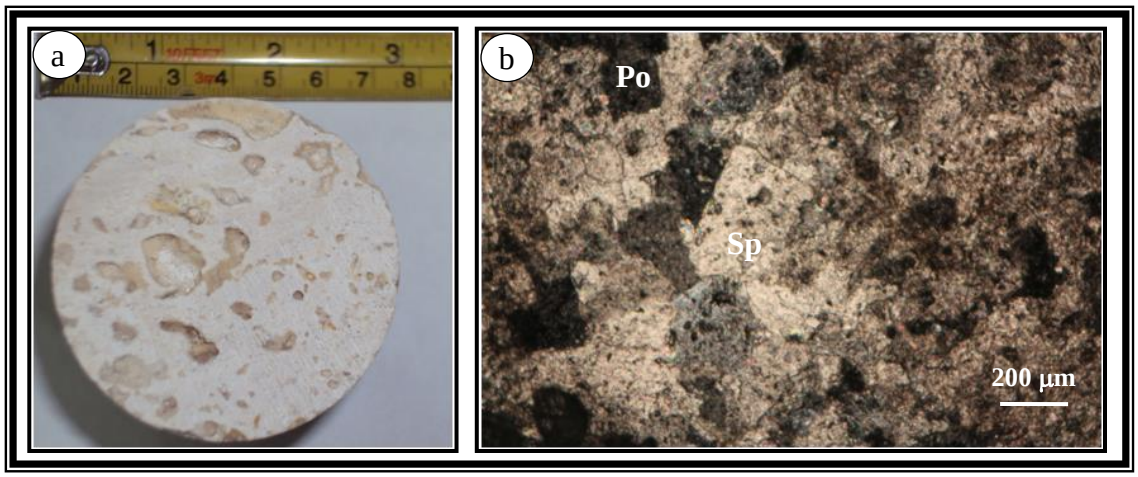


Şekil 1.8. 1 nolu kayaç (Gödene taşı) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Mik: mikrit, Sp: sparit Po: porozite) (çapraz nikol)

2 nolu örnek ise Konya Beyşehir karayolunun yaklaşık 30 kilometresinde yer alan, Ulumuhsine formasyonuna ait kireçtaşlarında açılan ve Antalya Mermer Ltd. Şti.

tarafından işletilen ocaktan alınmıştır (Şekil 1.6). Kaya (2007)'de yaptığı çalışmada, işletmenin yıllık blok üretim kapasitesi 10.000 m³ olarak vermiştir.

Kayaç bej renkli ve gözenekli bir görünüme sahiptir (Şekil 1.9.a). Kayaçtan yapılan ince kesitlerde kireçtaşında; % 83 sparikalsit, % 7 dolosparit, % 10 porozite gözlenmiştir (Şekil 1.9.b). Bu verilere göre kayaç Dunham (1962)'ye göre 'kristalin kireçtaşı' dır.



Şekil 1.9. 2 nolu kayacın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol)

7 nolu örnek Konya ilinin yaklaşık 25 km batısında yer alan Ulumuhsine Köyü'nün doğusunda yüzeyleyen çok fazla boşluklu (Moos ve Quervain, 1948) az tutturulmuş sarı, bej renkli kireçtaşlarından alınmıştır (Şekil 1.10.a). Bu örnekten yapılan petrografik ince kesitlerde; % 63 fosil, % 25 porozite ve % 12 sparit belirlenmiştir (Şekil 1.10.b). Kayaçta gözlenen fosiller yeşil alglerden Oogonium sp. dir. Kayacın bağlayıcısı genelde tane dokanaklarında gözlenen menisküs tipi zayıf tutturulmuş karbonat çimentodur. Kayaç, Dunham (1962)'ye göre 'tane taşı' olarak adlanmıştır.

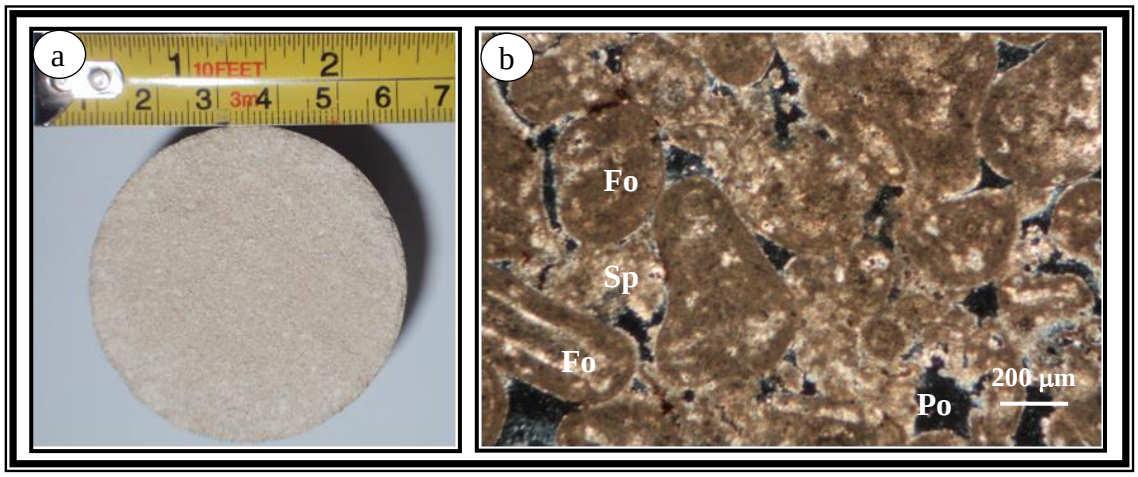
1.4.2. Aksazak traverteni

3 nolu örnek Konya ilinin Güneysınır ilçesinin yaklaşık 60 km güneyinde, Habiller köyünün güneybatısında yer alan Aksazak travertenine ait birimler içerisinde POLMER Madencilik tarafından açılmış mermer ocağında, Göksü koleksiyonu adı altında işletilen kaya biriminden alınmıştır. İşletmenin rezervi 1.200.000 m³ olarak belirlenmiştir (Anonim, 2013c).

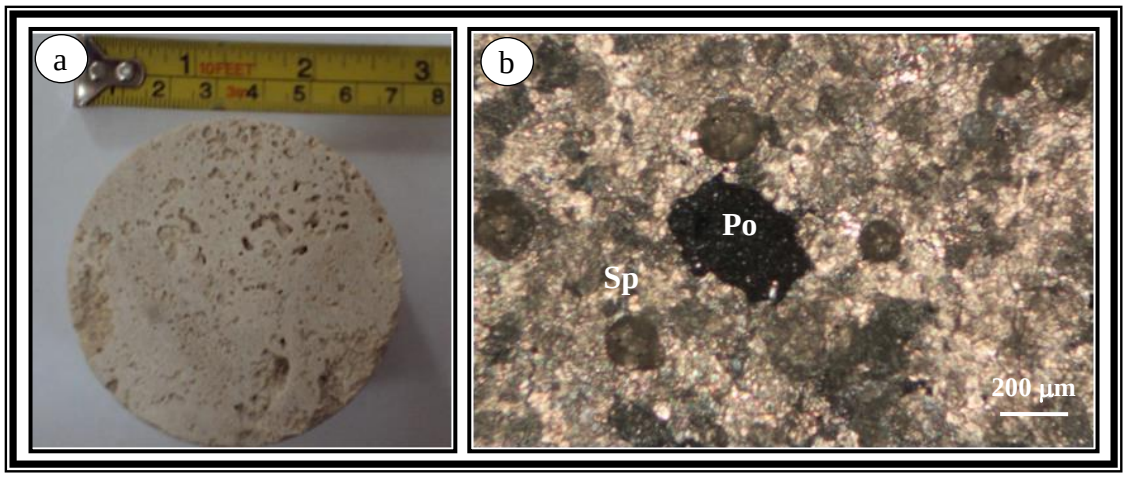
Bu birimden alınan örnekler bej renkli, gözenekli bir dokuya sahiptir (Şekil 1.11.a). Kayaçtan yapılan petrografik kesitlerde; % 45 sparikalsit, % 45 fosil, % 10 porozite gözlenmiştir. Kayaç Dunham (1962)'ye göre 'tane taşı' olarak adlanmıştır (Şekil 1.11.b).

1.4.3. Erenlerdağı volkanitleri

4 ve 5 nolu örnekler bölgede Erenlerdağı volkanikleri olarak bilinen kaya birimlerinden alınmıştır (Şekil 1.7).



Şekil 1.10. 7 nolu taşın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol)

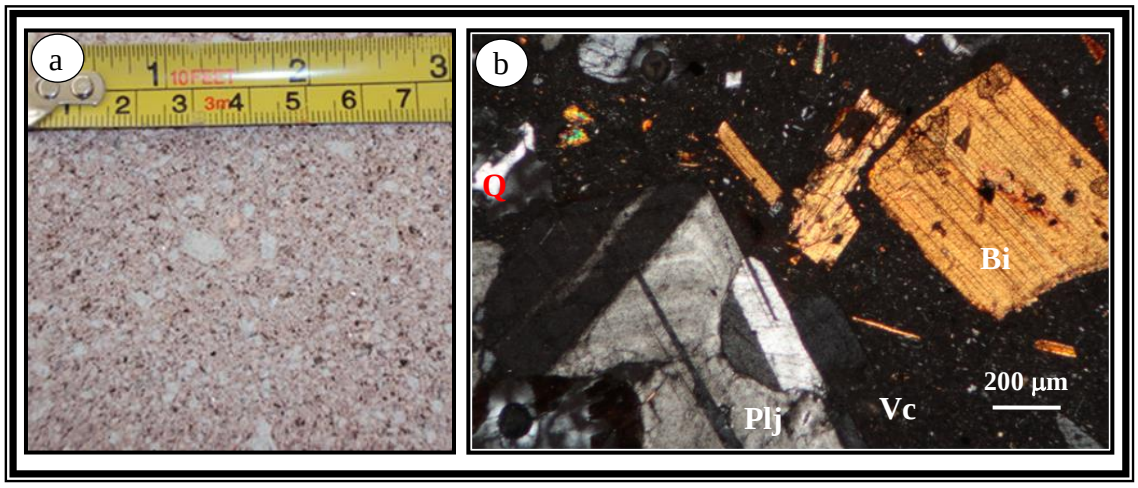


Şekil 1.11. 3 nolu kayacın görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Po: porozite, Sp: sparit) (çapraz nikol)

Konya çevresinde boyun, dayk ve lav akıntıları şeklinde gözlenen koyu gri-kahve renkli volkanik kayaçlar Erenlerdağı volkanitleri olarak adlandırılmıştır (Görmüş, 1984). Bu volkanik kayaçların bileşimleri dasit ile andezit arasında değiştiği bir çok araştırmacı tarafından saptanmıştır (Jung ve Keller, 1972; Ota ve Dinçel, 1975; Keller ve diğ., 1977). Birimin yaşı Geç Miyosen-Erken Pliyosen olarak verilmiştir (Eren, 1993).

4 nolu örnek Konya şehir merkezinin yaklaşık 8 km kuzeybatısında yer alan Sille Mahallesi ve çevresinde yüzeyleyen volkanik kayaçlar içinde açılmış Sille taş ocağından alınmıştır (Şekil 1.6 ve Şekil 1.7).

El örneklerinde açık-koyu pembe renkte gözlenen birimin kayaçlarında makroskopik olarak plajiyoklas, biyotit ve kuvars fenokristallerinin bir hamur içinde yüzer vaziyette bulundukları görülür (Şekil 1.12.a). İnce kesitlerde hipokristalin porfirik dokuludur (Şekil 1.12.b). Hamur, volkanik cam ve plajiyoklas mikrolitlerinden oluşur. Mineralojik bileşimlerinde polisentetik ikizli, uzun-kısa prizmatik şekilli plajiyoklas (% 30), volkanik cam (% 25), tek yönlü dilinimli ve levhamsı biyotit (% 18), plajiyoklas mikrolitleri (% 15), kuvars (% 10) ve opak mineral (% 2) tespit edilmiştir (Şekil 1.12.b). Kayaç, mineralojik bileşimi göz önüne alındığında Streckeisen (1979)'a göre "plajiodasit" olarak ismlendirilir.



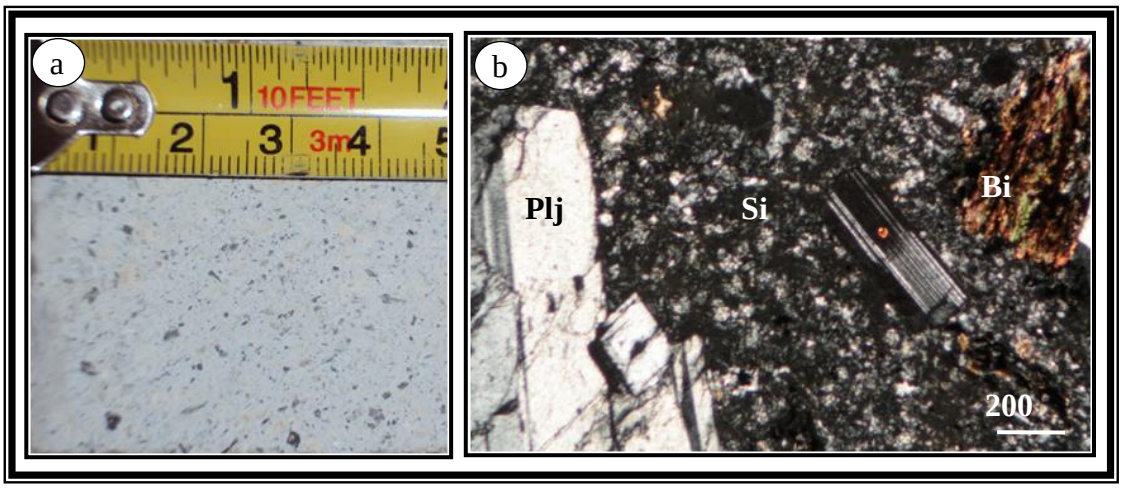
Şekil 1.12. 4 nolu kayaç (Sille taşının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Vc: volkanik cam)(çapraz nikol)

5 nolu örnek Konya'nın yaklaşık 40 km bayısında yer alan Sağlık Kasabası ve çevresinde yüzeyleyen volkanik kayaçlar içinde açılmış ve Meram Andezit firması tarafından işletilen ocaktan alınmıştır (Şekil 1.7).

Açık-koyu gri renkte gözlenen Meram andezitlerinde plajiyoklas ve amfibol fenokristallerinin kincil kuvars kristallerinin oluşturduğu hamur fazı içerisinde yüzer vaziyette bulundukları görülür (Şekil 1.13.a). Hamur fazını oluşturan ikincil kuvars kristalleri muhtemelen sıcak hidrotermal çözeltiler etkisiyle hamur fazının silisleşmesi sonucu oluşmuştur. Mineralojik bileşimlerinde hamur fazı (% 52), plajiyoklas (% 30), amfibol (% 10), karbonat (% 7) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.13.b).

Kayaç içerisindeki karbonatlar yine hamur fazından itibaren karbonatlaşma sonucu oluşmuştur.

Tüm kayaç göz önüne alındığında porfirik doku, hamur fazına göre ise holokristalin porfirik doku sunan kayaç (Şekil 1.13.b), mineralojik bileşimi göz önüne alındığında Streckeisen (1979)' a göre "andezit" olarak isimlendirilir.



Şekil 1.13. 5 nolu kayaç (Meram andezitinin) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Si: silisleşmiş hamur fazı) (çapraz nikol)

1.4.4. Küçükmuhsine formasyonu

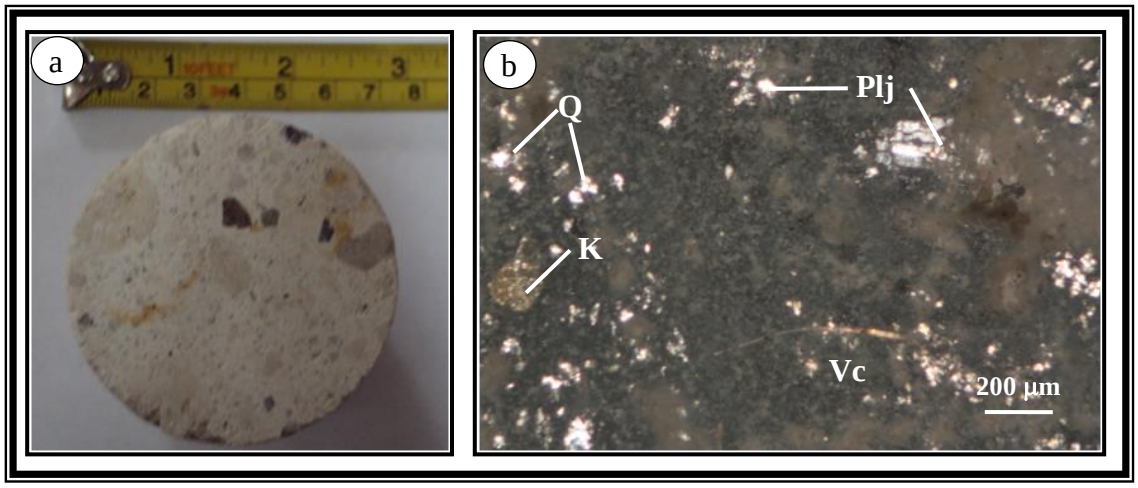
6 nolu örnek Konya bölgesinde Küçükmuhsine formasyonuna olarak adlandırılan kaya biriminden alınmıştır.

Konya bölgesinde yer alan volkano - tortul istif ilk olarak Göğer ve Kıral (1969) tarafından "Dilekçi formasyonu" içinde "Küçükmuhsine aglomera üyesi" ve "Erenkaya üyesi" şeklinde iki bölüme ayrılmış ve adlandırılmıştır. Eren (1993)'de yapılan çalışmada volkano - tortul istifin tüf ve aglomera şeklinde iki bölüme ayrılamayacağı görülmüş ve birim Küçükmuhsine formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim Konya ilinin batısında yaygın olarak gözlenmektedir. Formasyon, genelde beyaz, gri yer yer pembe renkli tüf, tüfit, volkanik breş ve volkanojen kumtaşı ardalanmasından oluşur. Birimin yaşı Geç Miyosen - Erken Pliyosen'dir (Eren, 1993).

6 nolu örnek Konya Beyşehir yolunun yaklaşık 35. km'sinde yer alan Kızılören kasabasının güneybatısında yüzeyleyen pirokrastik kayaçlar içerisinde açılmış taş ocağından alınmıştır (Şekil 1.7).

Kayaç açık-koyu sarı, bej renkte gözlenir (Şekil 1.14.a). Bu kayaçlar tane boyu açısından incelendiğinde ~ % 60 oranında 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 40 oranında ise 2 mm'den küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin yüzde dağılımı" sınıflamasına göre "lapilli-kül-tüfü" olarak isimlendirilmiştir. Kayaç kristallerden, kayaç parçası ve volkanik camdan oluşmuştur. Bu nedenle kayaç "hipokristalin doku" ve "porfirik doku" özellikleri sunar. Mineralojik bileşimlerinde volkanik cam (% 35), kayaç parçası (% 35), plajiyoklas (% 17), kuvars (% 10), biyotit (% 2) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.14.b). Kayaç parçalarını genelde kuvars kristalleri, kuvarsit ve volkanik kayaç parçaları oluşturmaktadır. Bu kayaçlar, mineralojik bileşimleri göz önüne alındığında "plajiodasitik tüf" dür. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "litik tüf" olarak adlandırılmıştır.



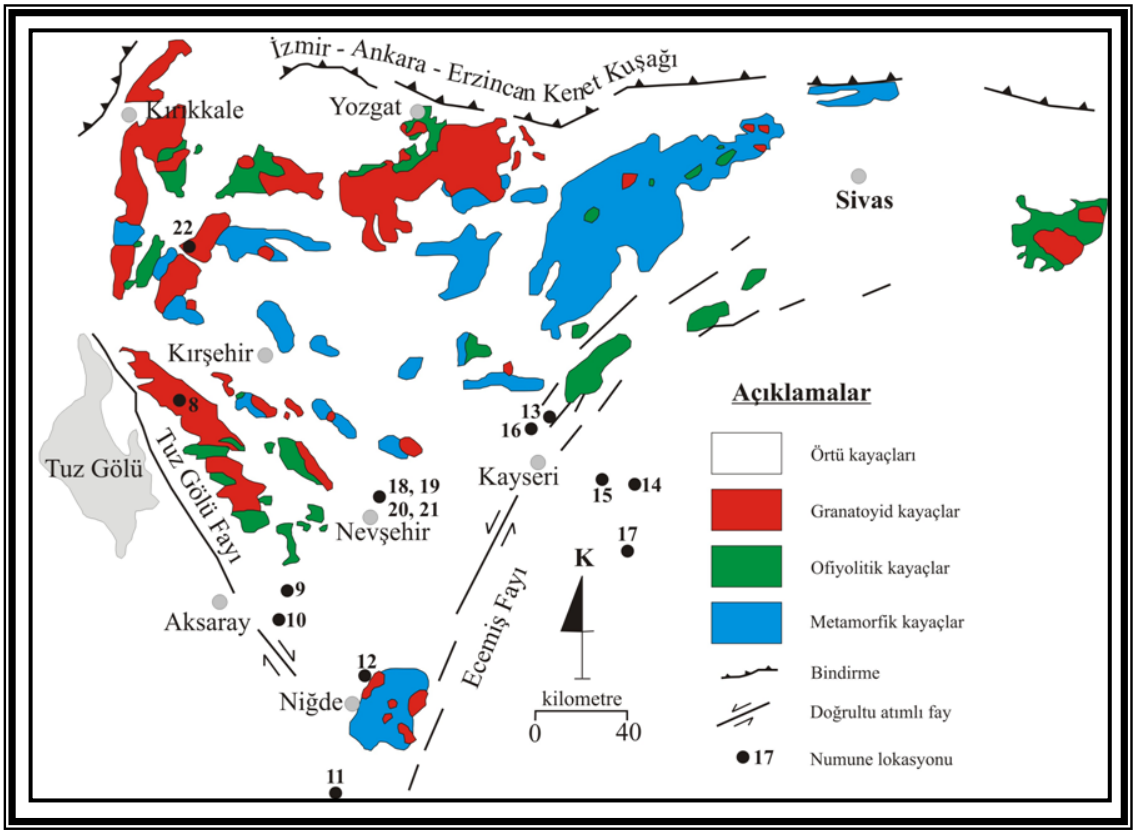
Şekil 1.14. 6 nolu kayaç (Kızılören taşının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Q: kuvars, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

Çalışmada kullanılan 8 ile 22 arasındaki örnekler Orta Anadolu Kristalin Kompleksi (OAKK) olarak adlandırılan bölgede yüzeyleyen kaya birimlerinden alınmıştır (Şekil 1.15).

Tuz Gölü fayı, Ecemiş fayı ve İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı arasında kalan üçgen bölge Orta Anadolu Kristalin Kompleksi (OAKK) olarak adlandırılır (Şekil 1.15). OAKK'nin temeli Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardan oluşur, bu kayaçlar üstüne Geç Kretase yaşlı Orta Anadolu ofiyolitleri bindirir ve tüm bu birimleri kesen plütonik kayaçlardan oluşur (Göncüoğlu ve ark., 1991a ve b). Bu kayaçların üstüne uyumsuz olarak Geç Kratese-Kuaterner yaşlı volkanik ve sedimanter örtü birimleri yer almaktadır (Lefebvre ve ark., 2011).

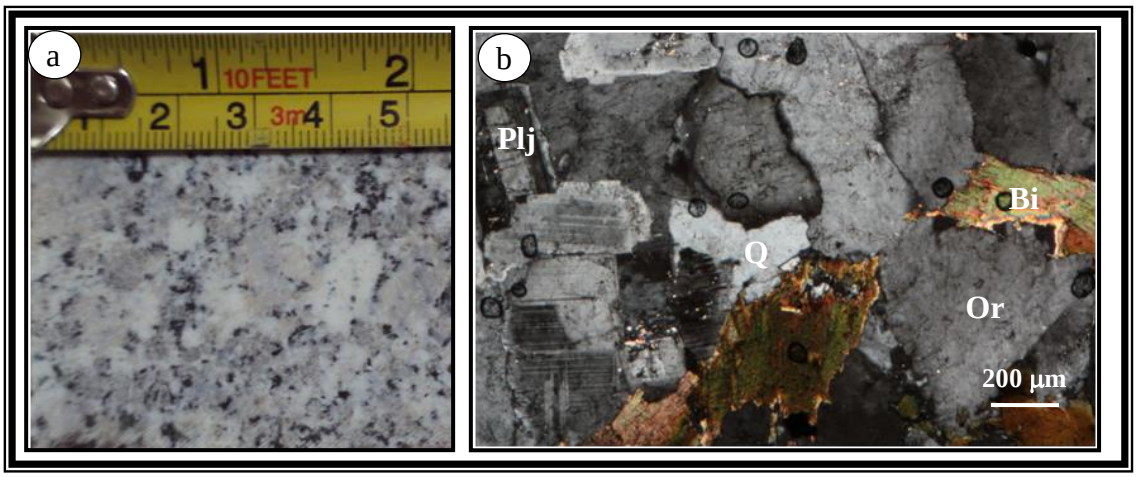
1.4.5. Ağaçören plütonu

8 nolu örnek Aksaray ilinin yaklaşık 80 km kuzeybatısında yeralan Yaylak Köyü civarındaki Ağaçören plütonu içerisinde açılmış granit ocağından alınmıştır (Şekil 1.15). 8 nolu Aksaray Yaylak isimli yapı taşı Orta Anadolu Kristalen Kompleksinin batısında (Aksaray'ın kuzeyinde) Geç Kratese (110±14 milyon) yaşlı granitoid bileşimli Ağaçören plütonu ürünüdür (Güleç, 1994; Kadıoğlı ve Güleç, 1996; İlbeyli, 2005).



Şekil 1.15. Orta Anadolu Kristalin Kompleksinin (OAKK) jeolojisi (Bingöl, 1989'dan değiştirilerek alınmıştır)

Ağaçören plüton üzerinde yer alan Yaylak graniti, Granitaş A.Ş. tarafından işletilmekte olup yaklaşık 50.000 m^3 blok potansiyeline sahiptir (Angı, 2007). El örneklerinde açık-koyu gri renkte gözlenen birimin kayaçlarında makroskopik olarak plajiyoklas, kuvars, ortaklas ve biyotit gözlenmektedir (Şekil 1.16.a). Kayaç kristalleşme derecesine göre "holokristalin doku" gösterirken tane durumuna göre "hipidiyomorf tanesel doku" gösterir. Kayaç içerisindeki biyotitler genelde kloritleşmiştir. Bazı ortoklaslarda serisitleşmeye raslanırken bazıları pertitik yapıları ile karakteristiktir. Kayacın mineralojik bileşiminde kuvars (% 32), plajiyoklas (% 30), ortoklas (% 23), biyotit (% 12), amfibol (% 2) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.16.b). Bu kayaç, mineralojik bileşimi göz önüne alındığında Streckeisen (1979)'a göre "granit" olarak isimlendirilir.



Şekil 1.16. 8 nolu kayaç (Aksaray Yaylak granitinin) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Or: ortaklas) (çapraz nikol)

1.4.6. Ürgüp formasyonu

Aksaray, Niğde, Kayseri ve Nevşehir illerinden alınan 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 nolu örnekler Ürgüp formasyonuna ait kaya birimlerinden alınmıştır.

Bölgede ilginç yüzey şekilleri oluşturan, kalın ve geniş yayılım gösteren volkano-sedimanter istif Temel (1992) tarafından Ürgüp formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim Aksaray, Niğde, Nevşehir ve Kayseri illeri arasında geniş bir bölümde yayılım göstermektedir. Litolojik olarak düşey ve yatay yönde gösterdiği değişimler dikkate alınarak birim Temel (1992) tarafından 11 üyeye ayrılmıştır. Ürgüp formasyonun üyeleri sırayla, Kavak İgnimbiriti, Zelve İgnimbiriti, Sarımaden Tepe

İgnimbiriti, Damsa lavı, Cemilköy İgnimbiriti, Tahar İgnimbiriti, Gördeles İgnimbiriti, Topuzdağı lavı, Kızılkaya İgnimbiriti, Kışladağ Kireçtaşı ve Valibaba Tepe İgnimbiriti dır (Temel,1992). Birim Geç Miyosen - Pliyosen yaş aralığında çökelmiştir (Temel ve ark., 1998). Temel ve ark., (1998)'de yaptıkları çalışmaya göre, birim yörede 2.600 km^2 'lik bir alanda yayılım göstermektedir.

1.4.6.1. Aksaray bölgesi örnekleri

9 ve 10 nolu örnekler Ürgüp formasyonunun Aksaray bölgesindeki kaya birimlerinden alınmıştır.

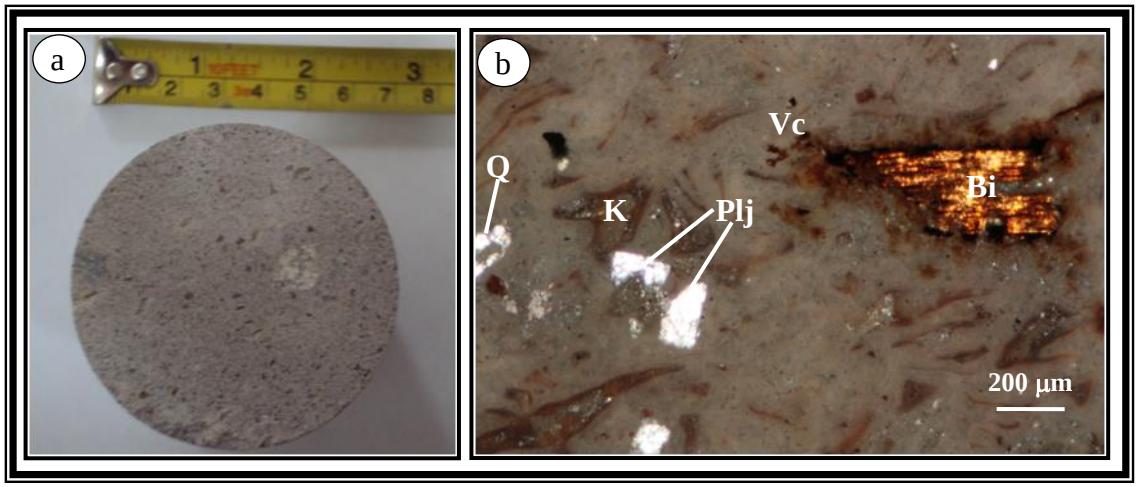
1.4.6.1.1. Dokuz nolu örnek

Aksaray ilinin yaklaşık 25 km doğusunda yer alan Demirci Kasabası kuzeybatısında Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve Demirci Belediyesi tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Makro gözlemlerde koyu lila-mor renkte gözlenen bu kayaçlarda plajiyoklas, biyotit ve kayaç parçaları gözlenmektedir (Şekil 1.17.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 75' i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 25' i 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu özellikleri göz önüne alındığında, ince-orta taneli olan bu kayaçlar Fisher (1966)'da önerdiği "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "lapilli tüfü" olarak isimlendirilmiştir. Bu kayaçlar kristallerden, kayaç parçası ve volkanik camdan oluşmuştur. Bu nedenle "hipokristalin doku" ve "porfirik doku" özellikleri sunar. Mineralojik bileşimlerinde volkanik cam (% 45), plajiyoklas (% 25), kayaç parçası (% 10), kuvars (% 10), biyotit (% 10) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.17.b). Kayaç parçalarını volkanik kayaç parçaları oluşturmaktadır. Bu kayaç mineralojik bileşimi göz önüne alındığında "plajiodasitik tüf" dür. Kayaç içerisindeki "cam-kristal-kayaç parçasına" bileşimi göz önüne alındığında Pettijohn (1975)' e göre "kristalin tüf" olarak adlandırılır.

1.4.6.1.2. On nolu örnek

Aksaray ilinin yaklaşık 25 km doğusunda yer alan Selime Kasabası'nın kuzeyinde Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ocaktan alınmıştır. Kayaç açık-koyu gri renkte olup gözenekli bir doku sunmaktadır (Şekil 1.18.a). Bu kayaçlar

içerisindeki tanelerin ~ % 70 ‘i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 30 ‘u 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)’ da yaptığı “tanelerin % dağılımı” sınıflamasına göre “lapilli tüfü” olarak isimlendirilmiştir. Porfirik doku özelliği sunan bu kayaçlar mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 50), plajiyoklas (% 25), kuvars (% 9), kayaç parçası (% 8), biyotit (% 7) ve opak mineral (% 1) içermektedir (Şekil 1.18.b). Bu nedenle “mineralojik bileşimi ve tane boyu” göz önüne alındığında bu kayaçlar “plajiodasitik tüf” dür. Kayaç Pettijohn (1975)’ de önerdiği “cam-kristal-kayaç parçası” sınıflamasına göre “camlı tüf” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1.17. 9 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

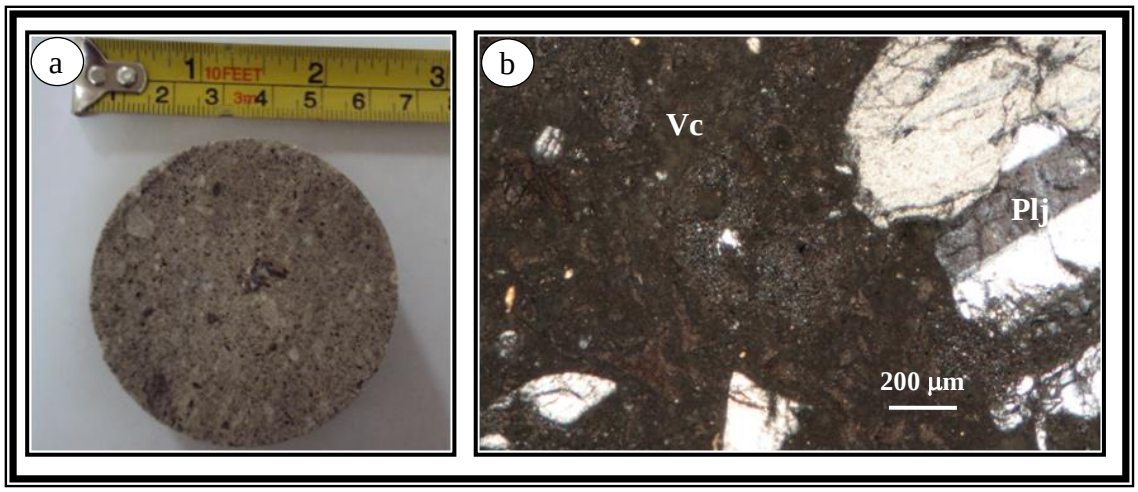
1.4.6.2. Niğde bölgesi örneği

12 nolu örnek Ürgüp formasyonunun Niğde bölgesindeki kaya birimlerinden alınmıştır.

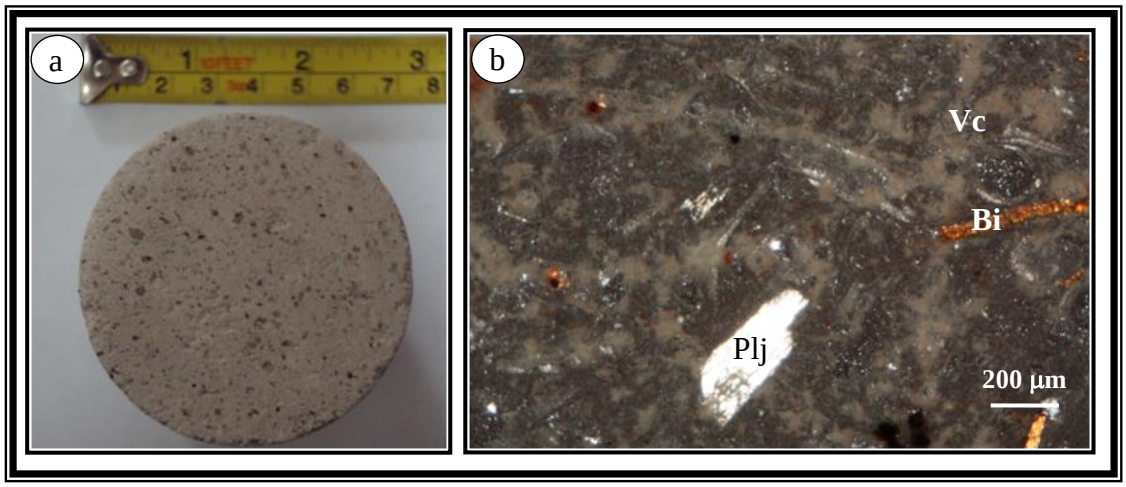
1.4.6.2.1. Oniki nolu pembe tüf

Niğde ilinin yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda yer alan Gümüşler Kasabası kuzeydoğusunda Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve köy halkı tarafından moloz taş ihtiyacı için kullanılan ocaktan alınmıştır. Kayaç açık-koyu pembe renkli ve gözeneklidir (Şekil 1.19.a). Bu kayaçlar içerisindeki tanelerin ~ % 15 ‘i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 85 ‘i 2 mm’den küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)’ da yaptığı “tanelerin % dağılımı” sınıflamasına göre “kül tüfü”

olarak isimlendirilmiştir. Bu örnek "porfirik doku" özellikleri sunar. Mineralojik bileşimlerinde volkanik cam (% 72), plajiyoklas (% 12), kuvars (% 6), kayaç parçası (% 5), biyotit (% 4) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.19.b). Bu nedenle "mineralojik bileşimi ve tane boyu" göz önüne alındığında "plajiodasitik tüf" dür. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1.18. 10 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)



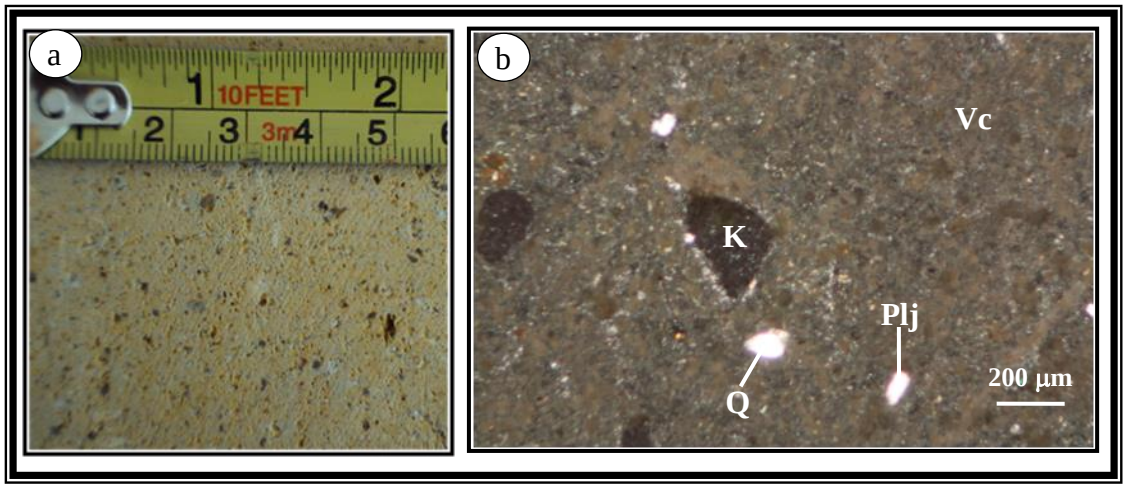
Şekil 1.19. 12 nolu(Kızılkaya) taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

1.4.6.3. Kayseri bölgesi örnekleri

14, 15, 16 ve 17 nolu örnekler Kayseri bölgesinde Ürgüp formasyonu içerisinde açılmış, Emre Taş ve Madencilik tarafından işletilen ocaklardan alınmıştır.

1.4.6.3.1. Ondört nolu örnek (sarı tüf)

Kayseri ilinin yaklaşık 35 km doğusunda yer alan Koçcağız köyü kuzeyde Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve Emre Taş ve Madenciliğin tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Kayaç açık-koyu sarı renklidir (Şekil 1.20.a). Sarı tüfler içerisindeki tanelerin ~ % 5' i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 95' i 2 mm 'den küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül-tüfü" olarak isimlendirilmiştir. Porfirik doku gösteren bu tüfler mineralojik bileşimlerinde; volkanik cam (% 83), plajiyoklas (% 8), kuvars (% 4), kayaç parçası (% 4) ve opak mineral (% 1) içerirler (Şekil 1.20.b). Bu kayaçlar, mineralojik bileşim ve tane boyları göz önüne alındığında "plajiodasitik tüf" dür. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılır.

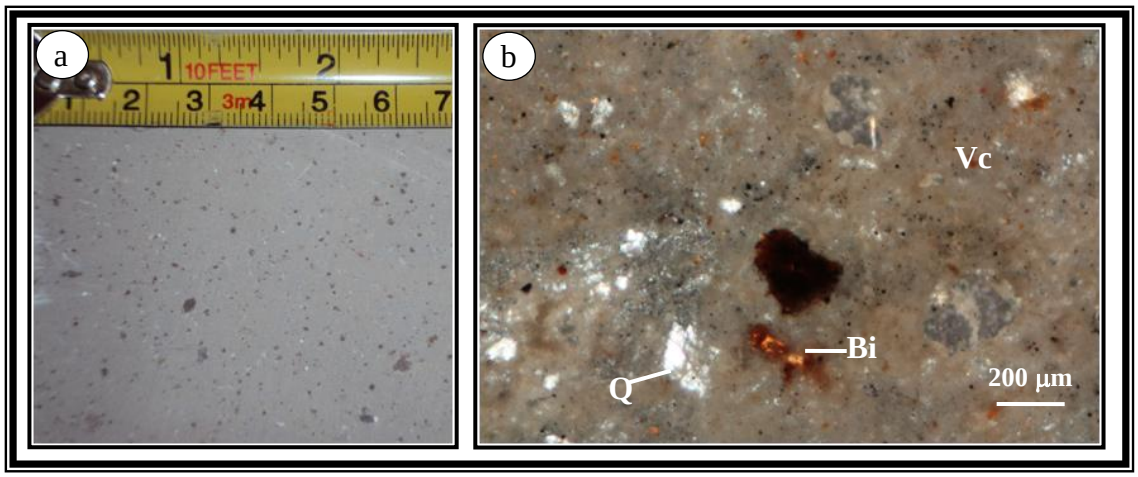


Şekil 1.20. 14 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Q: kuvars Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

1.4.6.3.2. Onbeş nolu örnek (gri tüf)

Kayseri ilinin yaklaşık 20 km doğusunda yer alan Kuruköprü mahallesinin kuzeyde Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve Emre Taş ve Madencilik tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Kayaç açık-koyu gri renktedir (Şekil 1.21.a). Bu kayaçlar içerisindeki tanelerin ~ % 15' i 2-64 mm arasındaki tanelerden ~ % 85' i ise 2 mm 'den küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül-tüfü" olarak isimlendirilmiştir. Bu kayaçlar

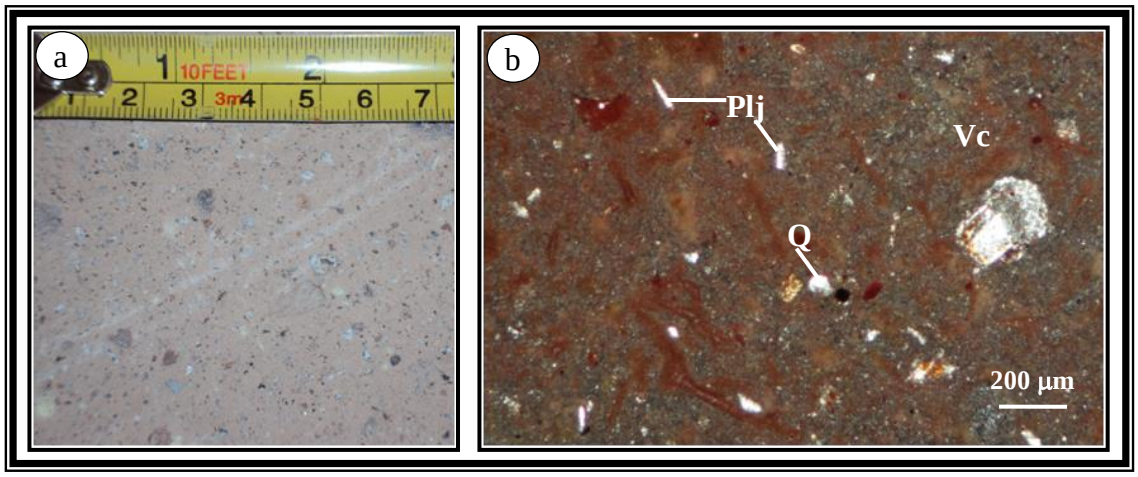
"porfirik doku" özelliği sunar. Mineralojik bileşimlerinde volkanik cam (% 64), plajiyoklas (% 15), kuvars (% 7), sanidin (% 7), kayaç parçası (% 4), biyotit (% 2) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.21.b). Bu nedenle "mineralojik bileşim ve tane boyu" göz önüne alındığında bu kayaçlar "dasitik tüf" dür. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılır.



Şekil 1.21. 15 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Bi: biyotit, Q: kuvars, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

1.4.6.3.3. Onaltı nolu örnek (pembe tüf)

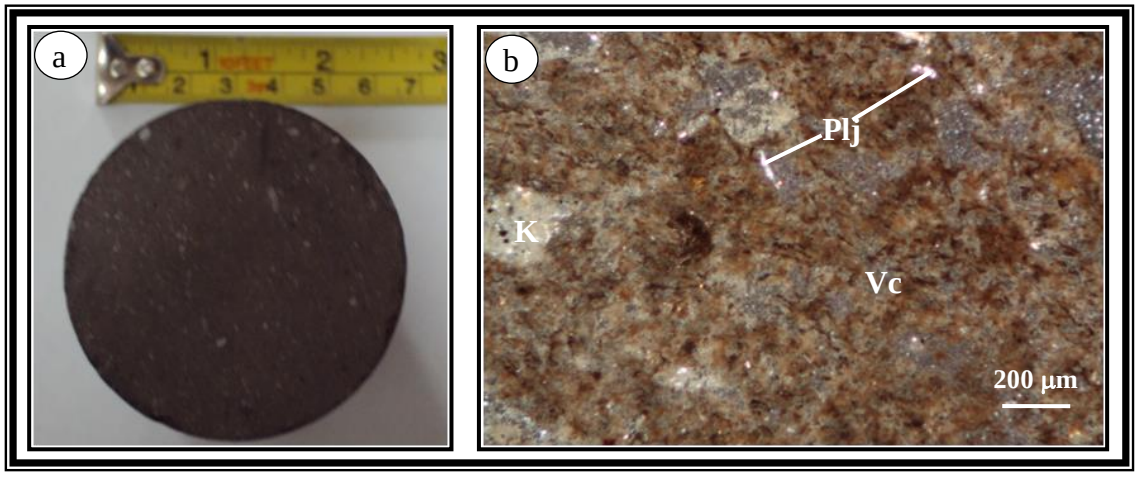
Kayseri ilinin yaklaşık 30 km kuzeyinde yer alan Emmiler köyünün kuzeyde Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve Emre Taş ve Madenciliğin tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Kayaç koyu pembe, açık kahve renktedir (Şekil 1.22.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 20' i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 80' i ise 2 mm 'den küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül-tüfü" olarak isimlendirilmiştir. "Porfirik doku" gösteren pembe tüfler mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 54), plajiyoklas (% 20), kayaç parçası (% 10), klinoproksen (% 7), sanidin (% 4), kuvars (% 3) ve opak mineral (% 2) içerirler (Şekil 1.22.b). "Mineralojik bileşim ve tane boyu" göz önüne alındığında bunlar "andezitik tüf" olarak isimlendirilirler. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılır.



Şekil 1.22. 16 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Q: kuvars Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

1.4.6.3.4. Onyedi nolu örnek (Siyah tüf)

Kayseri ilinin yaklaşık 50 km güneydoğusunda yer alan Tomarza ilçesinin doğusunda Ürgüp formasyonu ait piroklastikler içinde açılmış ve Emre Taş ve Madencilik tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Kayaç siyah renktedir (Şekil 1.23.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 15'i 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 85'i ise 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül tüfü" olarak isimlendirilmiştir. "Porfirik doku" gösteren siyah tüfler mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 68), kayaç parçası (% 20) ve plajiyoklas (% 12) içerirler (Şekil 1.23.b).



Şekil 1.23 17 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

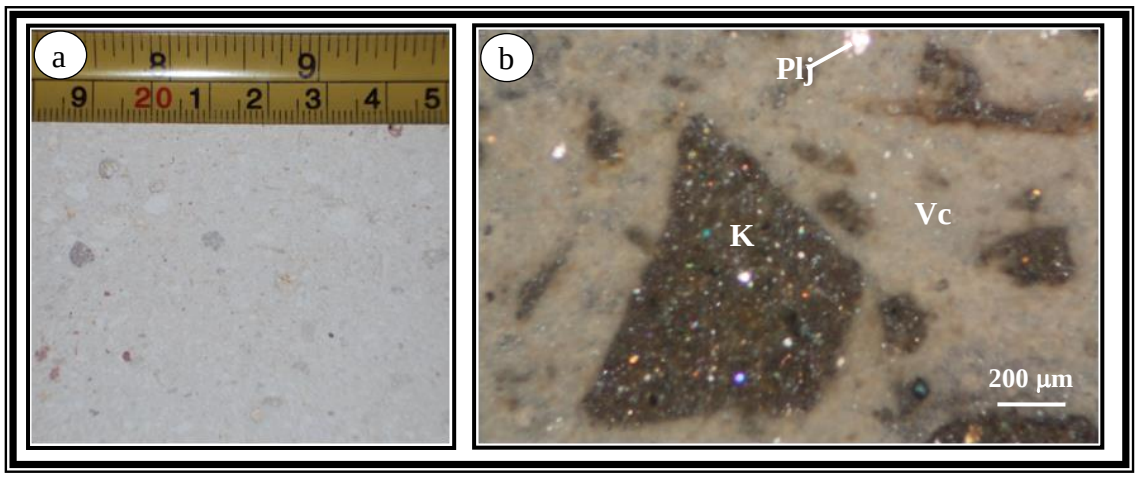
‘Mineralojik bileşim ve tane boyu’ göz önüne alındığında kayaç “andezitik tüf” olarak isimlendirilir. Kayaç Pettijohn (1975)’ de önerdiği “cam-kristal-kayaç parçası” sınıflamasına göre “camlı tüf” olarak adlandırılır.

1.4.6.4. Nevşehir bölgesi örnekleri

18, 19, 20 ve 21 nolu örnekler Nevşehir – Avonos yolunun 7 kilometresinde yer alan Eltaş firması tarafından işletilen ocaktan alınmıştır. Ocak Ürgüp formasyonuna ait piroklastik kayaçlar içinde açılmıştır. Ocakta işletilen piroklastik kayaçların renk ve dokusal özelliklerinin çok sık değiştiği gözlenmiş ve bu ocaktan farklı renk (beyaz, sarı, vişne ve gülkurusu) ve dokusal özelliklere sahip 4 örnek alınmıştır.

1.4.6.4.1. Onsekiz nolu örnek (beyaz tüf)

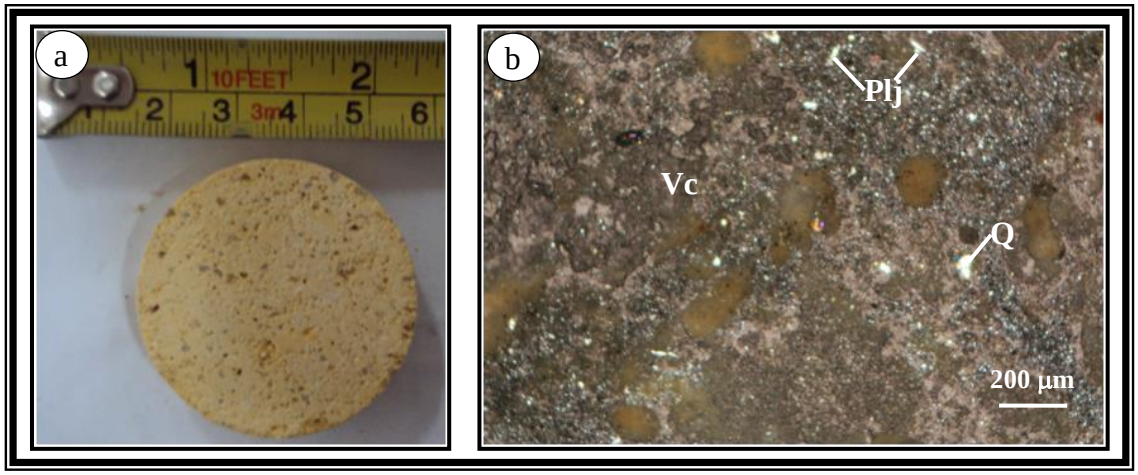
Kayaç beyaz renkli ve gözeneklidir (Şekil 1.24.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 30’u 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 70’i ise 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)’ da yaptığı “tanelerin % dağılımı” sınıflamasına göre “kül tüfü” olarak isimlendirilmiştir. “Porfirik doku” gösteren kayaç mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 71), plajiyoklas (% 10), kuvars (% 10), kayaç parçası (% 8) ve opak mineralden (% 1) oluşur (Şekil 1.24.b). ‘Mineralojik bileşimi ve tane boyu’ göz önüne alındığında kayaç “plajiyodasitik tüf” olarak isimlendirilir. Kayaç Pettijohn (1975)’ de önerdiği “cam-kristal-kayaç parçası” sınıflamasına göre “camlı tüf” olarak adlandırılır.



Şekil 1.24. 18 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, K: kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

1.4.6.4.2. Ondokuz nolu örnek (sarı tüf)

Kayaç koyu-açık sarı renkli ve gözeneklidir (Şekil 1.25.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 10'u 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 90'ı ise 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül tüfü" olarak isimlendirilmiştir. "Porfirik doku" gösteren kayaç mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 73), plajiyoklas (% 12), kuvars (% 7), kayaç parçası (% 7) ve opak mineral (% 1) içerir (Şekil 1.25.b). 'Mineralojik bileşimi ve tane boyu' göz önüne alındığında kayaç "plajiyodasitik tüf" olarak adlandırılır. Kayaç parçaları volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılır.

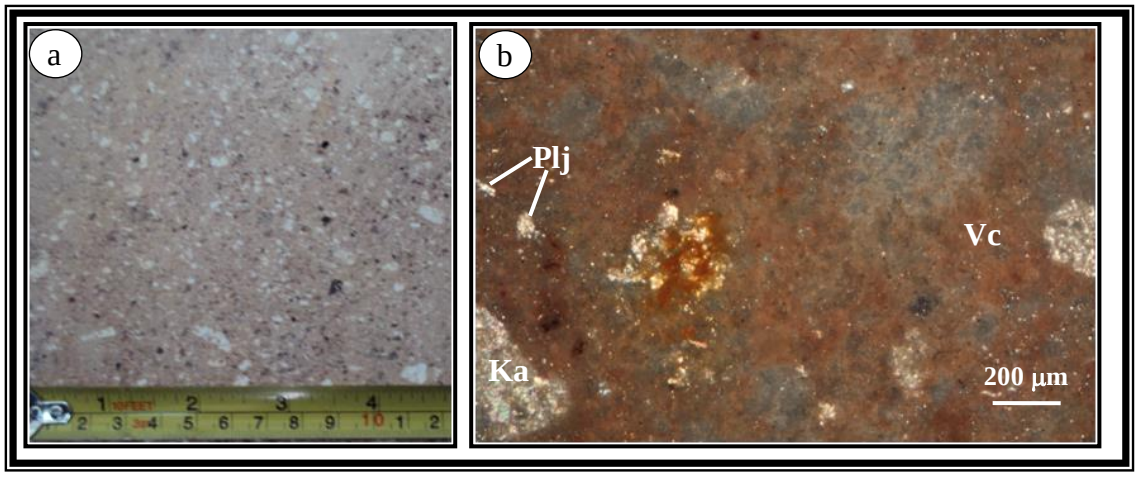


Şekil 1.25. 19 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Q: kuvars, Vc: volkanik cam)(çapraz nikol)

1.4.6.4.3. Yirmi nolu örnek (vişne renkli tüf)

Kayaç koyu-açık vişne renkli ve gözeneklidir (Şekil 1.26.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 20'si 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 80'i ise 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül tüfü" olarak isimlendirilmiştir. "Porfirik doku" gösteren kayaç mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 50), plajiyoklas (% 20), karbonat (% 15), kayaç parçası (% 5), kuvars (% 4), biyotit (% 4), turmalin (% 1) ve opak mineralden (% 1) oluşur (Şekil 1.26.b). 'Mineralojik bileşimi ve tane boyu' göz önüne alındığında kayaç "andezitik tüf" olarak isimlendirilir. Kayaç içindeki karbonatların hamur fazından sonra

karbonatlaştığı düşünülmektedir. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "cam tüf" olarak adlandırılır.



Şekil 1.26. 20 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Vc: volkanik cam, Ka: karbonat) (çapraz nikol)

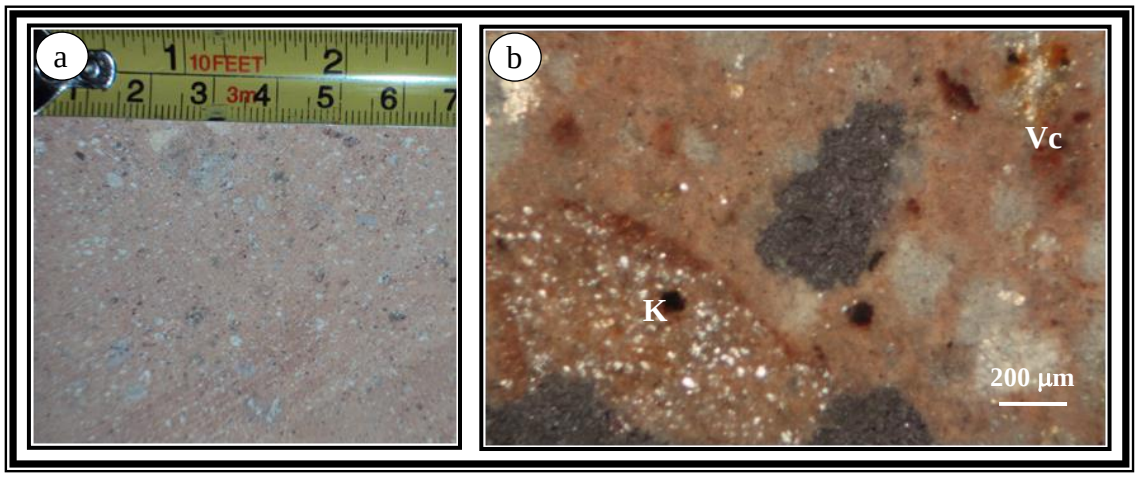
1.4.6.4.4. Yirmibir nolu örnek (gülkurusu renkli tüf)

Kayaç koyu-açık gülkurusu renkli ve gözeneklidir (Şekil 1.27.a). Kayaç içindeki tanelerin ~ % 20'si 2-64 mm arasındaki tanelerden, ~ % 80'i ise 2 mm küçük tanelerden oluşmaktadır. Bu kayaç Fisher (1966)' da yaptığı "tanelerin % dağılımı" sınıflamasına göre "kül tüfü" olarak isimlendirilmiştir. "Porfirik doku" gösteren kayaç, mineralojik bileşim olarak; volkanik cam (% 46), plajiyoklas (% 20), karbonat (% 15), kayaç parçası (% 10), kuvars (% 4), biyotit (%4), turmalin (% 1) ve opak mineralden (% 1) oluşur (Şekil 1.27.b). Kayaç 'mineralojik bileşimi ve tane boyu' göz önüne alındığında "andezitik tüf" olarak isimlendirilir. Kayaç içindeki karbonatlar muhtemelen hamur fazından sonra karbonatlaşma sonucu oluşmuştur. Ayrıca biyotitlerde opasitleşme gözlenir. Kayaç Pettijohn (1975)' de önerdiği "cam-kristal-kayaç parçası" sınıflamasına göre "camlı tüf" olarak adlandırılır.

1.4.7. Basmakçı kireçtaşları

11 nolu örnek Niğde ilinin yaklaşık 45 km güneyinde yer alan Eminlik köyü çevresinde yüzeyleyen Basmakçı kireçtaşına ait kaya birimleri içinden alınmıştır.

Ulukışla havzasının kuzeyinde yer alan beyaz, beyazımsı mavi, orta-kalın tabakalı kireçtaşları Basmakçı kireçtaşları olarak adlandırılmıştır (Blumenthal, 1956).



Şekil 1.27. 21 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (K:kayaç parçası, Vc: volkanik cam) (çapraz nikol)

Birim kalınlığı 250 m olup, bol foraminifer, alg, bryozoer ve mercan kavkıları içermektedir (Nazik ve Gökçen,1989). Birimin yaşı Geç Paleosen-Erken Eosen dir (Çevikbaş ve Öztunalı, 1992).

Kayaç makro incelemelerinde beyaz renkli ve bol fosilli gözlenmiştir (Şekil 1.28.a). Yapılan petrografik analizlere göre kireçtaşlarında, % 55 mikrit, % 33 fosil, % 10 pellet ve % 2 porozite bulunmaktadır (Şekil 1.28.b). Dunham (1962)'ye göre kayaç "vake taşı" olarak adlandırılmıştır.

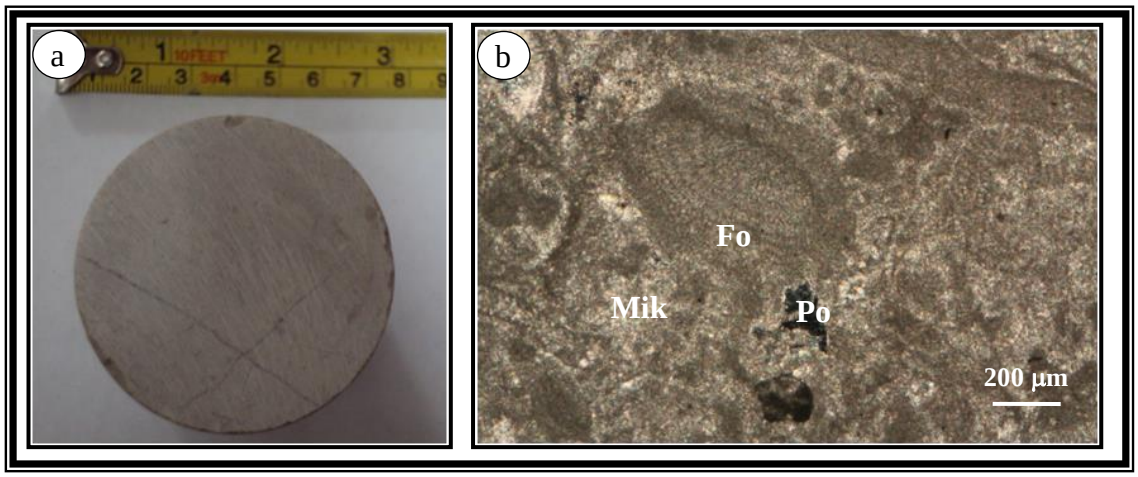
1.4.8. Erkilet bazaltı

13 nolu örnek Kayseri ilinin kuzeyinde Emre Taş ve Madencilik tarafından işletilen Erkilet bazaltı birimi içerisinde açılmış ocaklardan alınmıştır.

Erkilet ve çevresinde yüzeyleyen açık-koyu gri, siyah renkli bazalttan oluşan birim Erkilet bazaltı olarak adlandırılmıştır (MTA, 2002). Birimin yaşı Miyosen'dir (MTA, 2002).

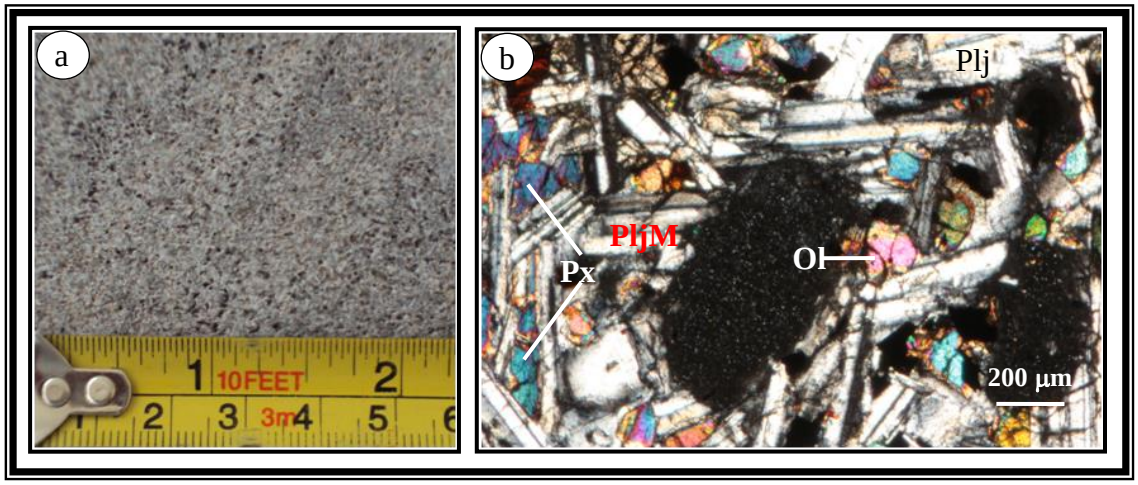
Erkilet Bazaltı açık-koyu gri, siyah olup, makroskobik olarak siyah renkli mafik minerallerin arasını gri renkli mineraller doldurmuştur ve gözenekli bir doku sunmaktadır (Şekil 1.29.a). Bu kayaçın mineralojik bileşiminde plajiyoklas mikrolitleri (% 59), kilinoproksen (% 15), ortoproksen (% 10), olivin (% 10), plajiyoklas (% 5) ve opak mineral (% 1) tespit edilmiştir (Şekil 1.29.b). Mineralojik bileşimleri göz önüne

alındığında Streckeisen (1979)'a göre "proksen bazaltı" olarak isimlendirilir. Bu kayaçlar kristalleşme derecesine göre "holokristalin doku" gösterirken tane durumuna



Şekil 1.28. 21 nolu taşının görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Fo: fosil, Mik: mikrit, Po: porozite) (çapraz nikol)

göre "porfirik doku" gösterirler. Hamur fazı göz önüne alındığında kayaç "holokristalinporfirik ve intersetal doku" ludur. Kayaç içindeki piroksenlerde oksitlenme ve karbonatlaşmaya rastlanmaktadır. Olivinlerde yer yer iddingsitleşme izlenmektedir.



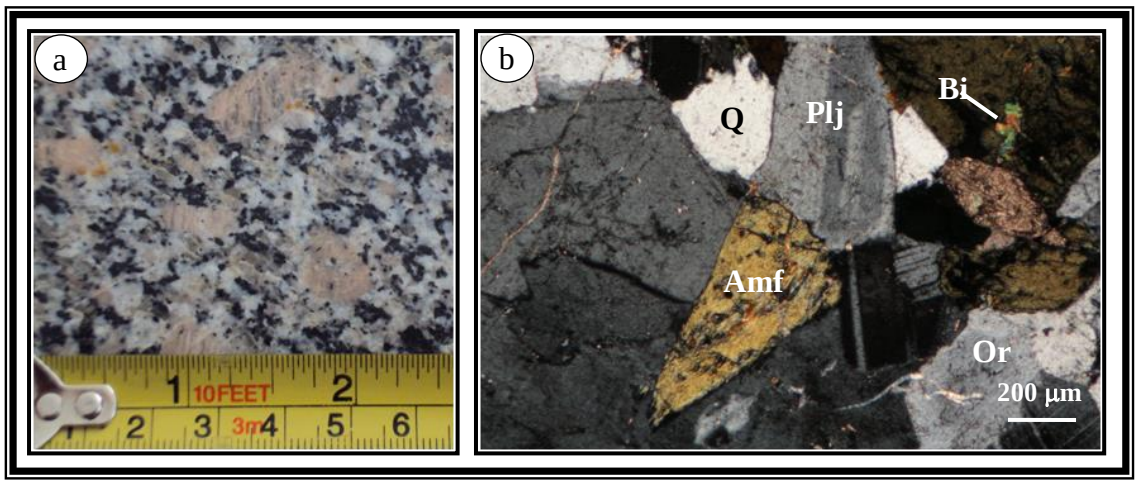
Şekil 1.29. 13 nolu kayacın (Erkilet bazaltının) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Ol: Olivin, PljM: plajoklas mikrolitleri, Px: proksen) (çapraz nikol)

1.4.9. Hamit plütonu

22 nolu Kaman Rose isimli yapı taşı Orta Anadolu Kristalen Kompleksinin kuzeybatısında (Kırşehir'in kuzeybatısında) yaklaşık 120 km^2 yayılıma sahip Geç

Kretase- Paleosen magmatizma ürünü olan Hamit plütonu ürünüdür (İlbeyli, 2004; İlbeyli ve ark., 2009) (Şekil 1.15). Plüton, nefelin siyenit, psödolösit siyenit, alkali feldspat siyenit ve kuvars siyenitden meydana gelir (İlbey, 2004).

Açık-koyu gri - pembe renkte gözlenen bu kayaçlarda makroskopik olarak orta taneli kuvars, plajiyoklas ve hormblend kristallerinden oluşan tanesel bir fazın içerisinde, bu faza ait iri ortaklas kristalleri izlenmektedir (Şekil 1.30.a). Bu kayaçlardaki ortoklas kristallerinin çapı yer yer 5 cm'ye kadar ulaşabilmektedir. Kristalleşme derecesine göre "holokristalin doku" gösteren bu kayaçların mineralojik bileşimlerinde; kuvars (% 20), plajiyoklas (% 25), ortoklas (% 32), biyotit (% 5), amfibol (% 15), sfen (% 1), apatit (% 1) ve epidot (% 1) yer almaktadır (Şekil 1.30.b). Mineralojik bileşimi gözönüne alındığında granit grubuna giren bu kayaçlar, tanesel bir fazı içerisinde oldukça iri ortoklas kristalleri içermesinden ötürü "granit porfir" olarak isimlendirilmiştir (Streckeisen, 1979).



Şekil 1.30. 22 nolu kayacın (Kaman Rose) görünümü; a) makroskobik görünümü, b) ince kesit görünümü (Plj: plajoklas, Bi: biyotit, Q: kuvars, Amf: amfibol, Or: ortoklas) (çapraz nikol)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde donma-çözülme ile ilgili başlıca ulusal ve uluslararası çalışmalara ana hatlarıyla değinilmiştir.

Leinhart (1988)'de donma-çözünme süreci sonrası porozitesi yüksek olan kayaçların yüzeylerinde bozunma sürecinin etkilerinin tipik olarak görülebileceğini söylemiştir (Binal ve ark. 1997a). Daha sonra yapılan birçok çalışmada donma-çözülme bağlı bozunma sürecinin etkin olması için kayaçtaki porozite değerinin yüksek olmasının tek başına yeterli olmayıp mineralojik bileşim, doku ve gözenek karakterinin de etkin olduğunu belirtmişlerdir (Bell, 1993; Hudec, 1998; Ordonez ve ark., 1997; Tuğrul, 1997, 2004; Nicholson, 2001; Sausa ve ark., 2005; Lisø ve ark. 2007; Ruedrich ve Siegesmund, 2007; Buj ve Gisbert, 2010, vb.).

Binal ve ark. (1997a, 1997b), Eskişehir-Yazılıkaya Bölgesindeki Neojen yaşlı volkanosedimanter kayaçların porozite, ağırlıkça su emme, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı ve Schmidt sertlik değerlerinin donma-çözülme çevrimlerinin etkisi altındaki değişimlerini araştırmışlardır. Kayaçların mekanik ve fiziksel parametrelerinin değişimi ile çevrim sayıları arasındaki ilişkileri belirlemişlerdir. Ayrıca Binal ve ark., 1997b' de yaptıkları çalışmada Türkiye için eş donma-çözülme çevrim sayısı haritasını hazırlamışlardır.

Topal ve Doyuran (1998)'de kültürel bir miras olan peribacalarını oluşturan tüfde atmosferik etkilerden dolayı oluşan kimyasal ve fiziksel bozunmaları ıslanma-kuruma, donma-çözünme ve tuz kristalizasyon deneyleri yardımıyla araştırmışlardır.

Topal ve Sözmen (2000), Eskişehir-Yazılıkaya Bölgesindeki Frig döneminden kalma Midas anıtının beyaz tüf ve az kaynaşmış pembe tüften oluşan Yazılıkaya tüfü üzerinde yapıldığını belirlemişlerdir. Anıtın yapıldığı beyaz ve pembe tüfün donma-çözünme sürecine karşı direncini fiziksel ve dayanım parametre değerlerindeki değişimlerle incelemişlerdir. Bu verilere göre pembe tüfün daha dirençli olduğu fakat her iki tüfün de donma-çözünme etkisinden korunması gerektiğini belirtmişlerdir. Topal ve Sözmen, (2001, 2003) yıllarında aynı bölgede yaptıkları çalışmalarda, beyaz ve pembe tüf örnekleri üzerinde hızlandırılmış bozunma deneyleri yardımıyla bozunma derinliğinin değişimini ince kesit, X-ışını difraksiyonu, kimyasal analiz ve SEM yöntemleri ile belirlemişlerdir.

Nicholson ve Nicholson (2000)' de 10 adet sedimanter kaya örneği üzerinde yaptıkları tekrarlanan donma-çözünme deneyleriyle önceden mevcut kaya kusurlarının

(süreksizlik vb.) bozunma biçimine etkisini incelemişlerdir. Önceden var olan kaya kusurunun kaya dayanımı ve dokusal özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Binal ve Kasapoğlu (2002) yılında Selimiye tüfleri üzerinde yaptıkları donma-çözünme deneyleri sonucunda görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme oranlarının birbirine paralel olarak artıklarını ve tek eksenli sıkışma dayanım değerinin ise % 60'ı geçen oranda azaldığını tespitetmişlerdir.

Alyıldız (2003)' de Isparta Antalya karayolunun Dereboğazı mevkiinde yer alan ve yapı taşı olarak kullanılan tüfün fiziko-mekanik özelliklerinin donma-çözülme sürecinde nasıl etkilendiğini 55 döngü üzerinde incelemiştir. Deneyler sonucunda fiziksel özelliklerdeki değişimin 10. döngü sonrasında, mekanik parametrelerin ise 25. döngü sonrasında değişmeye başladığını söylemiştir. Altındağ ve Alyıldız (2004)'de aynı tüf üzerinde yaptıkları çalışmada ise fiziksel özelliklerinden en çok ağırlıkça su emme değerleri ve mekanik özelliklerden en çok nokta yük dayanım indeksi özelliklerinin etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Binal ve ark. (2004)'de atmosferik etkiler altında donma-çözülmeye uğramış Ankara ignimbiriti örneklerinin jeomekanik parametrelerindeki değişimler ile laboratuvarda donma-çözülme deneyi uygulanmış örneklerin jeomekanik parametrelerindeki değişimleri karşılaştırmışlardır. Atmosferik koşullarda bir sene donma-çözülmeye uğrayan örneklerin fiziksel parametrelerindeki değişimlerin laboratuarda 10 donma-çözülme çevrimi uygulanmış örneklerin değerleri ile yaklaşık olarak uyumlu olduklarını, tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin ise 5 donma-çözülme çevrimi uygulanmışla benzer olduğunu belirtmişlerdir.

Chen ve ark. (2004)' de yaptıkları çalışmada doygunluk derecesindeki değişimin donma-çözünme süreci üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla doygunluk derecesi % 0 - % 95 arasında değişen iglimbiritin donma-çözünme süreci sonrasında tek eksenli sıkışma dayanımı, P dalga hızı ve porozite değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Donma-çözünme süreci sonrasında tek eksenli sıkışma dayanımı ve P dalga hızı azalırken, porozite değerlerinin arttığını gözlemişlerdir. Bu özelliklerdeki değişimlerin doygunluk derecesindeki artışla doğru orantılı olarak artığını ve artışın doygunluk derecesinin % 70'in üstüne çıktığını ve daha belirgin hale geldiğini belirlemişlerdir. Donma-çözünme sürecine bağlı olarak gelişen çatlakların ise doygunluk derecesinin artışıyla doğru orantılı olduğu ve doygunluk derecesi % 80- %

90 arasındayken çatlağın doğrusal şekilli, doygunluk derecesi % 90'ın üzerine çıktığında ise radyal geliştiğini belirlemişlerdir.

Mutlutürk ve ark. (2004)'de 10 farklı kaya örneği üzerinde yaptıkları donma-çözünme (D-Ç) ve ısınma-soğuma (I-S) deneyleri sonrasında malzemede meydana gelen bütünlük kaybını tahmin etmek için bozunma sabiti, yarılanma ömrü değişkenlerine bağlı üstel bir fonksiyon olan bozunma modelini (DFM) geliştirmişlerdir. Altındağ ve ark., (2004, 2006)'da DFM bozunma modelini seçtikleri farklı kaya türleri üzerinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bozunma modelinin bu örnekler için de uygun olduğunu belirlemişler ve bu kayaçların donma-çözünmeye bağlı yarılanma ömürlerini vermişlerdir.

Yavuz ve ark. (2006) yılında yapılan çalışmada mermer, kireçtaşı ve traverten gibi karbonatlı kayaçlardan oluşan 12 adet örnek üzerinde D-Ç ve termal şok (TŞ) deneyleri yapmışlardır. Karbonatlı kayaçların TŞ veya D-Ç etkisiyle bozunma sonrası indeks özelliklerini tahmin etmek için başlangıç indeks özellikleri, porozite ve döngü sayısına bağlı olan bir model geliştirmişlerdir.

Şengün ve ark. (2008)'de Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan 6 çeşit kireçtaşı üzerinde yaptıkları çalışmada; orijinal ve donma-çözünme sürecine maruz kalmış numuneler üzerinde fiziksel, mekanik ve indeks özellikleri belirleyerek başlangıç değerine göre meydana gelen değişim miktarlarını yüzde olarak belirlemişlerdir. Özellikle boşluk oranı yüksek kayaçlarda donma-çözünme çevrimi sonrasında indeks ve mekanik özelliklerinde % 50'lere varan bütünlük kayıpları gözlemlemişlerdir.

Takarli ve ark. (2008)' de yaptıkları çalışmada 2 granit örneğinin permabilite ve P dalga hızındaki değişimi 300 çevrimden oluşan donma-çözülme süreciyle araştırmışlardır. Kayaçlarda donma-çözülme çevrim sayısının artmasıyla permeabilite ve P dalga hızının düştüğünü belirlemişlerdir.

Ergüler (2009) yılında yaptığı çalışmada Kapadokya tüflerin ayrışma özellikleri ve ayrışma oranının saha ve laboratuar incelemelerinde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla detaylı bir arazi gözleminin yanı sıra, tüflerin mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kapadokya tüflerinin ayrışma oranını değerlendirme amacıyla ıslanma-kuruma, donma-çözülme deneyleri ve duraylığının belirlenmesi için ise suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi yapmıştır. Kültürel yapılarının saha gözlemleri ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre Esbelli tüf için

ayrışma oranı 0,03 ile 0,59 mm/yıl, Kavak üyesi kaya birimlerinin yumuşak kesimleri için ise ayrışma oranı 0,4- 2,5 mm/yıl olarak belirlemiştir.

Karaca ve ark., (2010)'da kireçtaşı, mermer, traverten, granit ve oniksten oluşan 5 farklı grupta 10 örnek üzerinde donma-çözünme deneyini yapmışlardır. Bu örneklerin hem taze hem de donma-çözülme sonrası Böhme aşınma kaybı ve wide-wheel aşınma değerlerini belirlemişlerdir. Bu sonuçlara göre; kireçtaşı, mermer ve traverten örneklerinde donma-çözülme sonrası aşınma değerlerinin belirlenmesinde Böhme ve wide-whell aşınma deneyleri uygun görürlerken, bu deneyleri granit ve oniks numuneleri için önermemişlerdir. Her iki deney yönteminde 28 D-Ç döngüsünden sonra anlamlı sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir.

Saad ve ark., (2010)' da yaptıkları çalışmada kayaçların permeabilite ve dinamik elastisite modülü değerleri ile kayacın dona karşı direnci arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kayaçların dondan etkilenmesinin geçirimlilikle doğru orantılı, dinamik elastisite modülü ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Akin ve Özsan (2011) yılındaki çalışmalarında ise sarı traverten örneği üzerinde hızlandırılmış bozunma testleri (D-Ç, ıslanma-kuruma ve tuz kristalizasyonu deney) yaparak numunenin uzun vadeli performansını iki istatistik yöntemle belirlemişlerdir.

Ruedrich ve ark. (2011)' da yaptıkları çalışmada kireçtaşı, riyolit, lapilli tüf ve granit örneği üzerinde donma çözünmenin uzun süreli etkilerini incelemek için 1.400 donma-çözünme döngüsü yapmışlardır. Kayacın bozunması sürecinde petrofiziksel parametreleri, ağırlık kaybı, P dalga hızı ve Yaung modülü değerlerindeki değişimi incelemişler ve donma-çözünme süreci sonrası ağırlık kaybı, P dalga hızı ve Young modülü değerlerindeki azalmaları belirlemişlerdir. Ağırlık kaybı değerinin donma-çözünme olayını karakterize etmekte yeterli olmadığını gerçekte dokudaki değişimin önemini vurgulamışlardır. Donma-çözünme süreci boyunca dokudaki bozunmaları izlemek için P dalga hızının iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Yavuz (2011)'da yaptığı çalışmasında andezit örneğinin bozunma değerlerini belirlemek için 10 çevrimlik periyotlarla toplamda 5 döngüden oluşan D-Ç ve TŞ deneyleri yaparak numunenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri belirlemiştir. Donma-çözünme (D-Ç) ve termal şok (TŞ) yöntemleri sonrasında numunenin P dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımı değerlerinde farklı oranlarda azalma, porozite ve su emme değerlerinde D-Ç sonrası artma, TŞ sonrası azalma gösterdiğini belirlemiştir. D-Ç sürecinin malzeme üzerinde TŞ daha yıkıcı etkilere sahip olduğunu ve aşınma kayıplarının ölçümleri TŞ malzemenin yüzeyindeki

etkilerinin daha büyük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca D-Ç ve TŞ döngüleri sonrası malzeme özelliklerindeki değişimi belirlemek için üstel bir fonksiyon önermişlerdir.

Bayram (2012)' de 9 adet kireçtaşı örneği üzerinde yaptığı çalışmada donma-çözülme sonrası tek eksenli sıkışma dayanımı yüzdesel kayıbı belirleyen statik bir model geliştirmiştir.

Özçelik ve ark.(2012)' deki çalışmalarında donma-çözülme döngüleri sonrası karbonatlı kayaçların parlaklık değerindeki değişimle fiziksel, mekaniksel ve kalsit tane boyu arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Karbonatlı kayaçların parlaklık değerinde yüksek değişimler tespit etmişlerdir. Bu değişim nedeniyle karbonatlı kayaçların soğuk bölgelerde dış cephe uygulamaları için uygun olmadıklarını belirtmişlerdir.

Martínez-Martínez ve ark. (2013)' de yaptıkları çalışmada 6 farklı karbonatlı kayaç üzerinde hacim kaybı, porozite, dayanım, elastisite modülü, P dalgası yayılma hızı, P dalgasının konumsal zayıflaması (spatial attenuation), makro ve mikro-dokusal özelliklerdeki değişimleri 96 çevrimden oluşan donma-çözülme süreciyle araştırmışlardır. Kayaçların özelikleri ile D-Ç süreci arasında lineer olmayan bir ilişki oduğunu belirtmişlerdir. Kayaçların D-Ç süreciyle bozunmasının belirlenmesinde çevrim sayısının artırılmasını ve P dalgasının özelliklerinin önemini vurgulamıştır.

Ayrıca değişik bölgelerdeki yapıtaşlarının işletilebilirliğini belirlemek için malzemelerin dona karşı dayanımı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Ayaz ve Kocaman, 2000; Yavuz ve ark., 2002, 2005; Şimşek ve Erdal 2004; Eren ve Bahali, 2005; Turgut ve ark., 2006; Angı, 2007; Kaya, 2007; Yavuz ve Elçi, 2007; Kaya, 2008; Binal ve Sel, 2009; Çobanoğlu ve Çelik, 2012).

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı; İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılması muhtemel kaya birimlerinin mostra verdiği yerler olarak belirlenmiştir. 2008-2013 yılları arasında sürdürülen bu çalışma arazi, laboratuar ve büro çalışması olarak 3 aşamada yürütülmüştür.

3.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları; Schmidt çekici ile sertlik belirleme, jeomekanik özelliklerin belirlenmesi için blok örnek derleme ve petrografik örnek almak üzere üç farklı aşamada yürütülmüştür.

3.1.1. Schmidt çekici ile sertlik belirleme

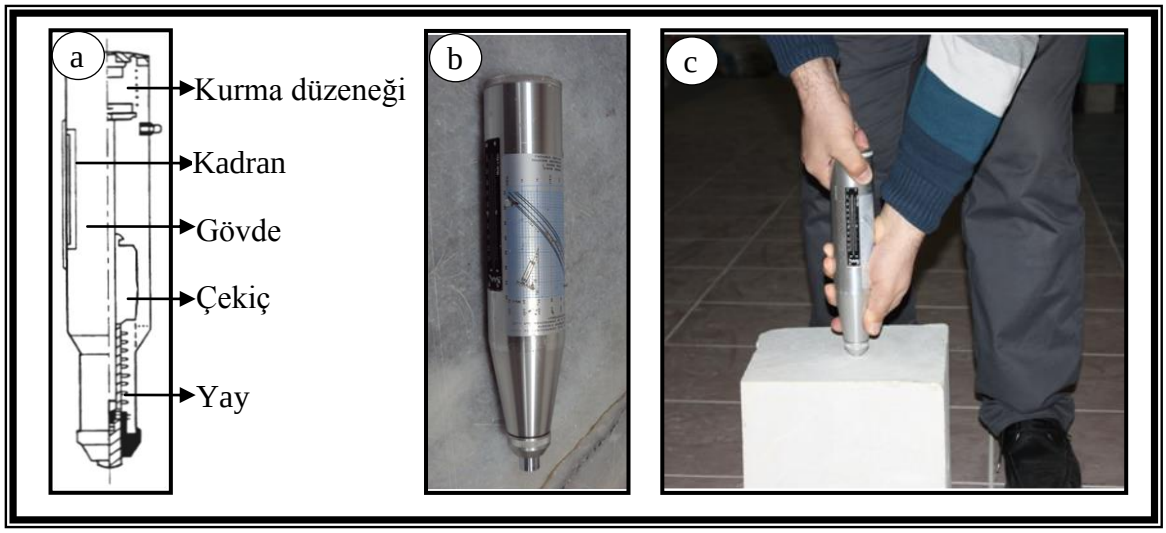
Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini ve dolaylı olarak kayakların tek eksenli basınç dayanımını belirlemek amacıyla yapılır (Ulusay ve ark., 2001). Bu deney, ISRM (1981) tarafından önerilen esaslar dikkat edilerek yapılmıştır.

Schmidt çekici; silindirik kaplı bir gövde içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır (Şekil 3,1). Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik ucu kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur ve Schmidt geri sıçrama sertlik değeri olarak tanımlanır.

Deneye başlamadan önce örs yardımıyla Schmidt çekicinin kalibrasyonu yapılır. Karot veya bloğun yüzeylerinin düzgün olmasına ve herhangi bir çatlak içermemesine dikkat edilir. Deney, arazide uygulandığında, çekiç yüzeye dik konuma getirilir ve aynı yüzeyin 20 farklı noktasından elde edilen geri sıçrama değerleri kaydedilir (Şekil 3,1.c). Arazide elde edilen geri sıçrama değerleri en büyükten en küçük değere doğru sıralanır ve en küçük 10 değer iptal edilerek, diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınır.

Deere ve Miller (1966)' da Schmidt geri sıçrama sertlik değeri ve kayacın birim hacim ağırlığı yardımıyla kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımlarını dolaylı olarak belirleyen pratik bir yöntem önermişlerdir (Şekil 3,2). Schmidt sertlik deneyi yapıldıktan sonra elde edilen veriler doğrultusunda kaya birimleri hakkında genel bir

bilgi edinilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda kaya birimlerinin çalışmada kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmiştir.



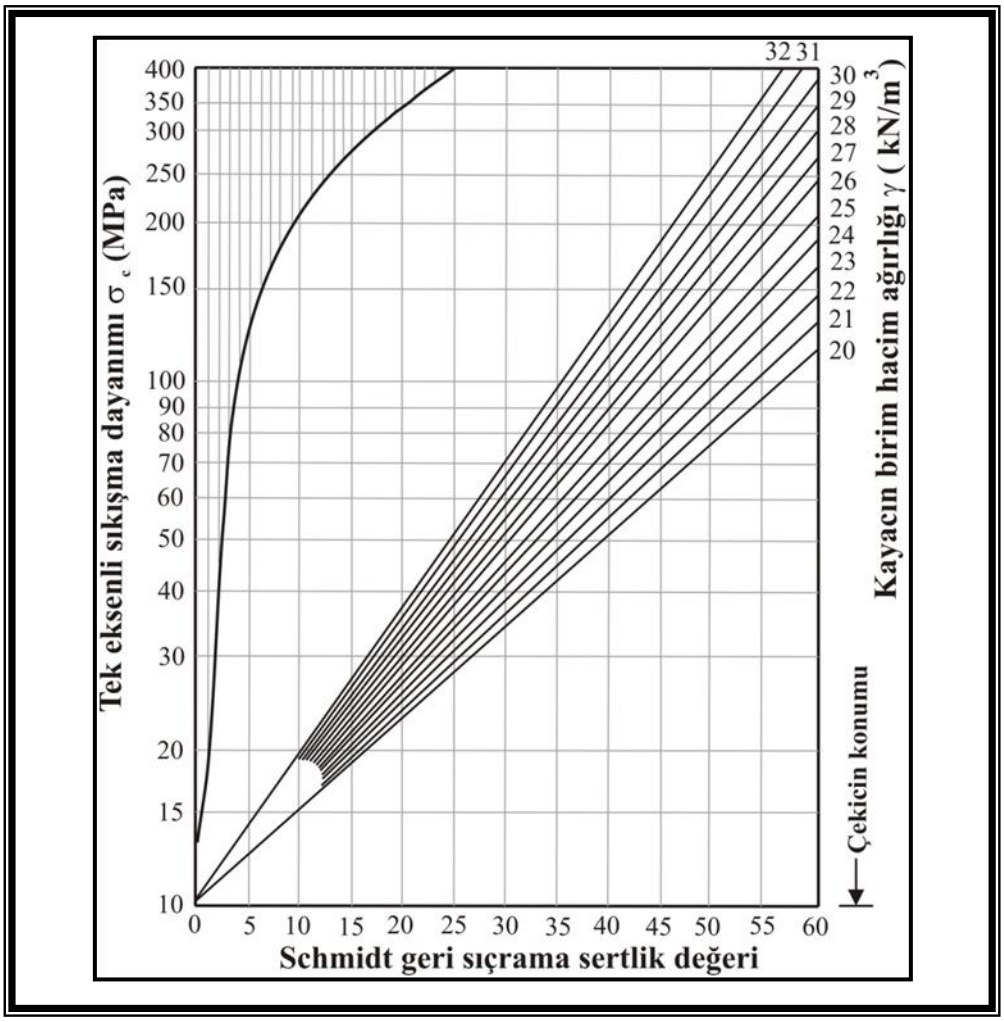
Şekil 3.1. a) Schmidt çekicinin kesit görünümü b) Schmidt çekicinin genel görünümü c) Schmidt çekici ile sertlik belirleme deneyinin yapılışı

3.1.2. Petrografik örnekleme ve blok örnek derleme

Yüzey araştırması ve Schmidt çekici ile sertlik belirleme işleminden sonra yapılacak çalışmanın amacına uygun olabileceği düşünülen kaya birimlerinin petrografik, fiziksel ve jeomekanik özelliklerini ortaya koyabilmek için 18 lokasyondan 22 numuneden 200' e yakın blok örnek derlemesi yapılmıştır.

3.2. Laboratuar Çalışmaları

Belirlenen kaya birimlerinde yapılan ön çalışmalar sonucu, yapı taşı olarak kullanılan veya kullanılabilecek kaya birimlerinin donma-çözülme süreci sonrası petrografik ve jeomekanik özelliklerini nasıl etkilendiklerinin belirlenmesi amacıyla iki farklı laboratuarda çalışılmıştır. Jeomekanik özelliklerin belirlenmesi Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekaniği laboratuarı ile Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuarında yapılmıştır. Petrografik özellikler ise Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit ve petrografi laboratuarında yapılmıştır.



Şekil 3.2. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller, 1966)

3.2.1. Numune hazırlama

Bu çalışmada her bir örnek üzerinde yapılacak olan deneyler için bir doğal ve beş donma-çözülme döngüsü olmak üzere toplamda 6 grup numune hazırlanmıştır. Numune hazırlama yöntemleri detaylı olarak petrografik analizler ile jeomekanik deneyler olmak üzere iki ana başlık altında açıklanacaktır.

3.2.1.1. Jeomekanik deneyler için numune hazırlama

Değişik kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlaması, deneylerin öncelikle ilk ve en önemli aşamasıdır (Ulusay ve ark., 2001). Laboratuarda silindirik karot örneklerinin alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi

amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlatıcı gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü, örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır (Ulusay ve ark., 2001). Örneklerin deneye hazır hale getirilmesi işleminde ISRM (1981) ve ASTM (1994) belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Karot alma işlemi; araziden getirilen çeşitli büyüklüklerde blok ve moloz numunelerinin karot alma makinesi sabitleyicileri tarafından sıkıştırıldıktan sonra sert veya yumuşak kaya türüne uygun uçlu BX tipi (42,0 mm) ve NX tipi (54,7 mm) karotiyerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3,3.a, b, c, d ve e.).

Alınan karotlar üzerinde yapılan deneylerin doğru sonuç verebilmesi için karotlar kontrol edilmiş, üzerinde herhangi bir süreksizlik bulunduranlar ayrılmıştır. Daha sonra uygun nitelikteki karotların iki ucu taş kesme makinesi ile kesilerek düzeltilmiş, karot düzeltme makinesi yardımıyla alt ve üst yüzeylerindeki pürüzlüğü alınmıştır (Şekil 3.3.f ve g). Bu işlemler tamamlandıktan sonra karotlar numaralandırılarak, deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.3.h ve i).

3.2.1.2. Petrografik analiz için numune hazırlama

Kayaçların petrografik tanımı, sadece petrografik sınıflandırma için değil, kimyasal, fiziksel ve mekanik davranışını etkileyen özelliklerinin belirlenmesi bakımından da önemlidir. Bu amaçla; araziden getirilen petrografik numuneler, her örnek için şahit ve beş donma-çözülme döngüsü olmak üzere 6 parçaya ayrılmıştır. Her örneğin şahit özelliklerini belirlemek için ayrılan parçalarında her hangi bir ön işlem yapılmamıştır. Donma-çözülme döngüleri için ayrılan örnek parçalarına maruz kalacakları donma-çözülme döngü sayıların gösteren 1 den 5 kadar numaralar verilmiştir. Daha sonra parçalar 1. döngü için 5, 2. döngü için 10, 3. döngü için 15, 4. döngü için 20 ve 5. döngü için 30 donma-çözülme çevrimine maruz bırakılmıştır. Daha sonra kayaçların mineralojik yapısının ve doku özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her örnek için bir şahit ve 5 donma-çözülme süreci sonrası olmak üzere 6 grup için ince kesitler hazırlanmıştır.

Şahit örneklerden hazırlanan ince kesitler yardımıyla numuneler mineralojik bileşimi göz önüne alınarak magmatik kayaçlar Streckeisen, 1979' e göre, sedimanter kayaçlar ise Dunham, 1962'e göre sınıflandırılmıştır. Donma-çözülme sürecinin kayaçlar üzerinde mikroskobik ölçekte meydana getirdiği değişimleri belirlemek üzere her numuneden bir şahit ve beş donma-çözülme döngüsü sonrası örneklerden



Şekil 3.3. a) Karot alma makinesi ve karot alma işleminden bir görünüm, b) değişik çaptaki karotiyerler, c) araziden alınan blok örnek, d) blok örneğin karot alındıktan sonraki görünümü, e) alınan değişik karot örnekleri, f) karot kesme makinesi genel görünümü, g) karot düzleme makinesi genel görünümü, h) alt ve üst yüzeyi kesilip ve düzeltilmiş deney numuneleri, i) deneye hazır hale getirilmiş numunelerin görünümü

hazırlanan ince kesitler Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma mikroskobu laboratuarında bulunan Nikon Eclipse E400 Pol marka polarizan mikroskop ile mikroskoba monteli Kameram 21 renkli dijital mikroskop kamerası ve yazılımı yardımıyla incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. İnce kesitlerden elde edilen görüntüler incelenmiş ve kayacı oluşturan mineral ve doku özelliklerindeki değişimler belirlenerek

bulgular bölümünde verilmiştir. İnce kesitlerin hazırlanması aşamasında TS EN 12407' de önerilen hususlara dikkat edilmiştir.

İnce kesitin hazırlanması; araziden getirilen petrografik numuneler elmas uçlu bir disk ile yaklaşık 0,5-1,0 cm kalınlığa sahip kare veya dikdörtgen şekilde kesilir. Dönen bir metal disk üzerine kaba aşındırıcı toz dökülerek kesilen parçanın bir yüzeyi aşındırılır ve düzeltilir. Daha sonra bu yüzeyin, cam üzerine dökülen ince parlatma tozu ile aşındırılarak parlatması yapılır. Kayacın düzeltilmiş ve parlatılmış yüzeyi 'lam' adı verilen bir cam üzerine Kanada balzamı veya epoxy ile yapıştırılır. Lam üzerindeki bu kayaç, ince kesit kesme makinesinde kalınlığı yaklaşık 0,5-1,0 mm'ye ulaşıncaya kadar kesilir. Daha sonra metal disk üzerinde kayaç, kaba aşındırma tozu ile yaklaşık 0,1 mm kadar inceltilir. Son olarak inceltme ve parlatma işlemine geçilir. Bunun için bir camın üzerine ince parlatma tozu dökülür ve kayaç yüzeyi az bir miktarda su ile ıslatılarak parlatma tozuna sürtülerek kayacın kalınlığı 0,02-0,03 mm aralığına ulaşıncaya kadar inceltme ve parlatma işlemine devam edilir. Yapılan ince kesitin istenen kalınlığa gelip gelmediği mikroskopta kuvars ve feldispat gibi minerallerin çift nikolde, çift kırma renk tablosundaki 1. Dizinin gri-beyaz çift kırma renklerini göstermesi ile anlaşılır. İnce kesitler petrografik inceleme için uygun kalınlığa getirilmesi ile süreç tamamlanır.

3.2.2. Laboratuar deneyleri

Laboratuar deneyleri, kullanılan malzemelerin temel fiziksel özellikler, dayanım özellikleri, aşınma özellikleri ve donma-çözülme özelikleri belirlenmesi amacıyla 4 ana başlıkları altında incelemiştir.

3.2.2.1 Temel fiziksel özellikler

Numunelerin temel fiziksel özellikleri ISRM (1981), TS EN 1925 (2000) ve RILEM (1980)'de belirtilen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi her örnek için 2 aşamada yapılmıştır. 1. aşama numunelerin doğal haldeki temel fiziksel özellikleridir. 1. aşamada numunelerin; yoğunluğu, kuru yoğunluğu, birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, boşluk oranı, su muhtevası, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı, sismik hızı ve kapilarite gibi özellikler belirlenmiştir. 2. aşama ise numunelerin donma-çözülme sürecinden geçirildikten sonraki temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. 2. aşamada ise

numunelerin; kuru yoğunluğu, kuru birim hacim ağırlığı, görünür porozitesi, boşluk oranı, ağırlıkça ve hacimce su emme oranı ve sismik hızı gibi özellikleri belirlenmiştir. Donma-çözülme süreci numunelerde farklı çevrim sayına sahip 5 döngü şeklinde yürütülmüştür.

3.2.2.1.1. Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyleri

Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır (Şekil 3.4.a ve b). Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Numunenin kütlesi 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır (Şekil 3.4.c). Bu deney için ISRM (1981)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin yoğunluğu (ρ) ve birim hacim ağırlığı (γ) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

$$\gamma = 9{,}81\ \rho \quad (3.2)$$

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

ρ : Yoğunluk gr/cm^3

γ : Birim hacim ağırlık kN/m^3

V : Numunenin Hacmi cm^3

D : Karot çapı mm

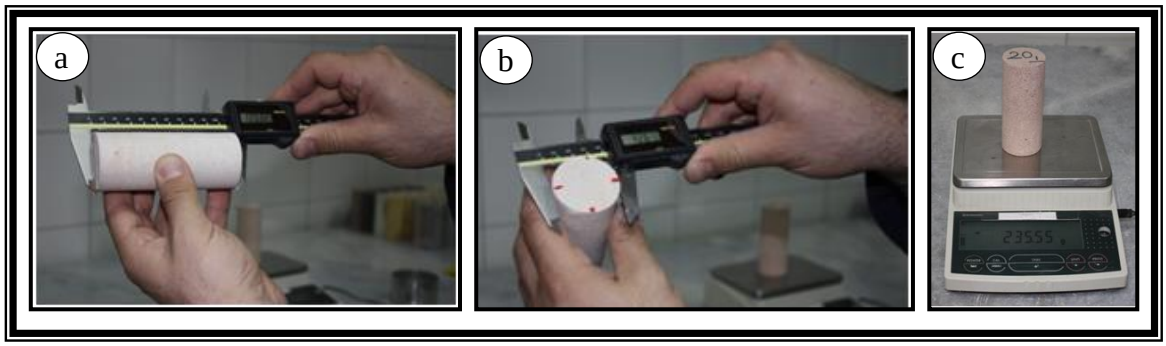
L : Karot boyu mm

M : Kütle gr

3.2.2.1.2. Kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlık deneyi

Bu deney düzenli bir geometriye sahip örneklerin kuru yoğunluğu ve kuru birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deney için ISRM (1981)'de önerilen yöntemler dikkate alınmıştır.

Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır.



Şekil 3.4 a) Karot örneğin boyunun (L) ölçümü, b) karot örneğin çapının (D) ölçümü, c) numunenin kütlesinin hassas terazide tartımı

Düzgün bir geometriye sahip biçimde hazırlanan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınır. Silindirik örneğin boy ve çap değerlerinden faydalanılarak örneklerin hacmi hesaplanır. Örnekler 105 ^{o}C' ye ayarlanmış fırında en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra numunenin kuru kütlesi (M_k) 0,01 gr hassaslıktaki terazide tartılır. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin kuru yoğunluğu (ρ_k) ve kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (3.4)$$

$$\gamma_k = 9{,}81\ \rho \quad (3.5)$$

V : Numunenin hacmi cm^3

M_k : Numunenin kuru kütlesi gr

ρ_k : Kuru yoğunluk gr/cm^3

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık kN/m^3

3.2.2.1.3. Görünür gözeneklilik ve boşluk oranı tayini

Bu deney, düzgün bir geometriye sahip örneklerin gözenekliğinin belirlenmesi amacıyla ISRM (1981)'nin önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kağıt havlu kullanılmıştır.

İncelenen kayaç örneğini temsil edebilecek en az üç karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V) belirlenir.

Örnekler, 105 ^{o}C' ye ayarlanmış etüvde an az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir (M_k).

Örnekler, su dolu bir kapta 48 saat bekletilerek suya doygun hale getirildikten sonra yüzeyleri kağıt havlu ile yüzeyi kurulanıp hassas terazide tartılarak doygun kütlesi (M_s) kaydedilir. Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin görünür porozitesi ve boşluk oranı aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$V_v = \frac{M_s - M_k}{\rho_w} \quad (3.6)$$

$$n = \frac{V_v}{V} 100 \quad (3.7)$$

$$e = \frac{n}{1-n} 100 \quad (3.8)$$

V_v : Boşlukların hacmi cm^3

n : Porozite %

e : Boşluk oranı %

M_k : Numunenin kuru kütlesi gr

M_s : Numunenin doygun kütlesi gr

ρ_w : Suyun yoğunluğu gr/cm^3

V : Numunenin hacmi cm^3

3.2.2.1.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi

Düzgün bir geometriye sahip örneklerin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesi amacıyla RILEM (1980)' de önerilen hususlar dikkate alınarak yapılmıştır.

Bu deney için; kumpas, hassas terazi, etüv, desikatör, beher ve kağıt havlu kullanılmıştır.

İncelenen kayaç örneklerinden alınan karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden ölçülerek hacimleri (V) belirlenir. Örnekler saf su doldurulmuş beherde en az 12 saat bekletildikten sonra çıkartılarak yüzeyleri kağıt havlu ile kurulanıp hassas terazide tartılarak kütlesi kaydedilir (M_s). Örnekler, 105 ^{o}C' ye ayarlanmış etüvde an az 24 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra hassas terazide tartılarak kuru kütlesi

belirlenir (M_k). Belirlenen değerlerden faydalanarak, her örneğin ağılıkça ve hacimce su emme değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$A_w = \frac{M_s - M_k}{M_k} 100 \quad (3.9)$$

$$H_w = \frac{M_s - M_k}{V} 100 \quad (3.10)$$

A_w : Ağırlıkça su emme oranı %

H_w : Hacimce su emme oranı %

V : Numunenin hacmi cm^3

M_k : Numunenin kuru kütlesi gr

M_s : Numunenin doygun kütlesi gr

3.2.2.1.5. Su içeriği tayini

Su içerikleri (w), kayaç örneklerinin içerdiği suyun ağırlığının, fırında kurutulmuş örneklerin ağırlığınına oranın yüzdesi olarak ifade edilir. Bu deney ISRM (1981)'nin önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Bu deney için; hassas terazi, etüv ve desikatör kullanılmıştır.

Kayaçların sahip oldukları doğal nemin tayini için, numune önce doğal nemi ile birlikte 0,01 gr duraylılıkta tartılır (M), daha sonra ise 24 saat 105 ^{0}C' ye ayarlı etüvde kurutulduktan sonra tekrar tartılarak malzemenin kuru ağırlığı (M_k) belirlenir. Daha sonra kayaçların su içerikleri aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$w = \frac{M - M_k}{M_k} 100 \quad (3.11)$$

w : Su muhtevası %

M : Numunenin doğal kütlesi gr

M_k : Numunenin kuru kütlesi gr

3.2.2.1.6. Ultrasonik hız deneyi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi

Kayaç örnekleri içerisinden geçirilen birincil dalganın (P) yayılma hızından faydalanılarak kayacın dinamik elastisite tayini amacıyla yapılmıştır. Dinamik elastisite modülü fiziksel olarak kayaların sertliğini verir. Kuru örnekler üzerinde dinamik

elastisite modülü, elastik boyuna ses dalgalarının karot örnekleri kat etme zamanı ölçülerek hesaplamıştır.

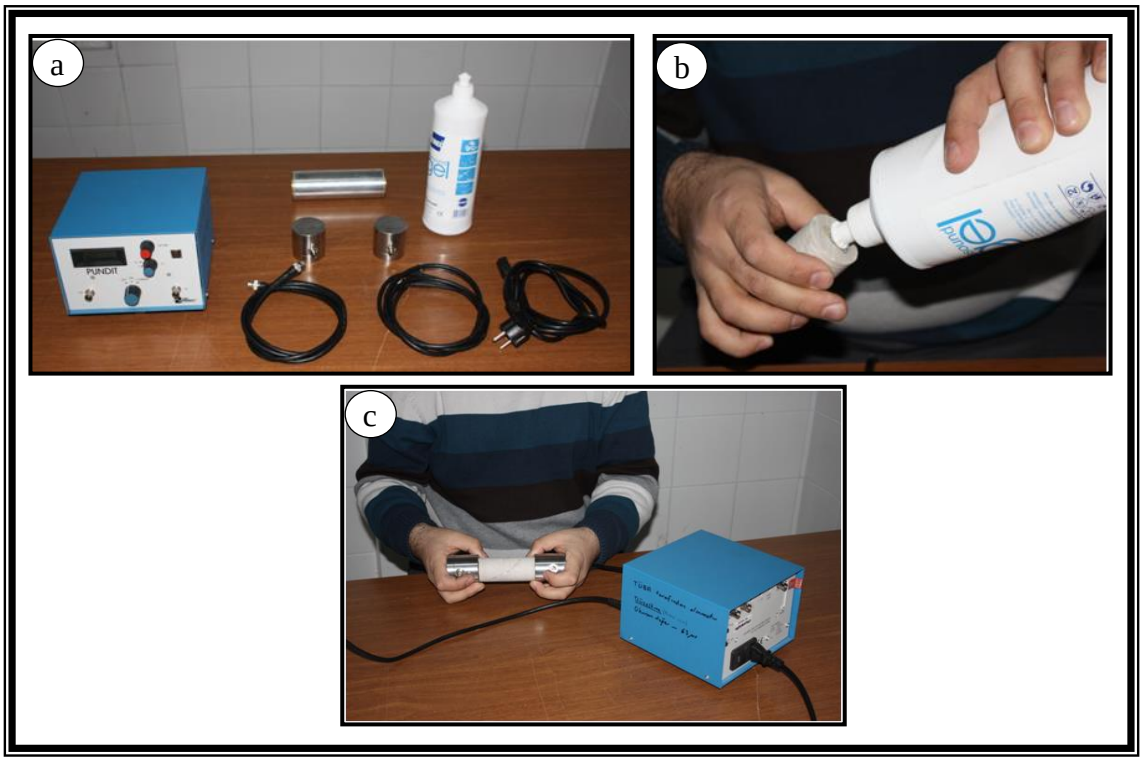
Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; Sinyal üretici ve elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren gönderici ile mekanik sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürücü alıcı ve dijital göstergeden oluşan deney aleti, gres yağı/jel, kumpas, etüv, desikatör ve hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3,5.a). Bu deney ASTM (1994)'ün önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deney sonuçlarının sağlıklı olması açısından numune alt ve üst tabanları pürüzsüz ve düzgün hale getirilen karot örneklerin çapı (D) ve boyu (L), kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassasiyette ölçülür. Daha sonra örnekler, 105 ^{o}C' ye ayarlanmış etüvde an az 12 saat kurutulur ve havadan nem almadan soğuması için 30 dakika süreyle desikatörde tutulduktan sonra 0,01 gr hassaslığa sahip terazi ile tartılarak kuru kütlesi belirlenir (M_k). Deney kendine ait kalibre aparatı yardımıyla kalibre edilir. Numunenin alt ve üst yüzeyleri ile aletin gönderici ve alıcıları arasındaki temasın artırılarak tam teması sağlamak için numunelerinin tabanlarına ince bir şekilde jel sürülür (Şekil 3.5.b). Sonra cihazın dijital göstergesinden P - dalgasının örnekten geçiş süresi mikro saniye (T_P) olarak ölçülür (Şekil 3.5.c). Ölçülen bu değerler aşağıda verilen eşitliklerde yerine konarak numuneden P dalga geçiş hızı (V_p) değeri hesaplanır. Dinamik elastisite modülü ise Youash (1970)' de önerdiği Eşitlik 3.13' den faydalanılarak hesaplanır.

$$V_p = \frac{L}{T_P} \tag{3.12}$$

$$E_d = 1{,}29\,\frac{L}{D^2}\,\frac{M_k}{T_P}\,10^{-6} \tag{3.13}$$

V_P	: P dalgasının yayılma hızı	m/s
E_d	: Dinamik elastisite madülü	MPa
T_P	: P dalgasının ölçülen yayılma zamanı	μs
L	: Karot boyu	mm
D	: Karot çapı	mm
M_k	: Numunenin kuru kütlesi	gr



Şekil 3.5. a) Ultrasonik hız deney aletinin aparatları, b) numune ile alıcı ve verici arasındaki teması artırmak için numunenin alt ve üst yüzeyine jel sürümü, c) ultrasonik hız deneyinin yapılışı

3.2.2.1.7. Kapilarite deneyi

Bu deney, kılcal (kapiler) etkiye bağlı olarak doğal taşlarda su emme katsayısının belirlenmesi için TS EN 1925 (2000)' de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Bu deney için; havalandırmalı etüv, kumpas, kronometre, 0,01 gr hassaslıkta terazi, su tankı, ızgara kullanılmıştır (Şekil 3.6.a). Deney numuneleri (70±5) ^{o} C' de havalandırmalı etüvde sabit kütleye ulaşılıncaya kadar kurutulur ve daha sonra 0,01 gr hassaslıkta terazide tartılır (M_k). Karot örneklerin çapı (D) kumpasla birbirine dik iki ayrı yönden 0,1 mm hassaslıkta ölçülür ve bunların ortalaması alınarak su emdirilecek yüzeyin alanı (A_y) hesaplanır. Deney numuneleri kısmen altlarında mesnet görevi görecek olan, tanktaki ızgara üzerine yerleştirilir (Şekil 3,6.b). Numunenin tabanının su içinde (3 ± 1) mm derinlikte kalacak şekilde ayarlanır ve kronometre çalıştırılır. Deney boyunca gerektiği kadar su eklenerek su seviyesinin sabit tutulması sağlanır. Kayacın yüksek veya düşük su emişine sahip oluşuna göre ölçüm aralıkları değişken olup yüksek su emişli kayaçlar için uygun süreler 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakikalar olup, düşük su emişli kayaçlar için ise 30, 60, 480, 1440, 2880 ve 4320 dakikalardır.

Belirlenen zaman dilimlerinde numune kuru bölümünden tutularak çıkarılır, nemli bir bez yardımıyla numune üzerindeki su damlacıkları uzaklaştırılır ve 0,01 gr hassaslıkta tartılır (M_i) (Şekil 3,6.c). Sonra yeniden tanka yerleştirilir. Deneyin başlangıcından itibaren her tartım anına kadar geçen zaman belirlenir (t_i). Daha sonra yüksek su emişli kayaçların kılcal su emme değerleri Eşitlik 3.11' de verilen formül yardımıyla hesaplanır. Düşük su emişli kayaçların kılcal su emme değerleri ise Eşitlik 3.12' de verilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$C = \frac{M_i - M_k}{A_y \sqrt{t_i}} \quad (3.11)$$

$$C = ab \quad (3.12)$$

$$a = \left(\frac{m_f - m_k}{A_y}\right) \quad (3.13)$$

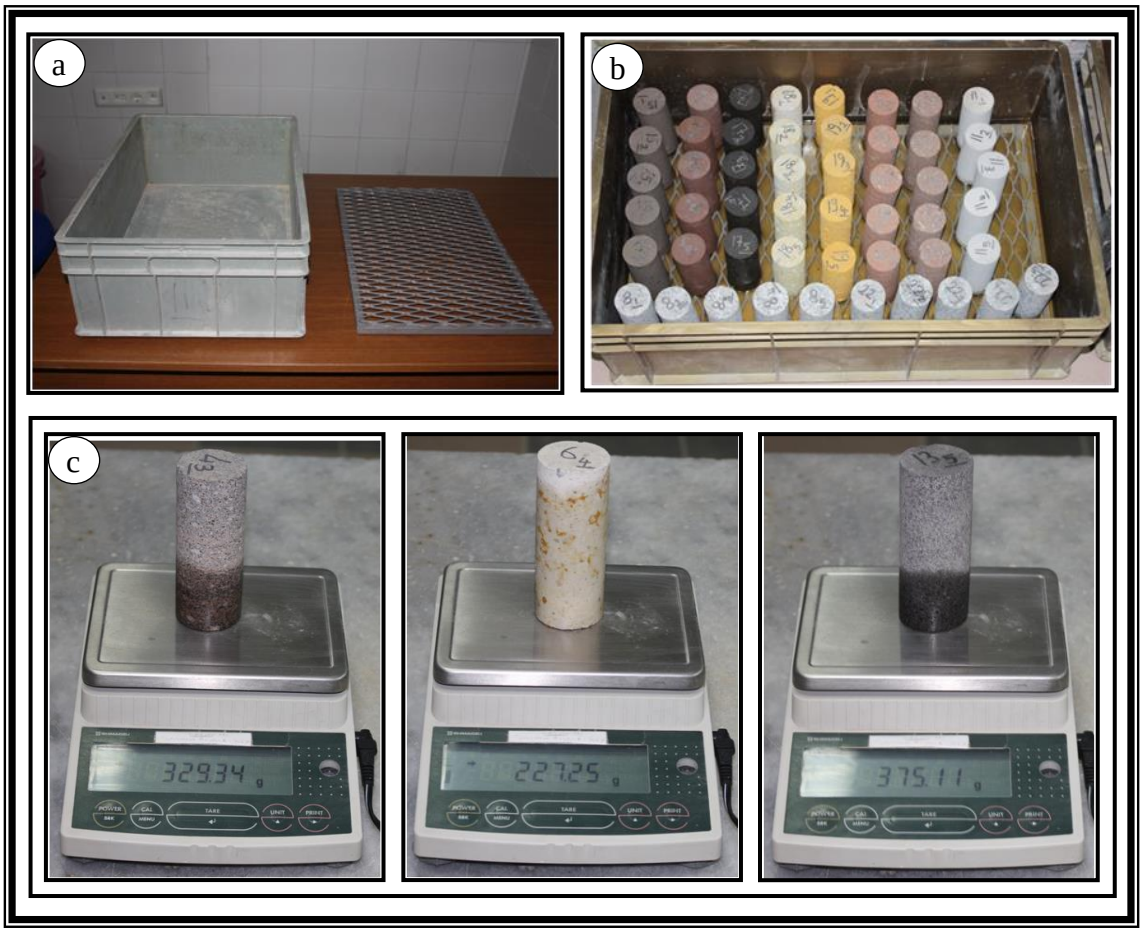
$$b = \left(\frac{1}{\sqrt{t_i}}\right) \quad (3.14)$$

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi \quad (3.15)$$

C	: Kayacın anizotropi düzlemine dik kapilerite değeri	$gr/m^2\sqrt{s}$
M_k	: Numunenin kuru kütlesi	gr
M_i	: Numunenin su emmiş kütlesi	gr
M_f	: Numunenin deney sonundaki kütlesi	gr
D	: Karot çapı	mm
A_y	: Suya batırılmış yüzeyin alanı	m^2
t_i	: Numunenin su emmesinin ölçüldüğü süreler	s

3.2.2.2. Dayanım özellikleri

Kullanılan örneklerin dayanım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde, tek eksenli sıkışma dayanımı, Brazilian deney yöntemiyle dolaylı çekilme dayanımı belirlenmesi ve nokta yükü dayanım indeks değerleri belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Dayanım özelliklerinin belirlenmesi her örnek için iki aşamalı yapılmıştır. 1. aşamada numunelerin doğal dayanım özellikleri belirlenmiş. 2. aşamada ise numunelerin donma-çözülme süreci sonrası dayanım özellikleri belirlenmiştir. Donma-çözülme süreci numunelerde farklı çevrim sayına sahip 5 döngü şeklinde yürütülmüştür. Bir numune üzerinde dayanım deneyleri toplamda 6 kez yapılmıştır.



Şekil 3.6. a) Kapilarite deneyinde kullanılan tank ve ızgara, b) kapilarite deneyinin yapılışı, c) kapilarite deneyinde farklı numunelerde su yükselimi

3.2.2.2.1. Tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi

Silindirik bir şekle sahip kayaç numunesinin tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deneyde ISRM (1981) tarafından önerilen esaslar dikkat edilerek yapılmıştır.

Bu deney için; deney sırasında örneğe kontrol panelinden seçilen sabit bir hızla eksenel yükleme yapabilen pres ve kumpas kullanılmıştır (Şekil 3.7.a).

Her bir örnek için daha önce hazırlanan alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri düz ve kırık içermeyen 5 adet numune kullanılmıştır. Örneklerin çapı (D) ve boyu (L) bir birine dik iki ayrı yönden ölçülerek değerlerin ortalaması belirlenir. Tek eksenli basınç dayanımı boy/çap oranı 2-2,5 kat olan numunelerde yapılmıştır. Karot numunesi presin sabit alt plakası ile küresel başlık arasına yerleştirildikten sonra kontrol panelinden yükleme hızı belirlenmiştir (Şekil 3.7.b, c). Yüklemenin başlatılmasından belli bir süre sonra numune yükü taşıyamaz ve kırılır (Şekil 3.7.d). Numunenin kırıldığı

andaki yük değeri kontrol panelinden maksimum yük olarak okunur (P). Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır. Hoek ve Brown (1980) tarafından önerilen standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) değeri de belirlenmiştir.



Şekil 3.7. a) Hidrolik pres ve yükleme başlıkları 1: küresel başlık, 2: sabit alt plaka, b) yükleme hızının ayarlanabildiği ve okumaların yapıldığı kontrol paneli, c) tek eksenli sıkışma dayanım deneyinin yapılışı, d) deney sonrası örneklerde oluşan yenilme yüzeylerinin görünümü

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \tag{3.16}$$

$$\sigma_{c(50)} = \frac{\sigma_c}{(50/D)^{0,18}} \tag{3.17}$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{3.18}$$

σ_c : Örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı MPa

$\sigma_{c(50)}$: 50 mm çapındaki karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı MPa

A : Numunenin yüzeyin alanı m^2

P : Yenilme anındaki yük kN

D : Karot çapı mm

3.2.2.2.2. Nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi

Nokta yük deneyi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi amacıyla yapılır (Ulusay ve ark., 2001). Ayrıca nokta yük dayanım indeksi değerinden faydalanılarak tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımları dolaylı olarak belirlenebilir. Bu deney ISRM (1985)' de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Bu deneyde karot örneği, konik yükleme başlıkları arasına karot eksenine dik yönde yerleştirilerek yapılan 'çapsal deney' biçiminde uygulanmıştır. Bu deney için; yükleme pompası, dijital yük göstergesi, gövde, konik başlıklar ve başlıklar arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanılan gövdeye monteli metal cetvelden oluşan alet ile pompa kolu ve koruma gözlüğünden oluşan yardımcı ekipmanlar kullanılmıştır (Şekil 3.8.a, b). Deney için kullanılacak karot örneğinin çapı (D) ve uzunluğu (L) ölçülerek belirlenir. Örneklerin uzunluğunun (L) çapına oranı (D) 1'den büyük olmalıdır ($\frac{L}{D} > 1$). Örnek konik uçlar arasına yerleştirilir ve konik uçlar ile örnek arasındaki mesafe kapanıncaya kadar pompa yardımıyla silindirik yükleme tablası yükseltilir. Örnek 10-60 saniye arasında kırılacak şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P) okunur.

Deneyin geçerli olup olmaması numunenin kırılma şekline bağlıdır (Şekil 3.9). Belirli örnek çapı için nokta yük dayanım indeksi (I_s) ve 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) aşağıdaki eşitliklerden faydalanılarak hesaplanır. Her bir deney 10 örnek üzerinde yapılmış olup geçerli olan örneklerin $I_{s(50)}$ değerleri hesaplanarak elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde değerlendirilmiştir.

$$I_S = \frac{P}{D_e^2} \quad (3.19)$$

$$I_{S(50)} = F I_S \quad (3.20)$$

$$F = (D_e/50)^{0,45} \quad (3.21)$$

I_s : Belirli örnek çapı için nokta yük dayanım indeksi MPa

$I_{s(50)}$: 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi MPa

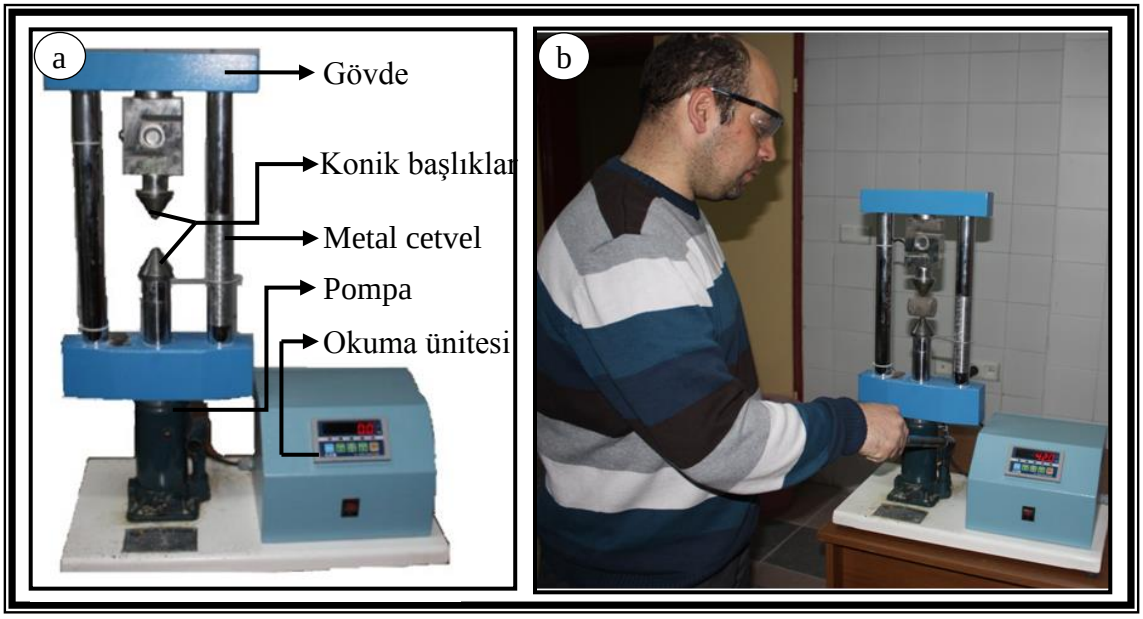
F : Boyut düzeltme faktörü -

D_e : Eşdeğer karot çapı mm

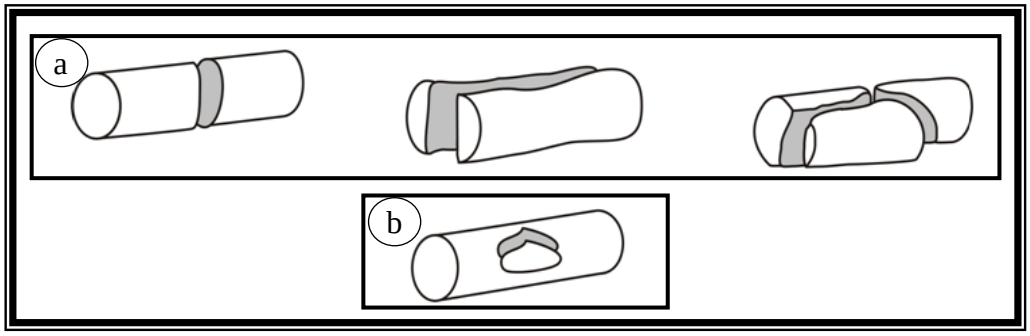
P : Yenilme anındaki yük kN

D : Karot çapı mm

D_e^2 : Çapsal deneylerde $D_e^2 = D^2$



Şekil 3.8. a) Nokta yük dayanımı indeks deney aletinin aparatları, b) nokta yük dayanımı indeks deneyinin yapılışı



Şekil 3.9. a) Çapsal deney için geçerli deney örnekleri, b) Çapsal deney için geçersiz deney örneği (Ulusay ve ark., 2001)

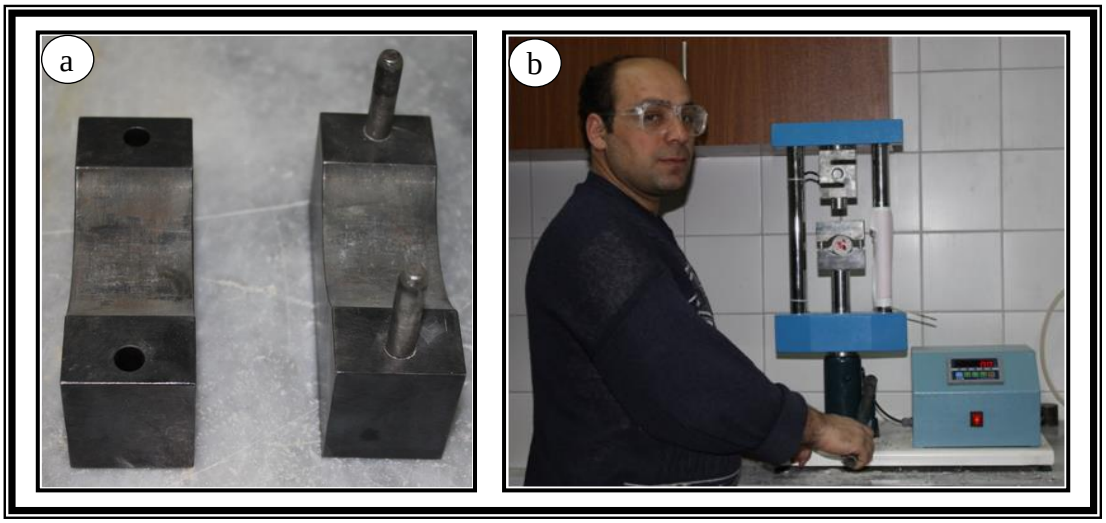
3.2.2.2.3. Brazilian deneyi

Brazilian deneyi, silindirik şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımını dolaylı olarak belirlenmesi amacıyla yapılır

(Ulusay ve ark., 2001). Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; disk şeklinde hazırlanmış örneğin çapsal olarak birbirine zıt konumlu yüzeylerine temas eden, metalden imal edilmiş yükleme çeneleri ve kılavuz saplamalardan oluşan düzenekten ibarettir (Şekil 3.10.a).

Bu çalışmada yükleme hızı ayarlanabilen pres yerine CANMET 1977'de belirtildiği hususlara dikkat edilerek nokta yük aletinin konik başlıkları çıkarılarak kullanılmıştır. Örneğin çap ve boynu ölçmek için 0,1 mm hassasiyette kompas kullanılmıştır.

Her deney için kalınlığı yarıçapı ile yaklaşık aynı olan, alt ve üst yüzeyleri bir birine paralel 10 örnek kullanılmıştır. Örneklerin çapı (D) ve kalınlığı (t) bir birine dik iki ayrı yönden ölçülerek değerlerin ortalaması alınmıştır. Örnek, yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde silindirik plakaların arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.10.b). Örnek, 15-30 saniye arasında yenilme gerçekleşecek şekilde yüklenir ve yenilme anındaki yük (P) kayıt edilir. Örneğin çekme dayanımı (σ_t) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.10. a) Brazilian yöntemiyle endirekt çekilme dayanımı belirlenmesinde kullanılan yükleme çeneleri ve pimler, b) Brazilian yöntemiyle endirekt çekilme dayanımı deneyinin yapılışı

$$\sigma_t = \frac{0{,}636P}{Dt} \qquad (3.22)$$

σ_t	: Örneğin çekilme dayanımı	MPa
P	: Yenilme anındaki yük	kN
D	: Karot çapı	mm
t	: Örneğin kalınlığı	mm

3.2.2.3. Aşınma deneyleri

Kullanılan örneklerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneler üzerinde, Böhme aşınma, agrega darbe dayanımı, Los Angeles aşınma ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi gibi aşınma deneyleri yapılmıştır. Numunenin aşınma özelliklerinin belirlenmesi süreci her örnek için 2 aşamalı yapılmıştır. 1. aşamada numunelerin doğal aşınma özellikleri belirlenmiş. 2. aşamada ise numunelerin donma-çözülme süreci sonrası aşınma özellikleri belirlenmiştir. Donma-çözülme süreci numunelerde farklı çevrim sayına sahip 5 döngü şeklinde yürütülmüştür. Bir numune üzerinde aşınma deneyleri toplamda 6 kez yapılmıştır.

3.2.2.3.1. Böhme aşınma deneyi

Böhme aşınma deneyi, standart aşındırıcı toz saçılan aşındırma diski üzerindeki numunenin 0,06 N/mm^2 basınca maruz kaldığı durumda, döner tambur üzerindeki örneğin 352 devir (22 devirden oluşan 16 döngü sonrasında) dönmesi sonucu aşınma değeri olarak tanımlanır.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç, gereç; döner disk ile disk üzerinde yer alan aşındırma (sürtünme) şeridi, deney numunesinin yerleştirildiği hücre, ağırlık, bu donanımın dönmesini sağlayacak motor, motorun 22 devir döndükten sonra durmasını sağlayacak düzenekten oluşan Böhme aşınma kaybı deney cihazı ve büyük kısmı korund (kristalize Al_2O_3)'dan oluşan aşındırıcı toz kullanılmıştır (Şekil 3.11).

Bu deney EN 14157 (2004)' de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Örneğin ağırlığı 0,1 gr hassasiyetle tartılır. Sürtünme şeridi üzerine 20 gr aşındırıcı toz serpilir. Numune örnek yuvasına yerleştirilir ve örnek temas yüzeyine (294 ± 3) N ile yüklenilir. Cihaz çalıştırılarak aşınma diskinin dönme hareketi başlatılır. Diskin dönme hareketi, sırasında sürtünme şeridi dışına çıkan aşındırıcı tozları, uygun bir şekilde sürtünme şeridi üzerinde toplanılır. Disk otomatik olarak 22 devir sonunda durur. Disk ve kontakt yüzeyi uygun bir şekilde temizlenir. Daha sonra sürtünme şeridi üzerine 20 gr aşındırıcı toz tekrar serpilir. Numune 90^o çevrilerek örnek yuvasına konulur ve cihaz tekrar çalıştırılır. Bu işlem 16 döngü oluncaya kadar tekrarlanır. Bu şekilde 22'şer devirlik, 16 döngü de toplamda 352 devir uygulanılır.

Aşınma 16 döngü sonra numunenin hacim kaybı olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

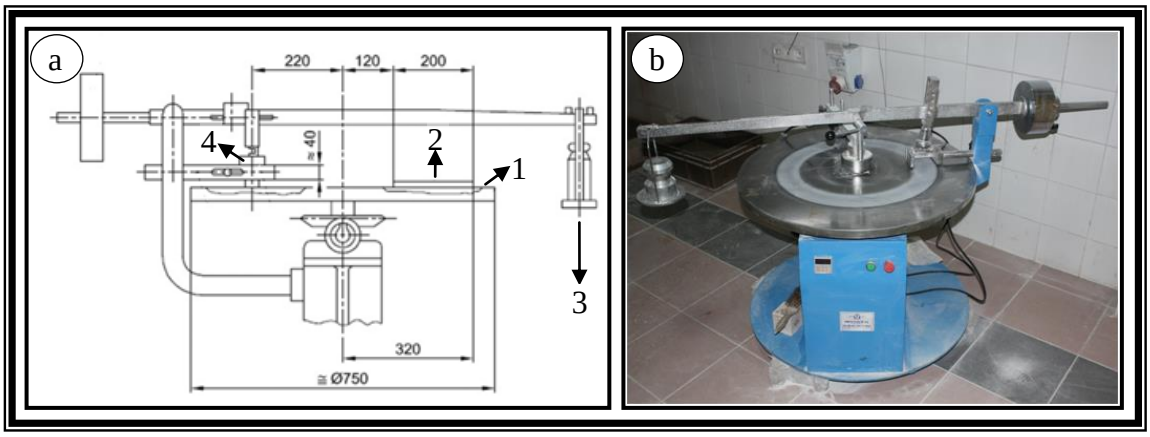
$$\Delta V = \frac{m_i - m_f}{\rho} \qquad (3.23)$$

m_f : Numunenin deney sonrası kütlesi gr

m_i : Numunenin başlangıç kütlesi gr

ΔV : Numunenin 16 döngü sonrası hacim kaybı $cm^3/50cm^2$

ρ : Yoğunluk gr/cm^3



Şekil 3.11. a) Böhme aşınma deney aletinin şematik görünümü, 1: döner disk, 2: döner disk üzerinde yer alan sürtünme şeridi, 3: ağırlık, 4: deney numunesinin yerleştirildiği hücre, b) Böhme deney aletinin genel görünümü

3.2.2.3.2. Agrega darbe dayanım deneyi

Deney, belli elek aralığına sahip agrega örneği üzerine standart ağırlıktaki tokmağın, sabit bir yükseklikten 15'kez düşürülmesi durumunda, agreganın ani şok veya darbeye karşı direnci olarak tanımlanır.

Bu deney BS 812' de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; özellikleri BS 812' de belirtilen alt çapı 300 mm, ağırlığı yaklaşık 25 kg olan metal bir taban, iç çapı 102 mm, iç derinliği 50 mm, et kalınlığı 6 mm silindir biçimli bir hücre, ağırlığı 14 kg olan tokmaktan oluşan standart darbe dayanım aleti, 14 mm, 10 mm ile 2,36 mm delik açıklığına sahip elekler, etüv, hassas terazi ve metal çubuk kullanılmıştır (Şekil 3.12). Buna ek olarak 14 mm ile 10 mm çaplı eleklerin arasında kalan yaklaşık 750 gr agrega kullanılmıştır.

14 mm ile 10 mm çaplı eleklerin arasında kalan agrega numune 105 ^{o}C'lik sabit sıcaklıktaki etüvde 12 saat süreyle kurutulur ve oda sıcaklığına kadar soğutulur. Silindir biçimli hücrenin darası (W) belirlenir. Silindirik hücre içerisine numune 3 tabaka şeklinde her tabaka metal çubukla 25 kez şişlenerek yerleştirilir. Taşan agrega sıyrılarak alınır, içindeki numune ile hücre birlikte tartılır (W_1). Darbe dayanım deney aletinin tokmağının alt yüzeyi, numunenin doldurulduğu kabın üst yüzeyinden 38 cm yükseğe kaldırılarak düşürülür. Bu işlem 15 kez tekrarlanır. Bu işlemden sonra kabın içindeki numune 2,36 mm elek açıklığına sahip elekten elenir ve elek üstünde kalan numunenin ağırlığı (M_{son}) belirlenir. Agreganın darbe dayanım direnci (a) Eşitlik 3.24'de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$a = \frac{M_{son}}{M_b} x100 \qquad (3.24)$$

$$M_b = W_1 - W \qquad (3.25)$$

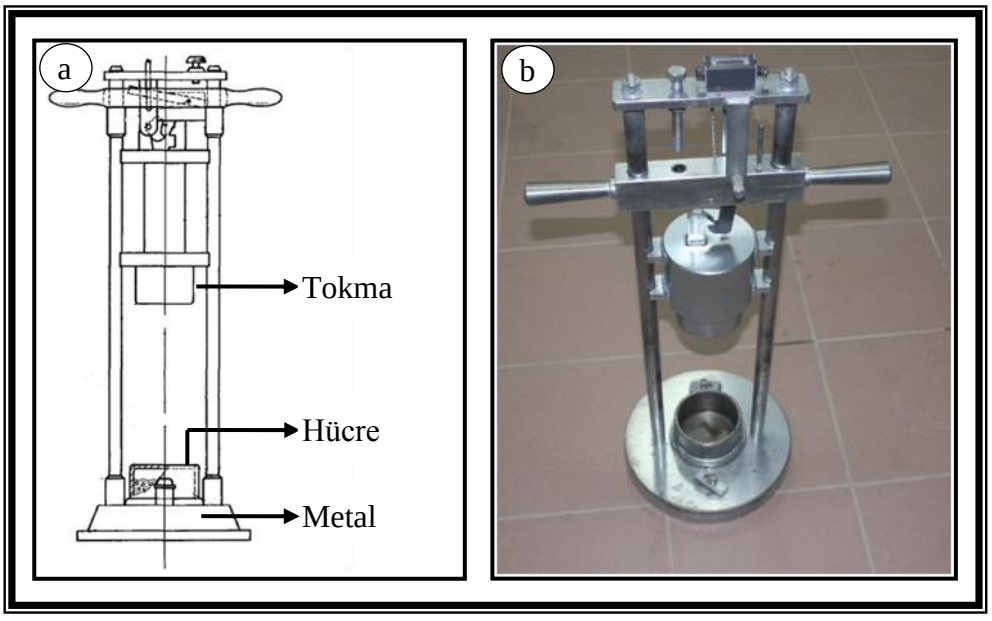
a : Numunenin agrega darbe dayanımı direnci %

M_b : Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi gr

M_{son} : Numunenin deney sonrası 2 mm elek üstünde kalan kütlesi gr

W_1 : Hücre ve içindeki numunenin kütlesi gr

W : Silindir biçimli hücrenin darası gr



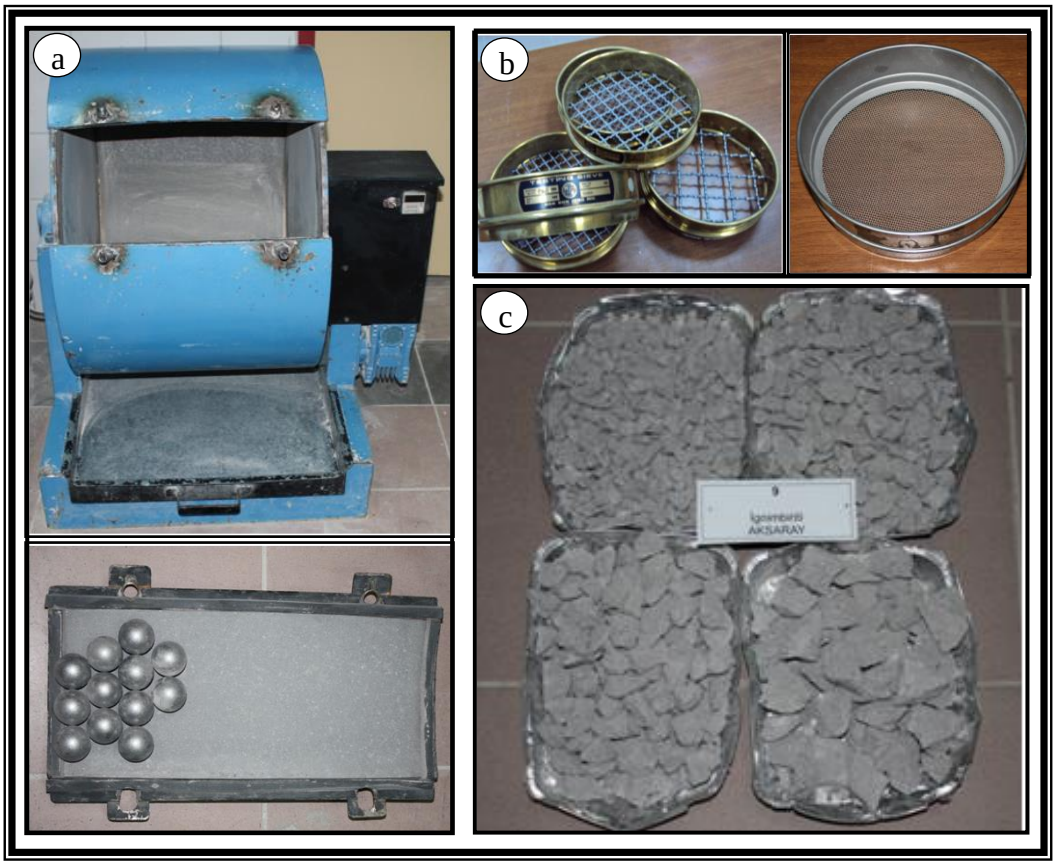
Şekil 3.12. a) Darbe dayanımı deney aletinin şematik görünümü, b) darbe dayanımı deney aletinin görünümü

3.2.2.3.3. Los Angeles deneyi

Deney, agregaların aşınmaya karşı gösterdiği dirençlerin Los Angeles deney aletinde belirlenmesi ilkesine dayanır.

Bu deney ASTM C 131-06'da önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; teknik özellikleri ASTM C 131-06' da verilen, et kalınlığı en az 12,4 mm çelikten yapılmış, iç çapı (711 ± 5) mm ve iç uzunluğu (508 ± 5) mm olan her iki ucu kapalı tambur, tamburun içinde sabitlenmiş şekilde bulunan ve kesiti dikdörtgen şekilli eşik tamburun tüm uzunluğu boyunca, numunenin konulmasın ve deneyden sonra alınmasını sağlayacak (150 ± 3) mm genişlikte açıklık, açıklığı örtecek kapak, tambura dakikada 30-33 devir yapmayı sağlayan bir motor ile motorun ve tamburun yerleştirildiği gövde ve sert bir tabandan oluşan Los Angeles deney aleti (Şekil 3.13.a). Ayrıca etüv, hassas terazi, numunenin boşaltılacağı tava, ilgili standarda belirtilen delik açıklığına sahip elekler ve bilyeler (Şekil 3.13.a ve b).



Şekil 3.13. a) Los Angeles deney aletinin aparatları, b) Los Angeles deneyinde kullanılan değişik elek açıklığına sahip elekler, c) Los Angeles deneyi için hazırlanan örnek

Deney için gerekli numunenin hazırlanması; kaya numuneleri çeneli kırıcılar yardımıyla değişik çapta agregalar haline getirilir. Los Angeles deneyi için A, B, C ve D olmak üzere 4 sınıfta örnek hazırlanabilmektedir (Çizelge 3.1.). Bu çalışma için, A sınıfında örnek hazırlanmıştır. A sınıfında öngörülen aralıklarda örnek hazırlamak için ilgili standartta belirtilen elek açıklığına sahip elekler seçilir (Çizelge 3.1). Seçilen elek takımında agrega elenerek belirlenen aralıklarda yeterli miktarda olacak şekilde hazırlanır (Şekil 3.13.c). Hazırlanan aralıklardaki numuneler (110 ± 5) ^{o}C' deki etüvde 12 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numunelerden her elek aralığından 1250 gr ve toplamda 5000 gr olacak şekilde hazırlanır.

Çizelge 3.1. Los Angeles deneyi için test örneklerinin sınıflaması (ASTM C 131-06)

Elek açıklığı - mm		**Gerekli kütle miktarı - gr**			
Geçenler	Kalanlar	Sınıflar			
		A	B	C	D
37,50	25,00	1250±25			
25,00	19,00	1250±25			
19,00	12,50	1250±10	2500±10		
12,50	9,50	1250±25	2500±10		
9,50	6,30			2500±10	
6,30	4,75			2500±10	
4,75	2,36				5000±10
Toplam		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Deney aletinin tamburunun içi temiz hale getirilir. Daha sonra A sınıfı için ASTM C 131-06' da özellikleri verilen bilyelerden belirtilen sayıda alınarak deney aleti içine yerleştirilir (Çizelge 3.2). Hazırlanan örneğin kuru ağırlığı tartılarak (L_0) belirlenir ve Los Angeles deney aleti içine dökülür. Tamburun kapağı numune kaybı olmayacak şekilde sıkıca kapatılır. Tambur dakikada standarda belirtilen devirde 100 tur çevrilir. Tamburun kapağı açılır, bilyeler ve numune tamburun altına yerleştirilen tavaya alınır. Numune elek açıklığı 1,7 mm olan elekte yıkanarak elenir. Elek üstünde kalan malzeme (110 ± 5) ^{o}C' deki etüvde kurutulur ve kuru ağırlığı (L_{100}) tartılır. Tamburun içi ve bilyeler temizlenir. Bilyeler ve kalan örnek tambur içine alınır. Kapak kapatılarak tambur 400 tur daha çevrildikten sonra numune tavaya alınır. Numune 1,7 mm elek açıklığına sahip elekten tekrar yıkanarak elenir ve elek üstünde kalan malzeme etüvde belirtilen sıcaklıkta kurutulur. Tamburun 500 turundan sonra elek üstünde kalan numunenin kuru ağırlığı (L_{500}) belirlenir. Los Angeles aşınma kaybı 100 ve 500 çevrim için aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$LO_{100} = \frac{L_0 - L_{100}}{L_0} x100 \quad (3.26)$$

$$LO_{500} = \frac{L_0 - L_{500}}{L_0} x100 \quad (3.27)$$

LO_{100}: 100 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı %

LO_{500}: 500 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı %

L_0 : Numunenin başlangıçtaki kuru kütlesi gr

L_{100} : 100 çevrim sonunda 1,7 mm açıklığa sahip elek üstünde kalan numunenin kuru kütlesi gr

L_{500} : 500 çevrim sonunda 1,7 mm açıklığa sahip elek üstünde kalan numunenin kuru kütlesi gr

Çizelge 3.2. Los Angeles deneyi için test örneklerinin sınıflarına göre bilye dağılımı (ASTM C 131-06)

Sınıflar	Bilye Sayısı	Bilyelerin kütlesi - gr
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

3.2.2.3.4. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi

Deney, kayaç örneğinin standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği hassasiyetin belirlenmesi ilkesine dayanır (Ulusay ve ark. 2001).

Bu deney ISRM (1981)' de önerilen hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; dakikada 20 devir yapmayı sağlayan bir motor ile motorun sabitlendiği sert bir taban, teknik özellikleri ISRM (1981)'de verilen tambur, tamburun içine konulduğu saydam fiber hazneden oluşan deney düzeneği, etüv, hassas terazi ve kronometre (Şekil 3.14.a).

Her biri 40-60 gr arasında değişen mümkün oldukça küresele yakın şekilli, 10 adet örnek hazırlanır (Şekil 3.14.b ve c). Bu örneklerin toplam ağırlığı 450-550 gr arasında olmalıdır. Örnekler, ağırlığı bilinen kaba konularak 105 ^{o}C'lik sabit sıcaklıktaki etüvde 12 saat süreyle kurutulur ve kap + numune ağırlığı tartılarak (A_1) belirlenir. Kullanılan kabın ağırlığı (D_d) kaydedilir. Daha sonra, soğuyan numune tambur içine konulur. Tambur şeffaf hazne içine yerleştirilir ve tambur eksenin 20 mm altına kadar 20 ^{o}C'lik sıcaklıktaki su ile doldurulur. Motor çalıştırılarak 10 dakika süreyle tamburun dönmesi sağlanır. Tambur hazneden çıkarılarak, içindeki numuneler

ağırlığı belirli kaba yerleştirilir ve tekrar 105 ^{o}C'lik sabit sıcaklıktaki etüvde 12 saat süreyle kurutulur. Kuruma sonunda kap + numune ağırlığı (B) yeniden belirlenir. Numune soğuduktan sonra tekrar numuneler tambur içine alınarak 10 dakika süreyle tamburun dönmesi sağlanır. Numuneler tekrar etüvde önceki aşamada belirtilen süre ve sıcaklıkta kurutulur ve kap + numune ağırlığı (C_1) belirlenir.

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (ikinci çevrime göre) tamburda en son kalan malzemenin deneyin başlangıçtaki malzemeye oranı olarak ifade edilir ve Eşitlik 3.28'de verilen formül yardımıyla hesaplanır.

Ayrıca bu çalışmada, Ulusay ve ark. (1995) ve Gökçeoğlu ve ark. (2000)' de önerdikleri ikiden fazla, tercihen 4 çevrim yapılması ve bu değerlerin kullanılması önerisi dikkatte alınarak numunelerin I_{d3} ve I_{d4} değerleri de belirlenmiştir. Bu amaçla numunelerde III. ve IV. çevrimler yapılmıştır. III. çevrim sonunda kap + kuru numunenin ağırlığı (E) ve IV. çevrim sonrasında ise kap + kuru numunenin ağırlığı (F_1) belirlenmiştir.

$$I_{d2} = \frac{C_1 - D_d}{A_1 - D_d} x100 \qquad (3.28)$$

$$I_{d3} = \frac{E - D_d}{A_1 - D_d} x100 \qquad (3.29)$$

$$I_{d4} = \frac{F_1 - D_d}{A_1 - D_d} x100 \qquad (3.30)$$

I_{d2} : II. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi %

I_{d3} : III. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi %

I_{d4} : IV. çevrime göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi %

A_1 : Deney öncesi kap + kuru numunenin ağırlığı gr

B : I. çevrim sonrası kap + kuru numunenin ağırlığı gr

C_1 : II. çevrim sonrası kap + kuru numunenin ağırlığı gr

D_d : Kullanılan kabın ağırlığı gr

E : III. çevrim sonrası kap + kuru numunenin ağırlığı gr

F_1 : IV. Çevrim sonrası kap + kuru numunenin ağırlığı gr

3.2.2.4. Donma-çözülme deneyi

Deney, donma-çözülme çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılır (Ulusay ve ark. 2001).

Deneyin yapılması ile ilgili olarak ASTM D 5312-04 standartında verilen yöntem esas alınmıştır.



Şekil 3.14. a) Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deney aletinin aparatları, b) deney için numune hazırlanışından bir görünüm, c) deneyi için hazırlanan örneklerden görünüm

Deneyin yapılabilmesi için gerekli araç gereç; en az $(-18 \pm 2{,}5)$ ^{o}C ve $(32 \pm 2{,}5)$ ^{o}C sıcaklık değerlerine erişebilecek donma-çözülme kabini, etüv, kumpas, hassas terazi, beher, saf su, fotoğraf makinesi ve suyun (-18) ^{o}C' de donmasını önleyici karışım hazırlamak için izopropil alkolden oluşmaktadır (Şekil 3.15.a).

Donma-çözülme sonucu örneklerin fiziksel, dayanım ve aşınma parametrelerindeki değişimleri 5 donma-çözülme döngüsü ile inceleneceği için, her döngü sonrasında değişimi araştırılacak parametreye için uygun sayıda deney örneği hazırlanır. Deney öncesi örnekler, makroskopik olarak incelenir ve her örneğin renkli fotoğrafı çekilir (Şekil 3.15.b). Örnekler (110 ± 5) ^{o}C' lik etüvde en az 4 saat kurutulur ve hassas terazide tartılarak deney öncesi ağırlıkları ($A_{DÇ}$) belirlenir. Hazırlanana örnekler saf su ile dolu beherlerde en az 12 saat bekletilerek doygun hale getirilir. Doygun hale gelen örnekler su geçirmez naylon torbalara yerleştirildikten sonra hazneye yerleştirilirler (Şekil 3.15.c). Diğer tarafta -18 ^{o}C' de suyun donmasını önlemek için % 0,5 isopropil alkollü su çözeltisi hazırlanır. Hazne içerisine örnekler tamamen

hazırlanan çözelti içinde kalıncaya kadar sıvı eklenir. Donma süreci için numuneler -18 ^{o}C' lik sıcaklıkta 12 saat süreyle bekletilir. Çözülme süreci için numuneler $+32$ ^{o}C' lik sıcaklıkta en az 8 saat olmak üzere tercihen 12 saat süreyle bekletilirler. Bir birini takip eden 12 saat donma ve 12 saatlik çözülme süreci sonrasında numuneler 1 çevrimlik donma-çözülme sürecine maruz kalmış olurlar.

Binan ve ark. (2007b) yılında Türkiye'nin yıllık donma-çözülme çevrimlerinin coğrafi dağılımı için bir harita hazırlamışlardır (Şekil 1.5). Bu haritadan faydalanılarak örneklerin alındığı yerleri temsil eden maksimum çevrim sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Örnekler üzerinde 5 döngü yapılmış ve bu döngüler için çevrim sayıları sırası 5, 10, 15, 20 ve 30 olarak belirlenmiştir. Örneklerin her döngüden sonra makroskopik olarak incelenir ve fotoğrafları çekilir (Şekil 3.15.d).

Deney sonunda örnekler hazneden çıkarılarak, (110 ± 5) ^{o}C' lik etüve yerleştirilir ve 12 saat kurumaya bırakılır. Daha sonra örneğin deney sonrası kuru ağırlığı ($B_{DÇ}$) belirlenir. Donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı ($DÇ_k$) aşağıdaki verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$DÇ_k = \frac{A-B}{A} x100 \qquad (3.31)$$

$DÇ_k$: Donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı %

$A_{DÇ}$: D-Ç deneyi öncesi öncesi kuru ağırlığı gr

$B_{DÇ}$: D-Ç deneyi sonrası kuru ağırlığı gr

3.3. Büro Çalışması

Büro çalışmaları, arazi ve laboratuar çalışmalarından önce başlatılmış ve tüm tez çalışmalarının sonuna kadar sürdürülmüştür. İnceleme alanları ve donma-çözülme ile ilgili rapor, derleme, yayın, makale ve diğer bilimsel çalışmalar taranmıştır. Önceki çalışmalardan yararlanılarak numune derlemesi yapılan bölgelerin genelleştirilmiş jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Donma-çözülme sürecine maruz bırakılan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerdeki değişimler fotoğraflar, grafikler ve şekiller yardımıyla açıklanmıştır.

Bu çalışmalar sonrasında, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak tez yazımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15. a) Donma-çözülme deneyinde donma aşaması için kullanılan dondurucu, kabin ve izopropil alkol, b) deneyden önce numunelerin görüntüsü, c) doygun hale gelen örnekler su geçirmez naylon torbalara yerleştirilmiş hali, d) 5. Döngüden (30 donma-çözülme çevriminden) sonra numunelerin görünümü

4. BULGULAR

Bu bölümde ilk olarak Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılabilecek numunelerden çalışma için uygun olanlarının belirlenmesi amacıyla yapılan Schmidt çekici deneyi sonuçları verilecektir. İkinci olarak çalışmada kullanılacak örnekler üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonuçları verilecektir. Üçüncü olarak ise seçilen 22 örneğin kuru yoğunluğu (ρ_d), su muhtevası (w), boşluk oranı (e) ve dinamik elastisite modülü (E_d) değerleri verilecektir.

Daha sonra belirlenen numuneler üzerinde donma-çözülme sürecinin oluşturduğu değişimler; temel fiziksel özellikler, dayanım özellikleri, aşınma özellikleri ile makroskobik ve mikroskobik özellikler üzerine etkisi olarak 4 ana başlık altıda incelenecektir.

Çalışmada kullanılacak numunelerin belirlenmesi amacıyla değişik kökenli yaklaşık 100 çeşit kaya örneği üzerinde yapılan Schmidt çekici deneyi sonuçlarına göre sedimanter, magmatik, volkanik, volkonasedimanter ve metamorfik kaya birimlerinden oluşan 22 numune belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan örneklerin Schmidt çekici geri sıçrama değerleri 14,80 ile 63,30 arasında değişmekte olup, en düşük değer 12 numaralı örnekte, en yüksek değer ise 1 numaralı örnekte ölçülmüştür (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan numunelerin Schmidt çekici geri sıçrama sertlik değerleri (SÇD)

Grup	N.No	Tanımlama	SÇD	Grup	N.No	Tanımlama	SÇD
Konya	1	Kireçtaşı	63,30±4,99	Niğde	12	Piroklastik	14,80±1,54
	2	Kireçtaşı	43,90±9,48	Kayseri	13	Bazalt	61,50±2,35
	3	Kireçtaşı	42,40±4,23		14	Piroklastik	42,80±4,65
	4	Dasit	35,10±5,36		15	Piroklastik	59,60±2,85
	5	Andezit	49,60±4,01		16	Piroklastik	48,80±4,65
	6	Piroklastik	16,10±2,95		17	Piroklastik	38,90±3,08
	7	Kireçtaşı	43,90±4,24	Nevşehir	18	Piroklastik	30,50±1,90
Aksaray	8	Granit	53,60±2,87		19	Piroklastik	29,20±2,45
	9	Piroklastik	25,50±5,00		20	Piroklastik	31,30±1,28
	10	Piroklastik	22,10±1,87		21	Piroklastik	31,60±1,50
Niğde	11	Kireçtaşı	63,00±5,52	Kırşehir	22	Granit	53,40±2,18

Benavente ve ark., (2004)'e göre yapı malzemesinin gözenek yapısı ve dayanıklılığı hakkında bilgi veren kılcal su emme oranı özelliği, TS EN 1925 (2000)'e göre belirlenmiştir. Kılcal su emme değerlerine ait toplu sonuçlar Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Numunelerin kılcal su emme değerleri 0,48 gr/m^{2}s^{0,5} ile 448,09 gr/m^{2}s^{0,5}

arasında değişmekte olup, en yüksek değer Moos ve Quervain (1948)' de yaptıkları porozite sınıflamasına göre "çok fazla boşluklu" olan 7 nolu örnekte belirlenmiştir. En düşük değer 11 nolu örnekte (Basmakçı kireçtaşında) belirlenmiştir. Genelde piroklastik kayaçlarda kılcal su emme değerleri yüksek olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan numunelerin kılcal su emme (C- gr/m^{2}s^{0,5}) değerleri.

Grup	N.No	Tanımlama	C	Grup	N.No	Tanımlama	C
Konya	1	Kireçtaşı	5,05±1,32	Niğde	12	Piroklastik	448,32±34,41
	2	Kireçtaşı	3,54±1,18		13	Bazalt	2,81±0,92
	3	Kireçtaşı	2,16±0,50	Kayseri	14	Piroklastik	163,33±9,87
	4	Dasit	6,08±1,62		15	Piroklastik	118,50±8,84
	5	Andezit	7,33±1,30		16	Piroklastik	118,94±23,99
	6	Piroklastik	67,11±17,21		17	Piroklastik	188,45±18,49
	7	Kireçtaşı	448,09±47,79	Nevşehir	18	Piroklastik	117,22±23,39
Aksaray	8	Granit	0,90±0,04		19	Piroklastik	337,82±70,02
	9	Piroklastik	228,56±64,45		20	Piroklastik	171,69±7,70
	10	Piroklastik	325,70±70,98		21	Piroklastik	146,95±8,19
Niğde	11	Mermer	0,48±0,22	Kırşehir	22	Granit	0,73±0,14

Çalışmada kullanılan kaya birimlerine ait bazı özellikler (kuru yoğunluk, su muhtevası, boşluk oranı ve dinamik elastisite modülü) laboratuar deneyleri ile belirlenerek ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

İncelenen örneklerin kuru yoğunluk değerleri 1,25 gr/cm^3 ile 2,68 gr/cm^3 arasında değişmekte olup, en düşük değer 6 numaralı örnekte, en yüksek değer ise 22 ve 11 numaralı örneklerde belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Seçilen 22 örnek içinde su muhtevası değeri en düşük % 0,01 ile 11 nolu örnek, en büyük değer ise % 4,77 ile 17 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Kayaçların boşluk oranı değerleri % 0,87 ile % 58,31 arasında bulunmuş olup en küçük değer Kaman Rose isimli granitte, en yüksek değer ise 12 nolu piroklastik kayaçta belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Dinamik elastisite modülü değeri Youash (1970)'de önerdiği denklem yardımıyla hesaplanmış olup, en düşük değer 0,005x10^{-6} MPa ile 12 nolu örnekte, en büyük değer ise 0,105x10^{-6} MPa ile 11 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Kayaç grubu içinde en düşük değerler piroklastik kayaçlarda belirlenmiştir.

4.1. Donma-Çözülmenin Kayaçların Temel Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

Çalışma kapsamında belirlenen kaya birimlerinin donma-çözülme sürecinin temel

Çizelge 4.3. İncelenen örneklerin bazı özellikleri (ρ_d:kuru yoğunluk (gr/cm^3); w: su muhtevası (%); e: boşluk oranı (%); E_d: dinamik elastisite modülü (MPa x 10^{-6}))

Örnek No	ρ_d (gr/cm^3)	w (%)	e (%)	E_d (MPa x 10^{-6})
1	2,47±0,05	0,61±0,30	6,81±2,38	0,065±0,004
2	2,14±0,11	0,06±0,02	5,38±0,15	0,025±0,002
3	2,32±0,02	0,50±0,11	5,27±0,74	0,037±0,005
4	2,32±0,03	0,33±0,05	6,45±0,71	0,034±0,002
5	2,38±0,08	0,95±0,13	9,87±2,50	0,025±0,003
6	1,25±0,04	3,62±1,25	47,50±5,72	0,008±0,001
7	1,62±0,08	0,24±0,05	27,72±1,68	0,018±0,001
8	2,62±0,00	0,10±0,01	1,04±0,06	0,052±0,001
9	1,75±0,03	1,80±0,75	31,40±0,84	0,015±0,000
10	1,54±0,05	0,81±0,07	32,99±0,83	0,008±0,001
11	2,68±0,01	0,01±0,00	0,95±0,29	0,105±0,005
12	1,30±0,01	4,16±2,24	58,31±1,55	0,005±0,000
13	2,61±0,06	0,26±0,10	3,63±1,09	0,077±0,006
14	1,63±0,04	0,82±0,14	34,42±3,66	0,011±0,001
15	1,78±0,01	0,27±0,05	24,28±0,90	0,009±0,000
16	1,82±0,02	1,94±0,45	35,53±1,13	0,013±0,001
17	1,42±0,02	4,77±2,65	49,38±1,26	0,012±0,000
18	1,75±0,06	0,58±0,18	26,79±2,94	0,011±0,001
19	1,54±0,02	0,56±0,14	39,77±1,33	0,010±0,000
20	1,66±0,02	1,19±0,42	44,43±0,80	0,008±0,000
21	1,58±0,01	1,09±,001	47,49±1,03	0,008±0,000
22	2,68±0,01	0,09±0,02	0,87±0,05	0,051±0,009

fiziksel özellikler üzerindeki etkisi; porozite (n), ağırlıkça su emme oranı (A_w) ve P dalga hızı (V_p) parametrelerindeki değişimler yardımıyla araştırılmıştır. Bu bölümde bunlara ek olarak donma-çözülme sürecinin kayaca etkisi hakkında önemli bilgi veren donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı ($DÇ_k$) değerlerindeki değişimlerde verilecektir.

Belirtilen özellikler donma-çözülmenin kayaçların temel fiziksel özelliklere etkisi bölümü altında alt başlıklar halinde aşağıdaki bölümlerde incelenecektir.

4.1.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların porozite (n) değeri üzerine etkisi

Numunelerin porozite değerleri ISRM (1981)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Numunelerin şahit ile her donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrası örneklerin porozite değerleri belirlenerek elde edilen verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bu çalışma için seçilen örneklerin şahit porozite (n) değeri % 0,86 (22 nolu örnek) ile % 36,83 (12 nolu örnek) arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.4'deki veriler incelendiğinde donma-çözülme döngülerinin ilerlemesiyle porozite değerlerinde bir artışın olduğu gözlenmiştir. Numunelere uygulanan son donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük porozite % 0,76

değeri ile 22 nolu örnekte, en yüksek poroziteli örnek ise % 44,67 değeri ile 12 nolu örnektir.

Çizelge 4.4. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası porozite (n-%) değerleri

Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	6,34±2,12	4,99±2,49	8,60±1,50	7,55±7,78	7,70±0,80	9,36±0,66
2	5,10±0,14	4,68±0,62	7,21±1,42	7,47±1,15	9,02±1,27	7,49±1,14
3	5,00±0,67	5,18±0,54	6,55±0,93	5,90±0,46	6,73±0,35	6,90±0,73
4	5,65±0,57	6,03±0,35	7,03±0,22	6,78±0,78	7,34±1,10	6,78±0,13
5	8,95±2,07	9,37±1,71	8,71±0,86	11,00±2,41	7,79±0,97	9,45±1,82
6	35,12±2,68	30,58±1,77	35,34±2,61	37,15±1,37	36,96±0,87	37,96±2,51
7	21,69±1,03	24,31±3,34	26,27±1,97	28,87±1,34	26,98±3,55	28,75±1,63
8	1,02±0,06	1,07±0,03	1,19±0,11	1,14±0,11	1,05±0,07	1,09±0,04
9	23,89±0,49	25,81±0,52	26,95±0,67	26,66±1,39	26,94±0,67	26,92±0,87
10	24,81±0,47	26,62±0,77	28,83±0,83	29,52±0,28	28,48±0,32	29,86±0,90
11	0,94±0,28	1,18±0,12	1,07±0,23	1,27±0,31	1,05±0,38	1,68±0,61
12	36,83±0,62	38,35±0,60	42,24±0,48	42,27±0,63	42,11±0,75	44,67±0,72
13	3,49±1,02	4,02±0,88	5,54±0,81	5,09±0,77	4,64±0,46	5,33±1,21
14	25,57±1,80	30,25±2,20	32,11±2,06	33,05±1,59	34,51±0,37	35,12±2,08
15	19,53±0,58	20,46±0,31	22,22±0,62	23,03±0,51	22,58±0,98	25,19±0,92
16	26,21±0,61	27,25±0,64	28,27±0,20	29,07±0,78	28,68±0,42	29,34±0,54
17	33,05±0,56	34,36±0,49	38,26±1,70	39,02±1,77	37,53±0,62	40,13±1,51
18	21,09±1,85	26,32±1,01	27,45±1,29	29,40±2,70	27,91±2,53	29,77±3,30
19	28,45±0,69	29,62±0,16	31,69±0,24	34,33±0,86	34,05±0,67	35,37±1,10
20	30,76±0,39	33,71±0,71	35,30±0,51	35,73±0,77	35,05±0,96	37,12±1,10
21	32,20±0,48	34,42±0,48	36,72±0,35	37,30±0,21	37,23±0,34	38,42±0,38
22	0,86±0,05	0,69±0,02	0,93±0,06	0,86±0,19	0,71±0,07	0,76±0,09

Kayaçların porozite özelliğinin donma-çözülme sürecine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısı (R^2) veren denklemler belirlenmiştir (Şekil 4,1 ve Çizelge 4.4). Numuneler içinde en küçük R^2 değeri 0,0052 ile 5 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9725 ile 14 nolu örneğe aittir. Kayaç grupları içinde en yüksek R^2 değerleri piroklastik kayaçlarda 0,8048 ile 0,9725 arasında, en düşük R^2 değerler ise magmatik kayaçlarda 0,0890 ile 0,3178 arasında belirlenmiştir. Şekil 4.1'deki grafikler incelendiğinde 11 nolu örneğin parabolün kolunun yönü yukarı diğer örneklerin ise aşağı doğru olduğu belirlenmiştir. Bu farklık incelendiğinde 11 nolu örneğin 5. donma-çözülme döngüsü öncesi ortalama porozite değeri ile standart sapma değerinin kayaca ait ortalama değerden büyük olması grafiğin kolunun yukarı doğru hareket etmesine sebep olmuştur.

11 nolu örnek dışındaki grafikler incelendiğinde; porozitesi yaklaşık olarak % 1'den küçük ($n \leq \%\,1{,}02$) olan 8 ve 22 nolu kayaçlarda; D-Ç döngüleri ile porozite arasında belirlilik katsayısı değeri (R^2) 0,3178'den küçük olarak belirlenmiştir. Diğer örneklerin grafikleri incelendiğinde ise 4. döngüden itibaren eğrilerin eğimlerinde kısmi

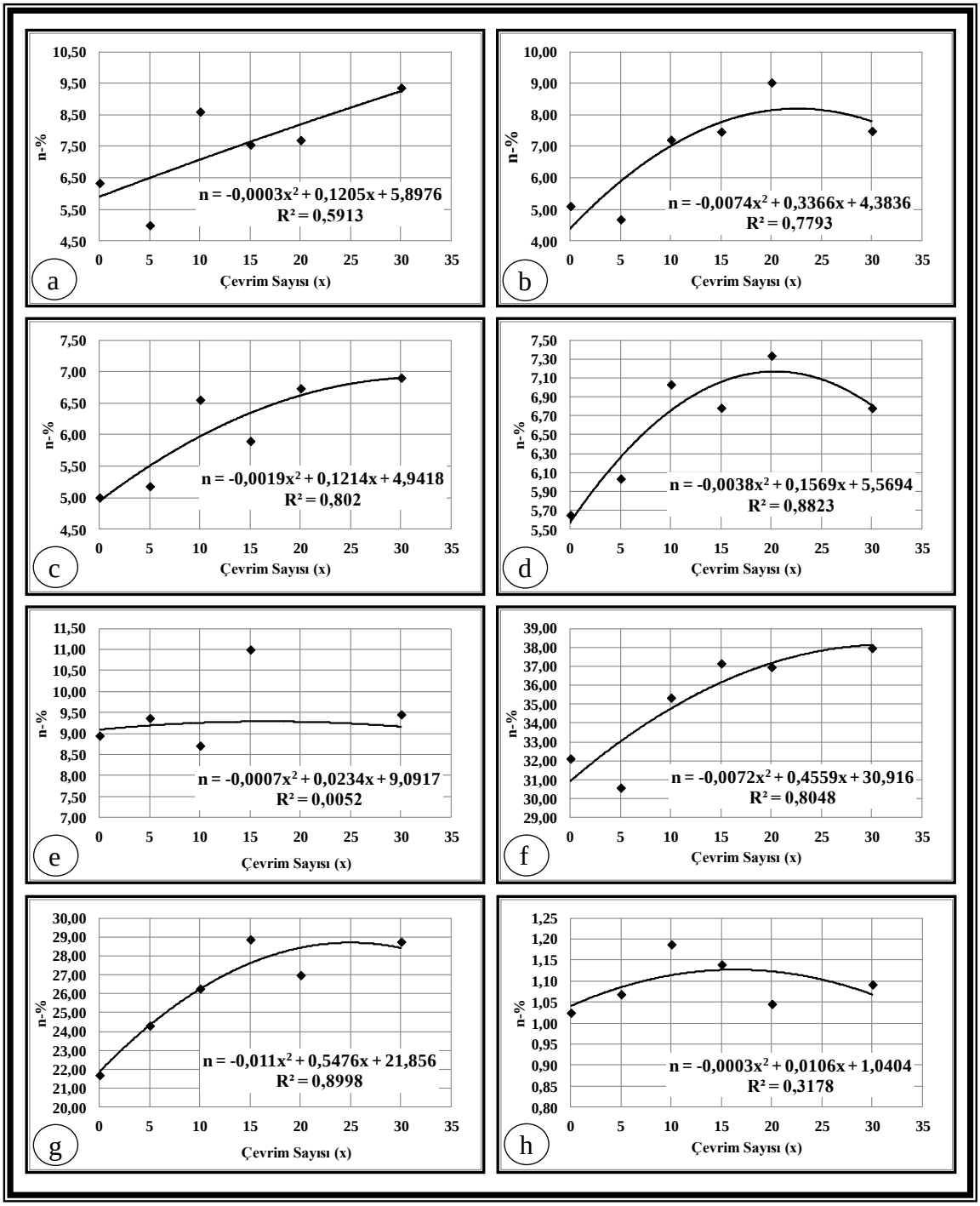
bir azalma belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bu azalma donma-çözülme sürecinin 4. ve 5. döngüsünden itibaren porozitenin D-Ç döngülerine bağlı artış ivmesinde azalma şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 4.5. İncelenen örneklerin porozite değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (n:porozite, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı)

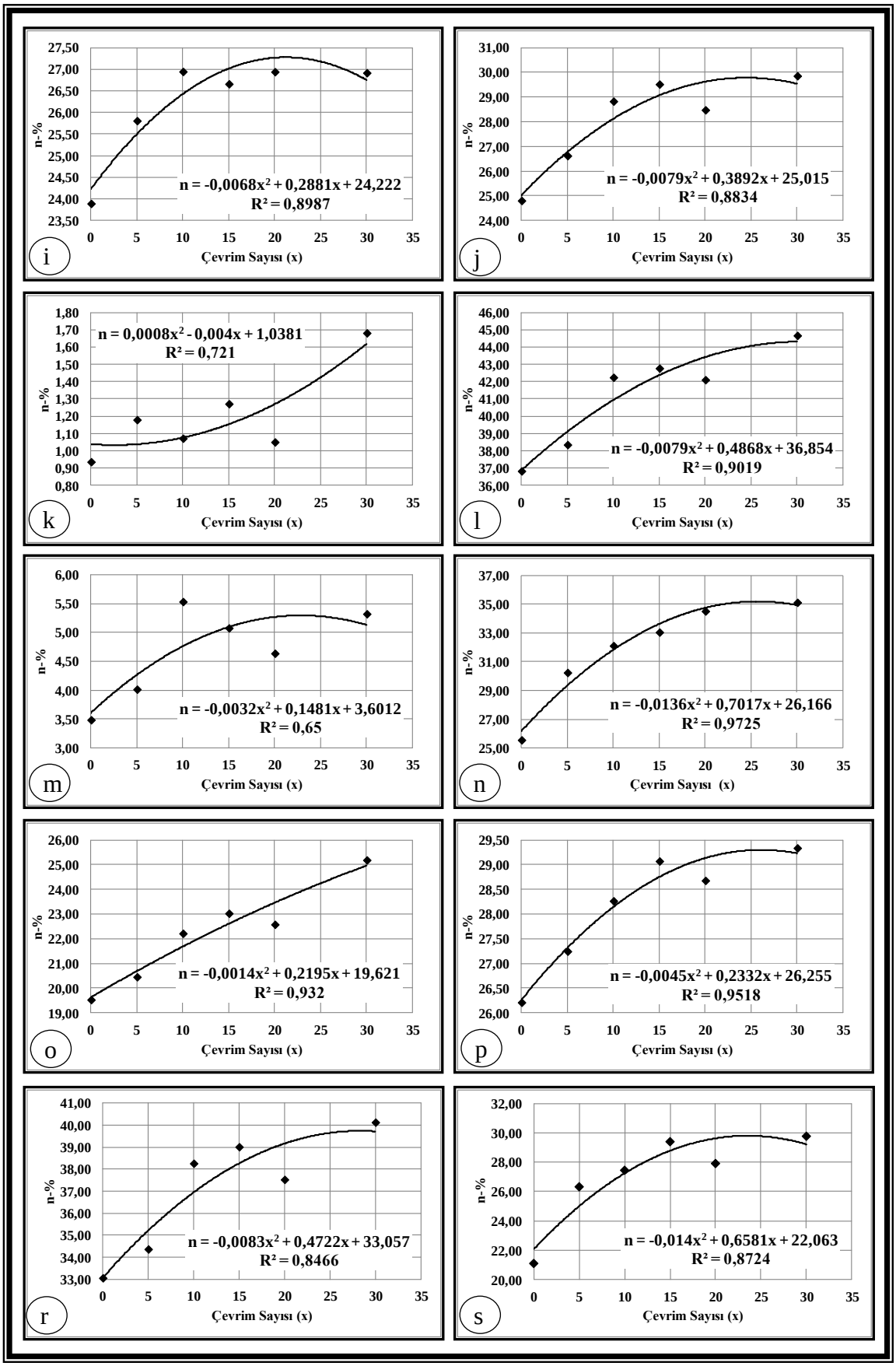
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$n = -0{,}0003x^2 + 0{,}1205x + 5{,}8976$	0,5913
2	$n = -0{,}0074x^2 + 0{,}3366x + 4{,}3836$	0,7793
3	$n = -0{,}0019x^2 + 0{,}1214x + 4{,}9418$	0,8020
4	$n = -0{,}0038x^2 + 0{,}1569x + 5{,}5694$	0,8823
5	$n = -0{,}0007x^2 + 0{,}0234x + 9{,}0917$	0,0052
6	$n = -0{,}0072x^2 + 0{,}4559x + 30{,}916$	0,8048
7	$n = -0{,}0110x^2 + 0{,}5476x + 21{,}856$	0,8998
8	$n = -0{,}0003x^2 + 0{,}0106x + 1{,}0404$	0,3178
9	$n = -0{,}0068x^2 + 0{,}2881x + 24{,}222$	0,8987
10	$n = -0{,}0079x^2 + 0{,}3892x + 25{,}015$	0,8834
11	$n = 0{,}0008x^2 - 0{,}0040x + 1{,}0381$	0,7210
12	$n = -0{,}0079x^2 + 0{,}4868x + 36{,}854$	0,9019
13	$n = -0{,}0032x^2 + 0{,}1481x + 3{,}6012$	0,6500
14	$n = -0{,}0136x^2 + 0{,}7017x + 26{,}166$	0,9725
15	$n = -0{,}0014x^2 + 0{,}2195x + 19{,}621$	0,9320
16	$n = -0{,}0045x^2 + 0{,}2332x + 26{,}255$	0,9518
17	$n = -0{,}0083x^2 + 0{,}4722x + 33{,}057$	0,8466
18	$n = -0{,}0140x^2 + 0{,}6581x + 22{,}063$	0,8724
19	$n = -0{,}0074x^2 + 0{,}4647x + 28{,}087$	0,9588
20	$n = -0{,}0069x^2 + 0{,}3852x + 31{,}386$	0,8709
21	$n = -0{,}0085x^2 + 0{,}4483x + 32{,}416$	0,9581
22	$n = -0{,}0001x^2 + 0{,}0015x + 0{,}8177$	0,0890

Numunelerin donma-çözünme sonrası porozite özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.2' deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.2' deki grafikler kontrol edildiğinde porozite değerinin donma-çözülme döngüsünün artmasıyla genelde yüzdesel olarak artığı belirlenmiştir. Porozitesi yaklaşık % 1,00'den küçük olan kayaçlarda yüzdesel artışın düzensiz olduğu gözlenmiştir. Hazırlanan çevrim sayısı porozite grafiklerde R^2 değeri en küçük olarak belirlenen 5 nolu örneğin yüzdesel değişim grafiğindeki porozitenin şahit değerlerine göre yüzdesel artışlar çevrim sayısının artışı ile uyumludur. 5 nolu örneğin R^2 değerinin düşük çıkmasının sebebi ise; örneğin şahit porozite değerlerinin % 5,29 ile % 11,63 gibi geniş bir aralıkta değişmesi ve buna bağlı olarak standart sapma değerinin yüksek olmasına bağlanmaktadır. Bu durum 5 nolu örnekte döngüler arasında uyumsuzluk oluşturmuş ve R^2 değerinin düşük çıkmasına sebep olmuştur. Bu olumsuz durum porozitenin yüzde değişimine göre hazırlanan grafiklerde dikkate alınmadığı için 5 nolu örneğin yüzde değişim grafiği

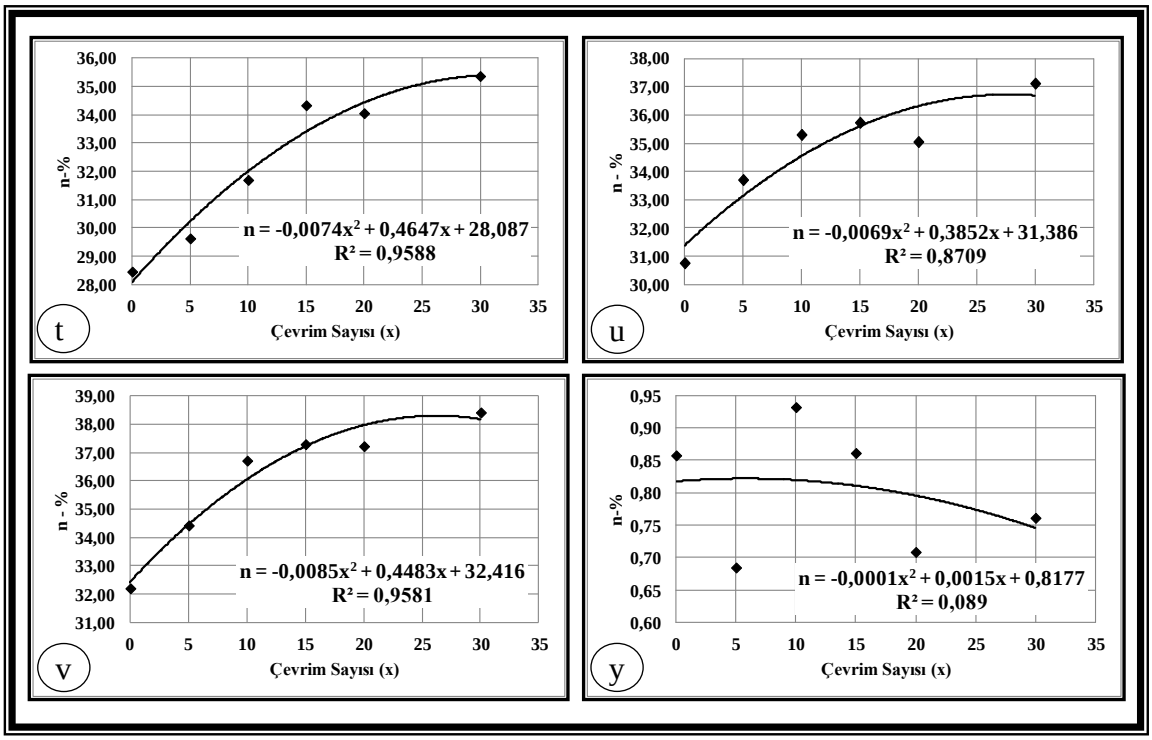
anlamlı olarak gözlenmektedir (Şekil 4.2). Belirlilik katsayısı en düşük örnekte de görüldüğü üzere porozitenin döngülere göre yüzdesel değişimi daha anlamlı sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.1. İncelenen örneklerin porozite değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



Şekil 4.1. (Devam)



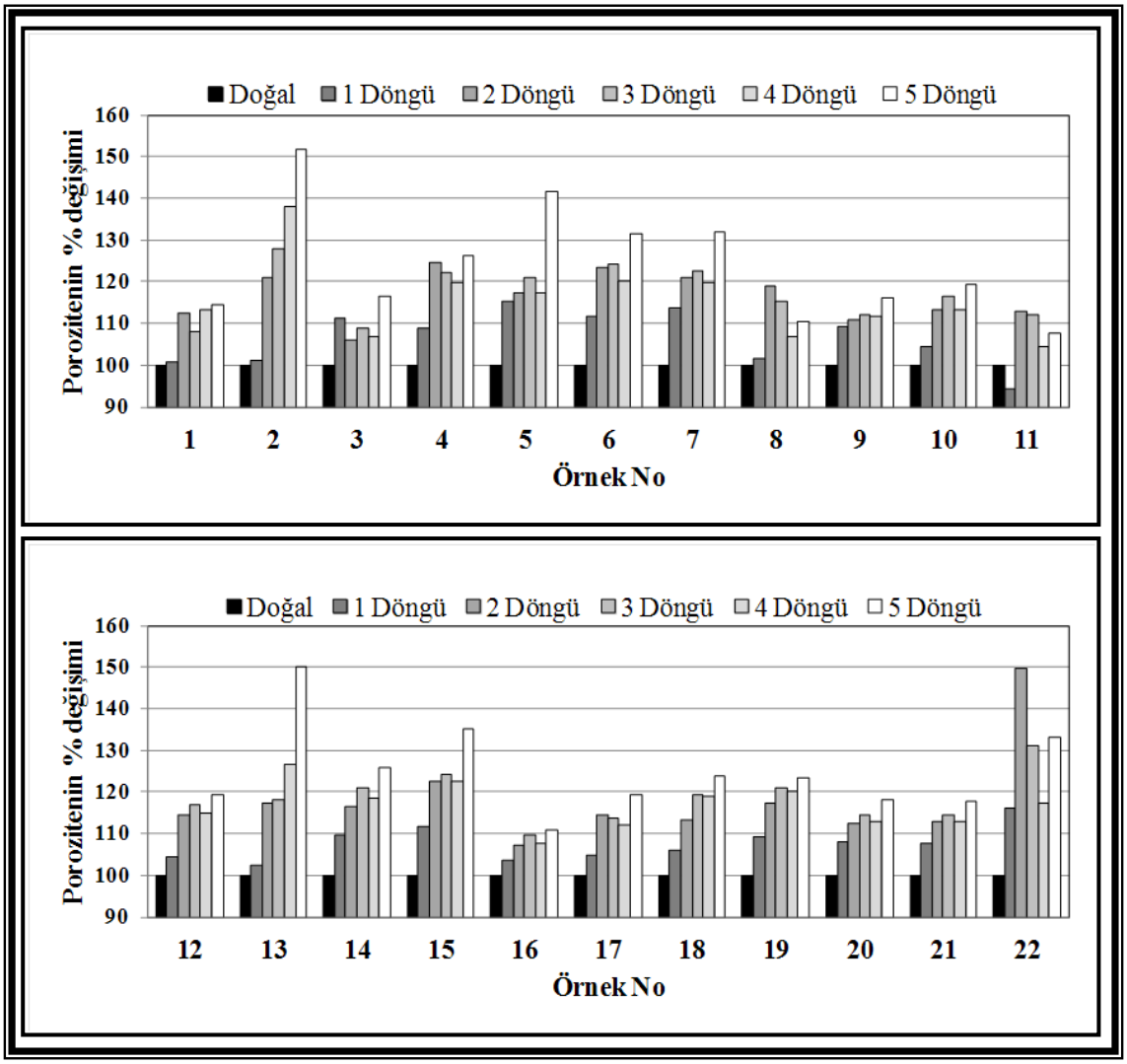
Şekil 4.1. (Devam)

4.1.2. Donma-çözülme sürecinin kayaların ağırlıkça su emme (A_w) değeri üzerine etkisi

Numunelerin ağırlıkça su emme değerleri RILEM (1980)'de önerilen yöntemle belirlenmiştir. Numunelerin şahit ile her donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrasına ait ağırlıkça su emme değerlerindeki değişimler Çizelge 4.6' da verilmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örnek içinde en düşük ağırlıkça su emme (A_w) değeri % 0,32 ile 22 nolu örnekte, en yüksek değer ise % 28,23 ile 12 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Çizelge 4.6'deki veriler incelendiğinde çevrim sayısının ilerlemesiyle ağırlıkça su emme değerinde genelde artma gözlenmiştir. Numunelerde son donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük ağırlıkça su emme değeri % 0,28 değeri ile 22 nolu örnek, en yüksek su emme değeri ise % 34,60 değeri ile 12 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4,6).

Kayaçların ağırlıkça su emme özelliğinin donma-çözülme döngülerine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en uygun denklemler ve belirlilik katsayıları (R^2) belirlenmiştir (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.7). Hazırlanan grafiklerde en küçük R^2 değeri 0,0077 ile 5 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9689 ile 21 nolu örneğe aittir. Kayaç grupları içinde en yüksek R^2 değerleri piroklastik

kayaçlarda 0,7617 ile 0,9689 arasında, en düşük değerler ise magmatik kayaçlarda 0,0949 ile 0,3188 arasında belirlenmiştir.



Şekil 4.2. İncelenen örneklerin porozite değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

Hazırlanan grafiklerde donma-çözülme süreci ile ağırlıkça su emme değeri arasında belirlilik katsayı (R^2) 0,3188' den küçük belirlenen 5, 8 ve 22 nolu örnekler dışındaki numuneler grafikleri incelendiğinde; 1, 11, 15 ve 19 nolu örneklerde çevrim sayısının artmasıyla ağırlıkça su emme değerinin artış ivmesinde bir değişim gözlenmiştir. Diğer örneklerde (2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20 ve 21 nolu örneklerde) ise donma-çözülme sürecinin 4. döngüsünden itibaren ağırlıkça su emme değerlerinin artış ivmesindeki azalma sonucu eğrinin eğimlerinde kısmi bir azalma belirlenmiştir (Şekil 4.3).

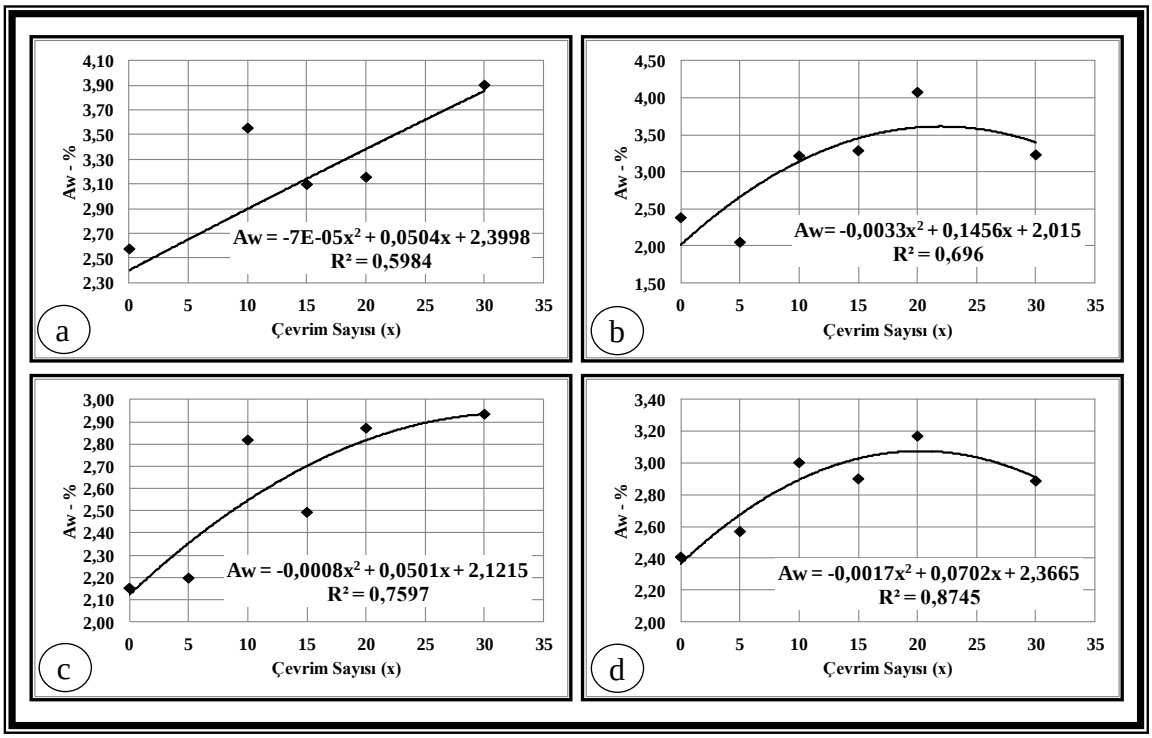
Çizelge 4.6. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası ağırlıkça su emme (A_w-%) değerlerindeki değişimler

Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	2,58±0,90	2,02±1,05	3,56±0,68	3,10±0,78	3,16±0,36	3,91±0,28
2	2,39±0,10	2,05±0,33	3,22±0,74	3,29±0,59	4,08±0,68	3,23±0,61
3	2,15±0,30	2,20±0,23	2,82±0,38	2,49±0,23	2,87±0,17	2,94±0,35
4	2,41±0,26	2,57±0,16	3,00±0,10	2,90±0,36	3,17±0,52	2,89±0,06
5	3,79±1,01	4,06±0,86	3,65±0,41	4,80±1,24	3,23±0,45	4,00±0,87
6	25,64±2,33	24,23±1,93	29,46±3,67	30,48±2,09	30,10±1,14	31,38±3,66
7	13,39±0,95	13,59±2,33	14,68±1,57	16,61±1,12	15,18±2,91	16,06±1,25
8	0,39±0,02	0,41±0,01	0,45±0,04	0,44±0,05	0,40±0,03	0,42±0,02
9	13,69±0,50	14,78±0,43	15,58±0,52	15,17±0,74	15,57±0,55	15,23±0,79
10	16,13±0,37	17,11±0,73	18,51±0,15	19,39±1,06	18,05±0,23	19,37±0,44
11	0,35±0,11	0,44±0,05	0,40±0,09	0,48±0,12	0,39±0,14	0,63±0,23
12	28,23±0,69	29,68±0,88	32,40±0,77	32,91±0,92	32,46±1,01	34,60±1,12
13	1,34±0,41	1,56±0,35	2,17±0,33	1,97±0,31	1,81±0,20	2,07±0,49
14	15,75±1,53	19,20±2,08	20,41±1,85	20,96±1,55	22,40±0,34	22,50±1,94
15	10,96±0,35	10,92±0,22	11,87±0,39	12,29±0,36	12,03±0,63	13,73±0,85
16	14,44±0,52	14,91±0,53	15,42±0,17	16,08±0,59	15,76±0,32	16,14±0,46
17	23,30±0,64	23,99±0,41	27,79±2,06	28,14±2,48	26,49±0,51	28,84±1,78
18	12,07±1,45	16,19±1,09	16,48±1,04	17,89±2,36	16,74±2,32	17,83±2,65
19	18,45±0,62	18,27±0,17	19,46±0,19	22,18±0,83	22,32±0,92	24,05±1,83
20	18,49±0,40	20,53±0,70	21,50±0,48	21,83±0,71	21,25±0,86	22,70±1,05
21	20,40±0,40	21,78±0,58	23,38±0,34	23,78±0,15	23,94±0,31	24,99±0,67
22	0,32±0,02	0,26±0,01	0,35±0,02	0,32±0,07	0,26±0,03	0,28±0,03

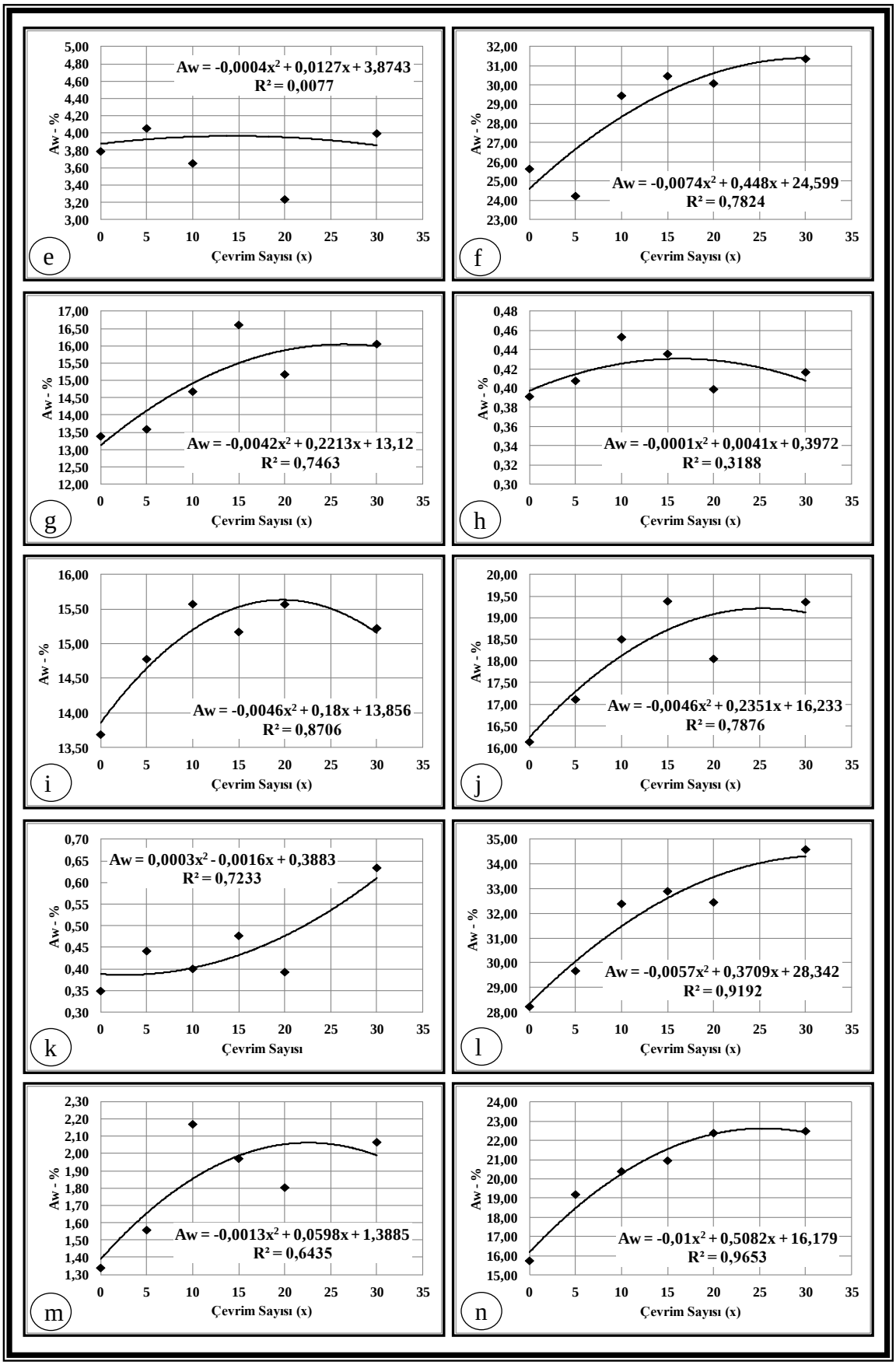
Çizelge 4.7. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (A_w: ağırlıkça su emme, x: çevrim sayısı, R^2: belirlik katsayısı)

Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$Aw= -7E-05x^2 + 0,0504x + 2,3998$	0,5984
2	$Aw= -0,0033x^2 + 0,1456x + 2,0150$	0,6960
3	$Aw= -0,0008x^2 + 0,0501x + 2,1215$	0,7597
4	$Aw= -0,0017x^2 + 0,0702x + 2,3665$	0,8745
5	$Aw= -0,0004x^2 + 0,0127x + 3,8743$	0,0077
6	$Aw= -0,0074x^2 + 0,4480x + 24,599$	0,7824
7	$Aw= -0,0042x^2 + 0,2213x + 13,120$	0,7463
8	$Aw= -0,0001x^2 + 0,0041x + 0,3972$	0,3188
9	$Aw= -0,0046x^2 + 0,1800x + 13,856$	0,8706
10	$Aw= -0,0046x^2 + 0,2351x + 16,233$	0,7876
11	$Aw= 0,0003x^2 - 0,0016x + 0,3883$	0,7233
12	$Aw= -0,0057x^2 + 0,3709x + 28,342$	0,9192
13	$Aw= -0,0013x^2 + 0,0598x + 1,3885$	0,6435
14	$Aw= -0,0100x^2 + 0,5082x + 16,179$	0,9653
15	$Aw= 0,0013x^2 + 0,0527x + 10,918$	0,9107
16	$Aw= -0,0024x^2 + 0,1267x + 14,415$	0,9305
17	$Aw= -0,0070x^2 + 0,3837x + 23,238$	0,7617
18	$Aw= -0,0103x^2 + 0,4611x + 12,897$	0,8209
19	$Aw= -0,0007x^2 + 0,2335x + 17,876$	0,9181
20	$Aw= -0,0046x^2 + 0,2527x + 18,940$	0,8478
21	$Aw= -0,0048x^2 + 0,2889x + 20,520$	0,9689
22	$Aw = -5E-05x^2 + 0,0006x + 0,3046$	0,0949

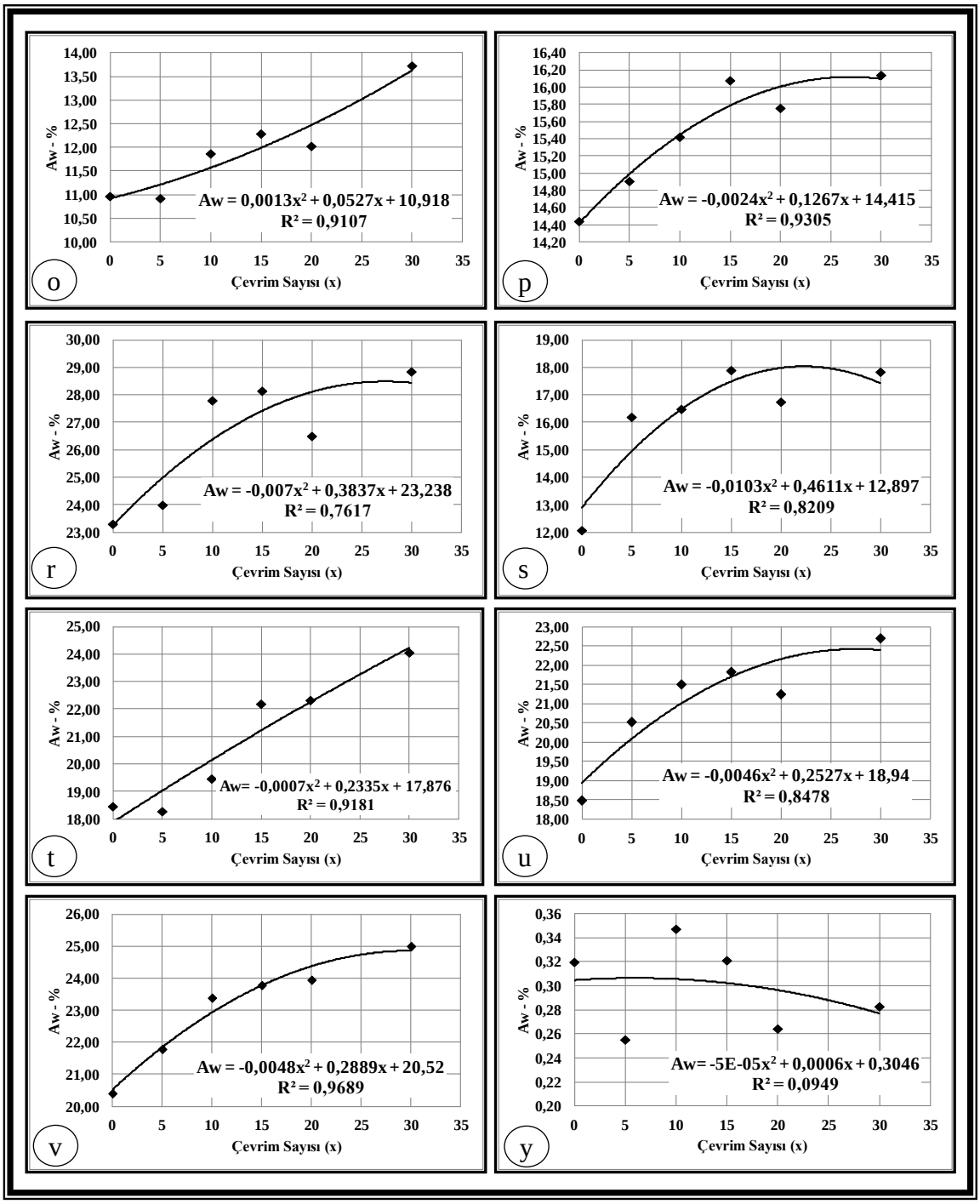
Numunelerin donma-çözünme süreci öncesi ve sonrası ağırlıkça su emme değerlerindeki değişim yüzdesel olarak incelenerek Şekil 4.4'deki grafikler hazırlanmıştır. Şekil 4.4'deki grafikler kontrol edildiğinde ağırlıkça su emme değerinin donma-çözülme döngüsünün artmasıyla genelde yüzdesel olarak artığı belirlenmiştir. Bu artış ağırlıkça su emme değerinin yaklaşık % 0,40'dan küçük olan kayaçlarda düzensiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu düzensizlik porozite değeri yaklaşık % 1,00 den küçük olan örneklerle uyum göstermektedir. Hazırlanan çevrim sayısı ağırlıkça su emme grafiklerinden elde edilen en küçük R^2 değerine sahip 5 nolu örneğin yüzdesel değişim grafiği incelendiğinde; ilerleyen döngülere bağlı olarak ağırlıkça su emme değerinin, porozite değerinde olduğu gibi başlangıç değerine göre yüzdesel değişimlerinde düzenli artışlar belirlenmiştir (Şekil 4.4). Piroklastik kayaçlarda çevrim sayısının artışı ile ağırlıkça su emme değerinin yüzdesel artışının uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.3. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



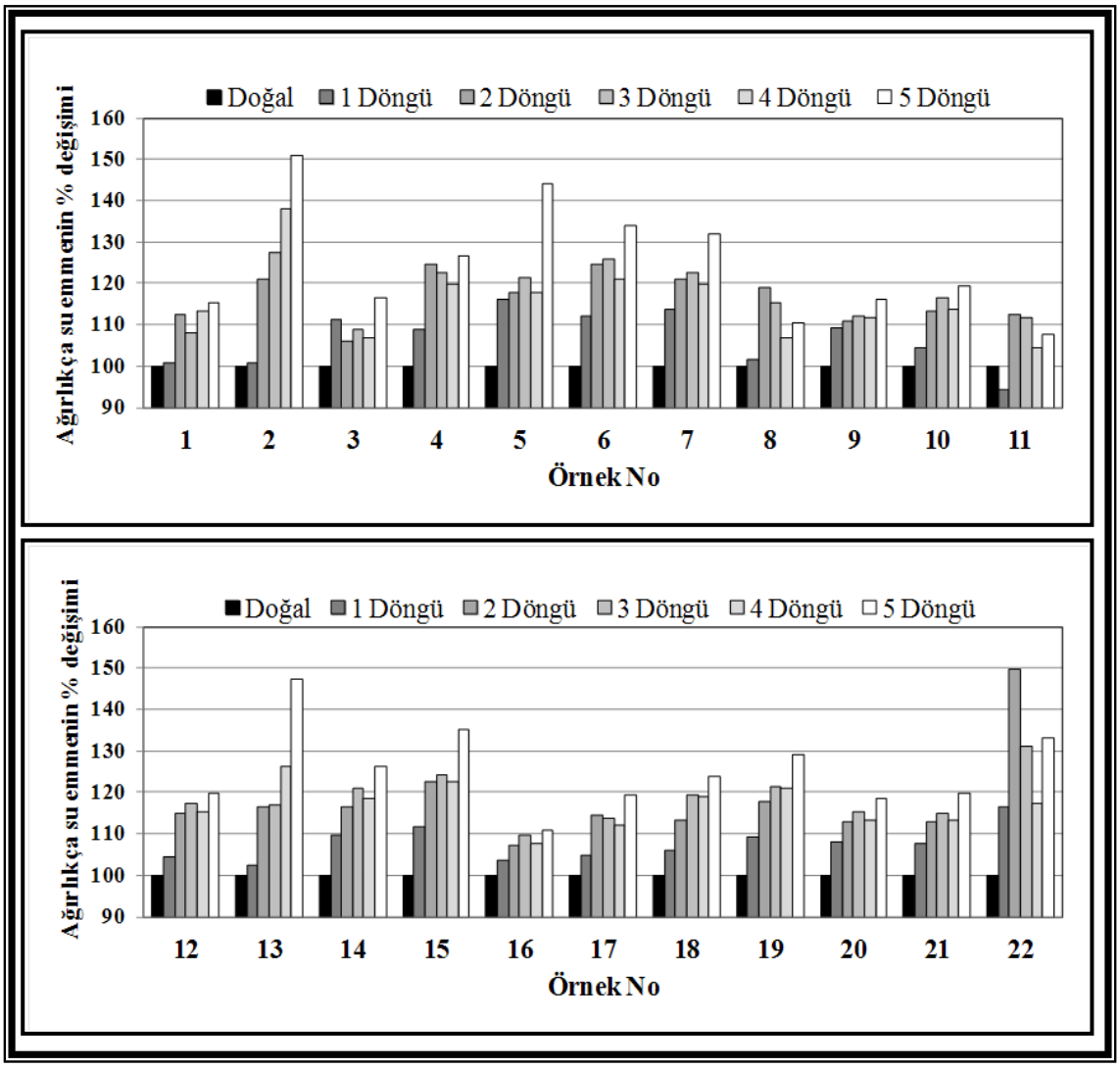
Şekil 4.3. (Devam)



Şekil 4.3. (Devam)

4.1.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların P dalgası yayılma hızı (V_p) değeri üzerine etkisi

Numunelerde P dalgası yayılma hızı değerleri ISRM (1981)'de önerilen yöntemle belirlenmiştir. Numunelerin şahit ile her donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrasına ait P dalgası yayılma hızı değerleri belirlenerek, elde edilen veriler



Şekil 4.4. İncelenen örneklerin ağırlıkça su emme değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

Çizelge 4.8'de sunulmuştur. Bu çalışma için seçilen 22 örnek içinde en düşük P dalga hızı (V_p) değeri 2,02 km/s ile 12 nolu örnekte, en yüksek değer 6,21 km/s ile 11 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Çizelge 4.8'deki veriler incelendiğinde çevrim sayısının ilerlemesiyle P dalgası yayılma hızı değeri 5, 11 ve 22 nolu örnekler dışındaki numunelerde azalmıştır. Birçok araştırmacı tarafından kayaçların bozunma sınıfının belirlenmesinde kullanılan (Iliev, 1967; Köhler, 1991; Arıkan ve ark., 2007; Ceryan ve ark., 2008; Akın, 2010) P dalgası yayılma hızı değerinde donma-çözülme çevrim sayısının ilerlemesine bağlı olarak azalması beklenir. Kayaçlarda P dalgasının yayılma hızı değerini etkileyen birçok faktör (kayanın tipi, dokusu, tane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, sıcaklığı ve anizotropisi) bulunmaktadır (Karaman ve

ark., 2010; Fener, 2011; Altındağ, 2012). 5, 11 ve 22 nolu örneklerde bu faktörlerin varlığı araştırıldığında;

5 nolu örnek andezit olup ince kesit incelemesinde hamur fazını oluşturan ikincil kuvars kristalleri hamur fazının muhtemelen sıcak hidrotermal çözeltiler etkisinde silisleşmesi ve karbonatların varlığı kayacın alterasyonunu göstermektedir. Kayacın daha önce alterasyon geçirmesi ve kayacın holokristalin porfirik doku göstermesi kayaçta heterojenliğe sebep olmaktadır.

11 nolu örnek kireçtaşı olup bileşiminde yaklaşık % 40 oranında iskeletsel tane bulunmakta ve bu iskeletsel tanelerin yönlere göre değişim göstermesi kayaçta heterojenliğe sebep olmaktadır.

22 nolu granit örneklerinde tane boyutları değişen iri ortaklas kristalleri yer almaktadır. Bu tane boyutları değişen iri ortaklas kristalleri 22 nolu örneğin P dalga hızını etkileyen faktör olarak belirlenmiştir.

5, 11 ve 22 nolu örneklerde P dalga hızının güvenilir sonuçlar elde edilememesi göz önüne alınarak donma-çözülme sürecinin kayaçların P dalgası yayılma hızı üzerine etkisi incelenirken bu örnekler değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çizelge 4.8. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası P dalgasının yayılma hızı (V_p-km/s) değerlerindeki değişimler

Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	5,08±0,12	5,04±0,09	4,58±0,11	4,46±0,17	4,43±0,17	4,24±0,19
2	3,38±0,05	3,33±0,18	3,19±0,07	3,12±0,08	3,16±0,21	3,19±0,20
3	3,93±0,27	3,79±0,19	3,60±0,20	3,65±0,24	3,66±0,21	3,70±0,06
4	3,78±0,04	3,68±0,07	3,62±0,02	3,59±0,05	3,64±0,19	3,63±0,01
5	3,19±0,21	3,28±0,19	3,46±0,21	3,20±0,18	3,51±0,15	3,36±0,26
6	2,57±0,14	2,60±0,10	2,59±0,31	2,57±0,13	2,53±0,15	2,51±0,31
7	3,35±0,05	3,33±0,19	3,31±0,15	3,27±0,04	3,25±0,44	3,26±0,22
8	4,42±0,04	4,30±0,13	4,27±0,13	4,22±0,12	4,26±0,26	4,27±0,27
9	2,95±0,02	2,94±0,04	2,91±0,05	2,93±0,02	2,92±0,04	2,92±0,11
10	2,30±0,23	2,20±0,01	2,18±0,04	2,19±0,04	2,19±0,05	2,11±0,09
11	6,21±0,15	6,28±0,04	6,41±0,12	6,05±0,45	6,40±0,46	6,24±0,20
12	2,02±0,02	1,99±0,02	1,99±0,03	2,02±0,04	1,95±0,01	1,93±0,05
13	5,38±0,14	5,26±0,19	5,26±0,08	5,18±0,03	5,23±0,07	5,18±0,04
14	2,58±0,06	2,48±0,12	2,45±0,14	2,47±0,10	2,39±0,08	2,37±0,09
15	2,28±0,01	2,25±0,01	2,25±0,02	2,24±0,03	2,25±0,02	2,24±0,03
16	2,69±0,07	2,64±0,20	2,62±0,16	2,53±0,20	2,56±0,05	2,54±0,10
17	2,90±0,04	2,85±0,23	2,80±0,10	2,76±0,09	2,81±0,22	2,76±0,10
18	2,45±0,06	2,34±0,09	2,36±0,06	2,34±0,22	2,35±0,12	2,32±0,07
19	2,49±0,05	2,46±0,04	2,48±0,03	2,04±0,07	1,99±0,12	1,95±0,10
20	2,19±0,05	2,15±0,03	2,13±0,04	2,15±0,06	2,12±0,05	1,95±0,10
21	2,20±0,02	2,18±0,02	2,13±0,03	2,16±0,01	2,05±0,03	1,95±0,14
22	4,34±0,38	4,06±0,07	4,36±0,27	4,27±0,27	4,26±0,36	4,40±0,13

Çalışmada kullanılan örneklerde 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük P dalga hızı (V_p) değeri 1,93 km/s değeri ile 12 nolu örnekte, en yüksek P dalga hızı (V_p) sahip örnek ise 5,18 km/s değeri ile 13 nolu örnektir (Çizelge 4,3.).

Kayaçların P dalgası yayılma hızı değerleri özelliğinin donma-çözülme döngülerine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en uygun denklemler ve belirlilik katsayıları (R^2) belirlenerek Çizelge 4.9 ve Şekil 4.5' de gösterilmiştir. Hazırlanan grafiklerde en küçük R^2 değeri 0,6576 ile 18 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9323 ile 7 nolu örneğe aittir.

Şekil 4.5'deki grafikler incelendiğinde 2, 3, 4, 7, 8, 9, 13, 15, 16, 17 ve 18 nolu örneklerde 3. döngüden itibaren grafiklerin çevrim sayısının artışı ile P dalgası yayılma hızının ivmesi azalmıştır. Bunun sonucunda P dalgası yayılma hızı çevrim sayısı grafiklerinin eğimleri azalmış veya sabitleşmiştir (Şekil 4.5.).

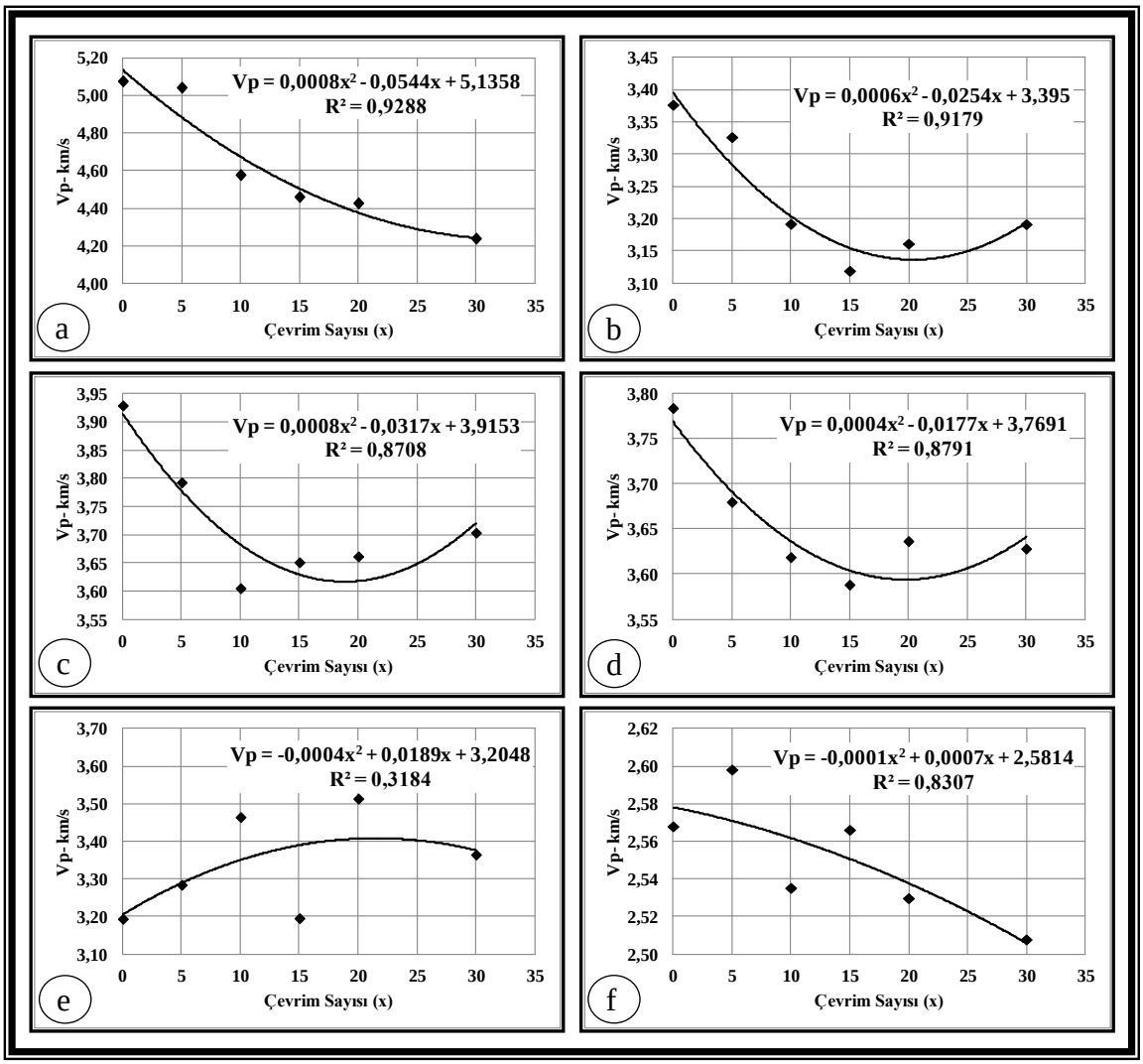
Çizelge 4.9. İncelenen örneklerin P dalgasının yayılma hızı ($\boldsymbol{V_p}$-km/s), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($\boldsymbol{V_p}$: P dalgasının yayılma hızı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$Vp = 0{,}0008x^2 - 0{,}0544x + 5{,}1358$	0,9288
2	$Vp = 0{,}0006x^2 - 0{,}0254x + 3{,}3950$	0,9179
3	$Vp = 0{,}0008x^2 - 0{,}0317x + 3{,}9153$	0,8708
4	$Vp = 0{,}0004x^2 - 0{,}0177x + 3{,}7691$	0,8791
5	$Vp = -0{,}0004x^2 + 0{,}0189x + 3{,}2048$	0,3184
6	$Vp = -0{,}0001x^2 + 0{,}0007x + 2{,}5814$	0,8307
7	$Vp = 0{,}0001x^2 - 0{,}0078x + 3{,}3595$	0,9323
8	$Vp = 0{,}0005x^2 - 0{,}0188x + 4{,}4067$	0,9118
9	$Vp = 0{,}0692x^2 - 2{,}9238x + 2945{,}6$	0,6689
10	$Vp = 9E\text{-}05x^2 - 0{,}0074x + 2{,}2704$	0,7552
11	$Vp = -0{,}0002x^2 + 0{,}0055x + 6{,}2367$	0,0178
12	$Vp = -5E\text{-}05x^2 - 0{,}0013x + 2{,}0166$	0,7618
13	$Vp = 0{,}0003x^2 - 0{,}0136x + 5{,}3535$	0,8148
14	$Vp = 0{,}0002x^2 - 0{,}0115x + 2{,}5642$	0,9087
15	$Vp = 7E\text{-}05x^2 - 0{,}0032x + 2{,}2724$	0,7292
16	$Vp = 0{,}0002x^2 - 0{,}0115x + 2{,}6892$	0,9030
17	$Vp = 0{,}0002x^2 - 0{,}0108x + 2{,}8971$	0,8569
18	$Vp = 0{,}0002x^2 - 0{,}0078x + 2{,}4194$	0,6576
19	$Vp = 0{,}0003x^2 - 0{,}0313x + 2{,}5679$	0,8050
20	$Vp = -0{,}0003x^2 + 0{,}0019x + 2{,}1685$	0,9099
21	$Vp = -0{,}0002x^2 - 0{,}0018x + 2{,}1950$	0,9315
22	$Vp = 0{,}0004x^2 - 0{,}0061x + 4{,}2667$	0,2473

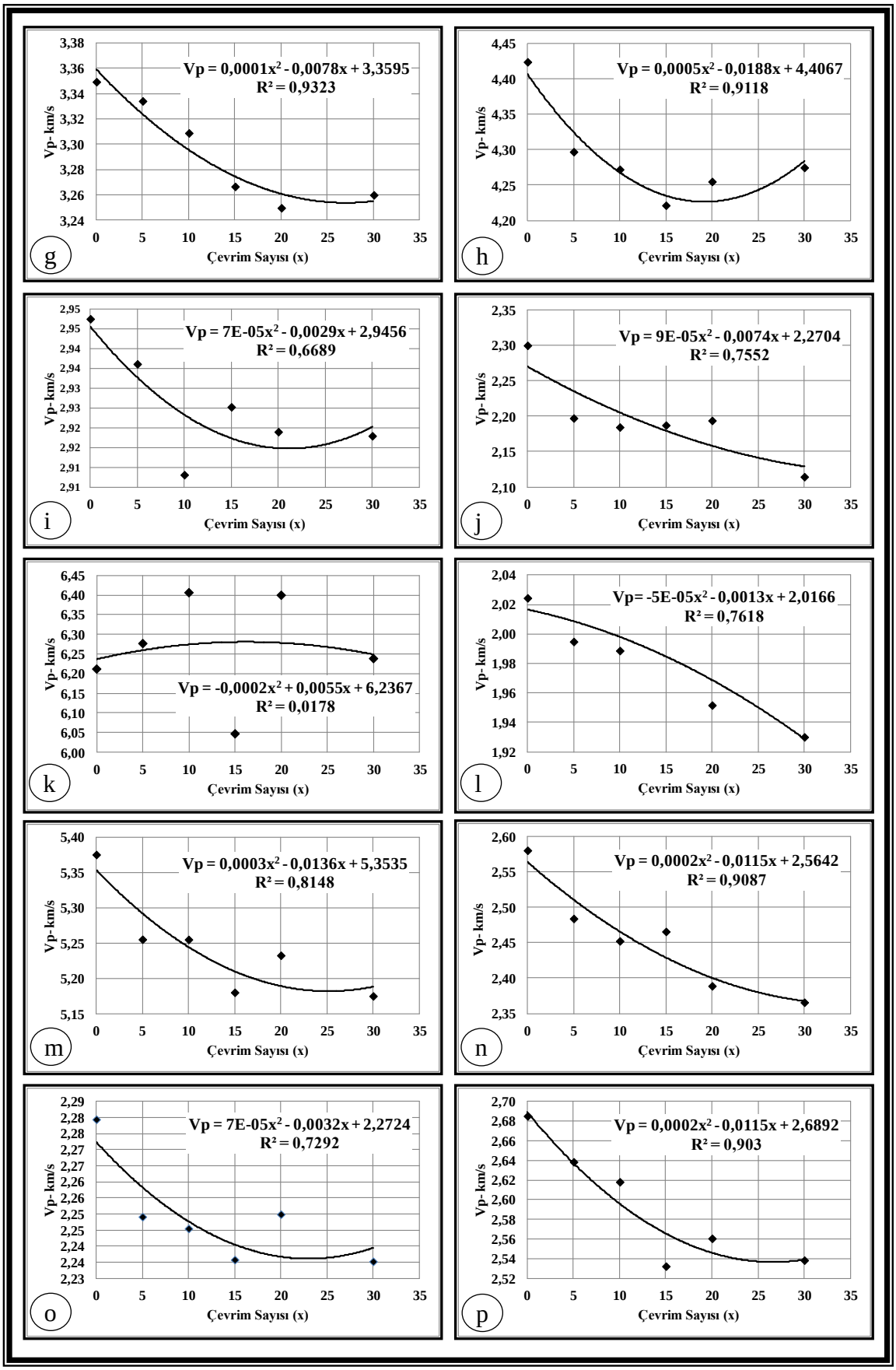
Numunelerin P dalgası yayılma hızının D-Ç döngüsü öncesi şahit değeri ile D-Ç döngüsü sonrası bozunmuş değeri arasındaki değişimler yüzdesel olarak Şekil 4.6'deki grafikler yardımıyla incelenmiştir. P dalgası yayılma hızı özelliğinin kayaçların şahit değerlerine göre yüzdesel değişimi % 0,76 ile % 12,12 arasında azaldığı belirlenmiştir.

Kayaç grupları içerisinde genelde en çok yüzdesel değişim piroklastik kayaçlarda gözlenmiştir (Şekil 4.6).

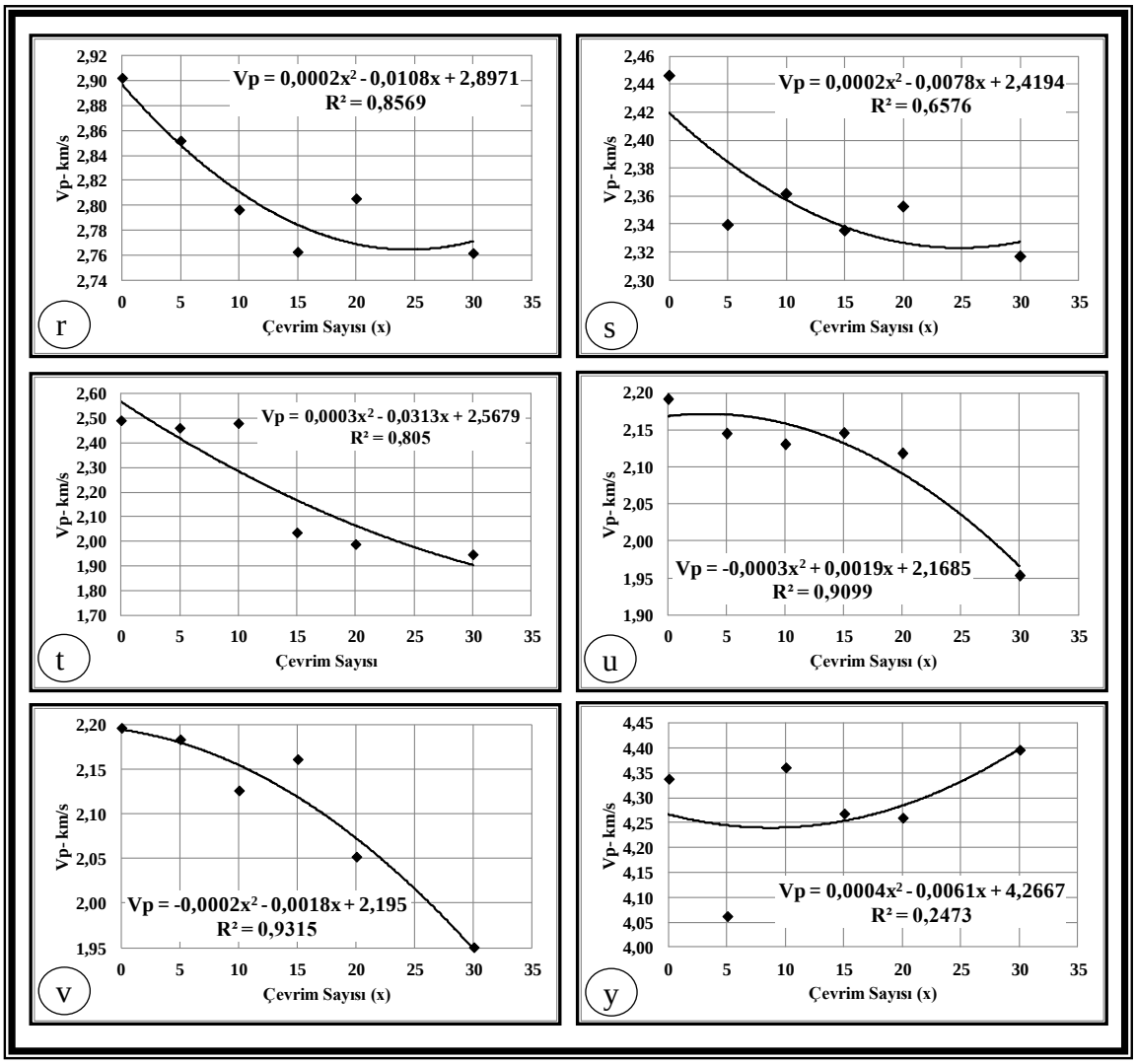
Kayaçların P dalgası yayılma hızının D-Ç döngülerine bağlı olarak değişimini gösteren grafiklerde düzenli bir ilişkisi belirlenemeyen 5, 11 ve 22 nolu örneklerin başlangıç değerlerine göre genelde düzenli yüzdesel azalmalar gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. İncelenen örneklerin P dalgası yayılma hızı değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



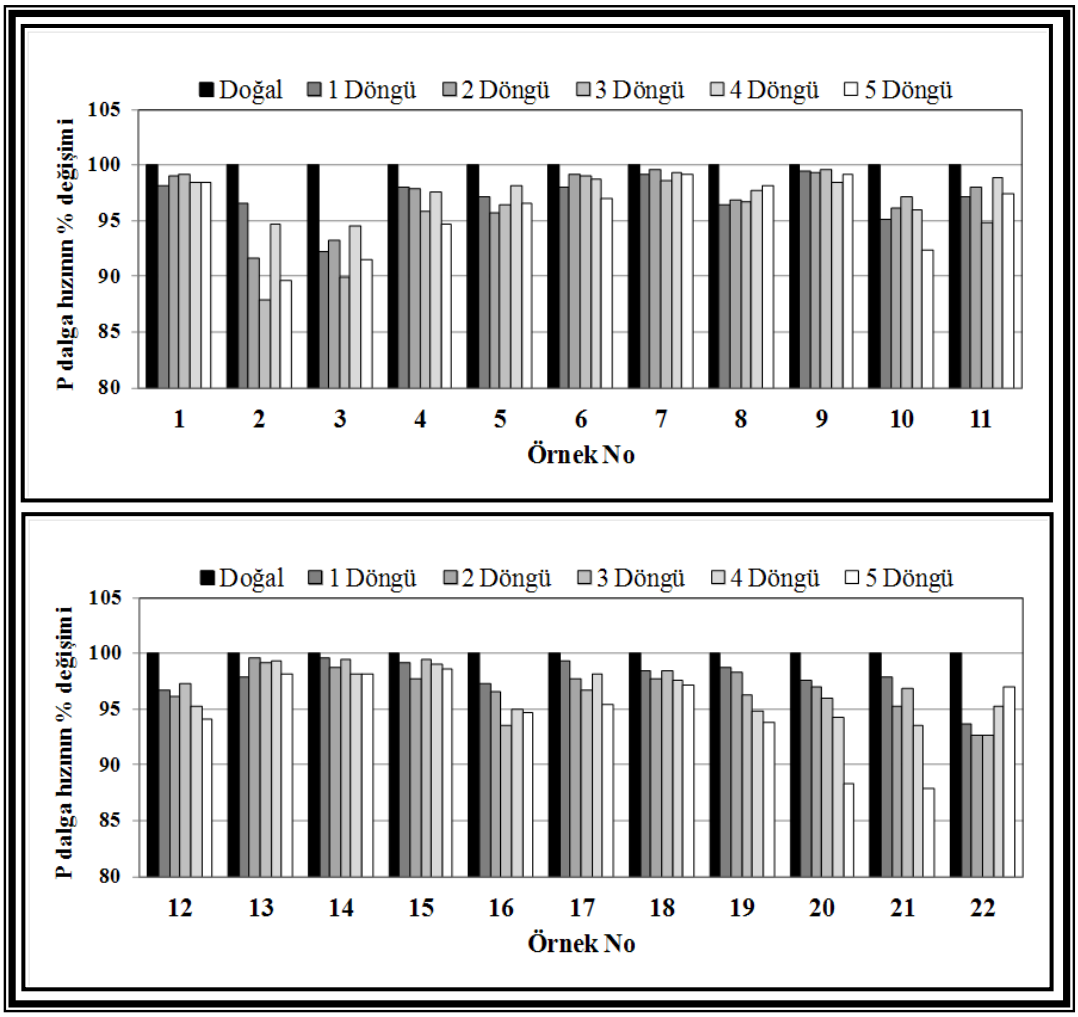
Şekil 4.5. (Devam)



Şekil 4.5. (Devam)

4.1.4. Kayaçların donma-çözülme sonrası ağırlık kayıpları ($D\text{Ç}_k$)

Numunelerin donma-çözülme sonrası ağırlık kayıpları ($D\text{Ç}_k$) değerleri ASTM D 5312 – 04'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Numunede her donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrası örneklerin kuru kütle değerleri ölçülmüş ve bu değerlerden faydalanarak donma-çözülme döngüleri sonrası ağırlık kaybı ($D\text{Ç}_k$) değerleri hesaplanarak Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin birinci döngü sonrası ağırlık kayıbı ($D\text{Ç}_k$) değerlerindeki değişimler incelendiğinde 8, 11 ve 13 nolu örneklerde değişim gözlenmezken en yüksek değişim % 0,505 ile 6 nolu kayaçta gözlenmiştir (Çizelge 4.3). İlerleyen döngülere bağlı olarak $D\text{Ç}_k$ değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Bu değişimin en az gözlendiği ilk üç kayaç ise 8, 11 ve 13 nolu örneklerdir. En çok don kaybı gözlenen örnekler piroklastik kayaçlardır.



Şekil 4.6. İncelenen örneklerin P dalga hızı değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

Piroklastik kayaçlardan sonra en çok etkilenen kayaç ise 5 nolu örnektir. Çizelge 4.10 incelendiğinde, 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük $DÇ_k$ değeri % 0,002 ile 13 nolu örnekte, en yüksek $DÇ_k$ değerili örnek ise % 4,168 ile 19 nolu örnektir.

Kayaçların $DÇ_k$ özelliğinin donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Çizelge 4.11). Numuneler içinde en küçük R^2 değeri 0,3501 ile 22 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9998 ile 18 nolu örneğe aittir. Kayaç grupları içinde en yüksek R^2 değerleri çoğunlukla piroklastik kayaçlarda belirlenmiştir.

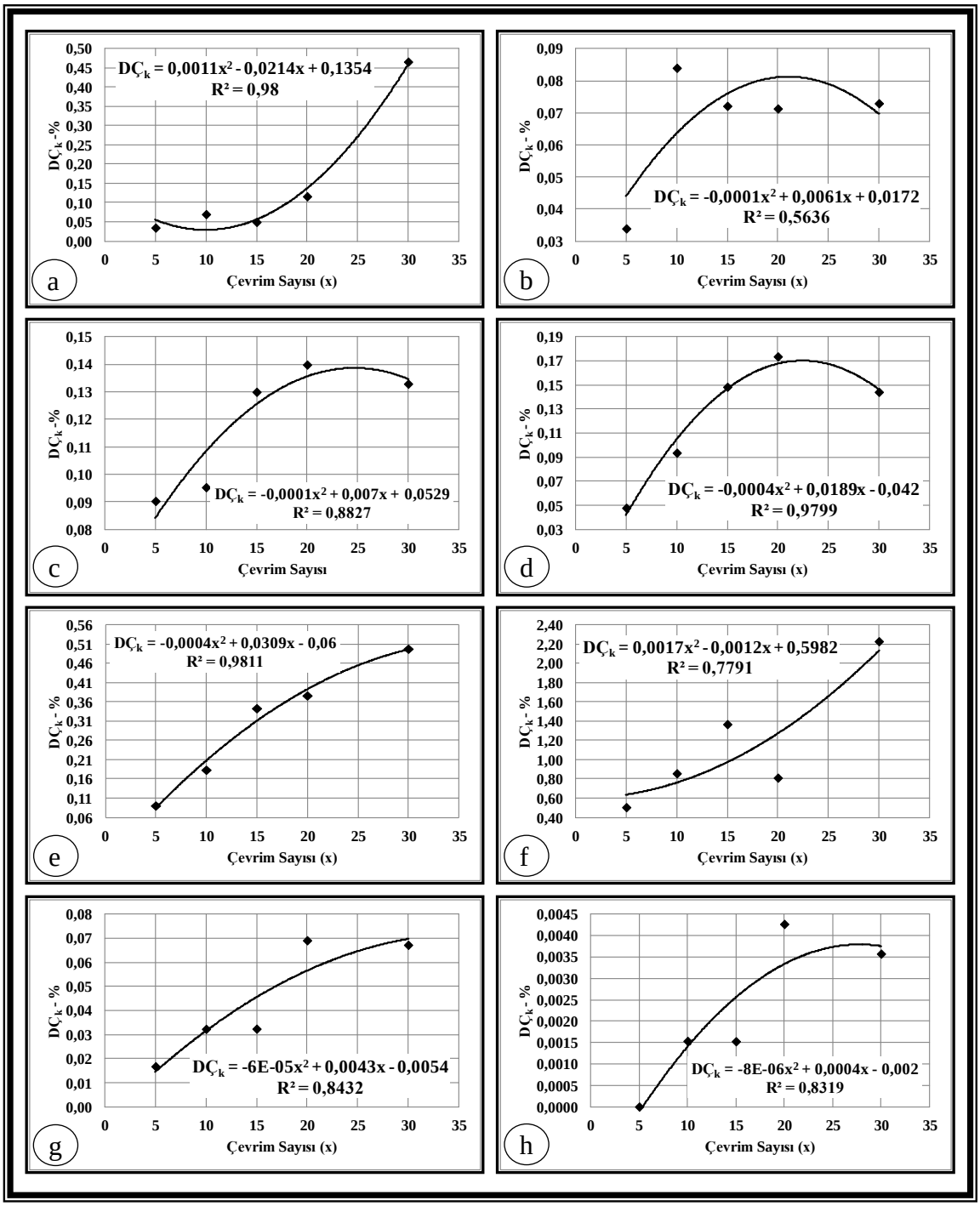
Kayaçların çevrim sayısı - $DÇ_k$ değerlerine ait grafikleri incelendiğinde 6, 19 ve 21 nolu örnekler son döngüde $DÇ_k$ değerlerinde belirgin bir artış gözlenmektedir. Diğer kayaçlarda ise değişim genelde donma-çözülme çevrim sayısının artışıyla doğru orantılıdır.

Çizelge 4.10. İncelenen örneklerin donma-çözünme döngüleri sonrası donma-çözülme kaybı ($\boldsymbol{D\text{Ç}_k}$-%) değerlerindeki değişimler

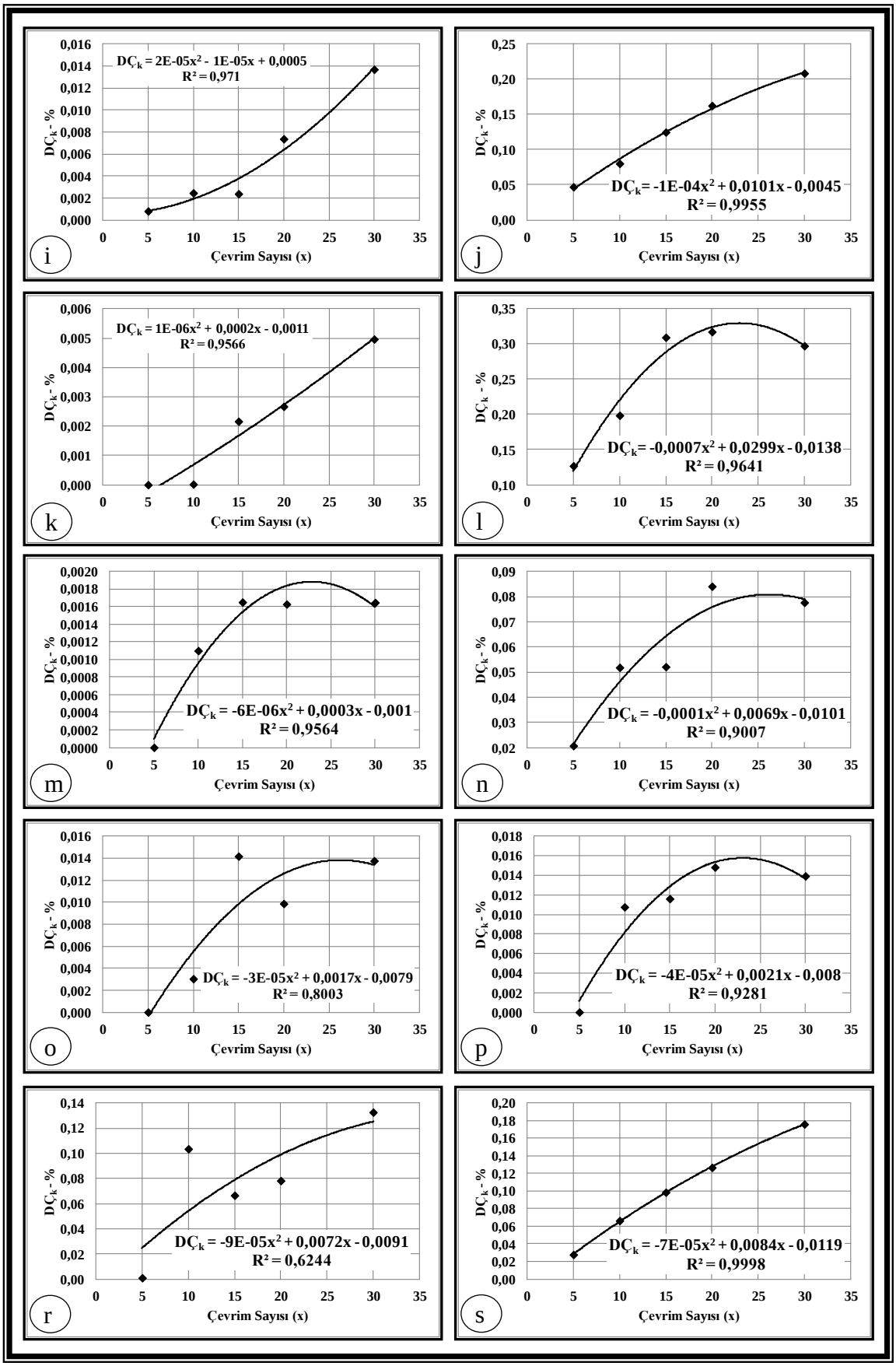
Örnek No	Donma-Çözülme Döngüleri				
	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	0,035±0,045	0,070±0,027	0,050±0,041	0,116±0,058	0,466±0,343
2	0,034±0,018	0,084±0,036	0,072±0,037	0,071±0,021	0,073±0,029
3	0,090±0,035	0,095±0,015	0,130±0,030	0,140±0,041	0,133±0,033
4	0,048±0,022	0,094±0,023	0,148±0,027	0,174±0,040	0,144±0,042
5	0,090±0,104	0,183±0,140	0,343±0,184	0,377±0,039	0,498±0,195
6	0,505±0,117	0,857±0,304	1,369±0,107	0,812±0,335	2,232±1,927
7	0,017±0,012	0,032±0,016	0,032±0,026	0,069±0,065	0,067±0,044
8	0,000±0,001	0,002±0,002	0,002±0,002	0,004±0,004	0,004±0,004
9	0,01±0,002	0,002±0,004	0,002±0,004	0,007±0,007	0,014±0,010
10	0,047±0,033	0,080±0,037	0,125±0,026	0,162±0,031	0,208±0,018
11	0,000±0,001	0,000±0,002	0,002±0,002	0,003±0,002	0,005±0,002
12	0,127±0,208	0,199±0,049	0,309±0,138	0,317±0,152	0,297±0,066
13	0,000±0,001	0,001±0,002	0,002±0,002	0,002±0,001	0,002±0,002
14	0,021±0,027	0,052±0,023	0,052±0,034	0,084±0,026	0,078±0,025
15	0,000±0,002	0,003±0,003	0,014±0,015	0,010±0,008	0,014±0,013
16	0,000±0,003	0,011±0,014	0,012±0,004	0,015±0,008	0,014±0,015
17	0,001±0,002	0,104±0,015	0,067±0,016	0,078±0,027	0,133±0,046
18	0,028±0,040	0,066±0,039	0,099±0,045	0,127±0,057	0,176±0,099
19	0,010±0,022	0,052±0,019	0,032±0,087	0,770±0,597	4,168±7,607
20	0,024±0,010	0,128±0,079	0,726±0,797	0,393±0,352	0,455±0,284
21	0,136±0,256	0,108±0,050	0,277±0,272	0,321±0,231	4,017±4,936
22	0,039±0,004	0,064±0,008	0,033±0,004	0,048±0,004	0,028±0,007

Çizelge 4.11. İncelenen örneklerin donma-çözülme kaybı değerinin ($\boldsymbol{D\text{Ç}_k}$), donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($\boldsymbol{D\text{Ç}_k}$: donma-çözülme kaybı değerleri, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

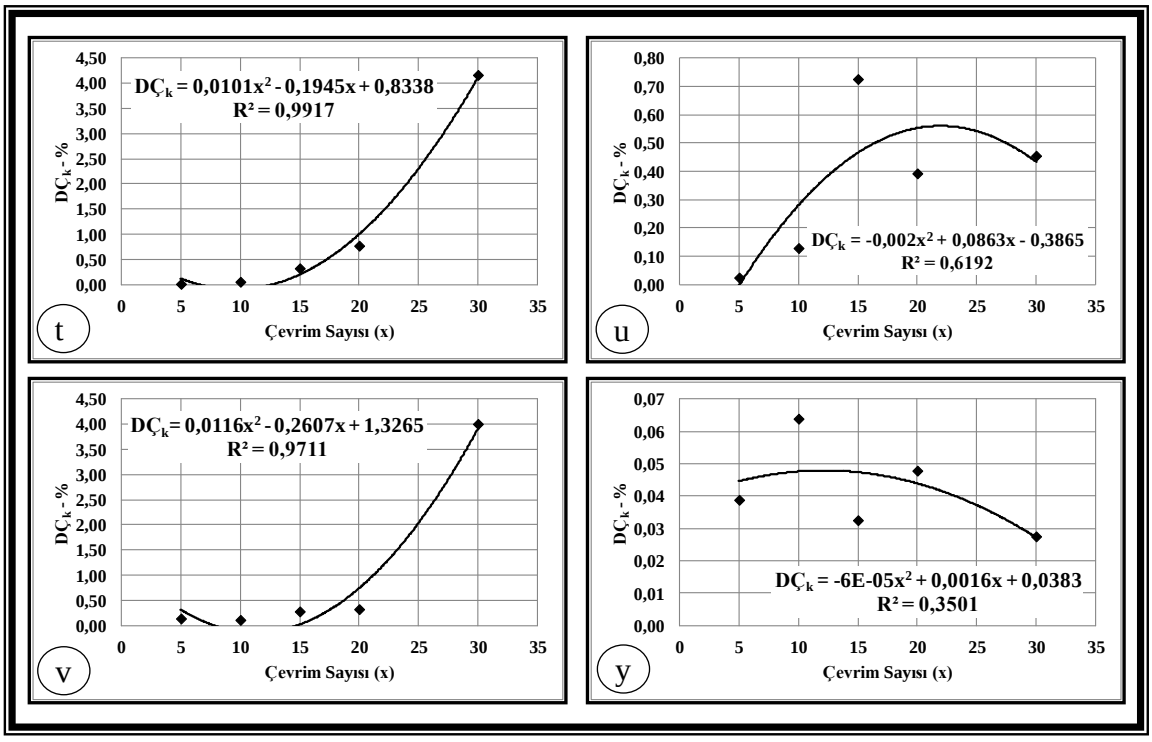
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$DÇ_k = 0{,}0011x^2 - 0{,}0214x + 0{,}1354$	0,9800
2	$DÇ_k = -9E\text{-}05x^2 + 0{,}0048x + 0{,}0234$	0,6011
3	$DÇ_k = -0{,}0001x^2 + 0{,}007x + 0{,}0529$	0,8827
4	$DÇ_k = -0{,}0004x^2 + 0{,}0189x - 0{,}0420$	0,9799
5	$DÇ_k = -0{,}0004x^2 + 0{,}0309x - 0{,}0600$	0,9811
6	$DÇ_k = 0{,}0017x^2 - 0{,}0012x + 0{,}5982$	0,7791
7	$DÇ_k = -6E\text{-}05x^2 + 0{,}0043x - 0{,}0054$	0,8432
8	$DÇ_k = -8E\text{-}06x^2 + 0{,}0004x - 0{,}0020$	0,8319
9	$DÇ_k = 2E\text{-}05x^2 - 1E\text{-}05x + 0{,}0005$	0,9710
10	$DÇ_k = -1E\text{-}04x^2 + 0{,}0101x - 0{,}0045$	0,9955
11	$DÇ_k = 1E\text{-}06x^2 + 0{,}0002x - 0{,}0011$	0,9566
12	$DÇ_k = -0{,}0007x^2 + 0{,}0299x - 0{,}0138$	0,9641
13	$DÇ_k = -6E\text{-}06x^2 + 0{,}0003x - 0{,}0010$	0,9564
14	$DÇ_k = -0{,}0001x^2 + 0{,}0069x - 0{,}0101$	0,9007
15	$DÇ_k = -3E\text{-}05x^2 + 0{,}0017x - 0{,}0079$	0,8003
16	$DÇ_k = -4E\text{-}05x^2 + 0{,}0021x - 0{,}008$	0,9281
17	$DÇ_k = -9E\text{-}05x^2 + 0{,}0072x - 0{,}0091$	0,6244
18	$DÇ_k = -7E\text{-}05x^2 + 0{,}0084x - 0{,}0119$	0,9998
19	$DÇ_k = 0{,}0101x^2 - 0{,}1945x + 0{,}8338$	0,9917
20	$DÇ_k = -0{,}002x^2 + 0{,}0863x - 0{,}3865$	0,6192
21	$DÇ_k = 0{,}0116x^2 - 0{,}2607x + 1{,}3265$	0,9711
22	$DÇ_k = -6E\text{-}05x^2 + 0{,}0016x + 0{,}0383$	0,3501



Şekil 4.7. İncelenen örneklerin donma-çözülme kaybı değerlerinin ($DÇ_k$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek,



Şekil 4.7. (Devam)



Şekil 4.7. (Devam)

4.2. Donma-Çözülmenin Kayaçların Dayanım Parametreleri Üzerine Etkisi

Donma-çözülme sürecinin dayanım parametreleri üzerindeki etkisi; tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), nokta yük dayanım değeri ($I_{s(50)}$) ve Brazilian yöntemiyle dolaylı çekme dayanımı (σ_t) parametrelerindeki değişimler ile araştırılmıştır.

Dayanım özelliklerinde donma-çözülme sürecine bağlı olarak gözlenen değişimler alt başlıklar halinde aşağıdaki bölümlerde incelenecektir.

4.2.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$) üzerine etkisi

Numunelerin tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ISRM (1981)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen verilerden Hoek ve Brown (1980)' de önerdikleri standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değerine getirilmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değeri en düşük 7,57 MPa ile 12 nolu örnekte, en yüksek değer ise 141,56 MPa ile 8 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Örneklerin şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası $\sigma_{c(50)}$ değerleri Çizelge 4.12' de

verilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde, 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük $\sigma_{c(50)}$ değeri 5,43 MPa ile 19 nolu örnek, en yüksek $\sigma_{c(50)}$ değerine sahip örnek ise 105,26 MPa ile 8 nolu örnektir. Kayaçların 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanım ($\sigma_{c(50)}$) değerleri D-Ç sürecinin ilerlemesiyle azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8 ve Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası tek eksenli sıkışma dayanım ($\boldsymbol{\sigma_{c(50)}}$-MPa) değerlerindeki değişimler

Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	68,62±8,57	69,45±10,48	57,99±9,40	51,58±8,97	56,67±6,77	43,07±4,30
2	29,86±2,52	29,58±3,89	24,66±6,96	26,22±4,41	22,92±4,54	26,44±3,67
3	32,42±2,60	31,35±6,70	25,71±2,27	29,25±2,53	26,17±4,70	27,31±4,14
4	60,60±5,55	59,44±5,78	56,54±3,98	55,26±5,99	44,29±4,17	45,90±3,06
5	83,98±8,72	85,26±3,55	81,30±9,96	69,41±6,45	71,58±12,0	57,94±5,61
6	17,05±1,64	16,54±2,39	14,25±2,67	13,63±3,24	12,40±0,70	13,18±1,30
7	23,16±2,72	22,06±3,11	17,72±2,18	17,05±0,63	15,65±3,33	12,41±1,57
8	141,56±12,9	143,07±13,0	112,86±7,7	122,24±13,6	113,99±10,0	105,26±5,7
9	48,63±2,52	45,09±1,45	41,22±3,59	43,53±4,47	34,23±2,33	37,29±4,54
10	10,55±0,59	10,14±0,93	9,02±1,22	8,81±1,50	8,63±0,58	8,33±0,81
11	117,20±9,17	116,53±19,8	113,52±18,2	93,93±8,06	99,42±12,1	85,08±12,2
12	7,57±0,65	7,82±0,33	6,96±1,51	7,08±0,95	5,73±0,40	5,90±1,26
13	112,79±7,91	117,84±3,86	95,01±3,25	92,41±5,73	80,42±7,25	83,54±15,4
14	31,57±1,81	29,35±4,02	23,62±2,22	19,22±2,58	19,03±2,21	19,41±2,68
15	48,38±9,84	48,00±2,31	46,41±3,37	43,64±3,50	43,23±2,52	43,69±3,78
16	36,64±5,46	35,84±5,38	35,87±0,83	31,65±5,55	32,11±2,31	30,13±5,22
17	28,27±1,69	27,08±1,72	22,18±2,54	22,49±4,54	21,78±1,32	19,49±2,01
18	16,86±0,81	14,95±2,51	13,92±0,94	11,64±1,03	11,70±3,20	9,89±1,04
19	24,51±1,28	18,69±2,09	17,95±1,73	8,53±0,78	6,35±1,26	5,43±1,12
20	15,68±1,68	14,73±2,51	14,15±0,82	13,91±2,02	10,22±1,76	5,76±0,15
21	12,36±0,94	11,41±0,86	11,04±0,76	10,62±1,40	7,70±0,95	6,81±0,90
22	125,74±8,49	120,50±19,1	106,96±23,2	99,49±7,73	106,85±10,2	96,48±13,8

Kayaçların $\sigma_{c(50)}$ özelliğinin donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.8 ve Çizelge 4.13). Numuneler içinde en küçük R^2 değeri 0,6591 ile 3 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9767 ile 18 nolu örneğe aittir. Kayaç grupları içinde en yüksek R^2 değerleri çoğunlukla piroklastik kayaçlarda, en düşük R^2 değerler ise karbonatlı kayaçlarda belirlenmiştir.

Numunelerin donma-çözünme sonrası $\sigma_{c(50)}$ özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.8'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.8'deki grafikler incelendiğinde $\sigma_{c(50)}$ değerinin donma-çözülme döngüsünün artmasıyla genelde yüzdesel olarak azalma eğilimindedir. Donma-çözülme süreci sonrasında $\sigma_{c(50)}$ değerlerinde en yüksek yüzdesel değişim Nevşehir bölgesine ait piroklastik örnekler ile

Konya bölgesinden alınan yüksek poroziteli 7 nolu örnekte gözlenmiştir. Nevşehir yöresi örnekler için yüzdesel değişim aralığı en düşük 18 nolu örnekte % 41,44 ve en yüksek 19 nolu örnekte % 77,85 olarak belirlenmiştir. 7 nolu örnekte donma-çözülme sonra $\sigma_{c(50)}$ değerindeki değişim % 46,42 dir.

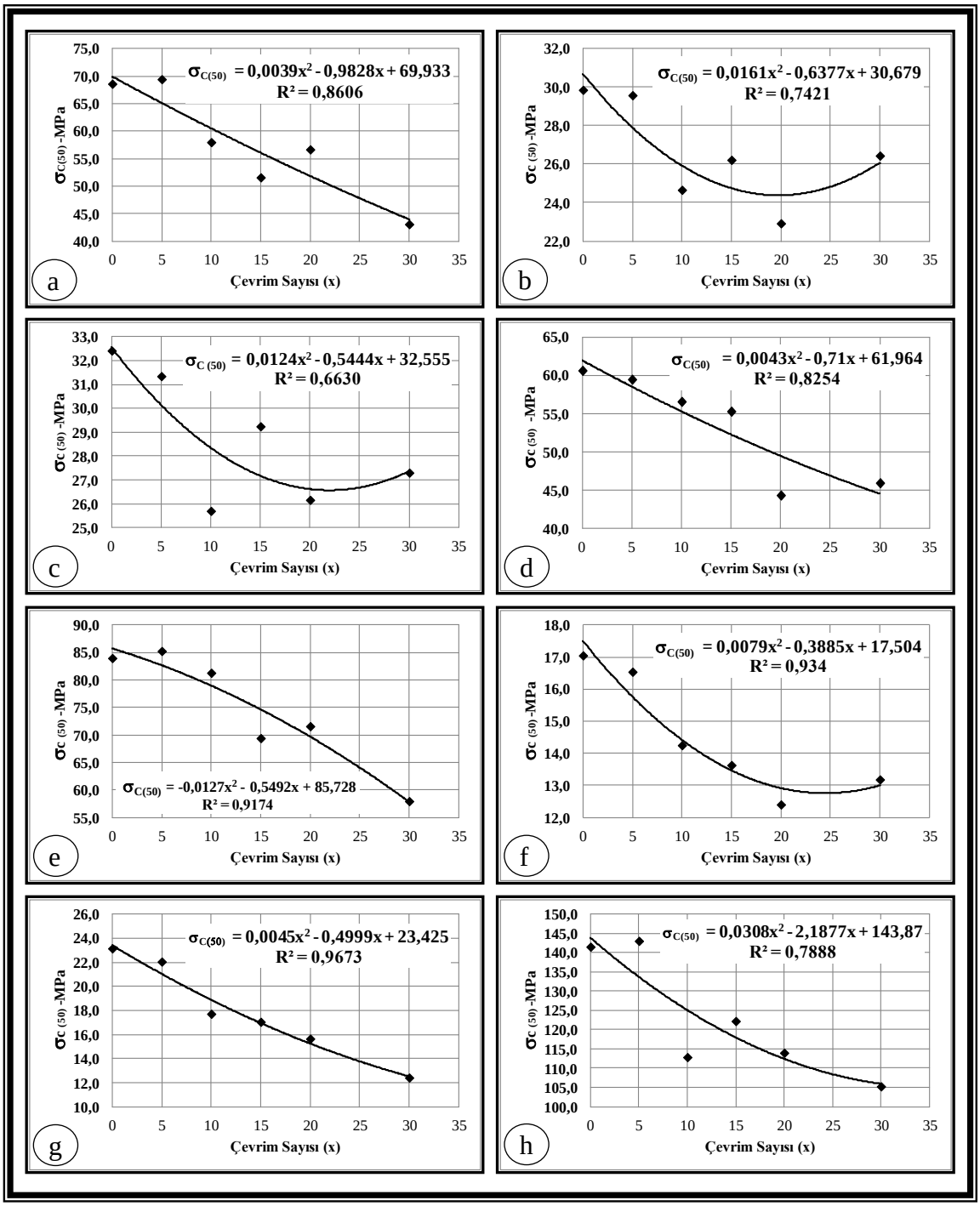
Kayaçların $\sigma_{c(50)}$ değerlerindeki yüzdesel değişim grafikleri incelendiğinde piroklastik kayaçların büyük bir çoğunluğunda yüzdesel değişim ilk döngülerden itibaren belirgin olarak gözlenmektedir. Diğer kayaçlarda ise değişim genelde donma-çözülmenin ikinci döngüsünden sonra gözlenmektedir.

Çizelge 4.13. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım ($\boldsymbol{\sigma_{c(50)}}$), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($\boldsymbol{\sigma_{c(50)}}$: tek eksenli sıkışma dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı)

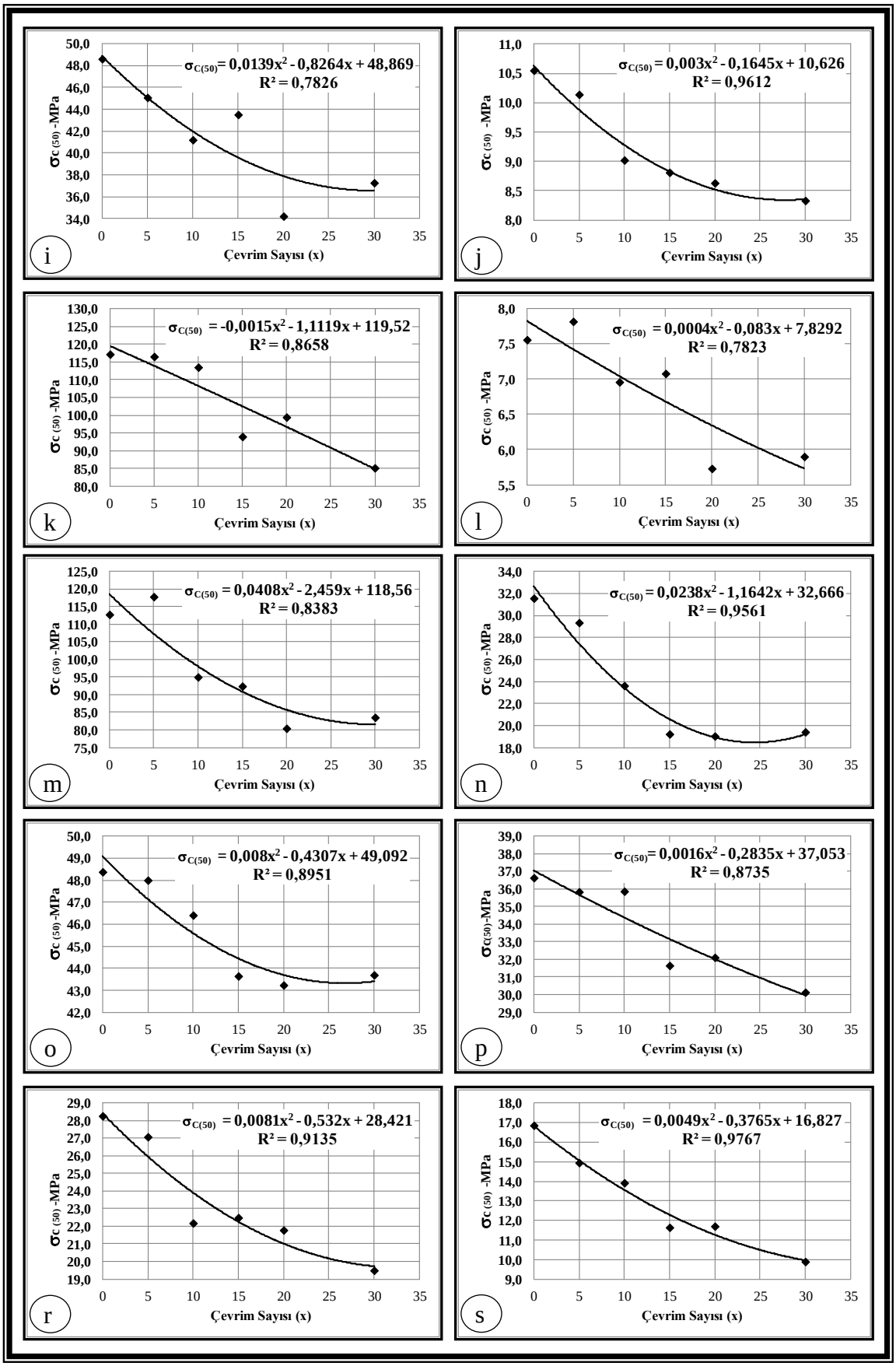
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$\sigma_{c(50)}$= 0,0039x^2 - 0,9828x + 69,933	0,8606
2	$\sigma_{c(50)}$= 0,0161x^2 - 0,6377x + 30,679	0,7421
3	$\sigma_{c(50)}$= 0,0130x^2 - 0,5562x + 32,584	0,6591
4	$\sigma_{c(50)}$= 0,0043x^2 - 0,7100x + 61,964	0,8254
5	$\sigma_{c(50)}$= -0,0127x^2 - 0,5492x + 85,728	0,9174
6	$\sigma_{c(50)}$= 0,0079x^2 - 0,3885x + 17,504	0,9340
7	$\sigma_{c(50)}$= 0,0045x^2 - 0,4999x + 23,425	0,9673
8	$\sigma_{c(50)}$= 0,0308x^2 - 2,1877x + 143,87	0,7888
9	$\sigma_{c(50)}$= 0,0139x^2 - 0,8264x + 48,869	0,7826
10	$\sigma_{c(50)}$= 0,0030x^2 - 0,1645x + 10,626	0,9612
11	$\sigma_{c(50)}$= -0,0015x^2 - 1,1119x + 119,52	0,8658
12	$\sigma_{c(50)}$= 0,0004x^2 - 0,0830x + 7,8292	0,7823
13	$\sigma_{c(50)}$= 0,0408x^2 - 2,4590x + 118,56	0,8383
14	$\sigma_{c(50)}$= 0,0238x^2 - 1,1642x + 32,666	0,9561
15	$\sigma_{c(50)}$= 0,0080x^2 - 0,4307x + 49,092	0,8951
16	$\sigma_{c(50)}$= 0,0016x^2 - 0,2835x + 37,053	0,8735
17	$\sigma_{c(50)}$= 0,0081x^2 - 0,5320x + 28,421	0,9135
18	$\sigma_{c(50)}$= 0,0049x^2 - 0,3765x + 16,827	0,9767
19	$\sigma_{c(50)}$= 0,0203x^2 - 1,2874x + 25,153	0,9376
20	$\sigma_{c(50)}$= -0,0103x^2 - 0,0207x + 15,507	0,9735
21	$\sigma_{c(50)}$= -0,0014x^2 - 0,1550x + 12,430	0,9161
22	$\sigma_{c(50)}$= 0,0342x^2 - 1,9696x + 126,20	0,8713

4.2.2. Donma-çözülme sürecinin kayaçların nokta yük dayanım indeks değerleri ($\boldsymbol{I_{s(50)}}$) üzerine etkisi

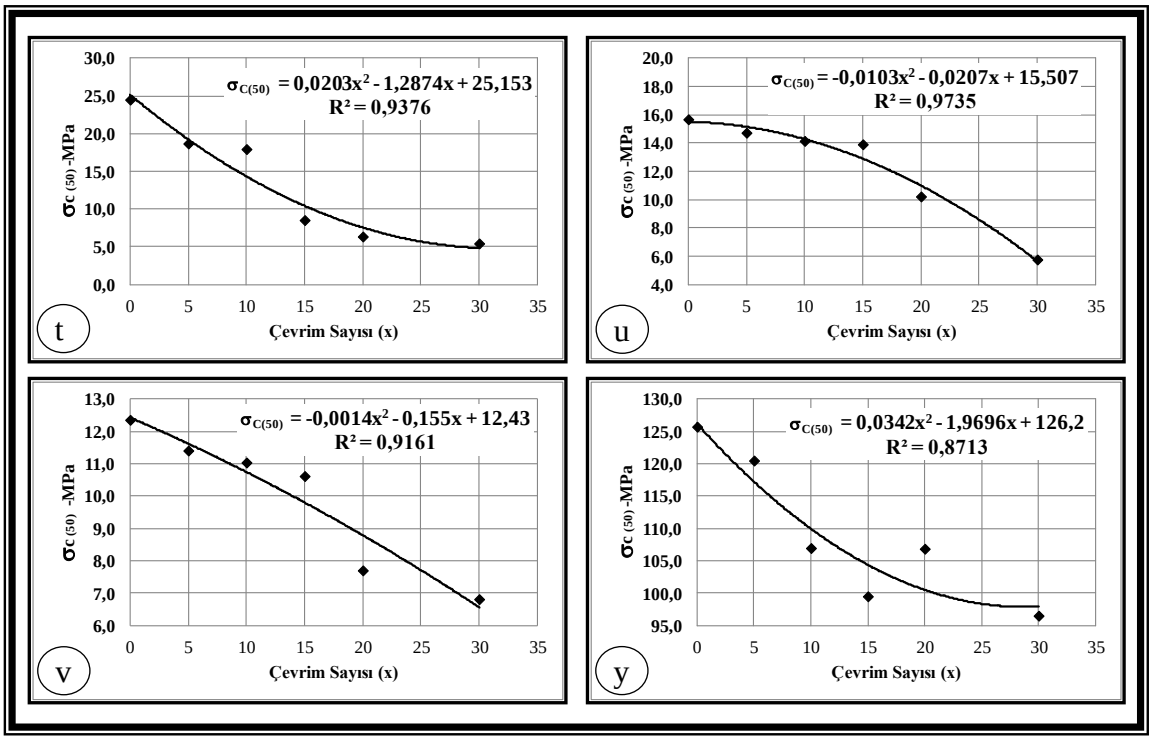
Numunelerin nokta yük dayanım indeksi (I_s) ISRM (1985)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiş ve bu değerler kullanılarak standart 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değeri hesaplanmıştır. Bu çalışma için seçilen 22



Şekil 4.8. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin($\sigma_{c(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



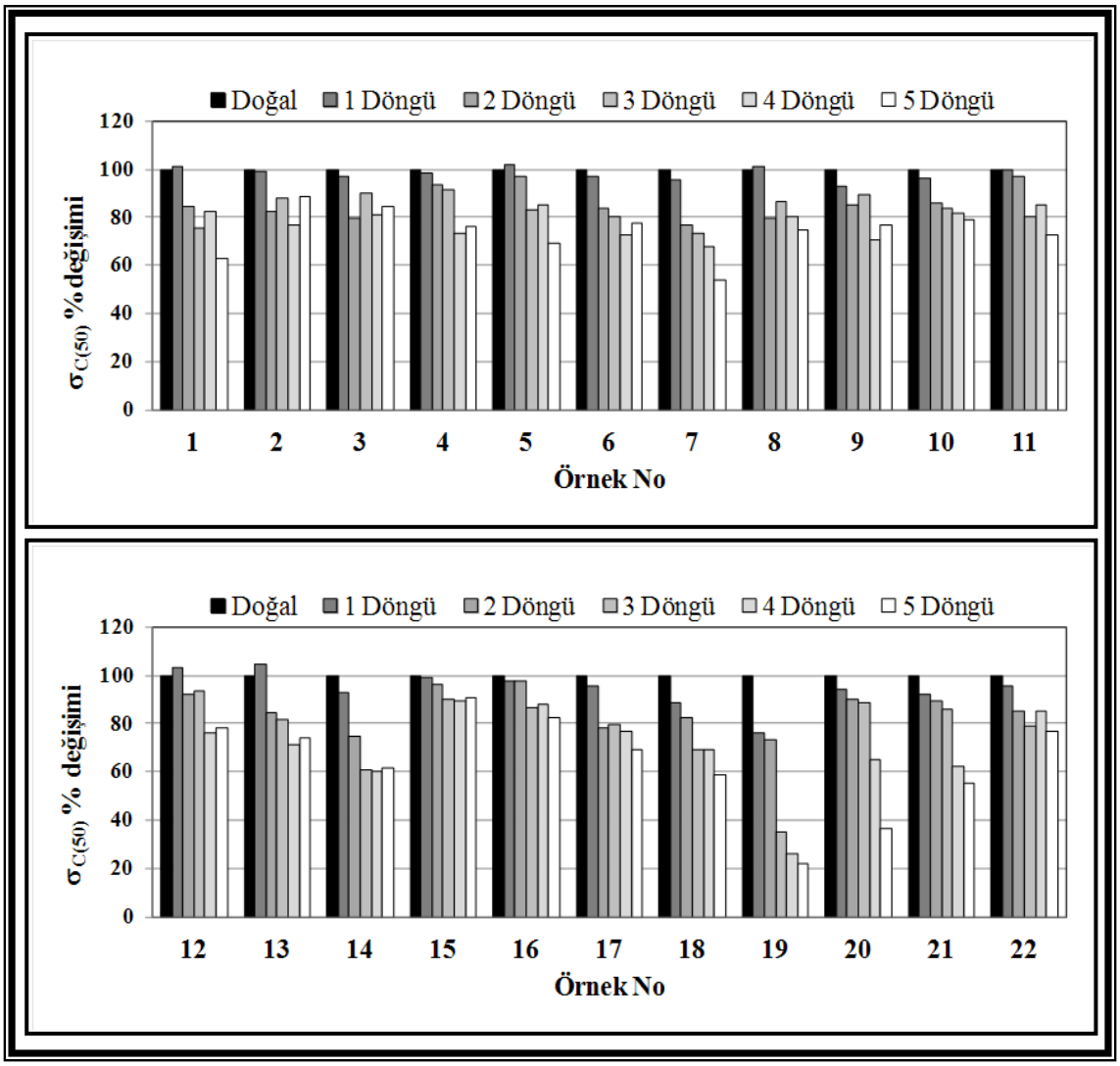
Şekil 4.8. (Devam)



Şekil 4.8. (Devam)

örneğin 50 mm çaptaki nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri 0,83 MPa (19 nolu kayaç) ile 8,28 MPa (13 nolu kayaç) arasında değişmektedir (Çizelge 4.14). Numunelerin şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası ($I_{s(50)}$) değerleri toplu olarak Çizelge 4,14'de gösterilmiştir. Çizelge 4,14 incelendiğinde; 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük ($I_{s(50)}$) değeri 0,51 MPa ile 19 nolu kayaçta, en yüksek ($I_{s(50)}$) değerine sahip kayaç ise 7,42 MPa ile 8 nolu kayaçtır.

Kayaçların düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) özelliğinin donma-çözülme sürecini bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.10 ve Çizelge 4.15). Kayaçların çevrim sayısı - düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 22 nolu örnekte (R^2=0,3588) tespit edilmiştir. 22 nolu Kaman Rose isimli granit örneği içerisinde iri ortaklas kristalleri yer almaktadır. Bu iri ortaklas kristalleri nokta yük dayanım indeksi değerlerini etkilemektedir (Fener ve İnce 2012b). 22 nolu örneğin standart sapma değerlerindeki geniş aralık ve iri ortaklas kristallerinin etkisi göz önüne alınarak donma-çözülme sürecinin kayaçların nokta yük dayanım indeksi üzerine etkisi incelenirken bu örnek değerlendirilmeyecektir.



Şekil 4.9. İncelenen örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım değerlerinin($\boldsymbol{\sigma_{c(50)}}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

Kayaçların düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri D-Ç sürecinin ilerlemesiyle azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.10 ve Çizelge 4.14). Numuneler düzeltilmiş nokta yük indisi ile çevrim sayısı arasındaki belirlilik katsayısı (R^2) en küçük değeri 0,5409 ile 11 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9859 ile 5 nolu örneğe aittir.

Numunelerin donma-çözünme sonrası düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.11'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.11'deki grafikler kontrol edildiğinde düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi değerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu azalış piroklastik kayaçların çoğunluğunda ilk döngüden itibaren yaklaşık olarak % 10 değerinin üzerinde (6, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18,

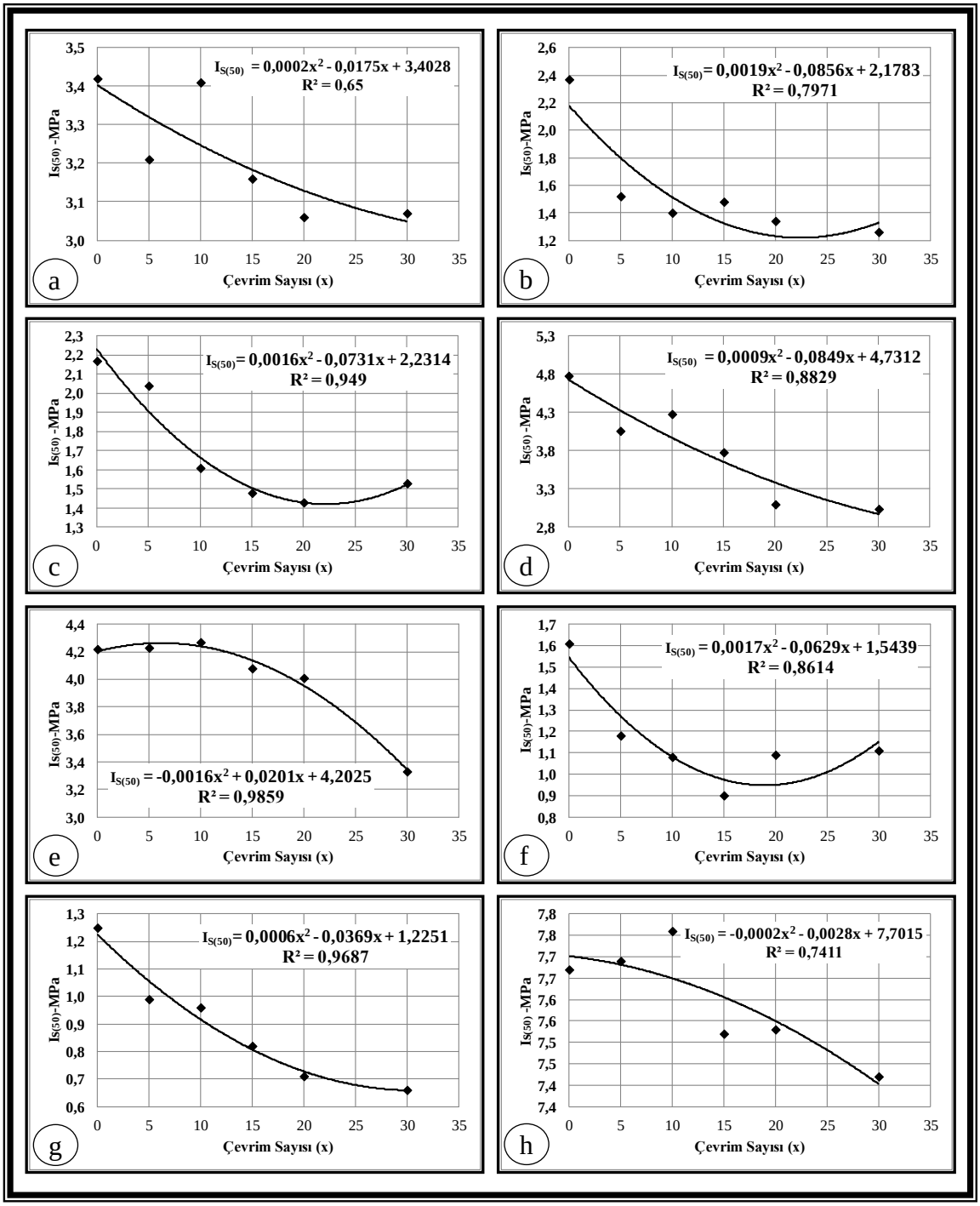
Çizelge 4.14. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$-MPa) değerlerindeki değişimler

Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	3,42±0,57	3,21±0,48	3,41±0,66	3,16±0,54	3,06±0,38	3,07±0,46
2	2,37±0,35	1,52±0,39	1,40±0,36	1,48±0,56	1,34±0,30	1,26±0,33
3	2,17±0,32	2,04±0,64	1,61±0,35	1,48±0,38	1,43±0,35	1,53±0,63
4	4,78±0,75	4,06±0,43	4,28±0,59	3,78±1,12	3,10±0,72	3,04±1,13
5	4,22±0,98	4,23±1,03	4,27±1,06	4,08±1,22	4,01±0,74	3,33±0,83
6	1,61±0,19	1,18±0,24	1,08±0,24	0,90±0,14	1,09±0,33	1,11±0,20
7	1,25±0,23	0,99±0,15	0,96±0,27	0,82±0,19	0,71±0,16	0,66±0,18
8	7,67±0,51	7,69±1,32	7,76±0,54	7,52±0,64	7,53±1,02	7,42±0,87
9	3,27±0,27	2,92±0,18	2,88±0,35	2,91±0,12	2,83±0,42	2,80±0,22
10	1,23±0,17	0,90±0,17	1,03±0,17	0,89±0,11	0,89±0,12	0,83±0,13
11	3,44±0,48	3,31±0,52	3,44±0,19	3,20±0,92	3,10±0,60	3,27±0,64
12	1,03±0,09	0,91±0,10	0,94±0,09	0,78±0,11	0,61±0,14	0,75±0,11
13	8,28±0,74	8,00±1,03	7,77±0,94	7,39±1,20	6,96±0,68	6,98±1,00
14	1,94±0,27	1,65±0,23	1,55±0,13	1,69±0,15	1,57±0,16	1,63±0,10
15	2,79±0,27	2,49±0,25	2,25±0,20	2,40±0,15	2,38±0,34	2,33±0,21
16	2,68±0,41	2,64±0,59	2,58±0,39	2,45±0,55	2,41±0,54	2,47±0,37
17	1,88±0,28	1,62±0,15	1,54±0,32	1,56±0,12	1,58±0,17	1,52±0,12
18	1,02±0,20	0,78±0,10	0,91±0,15	0,79±0,14	0,75±0,14	0,76±0,19
19	0,83±0,16	0,63±0,12	0,67±0,15	0,62±0,07	0,57±0,13	0,51±0,08
20	1,24±0,09	1,08±0,08	1,05±0,20	0,89±0,17	0,92±0,05	0,85±0,09
21	1,18±0,10	0,90±0,10	1,00±0,14	0,75±0,11	0,66±0,27	0,76±0,10
22	4,52±1,07	5,13±1,62	4,77±1,21	3,57±1,51	4,99±1,91	5,73±0,70

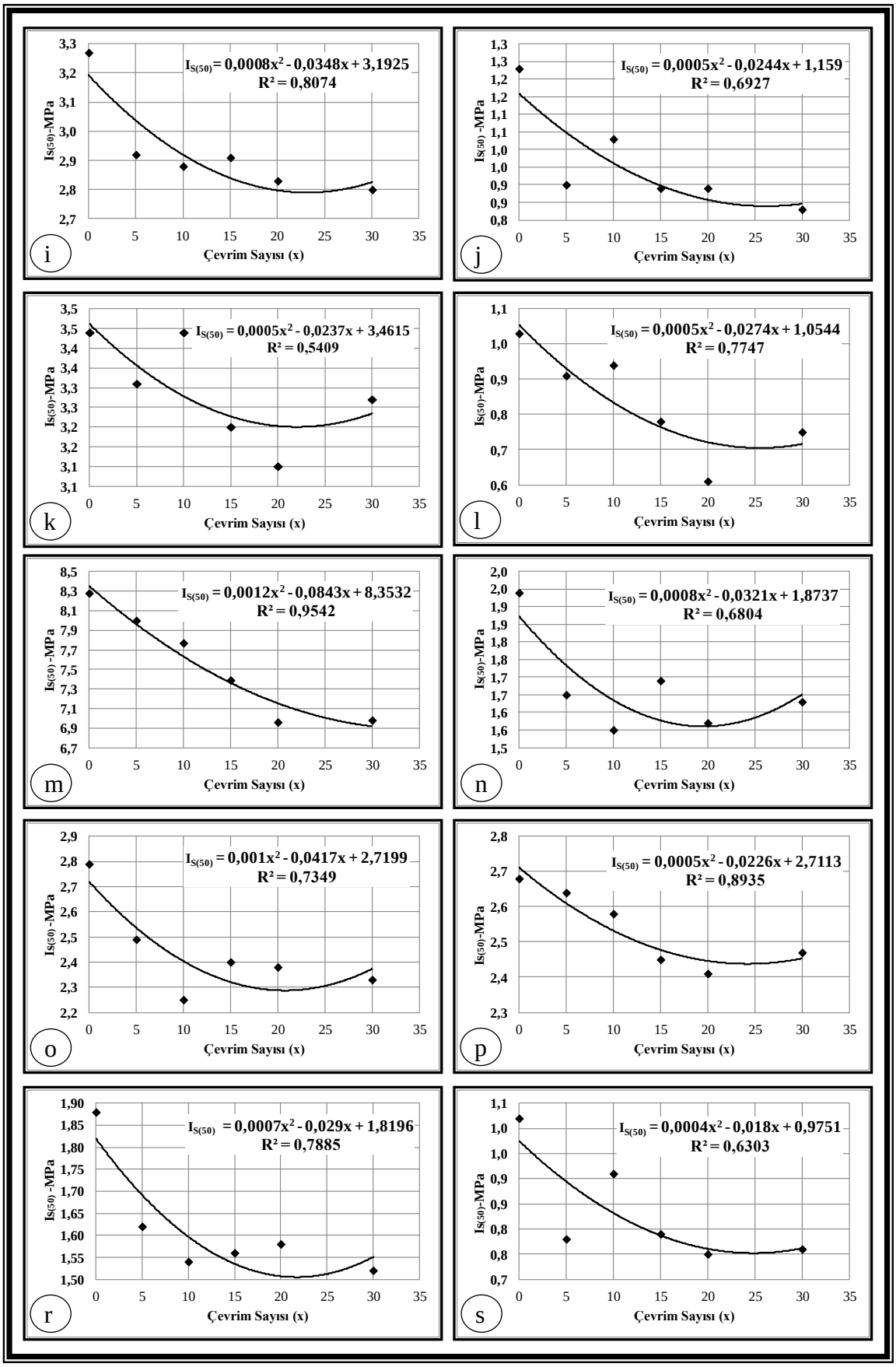
Çizelge 4.15. İncelenen örneklerin 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($I_{s(50)}$: 50 mm çapında örnek için nokta yük dayanım indeksi, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$I_{s(50)}$= 0,0002x^2 - 0,0175x + 3,4028	0,6500
2	$I_{s(50)}$= 0,0019x^2 - 0,0856x + 2,1783	0,7971
3	$I_{s(50)}$= 0,0016x^2 - 0,0731x + 2,2314	0,9490
4	$I_{s(50)}$= 0,0009x^2 - 0,0849x + 4,7312	0,8829
5	$I_{s(50)}$= -0,0016x^2 + 0,0201x + 4,2025	0,9859
6	$I_{s(50)}$= 0,0017x^2 - 0,0629x + 1,5439	0,8614
7	$I_{s(50)}$= 0,0006x^2 - 0,0369x + 1,2251	0,9687
8	$I_{s(50)}$= -0,0002x^2 - 0,0028x + 7,7015	0,7411
9	$I_{s(50)}$= 0,0008x^2 - 0,0348x + 3,1925	0,8074
10	$I_{s(50)}$= 0,0005x^2 - 0,0244x + 1,1590	0,6927
11	$I_{s(50)}$= 0,0005x^2 - 0,0237x + 3,4615	0,5409
12	$I_{s(50)}$= 0,0005x^2 - 0,0274x + 1,0544	0,7747
13	$I_{s(50)}$= 0,0012x^2 - 0,0843x + 8,3532	0,9542
14	$I_{s(50)}$= 0,0008x^2 - 0,0321x + 1,8737	0,6804
15	$I_{s(50)}$= 0,0010x^2 - 0,0417x + 2,7199	0,7349
16	$I_{s(50)}$= 0,0005x^2 - 0,0226x + 2,7113	0,8935
17	$I_{s(50)}$= 0,0007x^2 - 0,0290x + 1,8196	0,7885
18	$I_{s(50)}$= 0,0004x^2 - 0,0180x + 0,9751	0,6303
19	$I_{s(50)}$= 0,0002x^2 - 0,0161x + 0,7873	0,8371
20	$I_{s(50)}$= 0,0005x^2 - 0,0264x + 1,2290	0,9459
21	$I_{s(50)}$= 0,0008x^2 - 0,0387x + 1,1660	0,8240
22	$I_{s(50)}$= 0,0036x^2 - 0,1010x + 5,4284	0,3588

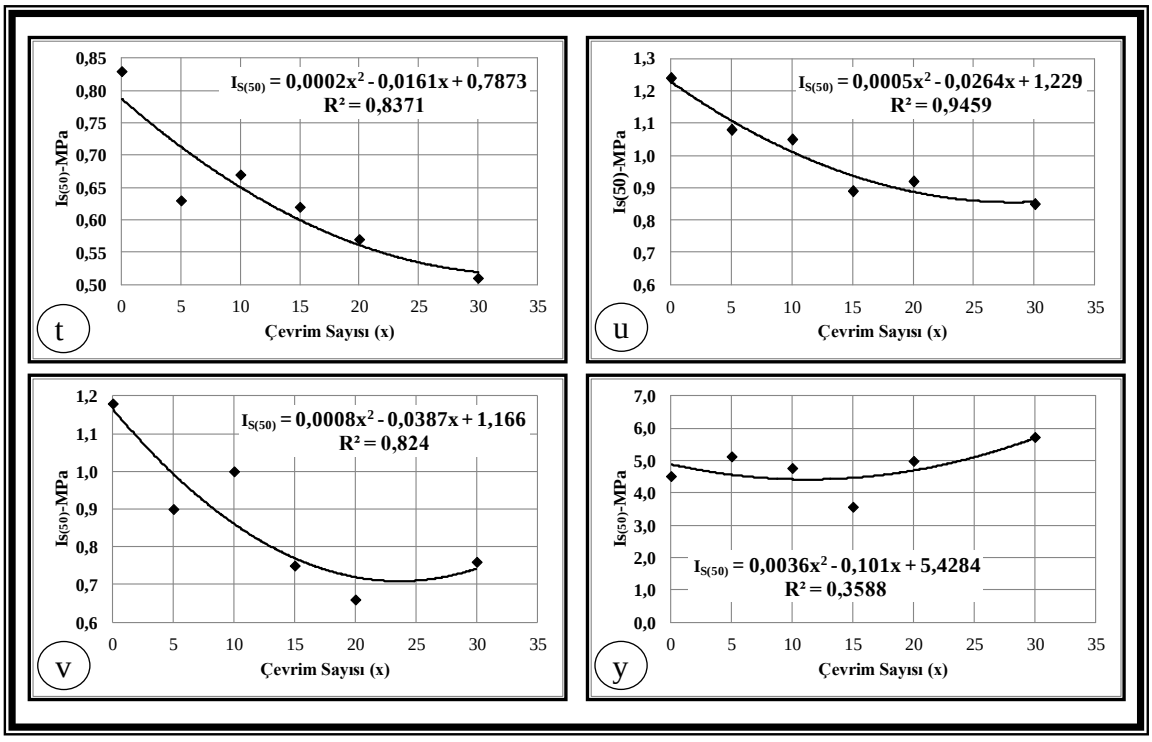
19, 20 ve 21 nolu örnekler) gözlenirken, 1, 3, 11 ve 13 nolu örneklerde % 10 değerinin altında değişim gözlenmiştir. 5 ve 8 nolu örneklerde ise ilk D-Ç döngüsü sonrası değişim gözlenememiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.10. İncelenen örneklerin düzeltilmiş nokta yük dayanım değerlerinin ($I_{s(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



Şekil 4.10. (Devam)

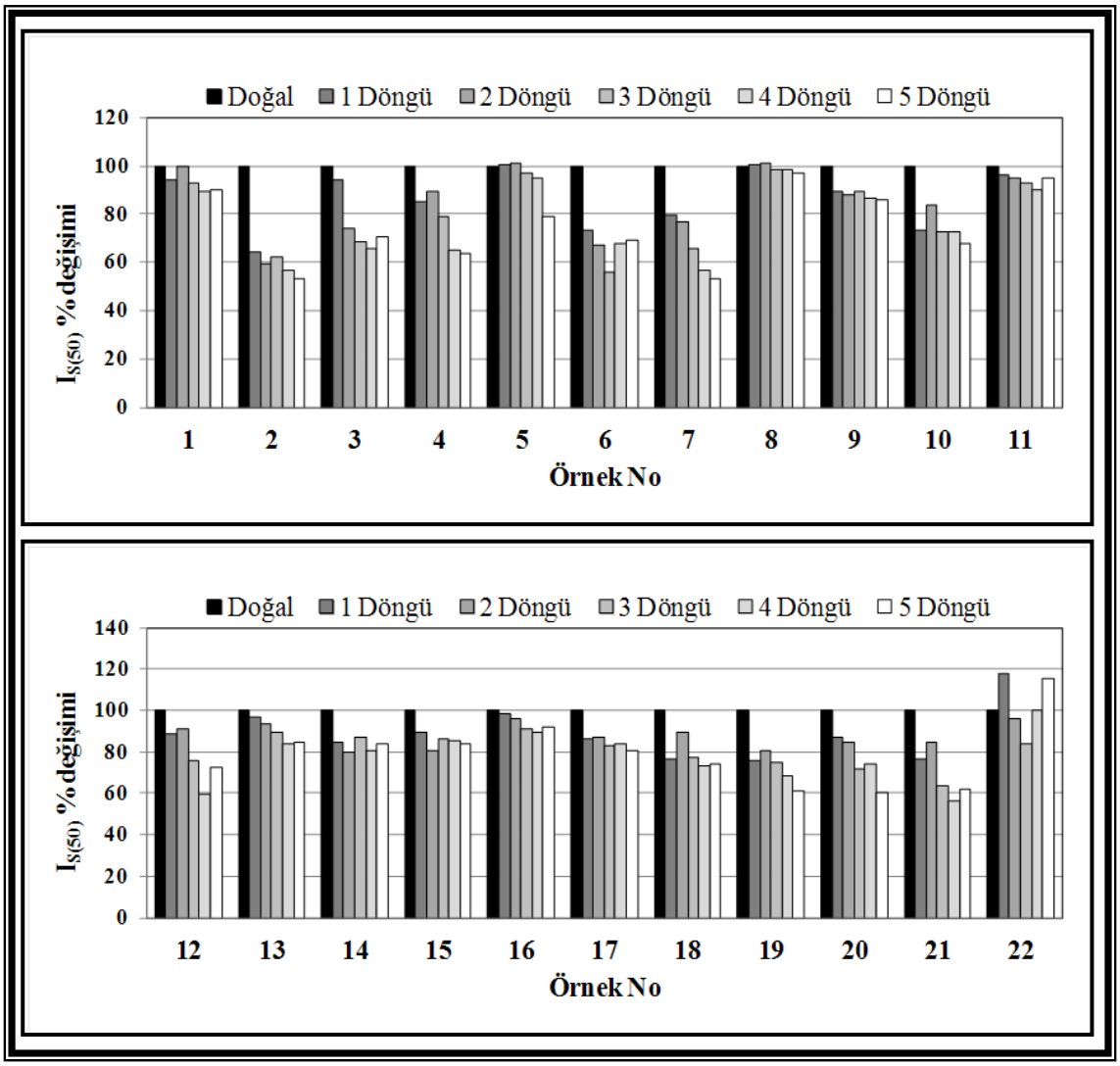


Şekil 4.10. (Devam)

Donma-çözülmenin 5. döngüsü sonrası en yüksek yüzdesel değişim başlangıç değerine göre % 47,20 azalma ile 7 nolu örnekte, en az değişim % 3,26 ile 8 nolu örnekte gözlenmiştir. 5. Döngü sonrası yüzdesel değişimler kayaç grupları açısından incelendiğinde en çok değişim 7 ve 2 nolu karbonatlı kayaçlarda en az değişim 8 nolu magmatik kayaçta gözlenmiştir.

4.2.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların dolaylı çekilme dayanımı (σ_t) üzerine etkisi

Numunelerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t) değerleri CANMET (1977)'de önerilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen örneklerin dolaylı çekilme dayanım σ_t değeri 1,12 MPa (19 nolu örnek) ile 9,07 MPa (8 nolu örnek) arasında değişmektedir (Çizelge 4.16). Numunede şahit ve her donma-çözülme döngüsü sonrası dolaylı çekilme dayanım değerleri (σ_t) toplu sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.16 incelendiğinde, 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük σ_t 0,69 MPa ile 19 nolu örnek, en yüksek σ_t sahip kayaç ise 8,14 MPa değeri ile 22 nolu örnektedir. Kayaçların dolaylı çekilme dayanım (σ_t) değerleri D-Ç sürecinin ilerlemesiyle azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.12 ve Çizelge 4.16).



Şekil 4.11. İncelenen örneklerin düzeltilmiş nokta yük dayanım değerlerinin ($I_{s(50)}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

Kayaçların dolaylı çekilme dayanım (σ_t) özelliğinin donma-çözülme sürecini bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem hesaplanmıştır (Şekil 4.12 ve Çizelge 4.17). Kayaçların çevrim sayısı-dolaylı çekilme dayanım (σ_t) grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 0,5073 ile 3 nolu örnekte en yüksek 0,9637 ile 9 nolu örnekte tespit edilmiştir.

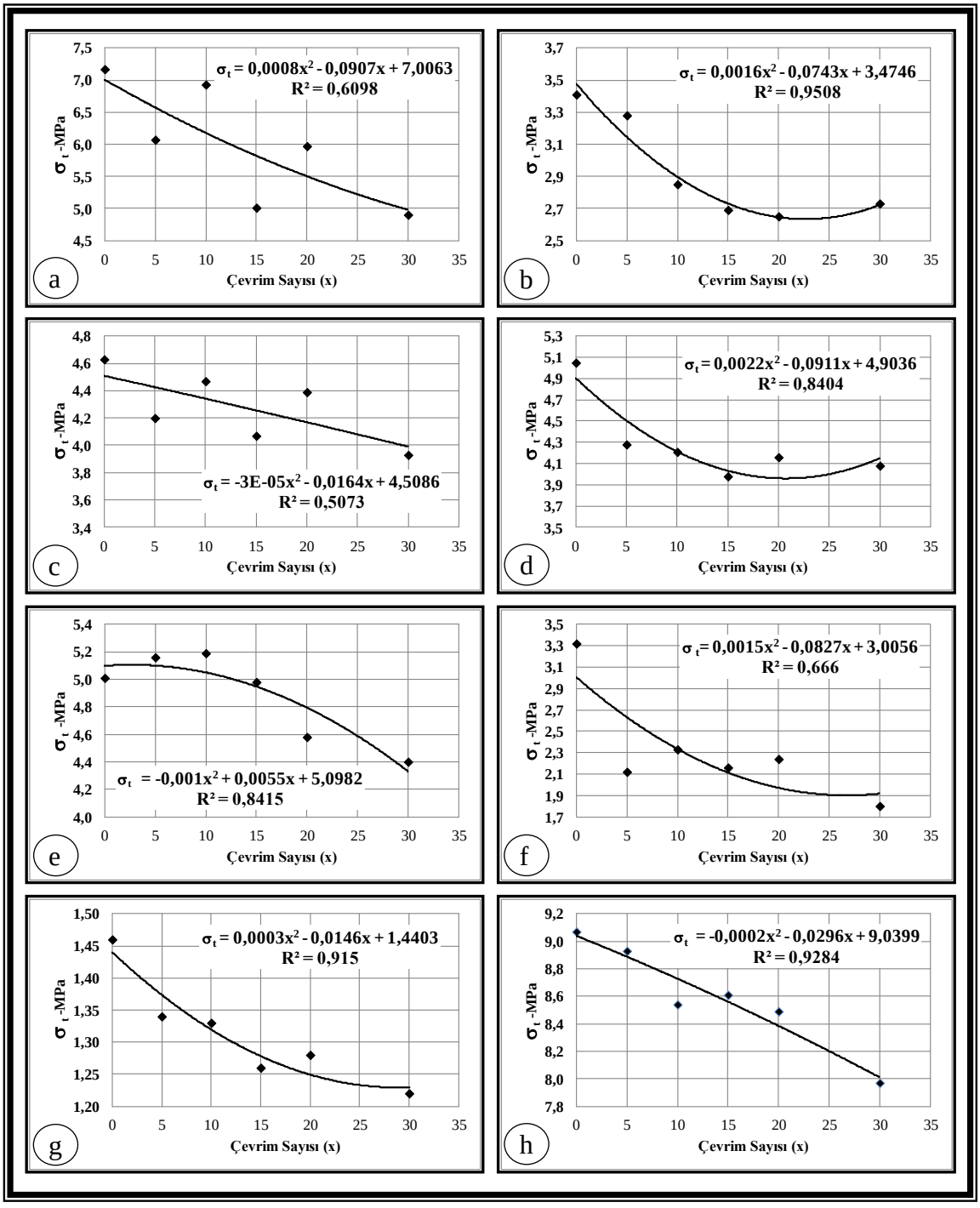
Numunelerin donma-çözünme sonrası dolaylı çekilme dayanım (σ_t) özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.13'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.13'deki grafikler incelendiğinde dolaylı çekilme dayanım değerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası dolaylı çekilme dayanım (σ_t-MPa) değerlerindeki değişimler

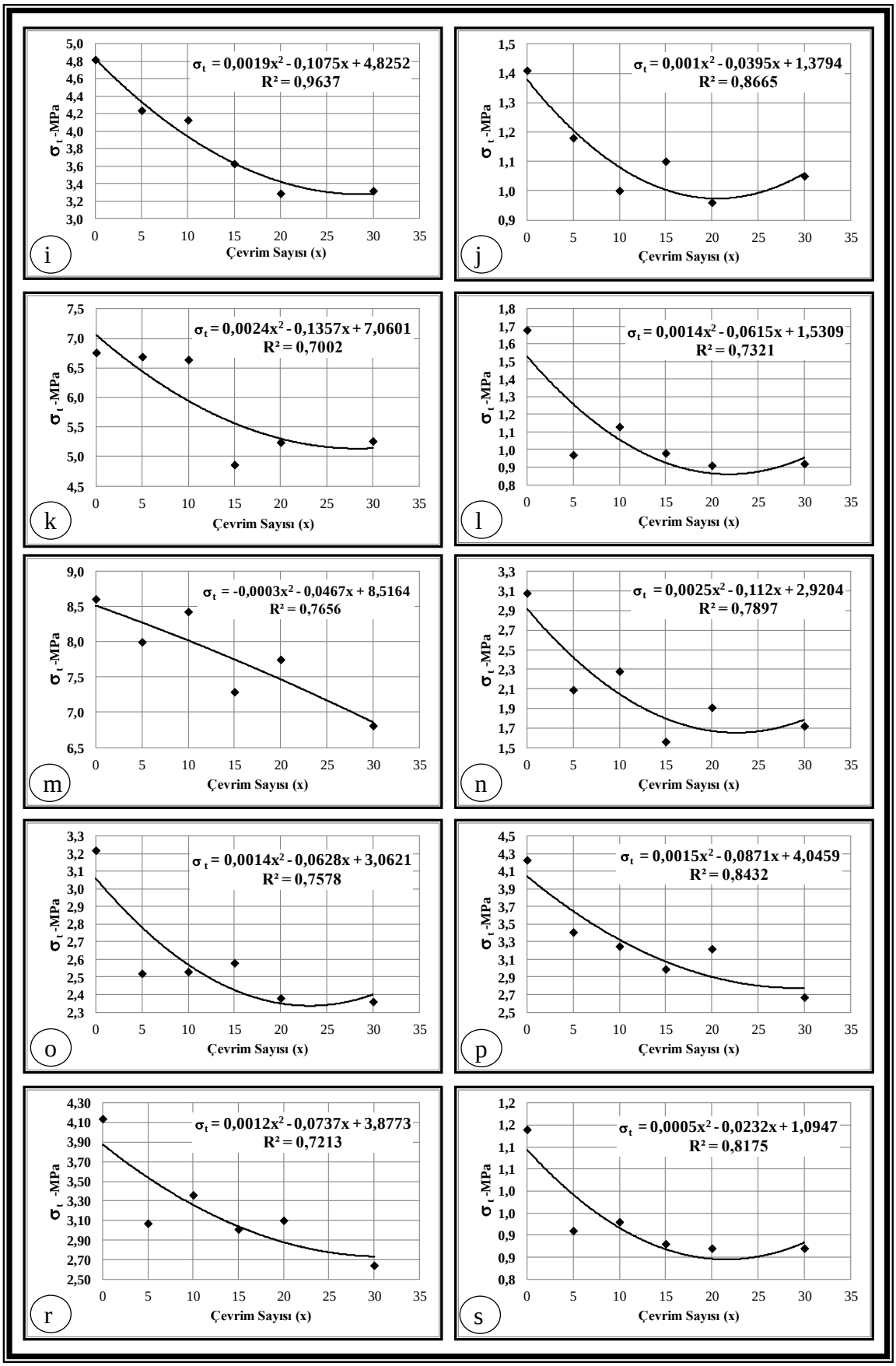
Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	7,17±0,76	6,07±0,38	6,93±0,75	5,01±0,61	5,97±0,96	4,90±0,71
2	3,41±0,50	3,28±0,97	2,85±0,73	2,69±0,92	2,65±0,79	2,73±0,87
3	4,63±0,44	4,20±0,53	4,47±0,91	4,07±0,72	4,39±0,82	3,93±0,92
4	5,05±0,64	4,28±0,42	4,21±0,63	3,98±0,43	4,16±0,30	4,08±0,60
5	5,01±0,76	5,16±0,54	5,19±0,68	4,98±1,82	4,58±0,52	4,40±0,73
6	3,32±0,44	2,12±0,42	2,33±0,49	2,16±0,32	2,24±0,35	1,80±0,67
7	1,46±0,44	1,34±0,27	1,33±0,28	1,26±0,33	1,28±0,32	1,22±0,26
8	9,07±0,97	8,93±0,90	8,54±0,91	8,61±1,08	8,49±1,00	7,97±1,14
9	4,82±0,44	4,24±0,80	4,13±0,81	3,63±0,78	3,29±0,71	3,32±0,40
10	1,41±0,33	1,18±0,19	1,00±0,14	1,10±0,21	0,96±0,22	1,05±0,15
11	6,76±1,65	6,69±1,42	6,64±0,87	4,86±0,98	5,24±0,84	5,26±0,84
12	1,68±0,18	0,97±0,17	1,13±0,12	0,98±0,18	0,91±0,17	0,92±0,17
13	8,61±1,22	8,00±1,17	8,43±1,03	7,29±0,88	7,75±1,16	6,81±1,08
14	3,08±0,36	2,09±0,25	2,28±0,52	1,56±0,23	1,91±0,42	1,72±0,15
15	3,22±0,53	2,52±0,82	2,53±0,84	2,58±0,72	2,38±0,42	2,36±0,54
16	4,23±0,89	3,41±0,31	3,25±0,62	2,99±0,43	3,22±0,55	2,67±0,66
17	4,14±0,49	3,07±0,39	3,36±0,81	3,01±0,69	3,10±0,77	2,64±0,68
18	1,14±0,27	0,91±0,24	0,93±0,16	0,88±0,21	0,87±0,21	0,87±0,14
19	1,12±0,19	0,95±0,27	0,87±0,17	0,91±0,33	0,73±0,23	0,69±0,21
20	2,11±0,34	1,23±0,11	1,20±0,12	1,23±0,08	1,09±0,30	1,14±0,17
21	1,98±0,30	0,99±0,09	1,09±0,14	1,26±0,26	0,95±0,16	1,17±0,17
22	8,54±1,89	8,58±1,41	8,26±1,57	8,30±2,50	8,04±1,62	8,14±1,13

Çizelge 4.17. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t), değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (σ_t: dolaylı çekilme dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı)

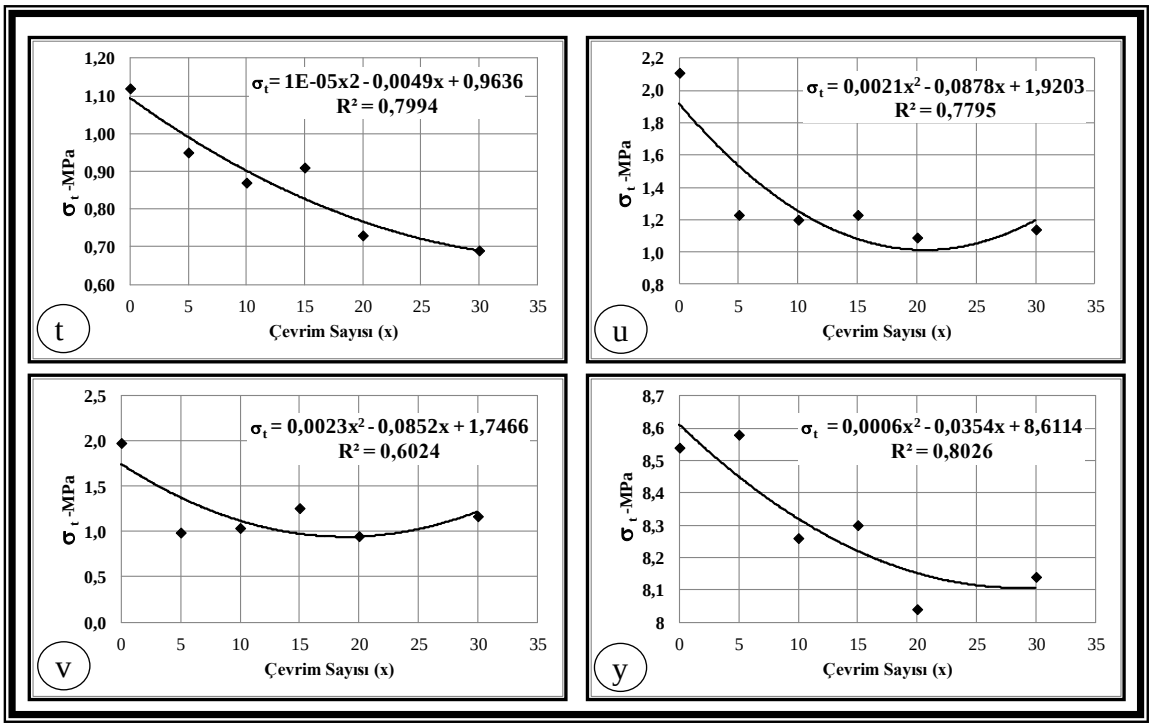
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	σ_t= 0,0008x^2 - 0,0907x + 7,0063	0,6098
2	σ_t= 0,0016x^2 - 0,0743x + 3,4746	0,9508
3	σ_t= -3.10^{-5}x^2 - 0,0164x + 4,5086	0,5073
4	σ_t= 0,0022x^2 - 0,0911x + 4,9036	0,8404
5	σ_t= -0,001x^2 + 0,0055x + 5,0982	0,8415
6	σ_t= 0,0015x^2 - 0,0827x + 3,0056	0,6660
7	σ_t= 0,0003x^2 - 0,0146x + 1,4403	0,9150
8	σ_t= -0,0002x^2 - 0,0296x + 9,0399	0,9284
9	σ_t= 0,0019x^2 - 0,1075x + 4,8252	0,9637
10	σ_t= 0,0010x^2 - 0,0395x + 1,3794	0,8665
11	σ_t= 0,0024x^2 - 0,1357x + 7,0601	0,7002
12	σ_t= 0,0014x^2 - 0,0615x + 1,5309	0,7321
13	σ_t=-0,0003x^2 - 0,0467x + 8,5164	0,7656
14	σ_t= 0,0025x^2 - 0,1120x + 2,9204	0,7897
15	σ_t= 0,0014x^2 - 0,0628x + 3,0621	0,7578
16	σ_t= 0,0015x^2 - 0,0871x + 4,0459	0,8432
17	σ_t= 0,0012x^2 - 0,0737x + 3,8773	0,7213
18	σ_t= 0,0005x^2 - 0,0232x + 1,0947	0,8175
19	σ_t= 1.10^{-5}x^2 - 0,0049x + 0,9636	0,7994
20	σ_t= 0,0021x^2 - 0,0878x + 1,9203	0,7795
21	σ_t= 0,0023x^2 - 0,0852x + 1,7466	0,6024
22	σ_t= 0,0006x^2 - 0,0354x + 8,6114	0,8026



Şekil 4.12. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t), değerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



Şekil 4.12. (Devam)



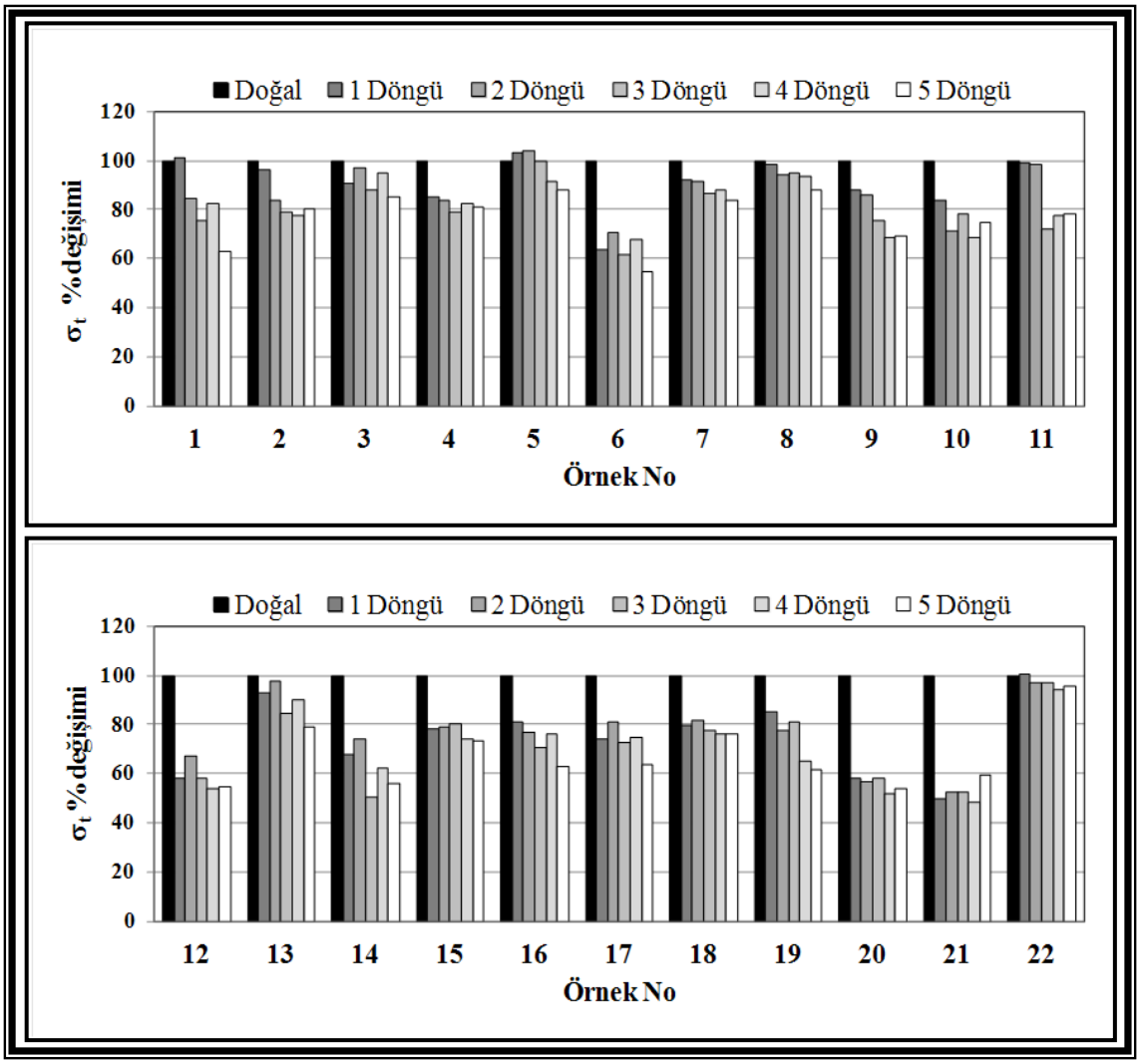
Şekil 4.12. (Devam)

Donma-çözülmenin 5. döngüsü sonrası en yüksek yüzdesel değişim 20 nolu örnekte % 45,97 ile en düşük değişim % 4,68 ile 22 nolu örnekte olmuştur. 5. Döngü sonrası yüzdesel değişimler kayaç grupları açısından incelendiğinde en çok değişim piroklastik kayaçlarda en az değişim ise magmatik kayaçta gözlenmiştir. Bu azalış piroklastik kayaçlarda ilk döngüde % 12 ile % 50 düşük şeklinde gözlenirken diğer kayaç gruplarında başlangıç değerine yüzdesel azalma % 0 ile % 10 arasında gözlenmiştir. Piroklastik kayaçlardan 6, 12, 20 ve 21 nolu örneklerde donma-çözülme sürecinin ilerlemesiyle yüzdesel değişim yaklaşık ilk döngü sonrası değere yakın kalmıştır. Diğer örneklerde ise çevrim sayısının artması ile yüzdesel değişim orantılı olarak azalmalar gözlenmiştir (Şekil 4.13). Piroklastik kayaçlar dışındaki örneklerin çoğunluğunda ilk döngülerde donma-çözülme sürecinin etkisi gözlemlenmemiş veya düşük düzeylerde olduğu belirlenmiştir.

4.3. Donma-Çözülmenin Aşınma Parametreleri Üzerine Etkisi

Donma-çözülme sürecinin aşınma parametreleri üzerindeki değişimleri; darbe dayanımı (a), Böhme aşınma dayanımı (ΔV), Los Angeles deneyi (Lo_{100}, Lo_{500}) ve suda aşınmaya karşı duraylılık deneyine (I_{d2}, I_{d4}) ait parametrelerindeki değişimler ile

araştırılmıştır. Belirlenen özelliklerin donma-çözülme sürecine bağlı olarak gözlenen değişimleri alt başlıklar halinde aşağıdaki bölümlerde incelenecektir.



Şekil 4.13. İncelenen örneklerin dolaylı çekilme dayanım (σ_t) değerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafiği

4.3.1. Donma-çözülme sürecinin kayaçların Böhme aşınma dayanımı (ΔV) üzerine etkisi

Numunelerin Böhme aşınma dayanım (ΔV) değerleri EN 14157 (2004)'de önerilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen örneklerin şahit Böhme aşınma kaybı (ΔV) değeri en düşük 5,21 $cm^3/50\ cm^2$ ile 8 nolu örnekte en yüksek ise 46,74 $cm^3/50\ cm^2$ ile 10 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Numunede şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası Böhme aşınma kaybı (ΔV) değerlerine ait toplu sonuçlar Çizelge 4.18'de verilmiştir. İncelenen kayaçların tümünde donma-çözülme

sürecinin ilerlemesiyle Böhme aşınma kaybı değerinin artığı belirlenmiştir. Çizelge 4.18 incelendiğinde, 5. donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük ΔV değeri 5,80 $cm^3/50$ cm^2 ile 8 nolu örtekte, en yüksek ΔV değerine sahip kayaç ise 66,81 $cm^3/50cm^2$ ile 10 nolu örnektir.

Kayaçların Böhme aşınma dayanım (ΔV) özelliğinin donma-çözülme sürecini bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.14 ve Çizelge 4.18). Kayaçlara ait D-Ç çevrim sayısı - Böhme aşınma dayanım (ΔV) grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 22 nolu örnekte (R^2=0,5929) tespit edilmiştir. Kaman Rose isimli örneğin belirlilik katsayısının düşük ve standart sapma değerleri yüksek olması, Böhme aşınma kaybı deneyine tabi tutulan yüzeylerindeki iri ortaklas kristallerinin aşınma yüzeyindeki oranın değişken olmasıyla ilişkilendirilmiştir. En yüksek belirlilik katsayısı (R^2) değeri ise 0,9856 ile 5 nolu örneğe aittir.

Çizelge 4.18. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası Böhme aşınma dayanımı (ΔV- $cm^3/50$ cm^2) değerlerindeki değişimler

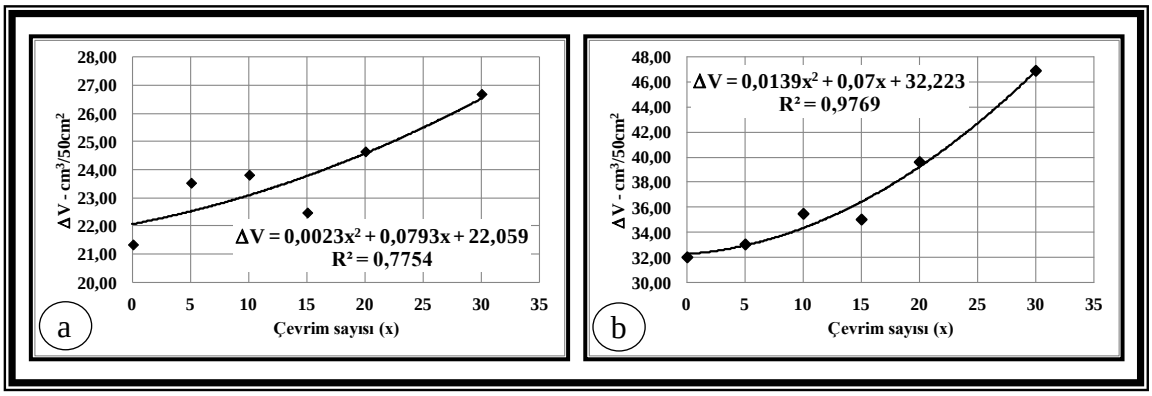
Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	21,34±1,51	23,53±1,82	23,82±2,05	22,47±1,93	24,65±1,45	26,70±1,60
2	31,97±4,05	33,00±3,85	35,45±3,73	35,00±4,02	39,60±2,94	46,91±4,31
3	22,54±3,45	25,83±2,92	29,85±3,12	25,10±2,71	36,03±3,24	49,10±3,90
4	20,77±4,25	20,92±5,30	22,21±4,73	23,61±3,85	23,43±5,90	24,58±4,80
5	20,46±3,05	26,32±2,73	32,11±2,86	33,20±3,49	35,89±3,08	37,82±3,34
6	26,85±3,45	37,55±3,20	33,60±3,42	44,04±3,64	50,36±4,25	62,40±7,02
7	17,20±2,05	23,28±2,21	27,30±2,61	29,53±3,07	24,85±4,85	33,53±3,84
8	5,21±0,40	5,61±0,28	5,68±0,49	5,67±0,32	5,76±0,61	5,80±0,41
9	17,91±1,90	20,67±2,02	32,19±2,42	31,85±2,51	38,88±3,29	36,90±2,86
10	46,74±4,90	49,12±4,37	51,80±3,76	51,65±4,81	51,46±5,37	66,82±4,93
11	14,21±1,22	17,57±1,89	16,43±1,30	18,09±1,08	18,09±0,94	23,32±1,28
12	25,95±3,75	31,33±2,96	33,64±3,28	36,42±2,89	36,03±3,26	41,35±5,20
13	13,43±2,50	12,12±1,87	15,31±2,04	14,53±1,29	18,61±2,26	21,37±1,82
14	28,03±3,45	28,16±2,48	31,15±2,73	33,41±3,01	36,34±3,71	37,07±3,19
15	21,81±2,90	24,34±2,23	25,27±2,56	26,90±2,75	25,98±3,02	31,68±2,84
16	28,47±3,85	36,98±3,07	36,19±3,28	40,99±3,64	39,31±3,19	43,42±3,59
17	37,67±4,78	37,41±2,26	42,22±3,85	49,51±3,07	49,89±5,20	50,77±4,57
18	24,40±3,05	28,84±2,19	29,48±3,21	30,37±3,49	31,26±4,51	34,82±5,25
19	28,98±4,05	30,40±2,82	40,99±3,56	40,38±3,92	42,43±4,84	45,48±4,94
20	24,30±2,05	31,18±2,85	34,07±2,93	33,71±3,38	38,87±4,08	39,46±4,61
21	29,62±3,20	31,39±3,01	36,94±4,03	37,02±3,61	42,93±3,83	44,95±5,08
22	8,01±1,55	8,31±1,25	9,03±1,45	8,44±1,81	8,52±1,53	9,32±2,05

Numunelerin donma-çözünme sonrası Böhme aşınma dayanım (ΔV) özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimleri Şekil 4.15'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.15'deki grafikler kontrol edildiğinde Böhme aşınma dayanım

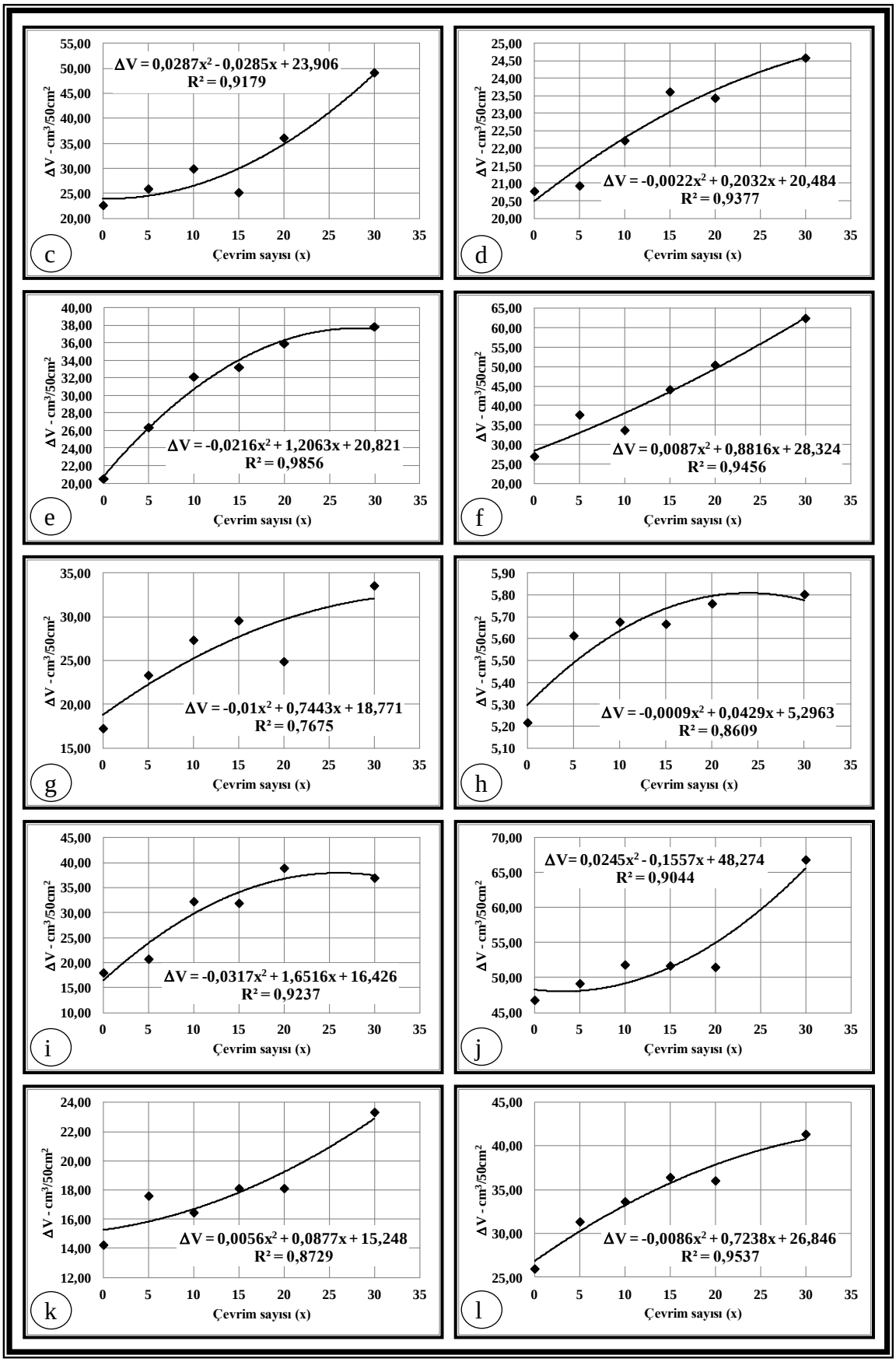
değerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak artığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.19. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı değerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (ΔV: Böhme aşınma dayanımı, x:çevrim sayısı, R^2:belirlilik katsayısı)

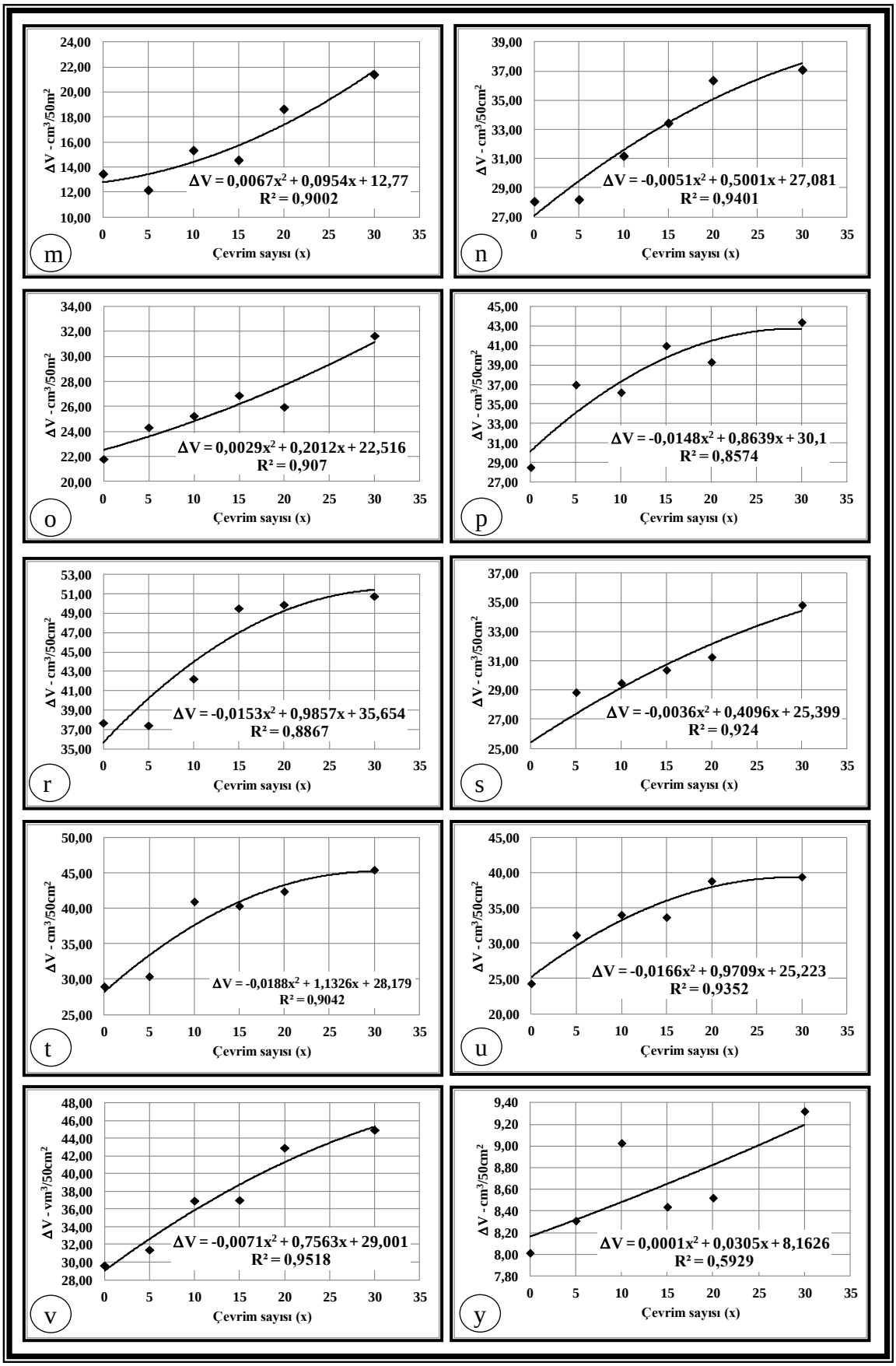
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	$\Delta V = 0{,}0023x^2 + 0{,}0793x + 22{,}059$	0,7754
2	$\Delta V = 0{,}0139x^2 + 0{,}0700x + 32{,}223$	0,9769
3	$\Delta V = 0{,}0287x^2 - 0{,}0285x + 23{,}906$	0,9179
4	$\Delta V = -0{,}0022x^2 + 0{,}2032x + 20{,}484$	0,9377
5	$\Delta V = -0{,}0216x^2 + 1{,}2063x + 20{,}821$	0,9856
6	$\Delta V = 0{,}0087x^2 + 0{,}8816x + 28{,}324$	0,9456
7	$\Delta V = -0{,}0100x^2 + 0{,}7443x + 18{,}771$	0,7675
8	$\Delta V = -0{,}0009x^2 + 0{,}0429x + 5{,}2963$	0,8609
9	$\Delta V = -0{,}0317x^2 + 1{,}6516x + 16{,}426$	0,9237
10	$\Delta V = 0{,}0245x^2 - 0{,}1557x + 48{,}274$	0,9044
11	$\Delta V = 0{,}0056x^2 + 0{,}0877x + 15{,}248$	0,8729
12	$\Delta V = -0{,}0086x^2 + 0{,}7238x + 26{,}846$	0,9537
13	$\Delta V = 0{,}0067x^2 + 0{,}0954x + 12{,}770$	0,9002
14	$\Delta V = -0{,}0051x^2 + 0{,}5001x + 27{,}081$	0,9401
15	$\Delta V = 0{,}0029x^2 + 0{,}2012x + 22{,}516$	0,9070
16	$\Delta V = -0{,}0148x^2 + 0{,}8639x + 30{,}100$	0,8574
17	$\Delta V = -0{,}0153x^2 + 0{,}9857x + 35{,}654$	0,8867
18	$\Delta V = -0{,}0036x^2 + 0{,}4096x + 25{,}399$	0,9240
19	$\Delta V = -0{,}0188x^2 + 1{,}1326x + 28{,}179$	0,9042
20	$\Delta V = -0{,}0166x^2 + 0{,}9709x + 25{,}223$	0,9352
21	$\Delta V = -0{,}0071x^2 + 0{,}7563x + 29{,}001$	0,9518
22	$\Delta V = 0{,}0001x^2 + 0{,}0305x + 8{,}1626$	0,5929



Şekil 4.14. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı değerinin (ΔV) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek

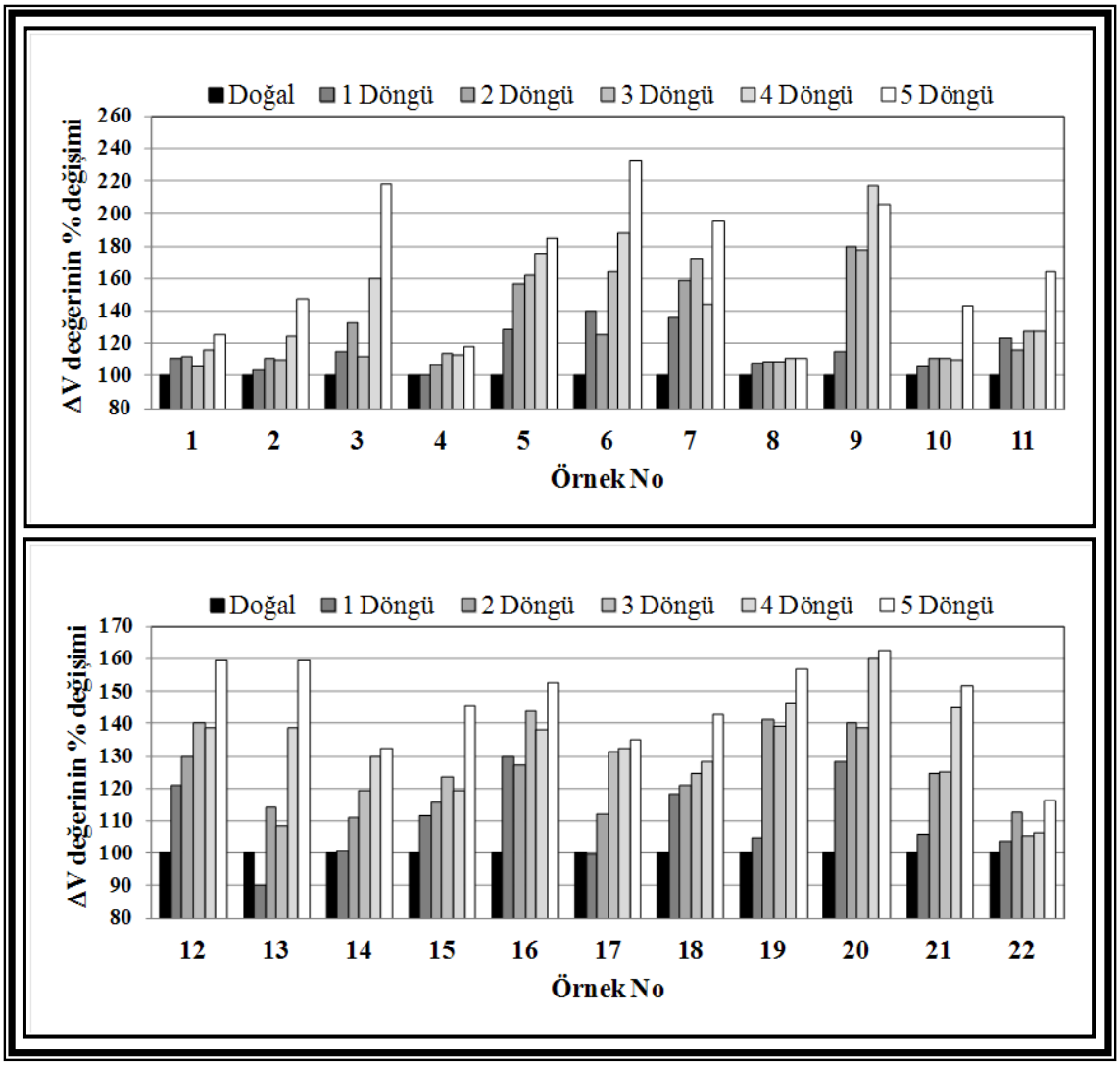


Şekil 4.14. (Devam)



Şekil 4.14. (Devam)

Bu artış piroklastik kayaçların çoğunluğunda çevrim sayısının ilerlemesiyle doğru orantılı olarak gözlenirken diğer kayaç gruplarına ait 1, 3, 7, 11, 13 ve 22 nolu örneklerde yüzdesel artış çevrim sayısının artışı ile orantısızdır. Bu orantısızlık Böhme aşınma değerini doğrudan etkileyen sert minerallerin aşınma yüzeyindeki oranlarının homojen dağılmaması ve/veya kayaçlardaki boşlukların homojen dağılmamasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Böhme aşınma kaybının 5. döngü sonrası yüzdesel değişimleri incelendiğinde donma-çözülmeden en çok etkilenen örnek 6 nolu piroklastik kayaç, en az etkilenen kayaçlar ise aşınmaya karşı dirençli kuvars ve feldispat minerallerince zengin 8 ve 22 nolu magmatik kayaçların olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15. İncelenen örneklerin Böhme aşınma dayanımı (ΔV) değerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

4.3.2. Donma-çözülme sürecinin kayaçların agrega darbe dayanım direnci değeri (a) üzerine etkisi

Numunelerin agrega darbe dayanımı direnci (a) BS 812 (1990)'da önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin agrega darbe dayanımı direnci (a) değeri % 42,72 (7 nolu örnek) ile % 89,57 (11 nolu örnek) arasında değişmektedir (Çizelge 4.20). Numunelerin şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası a değerleri toplu olarak Çizelge 4.20' de gösterilmiştir. Çizelge 4.20 incelendiğinde, 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük a değeri % 26,63 ile 7 nolu örnekte, en yüksek a değerine sahip kayaç ise % 85,69 ile 1 nolu örnek olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası agrega darbe dayanım (a), değerlerindeki değişimler

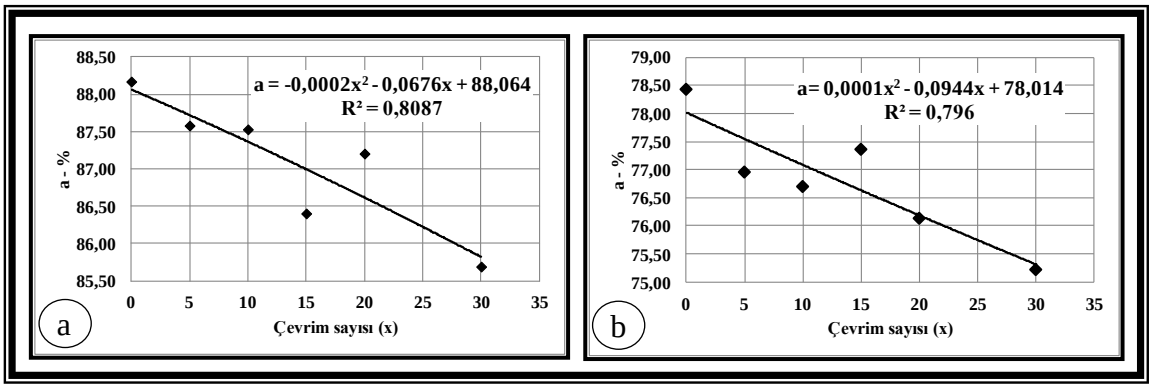
Örnek No	Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
	0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	88,17±2,38	87,58±1,92	87,53±2,23	86,40±2,41	87,20±1,83	85,69±2,27
2	78,42±3,85	76,95±3,51	76,69±3,91	77,36±3,67	76,13±4,12	75,22±3,57
3	84,27±4,49	81,76±4,67	82,05±4,76	81,23±5,07	82,15±4,83	81,68±4,49
4	76,12±5,60	76,09±6,40	75,13±7,20	73,32±4,78	74,39±5,28	72,48±9,28
5	84,07±2,94	83,79±3,85	82,48±4,08	82,49±3,42	81,87±3,37	80,96±4,27
6	68,77±6,45	60,32±5,64	56,84±6,71	53,30±6,38	53,32±6,81	49,18±7,49
7	42,72±6,25	40,19±6,10	38,49±7,37	36,27±7,90	34,41±6,54	26,63±6,12
8	84,80±1,23	84,69±0,94	83,19±1,43	83,20±1,57	82,90±1,13	83,06±1,51
9	78,02±2,85	77,39±3,12	77,97±3,42	76,93±3,81	76,51±3,49	75,69±3,71
10	58,14±4,29	53,06±5,37	51,16±5,05	50,50±5,67	51,14±6,17	51,55±6,48
11	89,57±1,29	83,24±1,61	84,33±1,47	82,30±1,14	82,15±2,01	83,15±1,64
12	54,77±5,85	54,46±6,37	54,25±6,91	48,19±6,38	47,88±7,08	43,65±6,89
13	88,19±2,49	86,83±3,10	86,27±2,84	83,43±3,24	86,15±3,37	85,25±2,97
14	65,87±5,39	65,30±5,73	65,19±6,18	64,48±5,73	64,57±5,54	63,47±6,08
15	70,68±6,20	68,48±5,27	67,43±5,86	68,03±5,61	67,91±5,19	66,96±5,84
16	78,08±4,79	74,59±5,20	73,27±5,64	72,80±6,02	72,55±5,67	73,10±6,28
17	72,35±5,28	72,58±5,81	71,91±5,62	71,55±5,10	70,22±5,08	70,42±5,86
18	53,65±6,74	50,12±6,37	51,20±7,08	48,83±7,29	48,69±7,48	48,20±6,74
19	56,19±5,91	53,98±6,42	53,65±6,72	53,03±7,84	52,11±6,91	49,93±7,18
20	62,70±5,14	63,31±6,19	60,02±6,95	56,60±7,56	56,18±7,67	56,05±7,08
21	62,39±5,46	61,78±6,46	61,95±7,15	56,98±7,39	56,65±7,29	52,38±7,51
22	87,19±1,52	84,28±1,81	83,04±1,78	82,74±1,62	82,72±1,38	83,61±1,94

Kayaçların agrega darbe dayanımı direnci (a) özelliğinin donma-çözülme sürecini bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak, bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.16 ve Çizelge 4.21.). Kayaçların D-Ç çevrim sayısı-agrega darbe dayanımı direnci (a) grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 0,6216 ile 13 nolu örnekte, en

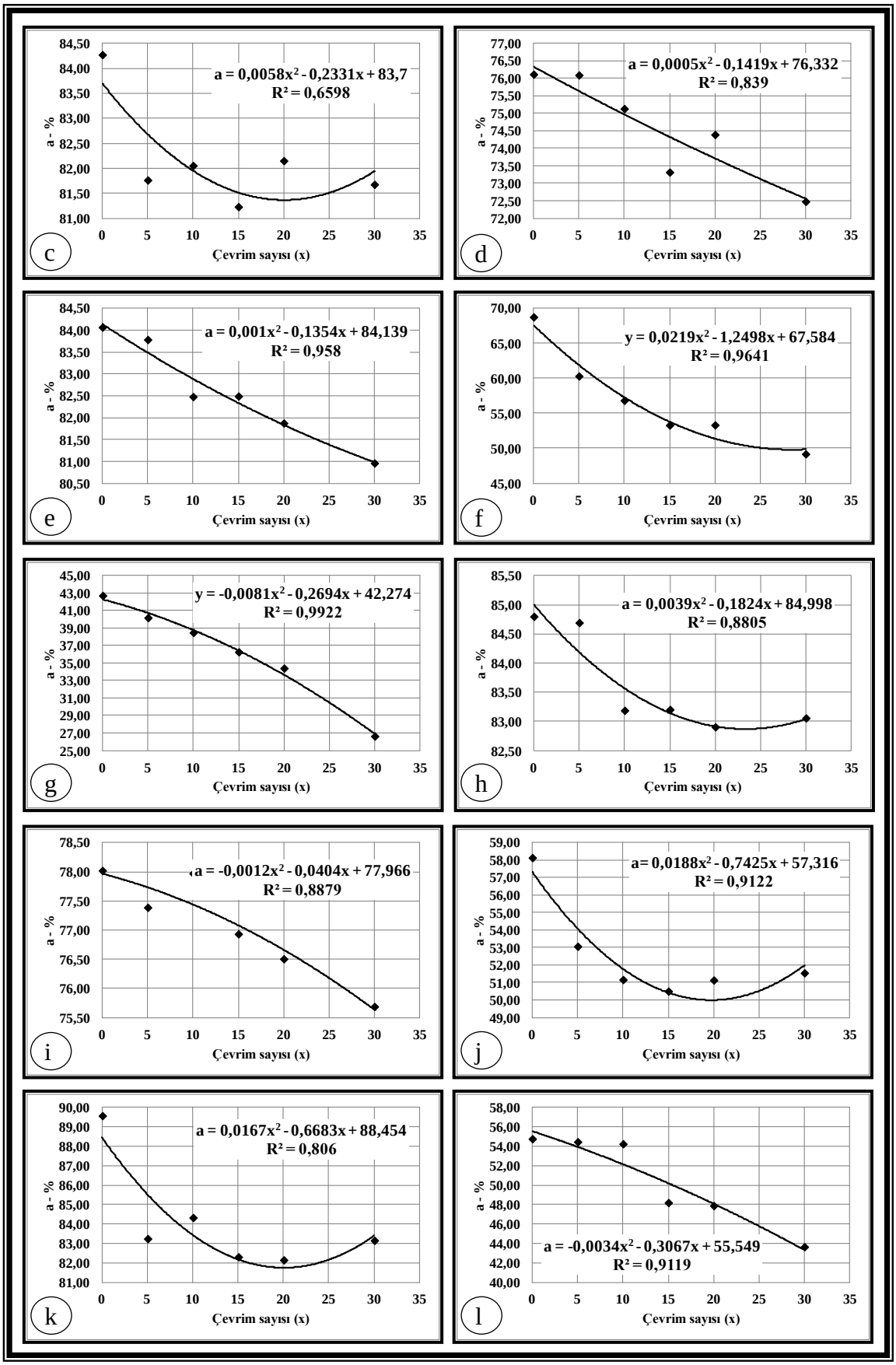
yüksek R^2 değeri ise 0,9922 ile 7 nolu örnete tespit edilmiştir. Grafikler incelendiğinde 3, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 20 ve 22 nolu örneklerde son döngülerde donma-çözülme sürecinin etkisinin artış ivmesinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.21. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerinin (***a***) donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklerin denklemleri ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (***a***: agrega darbe dayanımı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

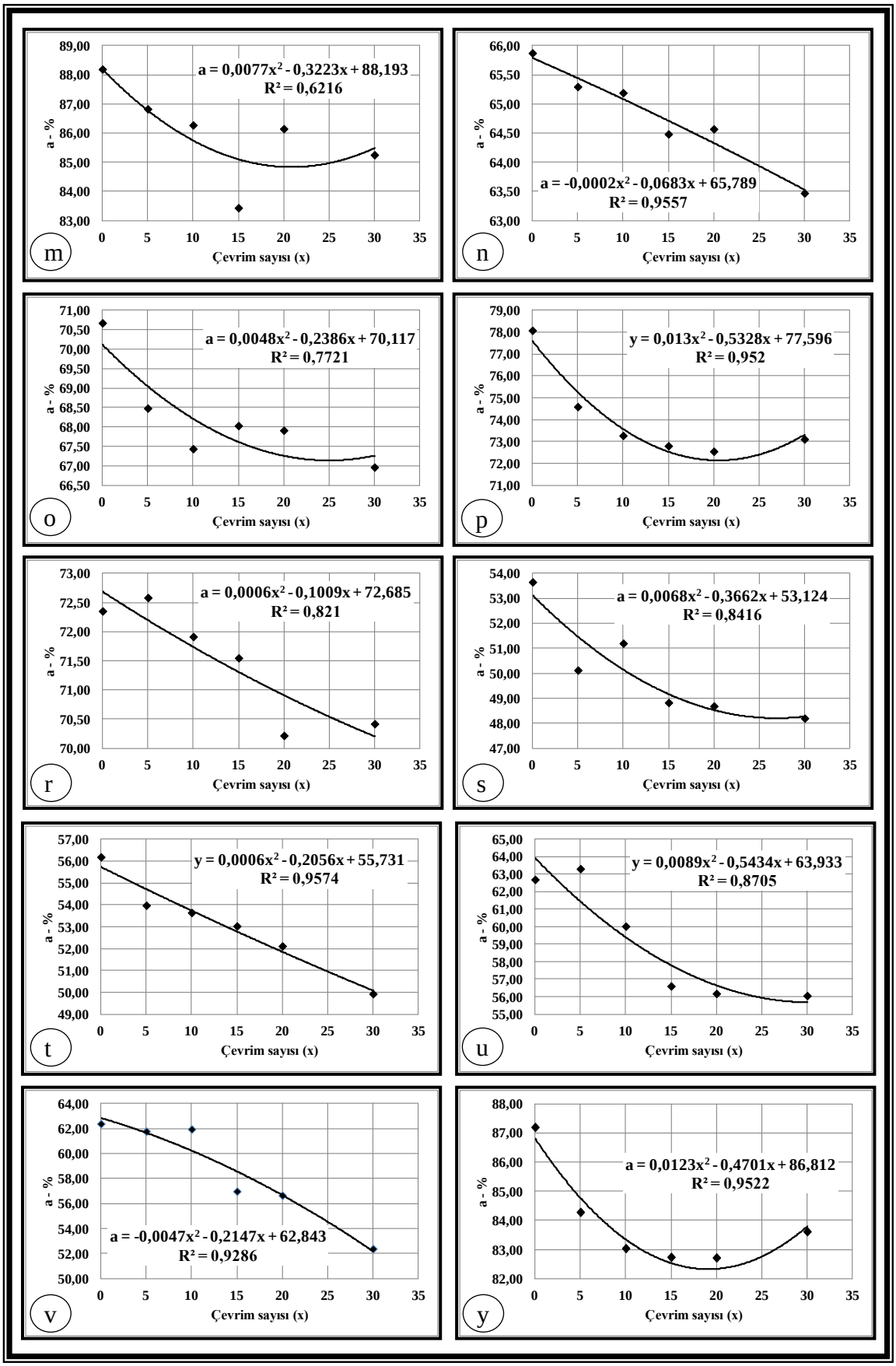
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	a =-0,0002x^2 - 0,0676x + 88,064	0,8087
2	a = 0,0001x^2 - 0,0944x + 78,014	0,7960
3	a = 0,0058x^2 - 0,2331x + 83,700	0,6598
4	a = 0,0005x^2 - 0,1419x + 76,332	0,8390
5	a = 0,0010x^2 - 0,1354x + 84,139	0,9580
6	a = 0,0219x^2 - 1,2498x + 67,584	0,9641
7	a =-0,0081x^2 - 0,2694x + 42,274	0,9922
8	a = 0,0039x^2 - 0,1824x + 84,998	0,8805
9	a =-0,0012x^2 - 0,0404x + 77,966	0,8879
10	a = 0,0188x^2 - 0,7425x + 57,316	0,9122
11	a = 0,0167x^2 - 0,6683x + 88,454	0,8060
12	a =-0,0034x^2 - 0,3067x + 55,549	0,9119
13	a = 0,0077x^2 - 0,3223x + 88,193	0,6216
14	a =-0,0002x^2 - 0,0683x + 65,789	0,9557
15	a = 0,0048x^2 - 0,2386x + 70,117	0,7721
16	a = 0,0130x^2 - 0,5328x + 77,596	0,9520
17	a = 0,0006x^2 - 0,1009x + 72,685	0,8210
18	a = 0,0068x^2 - 0,3662x + 53,124	0,8416
19	a = 0,0006x^2 - 0,2056x + 55,731	0,9574
20	a = 0,0089x^2 - 0,5434x + 63,933	0,8705
21	a =-0,0047x^2 - 0,2147x + 62,843	0,9286
22	a = 0,0123x^2 - 0,4701x + 86,812	0,9522



Şekil 4.16. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerlerinin (***a***) donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek

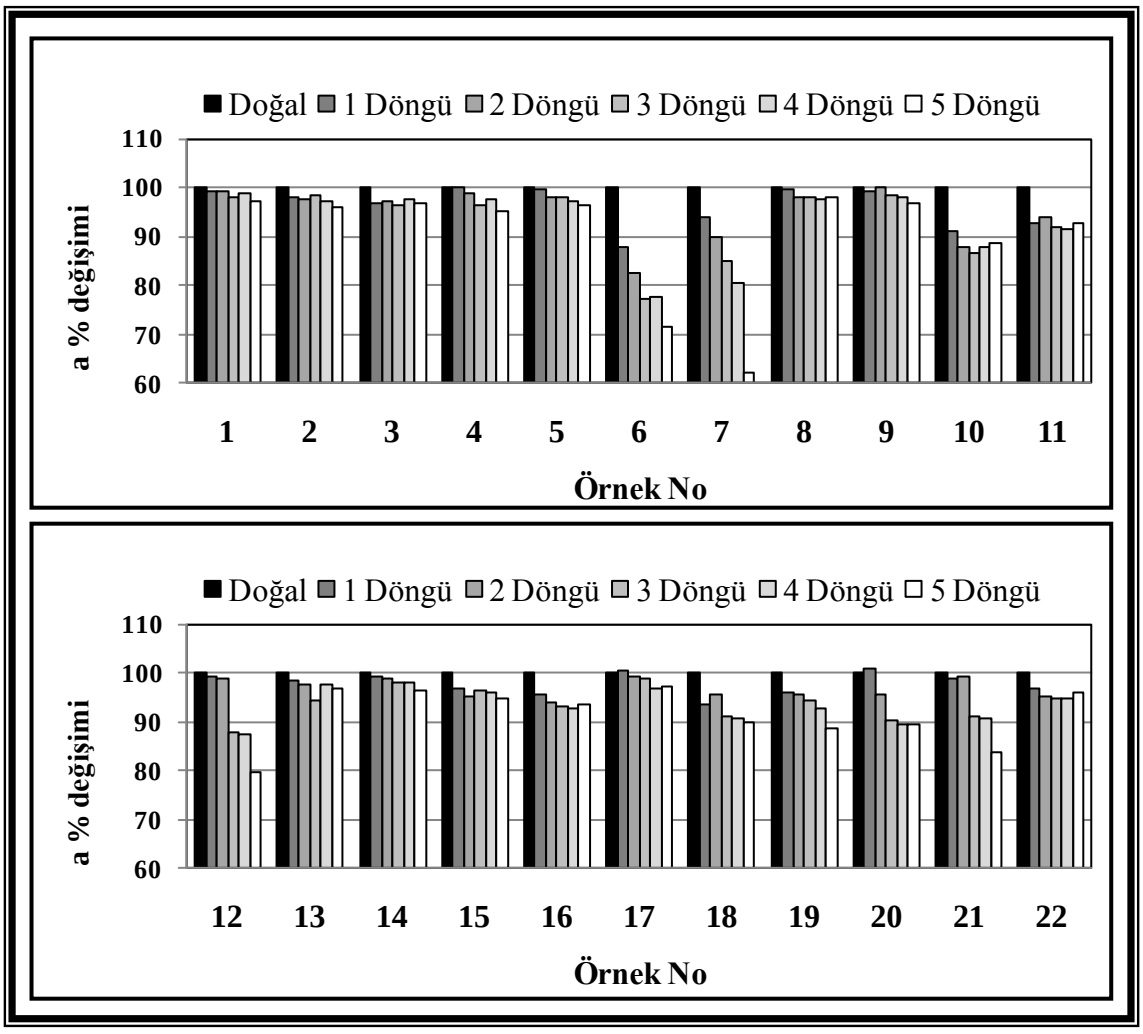


Şekil 4.16. (Devam)



Şekil 4.16. (Devam)

Numunelerin donma-çözünme sonrası agrega darbe dayanımı direnci (a) özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.17'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.17'deki grafikler kontrol edildiğinde agrega darbe dayanımı direnci değerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu değişimler incelendiğinde en çok etkilenen 7 nolu örnek, en az etkilenen ise 8 nolu örnektir. 7 nolu örnek dışında en çok etkilenen örnekler ise piroklastik kayaç grubuna ait örneklerdir.



Şekil 4.17. İncelenen örneklerin agrega darbe dayanım değerinin ($\boldsymbol{a}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

4.3.3. Donma-çözülme sürecinin kayaçların Los Angeles aşınma kaybı değerleri ($\boldsymbol{LO_{100} - LO_{500}}$) üzerine etkisi

Numunelerin Los Angeles aşınma kaybı değerleri (LO_{100} - LO_{500}) ASTM C

131-06 (2006)'da önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin 100 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı (LO_{100}) değeri % 6,63 (1 nolu örnek) ile % 43,43 (7 nolu örnek) arasında değişmektedir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası Los Angeles aşınma kaybı ($\boldsymbol{LO_{100}}$ - $\boldsymbol{LO_{500}}$) değerlerindeki değişimler

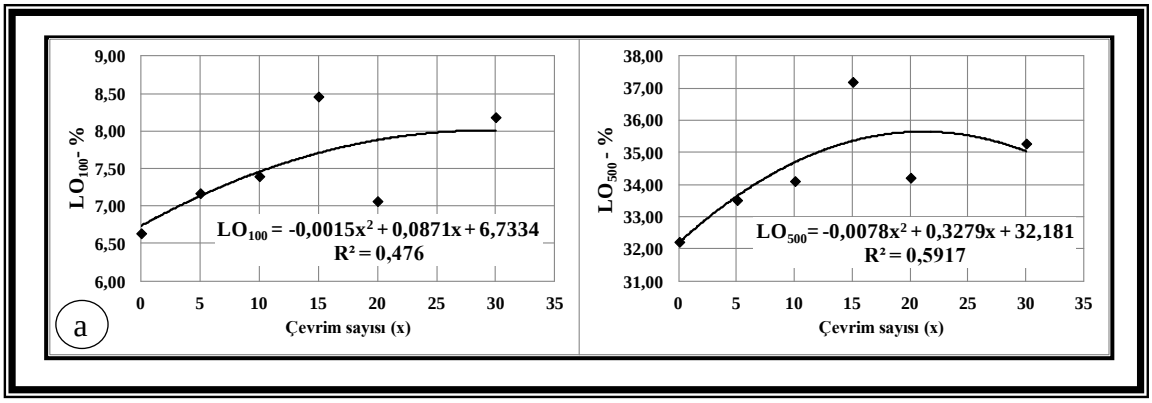
Örn. No		Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
		0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	LO_{100}	6,63	7,17	7,40	8,46	7,06	8,18
	LO_{500}	32,21	33,51	34,11	37,20	34,21	35,28
2	LO_{100}	13,15	13,82	14,46	14,05	14,29	14,30
	LO_{500}	57,09	57,32	57,40	57,14	57,67	58,00
3	LO_{100}	8,78	9,40	9,62	9,43	10,03	10,50
	LO_{500}	42,07	39,71	42,69	42,66	43,19	43,59
4	LO_{100}	13,14	13,41	13,32	14,12	15,72	16,15
	LO_{500}	51,46	52,30	53,12	54,74	58,11	65,31
5	LO_{100}	10,09	10,21	9,81	9,97	10,67	10,84
	LO_{500}	45,33	45,25	43,77	44,17	46,50	47,05
6	LO_{100}	14,10	14,76	14,05	13,14	14,19	19,52
	LO_{500}	55,07	55,11	56,02	54,70	56,97	66,42
7	LO_{100}	43,23	44,25	44,20	45,60	46,78	46,00
	LO_{500}	92,97	92,88	94,45	94,86	94,63	94,76
8	LO_{100}	8,08	8,34	8,44	8,72	8,85	10,55
	LO_{500}	42,48	42,54	41,94	42,24	42,67	46,53
9	LO_{100}	8,86	8,84	9,59	10,15	10,45	15,16
	LO_{500}	42,12	42,14	42,69	45,18	46,14	65,27
10	LO_{100}	30,02	30,77	32,66	33,04	31,88	33,19
	LO_{500}	89,38	89,61	90,40	90,48	90,00	90,98
11	LO_{100}	8,20	8,18	8,27	8,37	8,74	8,75
	LO_{500}	35,54	36,62	35,73	35,69	36,38	38,17
12	LO_{100}	27,41	25,01	27,63	27,59	27,41	30,69
	LO_{500}	85,93	85,74	90,45	84,48	84,34	94,36
13	LO_{100}	7,11	7,59	7,12	7,89	7,76	7,75
	LO_{500}	37,21	36,41	36,84	37,17	38,34	37,98
14	LO_{100}	16,44	16,32	17,57	18,21	18,64	19,20
	LO_{500}	66,69	66,71	69,71	70,84	72,44	74,45
15	LO_{100}	9,76	14,84	14,85	14,04	14,00	15,41
	LO_{500}	43,22	63,54	65,03	62,27	62,38	65,69
16	LO_{100}	11,38	11,69	11,69	12,89	14,34	15,97
	LO_{500}	52,15	52,46	52,81	55,65	51,34	57,71
17	LO_{100}	11,24	11,92	11,94	12,13	11,77	12,11
	LO_{500}	50,14	52,30	52,13	52,29	53,30	53,91
18	LO_{100}	26,72	28,35	27,36	27,80	29,43	30,06
	LO_{500}	85,01	87,32	87,41	87,58	87,20	88,07
19	LO_{100}	33,44	34,02	34,35	34,84	36,31	43,16
	LO_{500}	92,37	96,21	95,61	95,98	94,80	98,47
20	LO_{100}	18,65	19,90	20,88	21,97	21,86	26,10
	LO_{500}	79,88	80,08	79,46	86,26	86,73	92,73
21	LO_{100}	24,81	30,34	26,24	28,95	31,54	32,95
	LO_{500}	81,29	81,34	76,92	85,92	87,95	97,90
22	LO_{100}	10,31	10,13	9,43	10,53	10,16	11,09
	LO_{500}	42,68	42,30	41,78	44,77	43,66	45,34

Kayaçların 500 çevrim için Los Angeles aşınma kaybı (LO_{500}) değerleri ise en küçük % 32,21 ile 1 nolu örnekte, en büyük ise % 92,97 ile 7 nolu örnekte belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Numunede şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası örneklerin Los Angeles aşınma kaybı değerleri (LO_{100} - LO_{500}) toplu olarak Çizelge 4.22' de sunulmuştur.

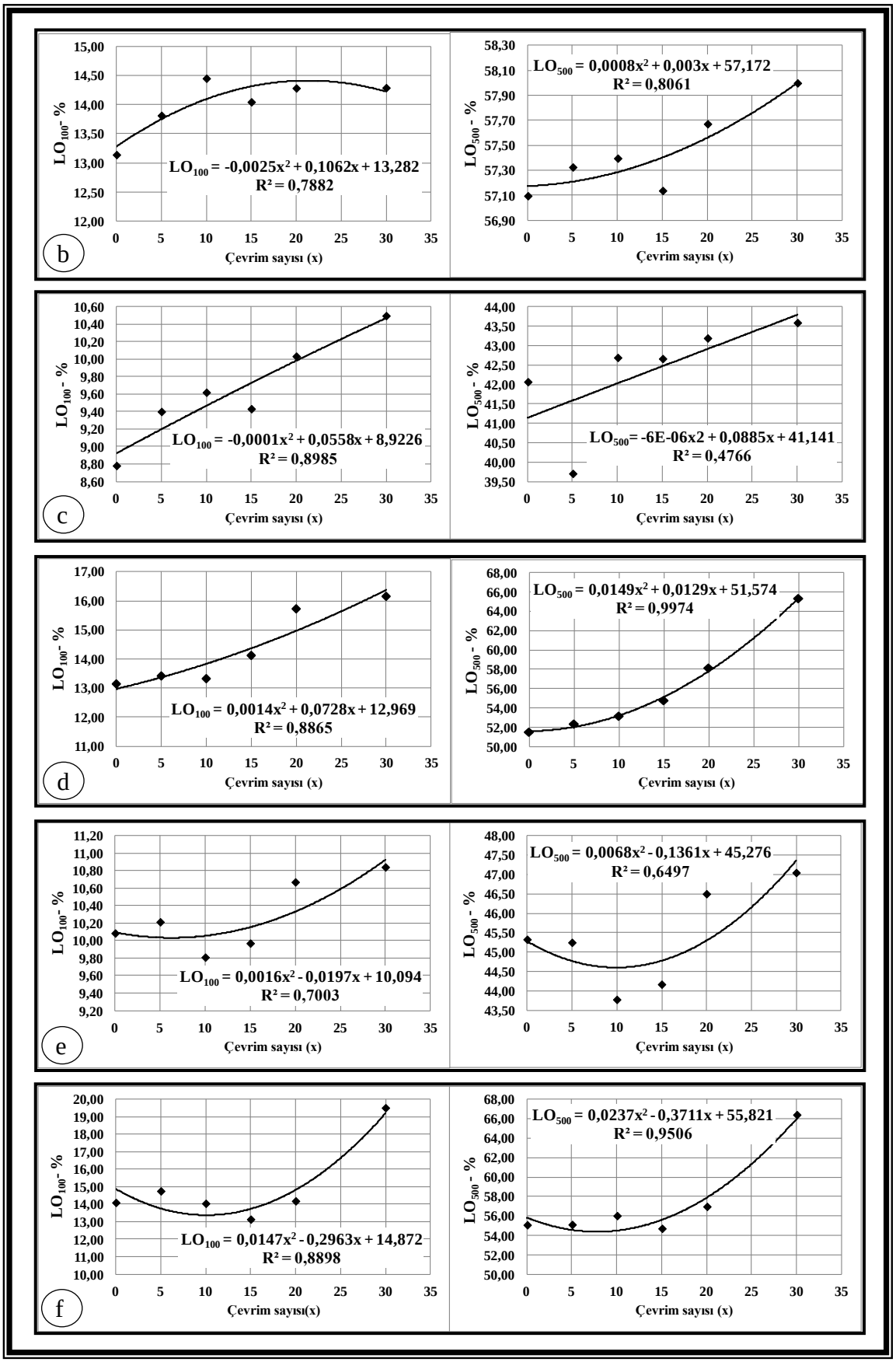
Çizelge 4.22 incelendiğinde, son donma-çözülme döngüsü sonrası LO_{100} değeri en düşük % 7,75 ile 13 nolu kayaç, en yüksek % 46,00 ile 7 nolu kayaçta tespit edilmiştir. 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası LO_{500} değeri en düşük % 35,28 ile 1 nolu örnekte, en yüksek % 98,47 ile 19 nolu örnekte tespit edilmiştir.

Kayaçların Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.18 ve Çizelge 4.23). Kayaçların D-Ç çevrim sayısına karşın 100 çevrimlik Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 0,4760 ile 1 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9832 ile 19 nolu örneğe aittir. Kayaçların D-Ç çevrim sayısına karşın 500 çevrimlik Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin grafikler incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değerleri ise 0,4766 (3 nolu örnekte) ile 0,9974 (4 nolu örnekte) arasında değişmektedir.

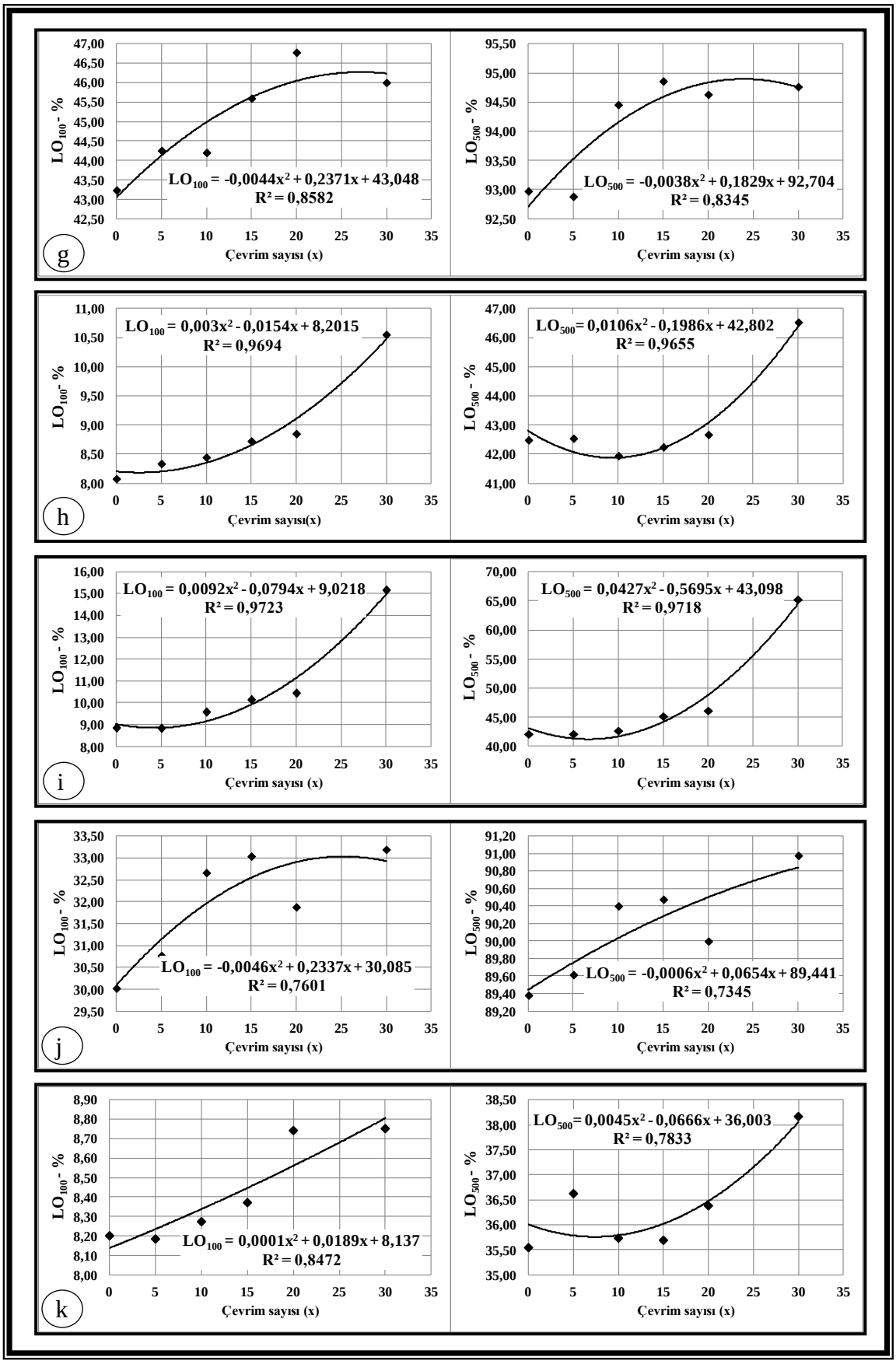
Kayaçların D-Ç çevrim sayısına karşılık çizilen 100 ve 500 çevrimlik Los Angeles aşınma kaybı değerlerine ait grafiklerin genelde benzerlik göstermektedir.



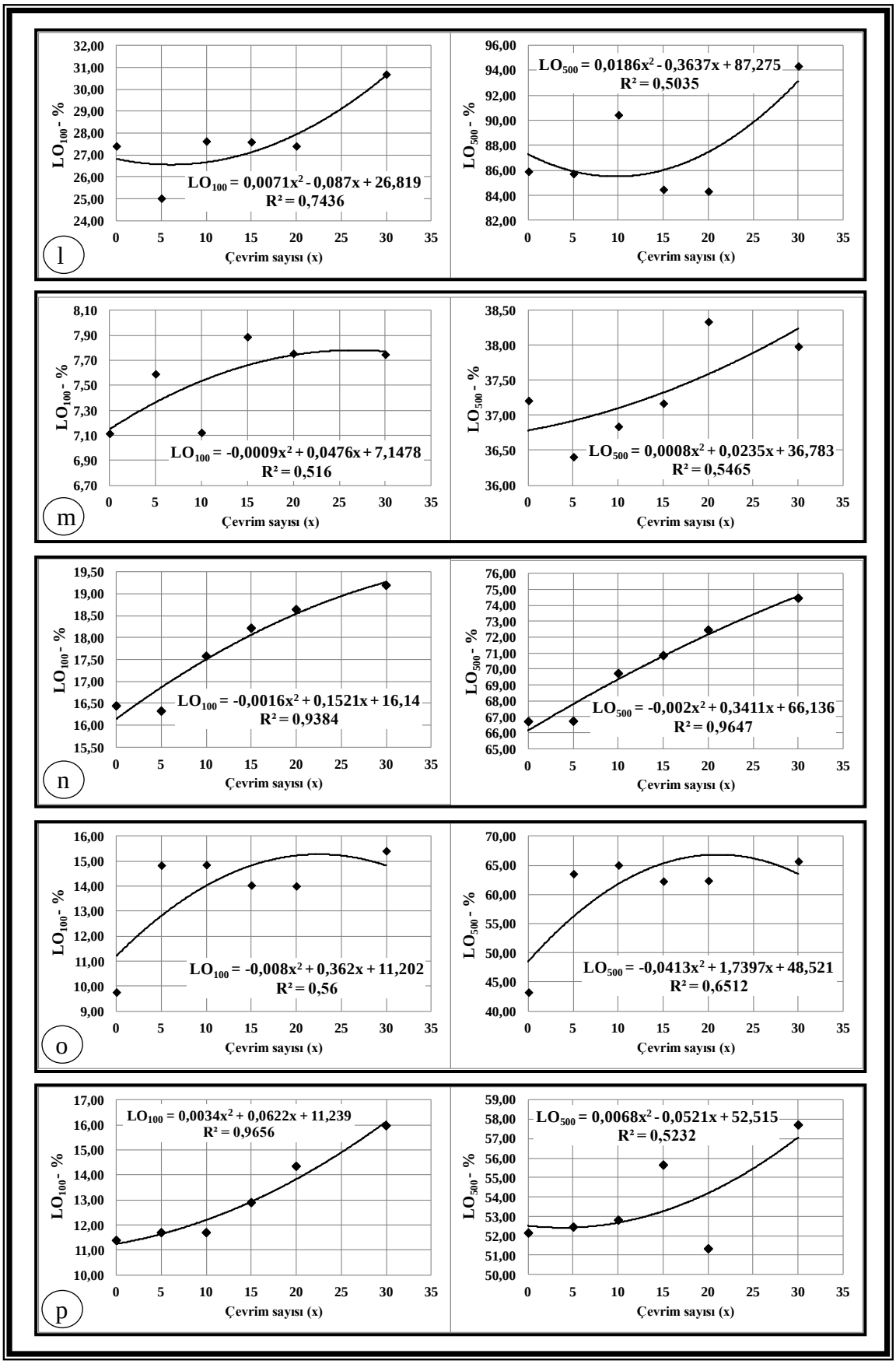
Şekil 4.18. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı ($\boldsymbol{LO_{100}}$ - $\boldsymbol{LO_{500}}$) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



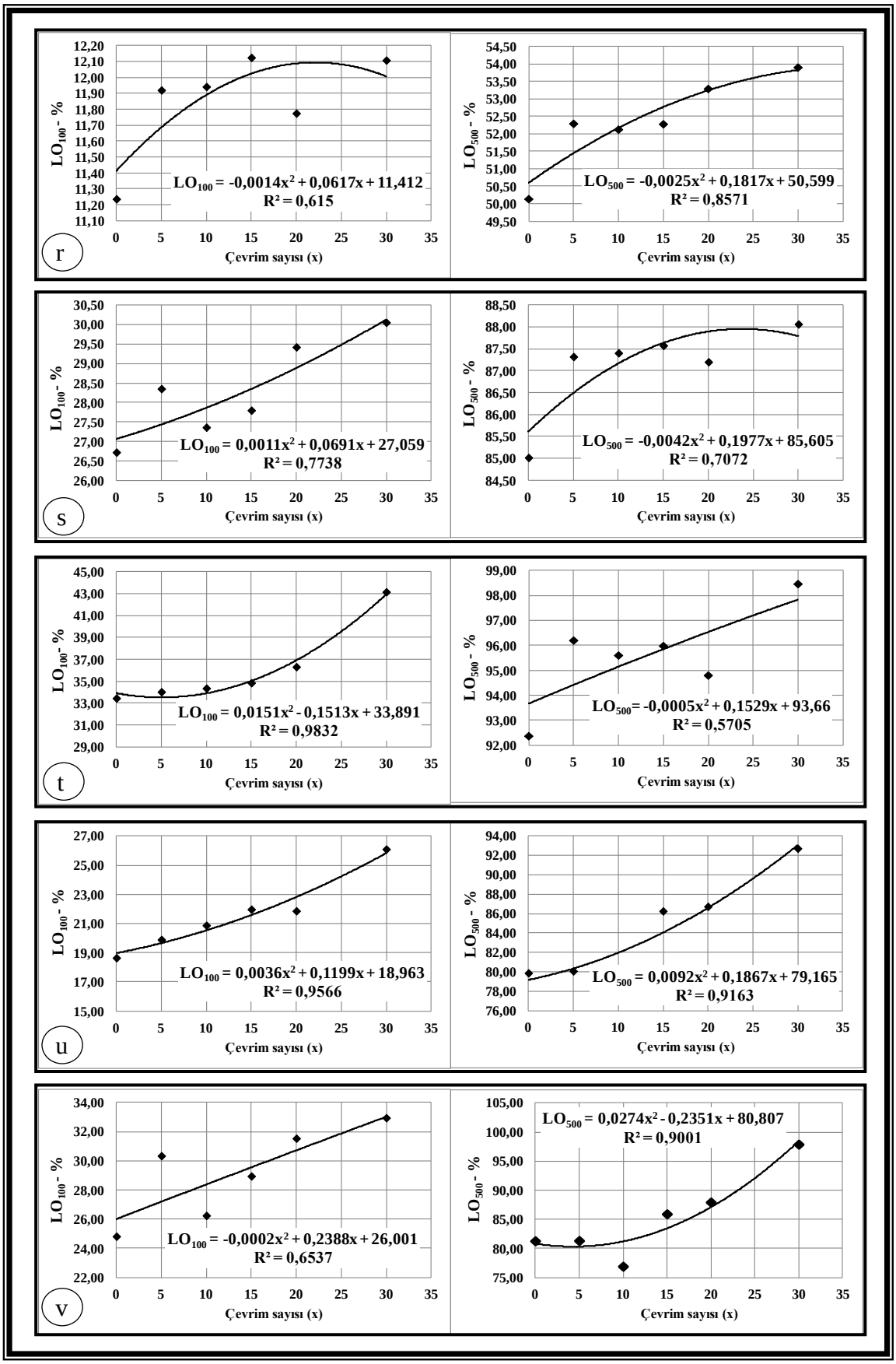
Şekil 4.18. (Devam)



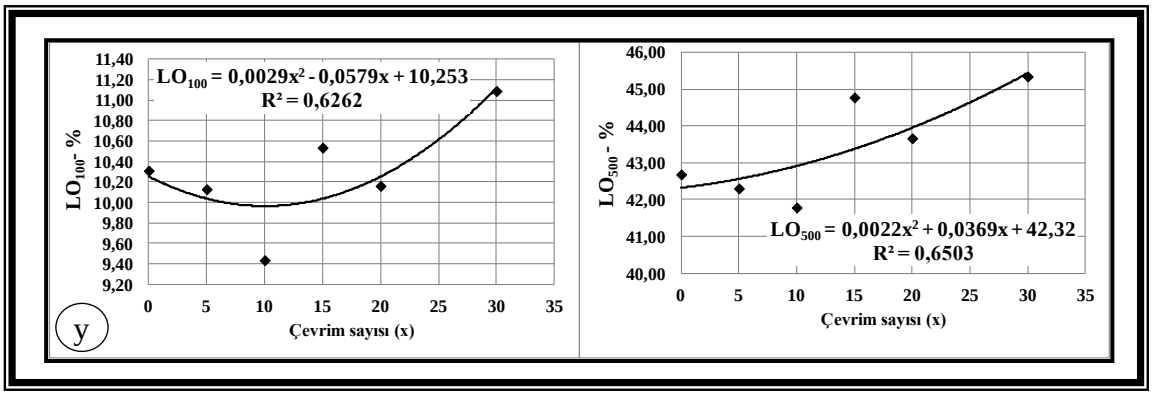
Şekil 4.18. (Devam)



Şekil 4.18. (Devam)



Şekil 4.18. (Devam)



Şekil 4.18. (Devam)

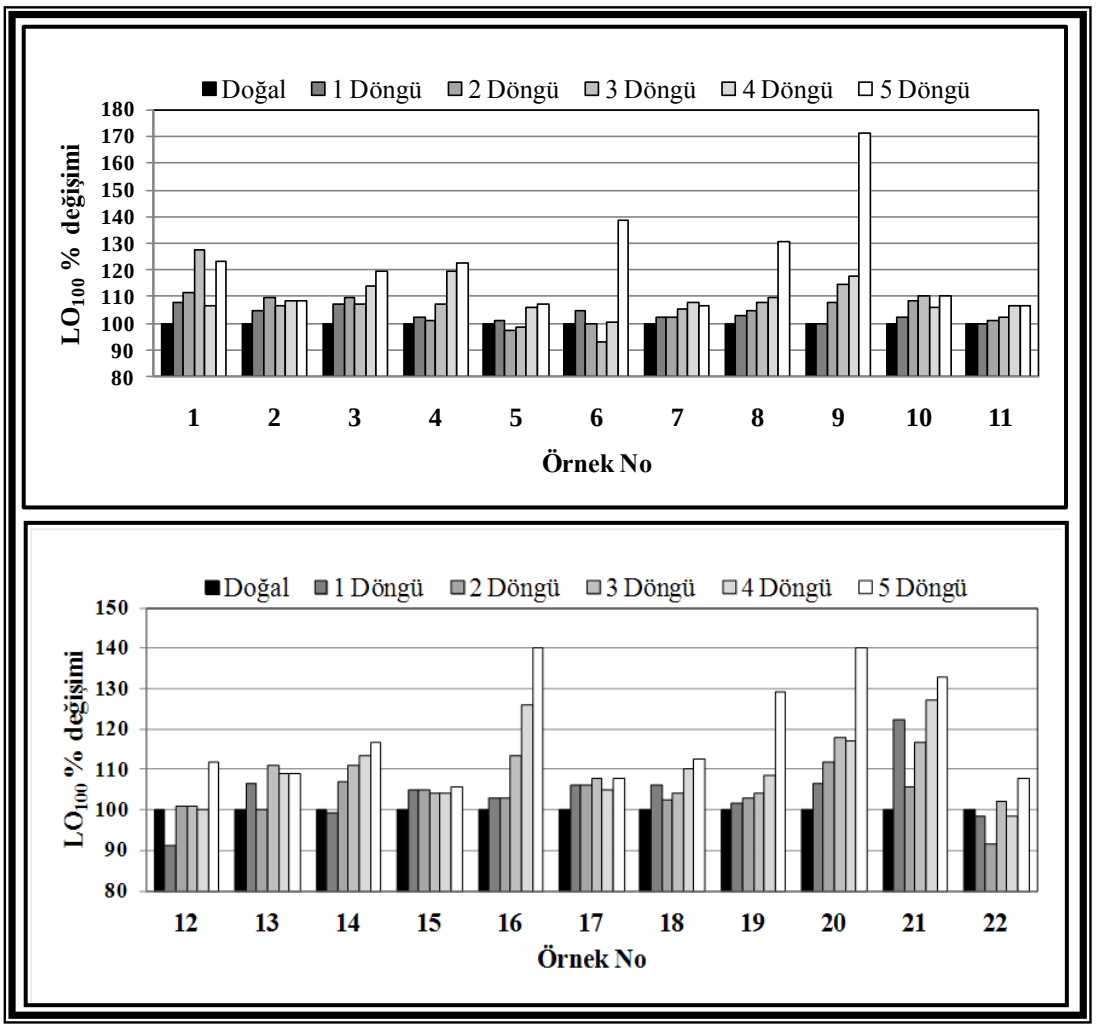
Çizelge 4.23. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı ($\boldsymbol{LO_{100}}$ ve $\boldsymbol{LO_{500}}$), değerlerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklere ait denklemler ve bu grafiklere ait R^2 değerleri ($\boldsymbol{LO_{100}}$: 100 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı, $\boldsymbol{LO_{500}}$: 500 çevrim sonrası Los Angeles aşınma kaybı, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	LO_{100}= -0,0015x^2 + 0,0871x + 6,7334	0,4760
	LO_{500}= -0,0078x^2 + 0,3279x + 32,181	0,5917
2	LO_{100}= -0,0025x^2 + 0,1062x + 13,282	0,7882
	LO_{500}= 0,0008x^2 + 0,0030x + 57,172	0,8061
3	LO_{100}= -0,0001x^2 + 0,0558x + 8,9226	0,8985
	LO_{500}= -6E-06x^2 + 0,0885x + 41,141	0,4766
4	LO_{100}= 0,0014x^2 + 0,0728x + 12,969	0,8865
	LO_{500}= 0,0149x^2 + 0,0129x + 51,574	0,9974
5	LO_{100}= 0,0016x^2 - 0,0197x + 10,094	0,7003
	LO_{500}= 0,0068x^2 - 0,1361x + 45,276	0,6497
6	LO_{100}= 0,0147x^2 - 0,2963x + 14,872	0,8898
	LO_{500}= 0,0237x^2 - 0,3711x + 55,821	0,9506
7	LO_{100}= -0,0044x^2 + 0,2371x + 43,048	0,8582
	LO_{500}= 0,0038x^2 + 0,1829x + 92,704	0,8345
8	LO_{100}= 0,0030x^2 - 0,0154x + 8,2015	0,9694
	LO_{500}= 0,0106x^2 - 0,1986x + 42,802	0,9655
9	LO_{100}= 0,0092x^2 - 0,0794x + 9,0218	0,9723
	LO_{500}= 0,0427x^2 - 0,5695x + 43,098	0,9718
10	LO_{100}= -0,0046x^2 + 0,2337x + 30,085	0,7601
	LO_{500}= -0,0006x^2 + 0,0654x + 89,441	0,7345
11	LO_{100}= 0,0001x^2 + 0,0189x + 8,1370	0,8472
	LO_{500}= 0,0045x^2 - 0,0666x + 36,003	0,7833
12	LO_{100}= 0,0071x^2 - 0,0870x + 26,819	0,7436
	LO_{500}= 0,0186x^2 - 0,3637x + 87,275	0,5035
13	LO_{100}= -0,0009x^2 + 0,0476x + 7,1478	0,5160
	LO_{500}= 0,0008x^2 + 0,0235x + 36,783	0,5465
14	LO_{100}= -0,0016x^2 + 0,1521x + 16,140	0,9384
	LO_{500}= -0,0020x^2 + 0,3411x + 66,136	0,9647
15	LO_{100}= -0,0080x^2 + 0,3620x + 11,202	0,5600
	LO_{500}= -0,0413x^2 + 1,7397x + 48,521	0,6512
16	LO_{100}= 0,0034x^2 + 0,0622x + 11,239	0,9656
	LO_{500}= 0,0068x^2 - 0,0521x + 52,515	0,5232
17	LO_{100}= -0,0014x^2 + 0,0617x + 11,412	0,6150
	LO_{500}= -0,0025x^2 + 0,1817x + 50,599	0,8571
18	LO_{100}= 0,0011x^2 + 0,0691x + 27,059	0,7738
	LO_{500}= -0,0042x^2 + 0,1977x + 85,605	0,7072

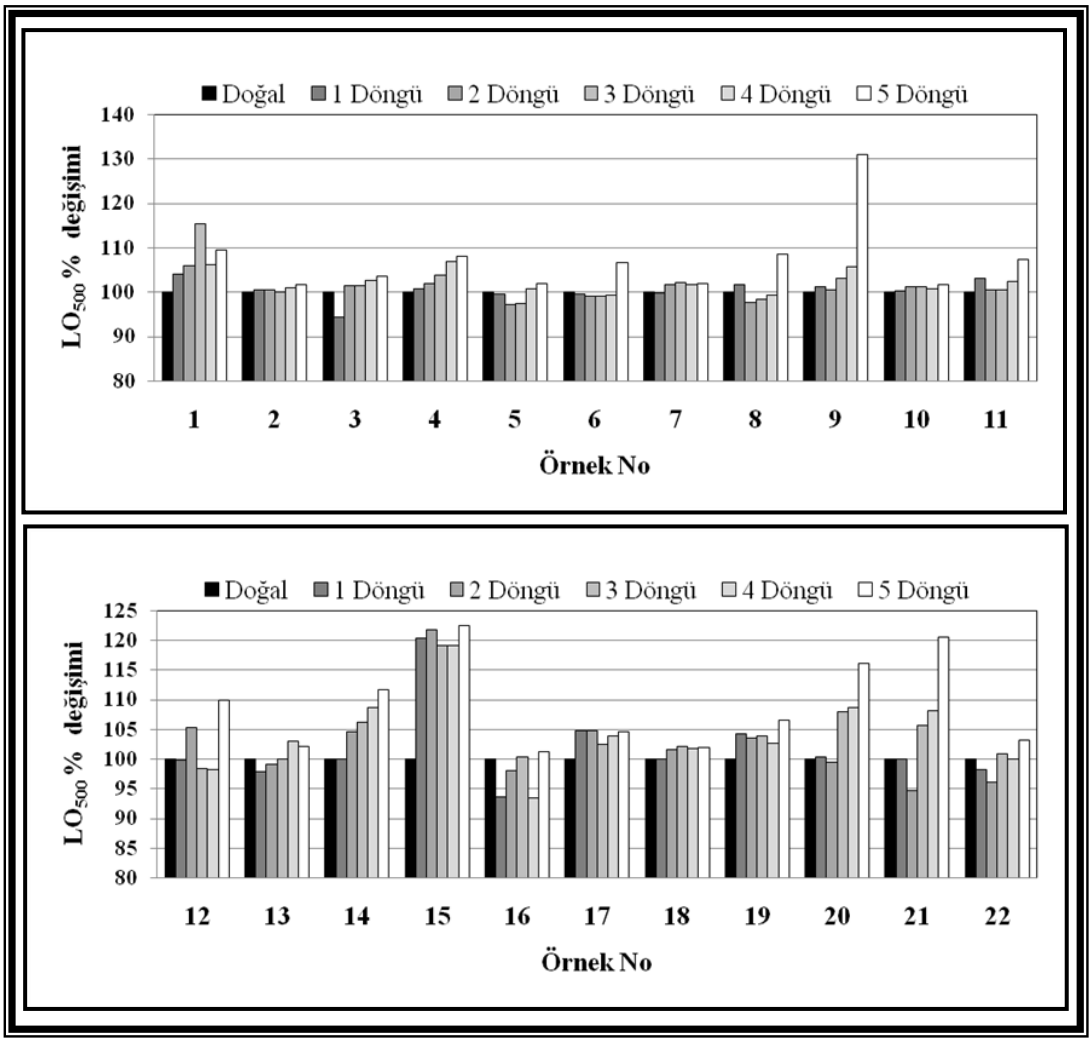
Çizelge 4.23. (Devam)

19	LO_{100}= 0,0151x^2 - 0,1513x + 33,891	0,9832
	LO_{500}= -0,0005x^2 + 0,1529x + 93,66	0,5705
20	LO_{100}= 0,0036x^2 + 0,1199x + 18,963	0,9566
	LO_{500}= 0,0092x^2 + 0,1867x + 79,165	0,9163
21	LO_{100}= -0,0002x^2 + 0,2388x + 26,001	0,6537
	LO_{500}= 0,0274x^2 - 0,2351x + 80,807	0,9001
22	LO_{100}= 0,0029x^2 - 0,0579x + 10,253	0,6262
	LO_{500}= 0,0022x^2 + 0,0369x + 42,320	0,6503

Numunelerin donma-çözünme sonrası Los Angeles aşınma kaybı (LO_{100} - LO_{500}) özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'deki grafikler yardımıyla incelenmiştir. İlgili grafikler kontrol edildiğinde Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak artığı belirlenmiştir.



Şekil 4.19. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı değerinin (LO_{100}) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri



Şekil 4.20. İncelenen örneklerin Los Angeles aşınma kaybı değerinin ($\boldsymbol{LO_{500}}$) donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

4.3.4. Donma-çözülme sürecinin kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerleri ($\boldsymbol{I_{d2} - I_{d4}}$) üzerine etkisi

Numunelerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2}) ISRM (1981)'de önerilen yöntem yardımıyla belirlenmiştir. Buna ek olarak Ulusay ve ark. (1995) ve Gökçeoğlu ve ark. (2000)' de önerdikleri 4 çevrim yapılması ve bu değerlerin kullanılması önerisi dikkatte alınarak numunelerin I_{d4} değerleri de belirlenmiştir.

Numunelerin şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası I_{d2} ve I_{d4} değerleri toplu olarak Çizelge 4.24' de gösterilmiştir. Bu çalışma için seçilen 22 örneğin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2}) değeri % 99,63 ile % 85,98 arasında değişmekte olup en küçük değer 19 nolu Nevşehir yöresine ait piroklastik kayaca, en yüksek değer ise % 99,63 ile 8 nolu Aksaray Yaylak granitine aittir (Çizelge 4.24). Donma-çözülme

çevrim sayısının artışı ile örneklerin I_{d2} ve I_{d4} değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Çizelge 4.24 incelendiğinde, 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası I_{d2} değeri en küçük % 68,08 ile 19 nolu örnek, en yüksek I_{d2} sahip kayaç ise % 99,27 değeri ile 8 nolu örnektir. Örneklerin 4 çevrim sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d4}) değerleri incelendiğinde şahit ve 5. donma-çözülme döngüsü sonrası en küçük ve en büyük değer I_{d2} değerlerinde olduğu gibi 19 ve 8 nolu örneklerde gözlenmiştir (Çizelge 4.24).

Kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} ve I_{d4}) özelliğinin donma-çözülme sürecini bağlı olarak değişimini gösteren grafikler hazırlanarak bu grafikler için en yüksek belirlilik katsayısını (R^2) veren denklem belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve Çizelge 4.25).

Kayaçların D-Ç çevrim sayısı - suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2}) grafikler ve Çizelge 4.25 incelendiğinde belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük değeri 0,5927 ile 21 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9887 ile 20 nolu örneğe aittir.

Çizelge 4.25'e bakıldığında çevrim sayısı - I_{d4} değerleri arasındaki belirlilik katsayısı (R^2) değeri en düşük 0,5540 ile 13 nolu örnekte, en yüksek R^2 değeri ise 0,9957 ile 20 nolu örneğe aittir.

Numunelerin donma-çözünme sonrası I_{d2} ve I_{d4} özelliğinin başlangıç değerlerine göre yüzdesel değişimi Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'deki grafik yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.22-23'deki grafikler incelendiğinde suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}) değerlerinin donma-çözülme döngüsünün ilerlemesiyle yüzdesel olarak azaldığı belirlenmiştir.

D-Ç döngüleri sonrası yüzdesel değişim 6 ve 10 nolu piroklastik kayaçlarda çevrim sayısının artışı ile ters orantılı olarak sistematik bir azalma gözlenirken, diğer örneklerde ise herhangi bir azalma belirlenmemiştir. Bu düzensizliğin örneklerin köşelik faktörünün suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerine etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Franklin ve Chandra, 1972; Koncagül ve Santi, 1999; Kolay ve Kayabali, 2006).

Donma-çözülmenin 5. döngüsü sonrası I_{d2} en yüksek yüzdesel değişim 19 nolu örnekte % 7,85 ile en düşük değişim % 0,18 ile 8 nolu örnekte olmuştur. 5. Döngü sonrası yüzdesel değişimler kayaç grupları açısından incelendiğinde en çok değişim piroklastik kayaçlarda en az değişim magmatik kayaçlarda gözlenmiştir. Donma-çözülmenin I_{d4} üzerindeki etkileri incelendiğinde en yüksek yüzdesel değişim 18 nolu

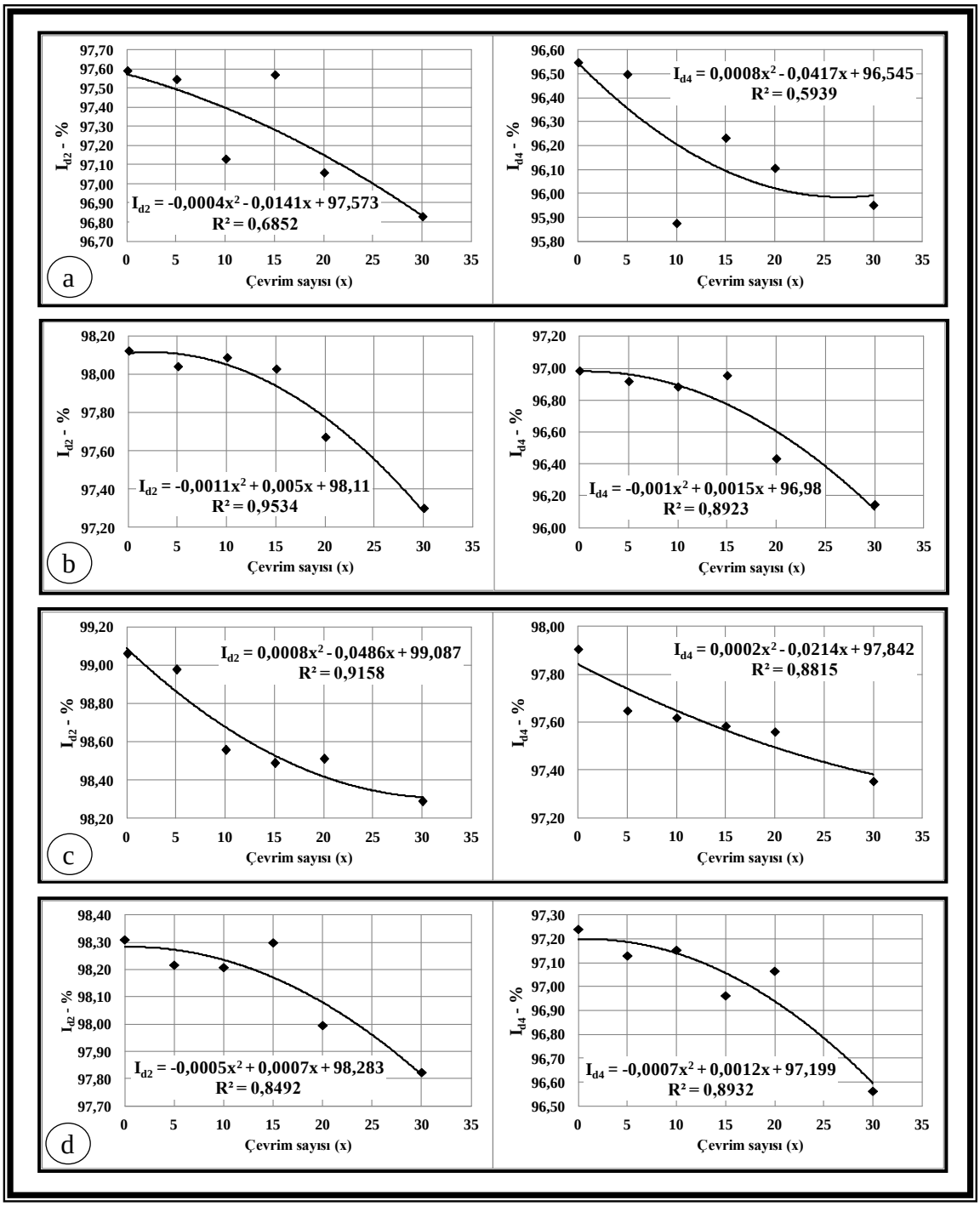
örnekte % 14,10 ile en düşük değişim % 0,11 ile 8 nolu örnekte olmuştur. I_{d4} değeri en çok değişen örnekler piroklastik kayaçlar en az değişenler ise magmatik kayaçlar olup I_{d2} değerindeki kayaç grupları ile uyumludurlar.

Çizelge 4.24. İncelenen örneklerin şahit ve donma-çözünme döngüleri sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}) değerlerindeki değişimler

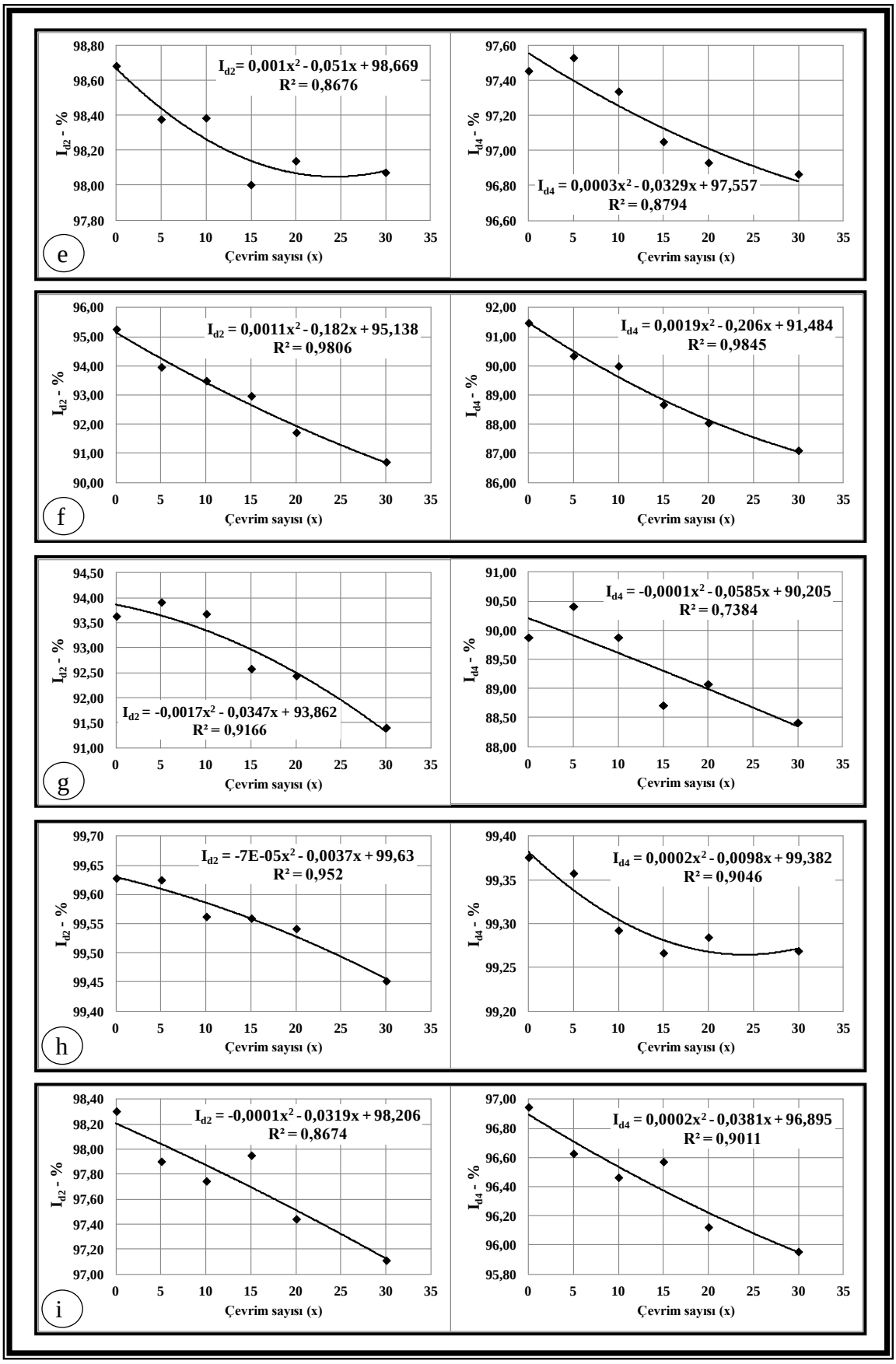
Örnek No		Şahit	Donma-Çözülme Sonrası				
		0.Döngü	1.Döngü	2.Döngü	3.Döngü	4.Döngü	5.Döngü
1	I_{d2}	97,59±0,31	97,55±0,28	97,13±0,38	97,57±0,29	97,06±0,32	96,83±0,26
	I_{d4}	96,55±0,42	96,50±0,36	95,88±0,45	96,23±0,47	96,11±0,30	95,95±0,34
2	I_{d2}	98,13±0,25	98,04±0,27	98,09±0,18	98,03±0,27	97,67±0,35	97,30±0,31
	I_{d4}	96,99±0,31	96,92±0,34	96,89±0,25	96,96±0,21	96,43±0,37	96,15±0,37
3	I_{d2}	99,06±0,18	98,98±0,21	98,56±0,17	98,49±0,31	98,51±0,27	98,29±0,29
	I_{d4}	97,91±0,37	97,65±0,28	97,62±0,24	97,58±0,38	97,56±0,31	97,35±0,35
4	I_{d2}	98,31±0,27	98,22±0,25	98,21±0,28	98,30±0,33	98,00±0,19	97,82±0,28
	I_{d4}	97,24±0,39	97,13±0,31	97,15±0,30	96,96±0,29	97,07±0,25	96,56±0,24
5	I_{d2}	98,68±0,22	98,38±0,19	98,39±0,24	98,00±0,25	98,14±0,34	98,07±0,22
	I_{d4}	97,46±0,27	97,53±0,27	97,34±0,22	97,05±0,28	96,93±0,29	96,87±0,21
6	I_{d2}	95,26±0,45	93,96±0,52	93,49±0,61	92,97±0,75	91,71±0,67	90,70±0,71
	I_{d4}	91,48±0,52	90,34±0,82	89,99±0,72	88,67±0,82	88,04±0,72	87,10±0,80
7	I_{d2}	93,63±0,61	93,91±0,72	93,68±0,62	92,58±0,65	92,44±0,82	91,40±0,92
	I_{d4}	89,88±0,77	90,41±0,85	89,88±0,94	88,71±0,72	89,07±0,85	88,41±0,94
8	I_{d2}	99,63±0,09	99,62±0,06	99,56±0,10	99,56±0,13	99,54±0,07	99,45±0,09
	I_{d4}	99,38±0,08	99,36±0,09	99,29±0,07	99,27±0,11	99,28±0,09	99,27±0,12
9	I_{d2}	98,30±0,21	97,90±0,38	97,74±0,28	97,95±0,19	97,44±0,32	97,11±0,37
	I_{d4}	96,95±0,34	96,63±0,41	96,46±0,37	96,57±0,24	96,12±0,34	95,95±0,39
10	I_{d2}	90,79±0,94	90,78±0,88	90,36±0,94	90,16±0,87	88,50±0,87	88,19±0,94
	I_{d4}	84,44±1,23	84,44±1,15	84,32±0,92	83,74±0,86	82,28±0,92	82,08±0,96
11	I_{d2}	99,52±0,08	99,46±0,10	99,30±0,12	99,30±0,18	99,37±0,13	99,28±0,15
	I_{d4}	99,23±0,10	99,17±0,07	98,88±0,09	98,87±0,16	98,91±0,15	98,83±0,17
12	I_{d2}	87,46±0,92	87,11±1,08	86,71±1,22	87,23±0,92	85,45±1,12	81,80±1,35
	I_{d4}	78,03±1,10	77,85±1,25	77,17±1,33	77,78±1,23	76,49±1,58	73,50±1,98
13	I_{d2}	98,87±0,13	98,65±0,17	98,39±0,21	98,63±0,12	98,68±0,25	98,10±0,09
	I_{d4}	98,17±0,15	97,93±0,16	97,59±0,22	97,86±0,14	97,96±0,19	97,34±0,11
14	I_{d2}	96,19±0,34	95,64±0,40	95,54±0,37	95,56±0,49	95,20±0,27	93,56±0,52
	I_{d4}	92,92±0,39	92,38±0,45	92,30±0,39	92,31±0,52	92,17±0,38	90,56±0,58
15	I_{d2}	97,32±0,27	97,20±0,32	96,87±0,49	97,15±0,61	97,12±0,41	95,49±0,72
	I_{d4}	95,48±0,25	95,29±0,30	94,95±0,48	95,32±0,50	95,38±0,39	93,64±0,45
16	I_{d2}	98,35±0,29	97,79±0,35	97,87±0,18	97,84±0,27	97,65±0,40	96,93±0,37
	I_{d4}	96,90±0,32	96,42±0,37	96,66±0,28	96,45±0,16	96,54±0,47	95,78±0,42
17	I_{d2}	94,58±0,40	93,59±0,45	94,27±0,51	93,11±0,74	92,04±0,68	91,37±0,84
	I_{d4}	87,72±0,48	86,64±0,44	85,85±0,78	86,13±0,61	85,63±0,75	84,72±0,79
18	I_{d2}	96,39±0,42	93,16±0,53	93,57±0,58	91,35±0,51	89,16±0,82	90,26±0,78
	I_{d4}	92,74±0,51	86,80±0,59	87,92±0,71	84,16±0,65	80,26±1,03	79,66±0,86
19	I_{d2}	85,98±0,85	83,95±0,78	84,07±0,86	84,94±0,80	84,46±0,95	79,23±1,11
	I_{d4}	75,49±0,91	71,50±0,83	70,00±1,08	70,48±0,92	69,30±1,13	68,08±1,35
20	I_{d2}	92,02±0,75	91,60±0,68	91,36±0,92	90,44±0,78	90,16±0,86	88,47±0,97
	I_{d4}	85,22±0,82	84,79±0,80	84,35±1,21	83,80±0,83	83,48±0,92	82,11±1,13
21	I_{d2}	88,39±0,89	88,29±0,75	86,87±1,12	84,44±0,92	86,99±1,08	85,32±1,18
	I_{d4}	81,29±0,78	80,68±1,13	79,22±1,23	78,22±1,05	79,79±1,15	77,94±1,32
22	I_{d2}	99,48±0,05	99,64±0,07	99,50±0,12	99,53±0,08	99,49±0,07	99,12±0,12
	I_{d4}	99,15±0,07	99,38±0,09	99,19±0,10	99,22±0,09	99,09±0,09	98,77±0,10

Çizelge 4.25. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}), değerlerinin donma-çözülme süreciyle değişimini gösteren grafiklere ait denklemler ve bu grafiklere ait R^2 değerleri (I_{d2}: 2 çevrim sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, I_{d4}: 4 çevrim sonrası suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, x: çevrim sayısı, R^2: belirlilik katsayısı)

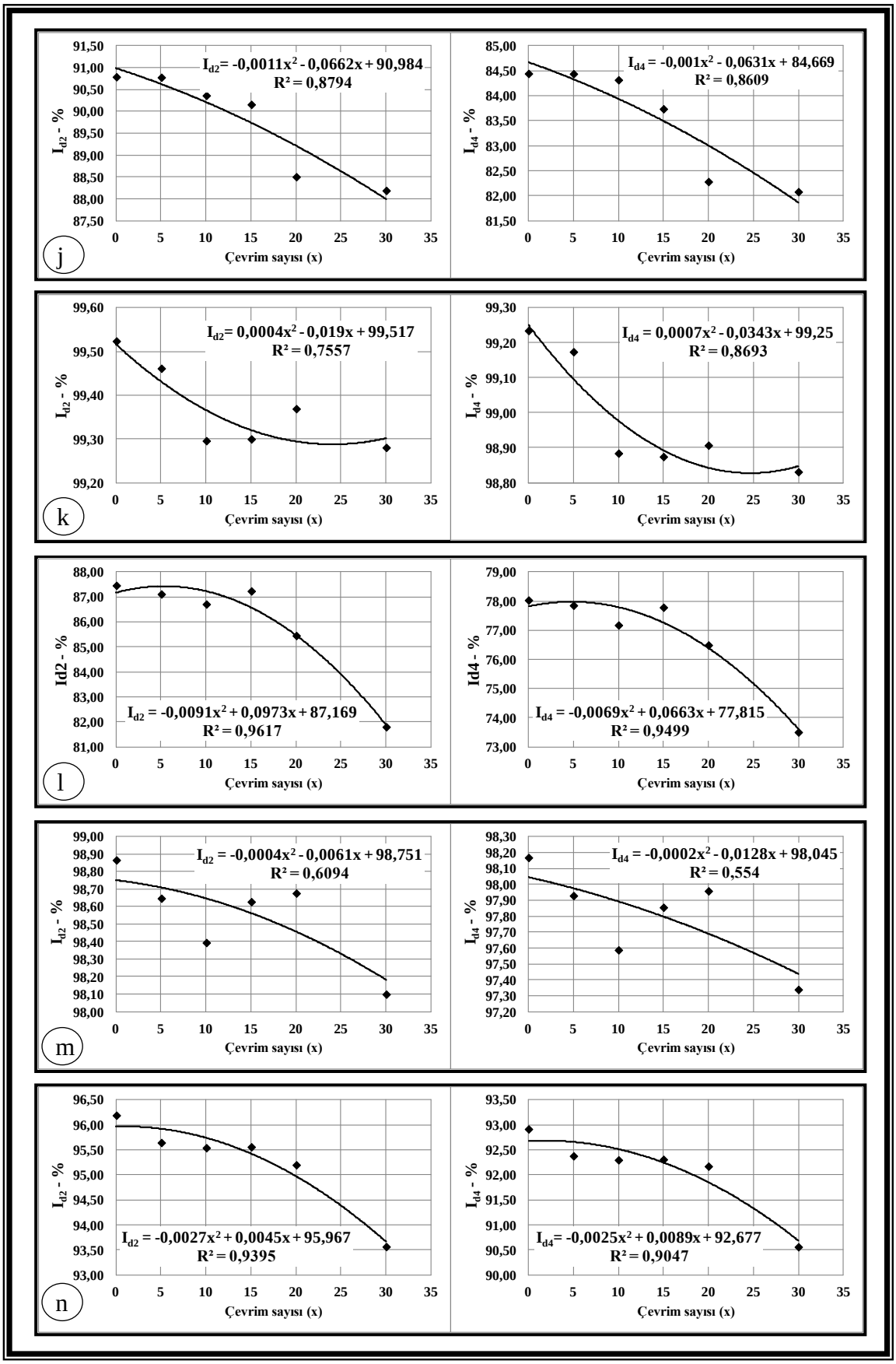
Örnek No	Grafiğin denklemi	R^2 değeri
1	I_{d2}= -0,0004x^2 - 0,0141x + 97,573	0,6852
	I_{d4}= 0,0008x^2 - 0,0417x + 96,545	0,5939
2	I_{d2}= -0,0011x^2 + 0,005x + 98,110	0,9534
	I_{d4}= -0,001x^2 + 0,0015x + 96,980	0,8923
3	I_{d2}= 0,0008x^2 - 0,0486x + 99,087	0,9158
	I_{d4}= 0,0002x^2 - 0,0214x + 97,842	0,8815
4	I_{d2}= -0,0005x^2 + 0,0007x + 98,283	0,8492
	I_{d4}= -0,0007x^2 + 0,0012x + 97,199	0,8932
5	I_{d2}= 0,001x^2 - 0,051x + 98,669	0,8676
	I_{d4}= 0,0003x^2 - 0,0329x + 97,557	0,8794
6	I_{d2}= 0,0011x^2 - 0,182x + 95,138	0,9806
	I_{d4}= 0,0019x^2 - 0,206x + 91,484	0,9845
7	I_{d2}= -0,0017x^2 - 0,0347x + 93,862	0,9166
	I_{d4}= -0,0001x^2 - 0,0585x + 90,205	0,7384
8	I_{d2}= -7E-05x^2 - 0,0037x + 99,63	0,9520
	I_{d4}= 0,0002x^2 - 0,0098x + 99,382	0,9046
9	I_{d2}= -0,0001x^2 - 0,0319x + 98,206	0,8674
	I_{d4}= 0,0002x^2 - 0,0381x + 96,895	0,9011
10	I_{d2}= -0,0011x^2 - 0,0662x + 90,984	0,8794
	I_{d4}= -0,001x^2 - 0,0631x + 84,669	0,8609
11	I_{d2}= 0,0004x^2 - 0,019x + 99,517	0,7557
	I_{d4}= 0,0007x^2 - 0,0343x + 99,25	0,8693
12	I_{d2}= -0,0091x^2 + 0,0973x + 87,169	0,9617
	I_{d4}= -0,0069x^2 + 0,0663x + 77,815	0,9499
13	I_{d2}= -0,0004x^2 - 0,0061x + 98,751	0,6094
	I_{d4}= -0,0002x^2 - 0,0128x + 98,045	0,5540
14	I_{d2}= -0,0027x^2 + 0,0045x + 95,967	0,9395
	I_{d4}= -0,0025x^2 + 0,0089x + 92,677	0,9047
15	I_{d2}= -0,0031x^2 + 0,0428x + 97,145	0,8526
	I_{d4}= -0,0031x^2 + 0,0461x + 95,261	0,7857
16	I_{d2}= -0,0007x^2 - 0,0172x + 98,17	0,8684
	I_{d4}= -0,001x^2 - 0,0002x + 96,725	0,7773
17	I_{d2}= -0,0008x^2 - 0,0857x + 94,518	0,8826
	I_{d4}= 0,0016x^2 - 0,1351x + 87,484	0,9096
18	I_{d2}= 0,0094x^2 - 0,4911x + 96,284	0,8909
	I_{d4}= 0,0099x^2 - 0,7254x + 92,205	0,9127
19	I_{d2}= -0,0092x^2 + 0,1027x + 84,935	0,7996
	I_{d4}= 0,0086x^2 - 0,466x + 74,662	0,8881
20	I_{d2}= -0,0018x^2 - 0,0621x + 92,011	0,9887
	I_{d4}= -0,0010x^2 - 0,0717x + 85,189	0,9957
21	I_{d2}= 0,0044x^2 - 0,2361x + 88,66	0,5927
	I_{d4}= 0,003x^2 - 0,1902x + 81,241	0,7270
22	I_{d2}= -0,001x^2 + 0,0177x + 99,501	0,9065
	I_{d4}= -0,001x^2 + 0,0157x + 99,203	0,8903



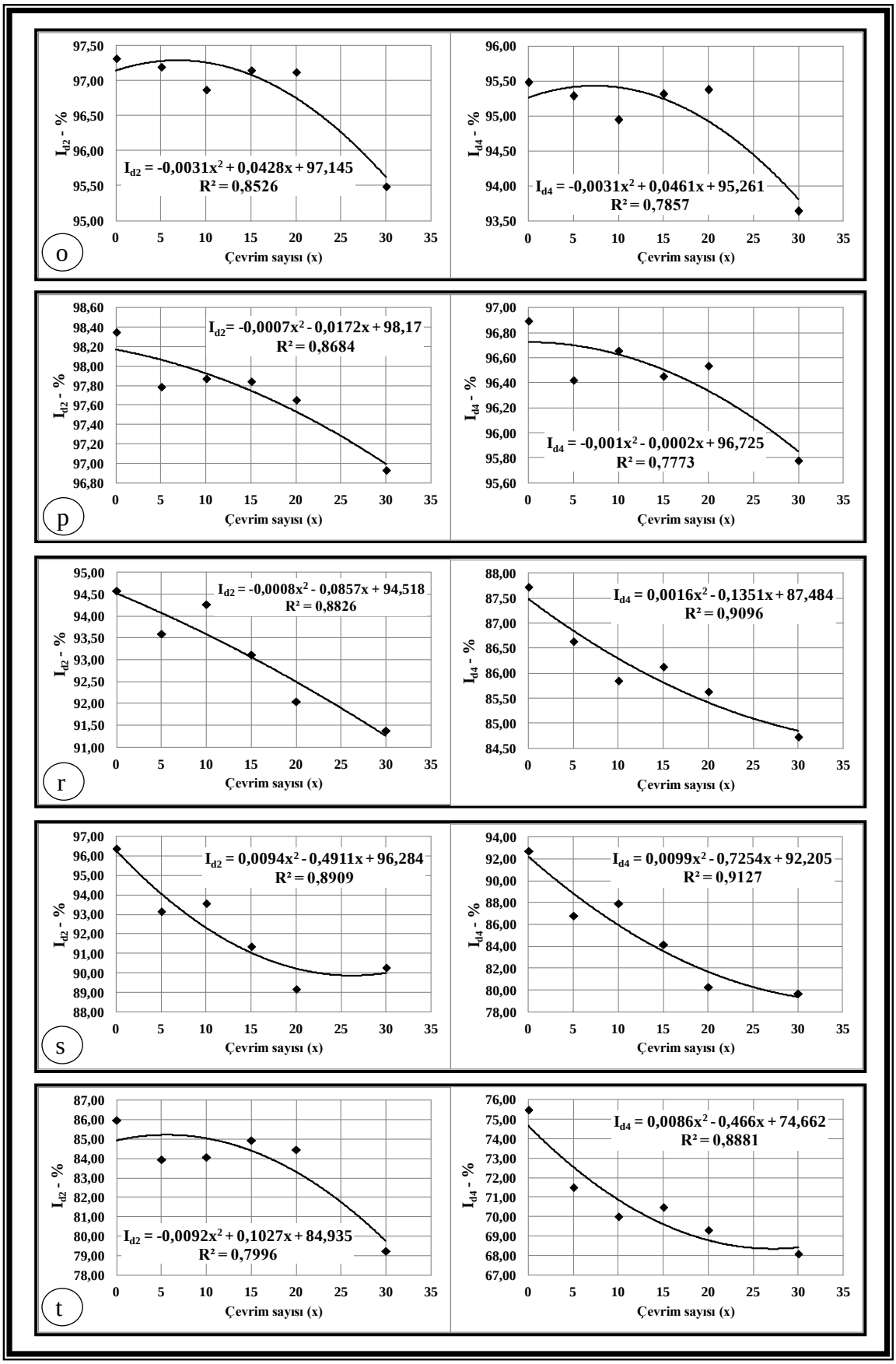
Şekil 4.21. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2} - I_{d4}), değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı değişimlerinin grafiksel gösterimi; a) 1 nolu örnek, b) 2 nolu örnek, c) 3 nolu örnek, d) 4 nolu örnek, e) 5 nolu örnek, f) 6 nolu örnek, g) 7 nolu örnek, h) 8 nolu örnek, i) 9 nolu örnek, j) 10 nolu örnek, k) 11 nolu örnek, l) 12 nolu örnek, m) 13 nolu örnek, n) 14 nolu örnek, ö) 15 nolu örnek, p) 16 nolu örnek, r) 17 nolu örnek, s) 18 nolu örnek, t) 19 nolu örnek, u) 20 nolu örnek, v) 21 nolu örnek, y) 22 nolu örnek



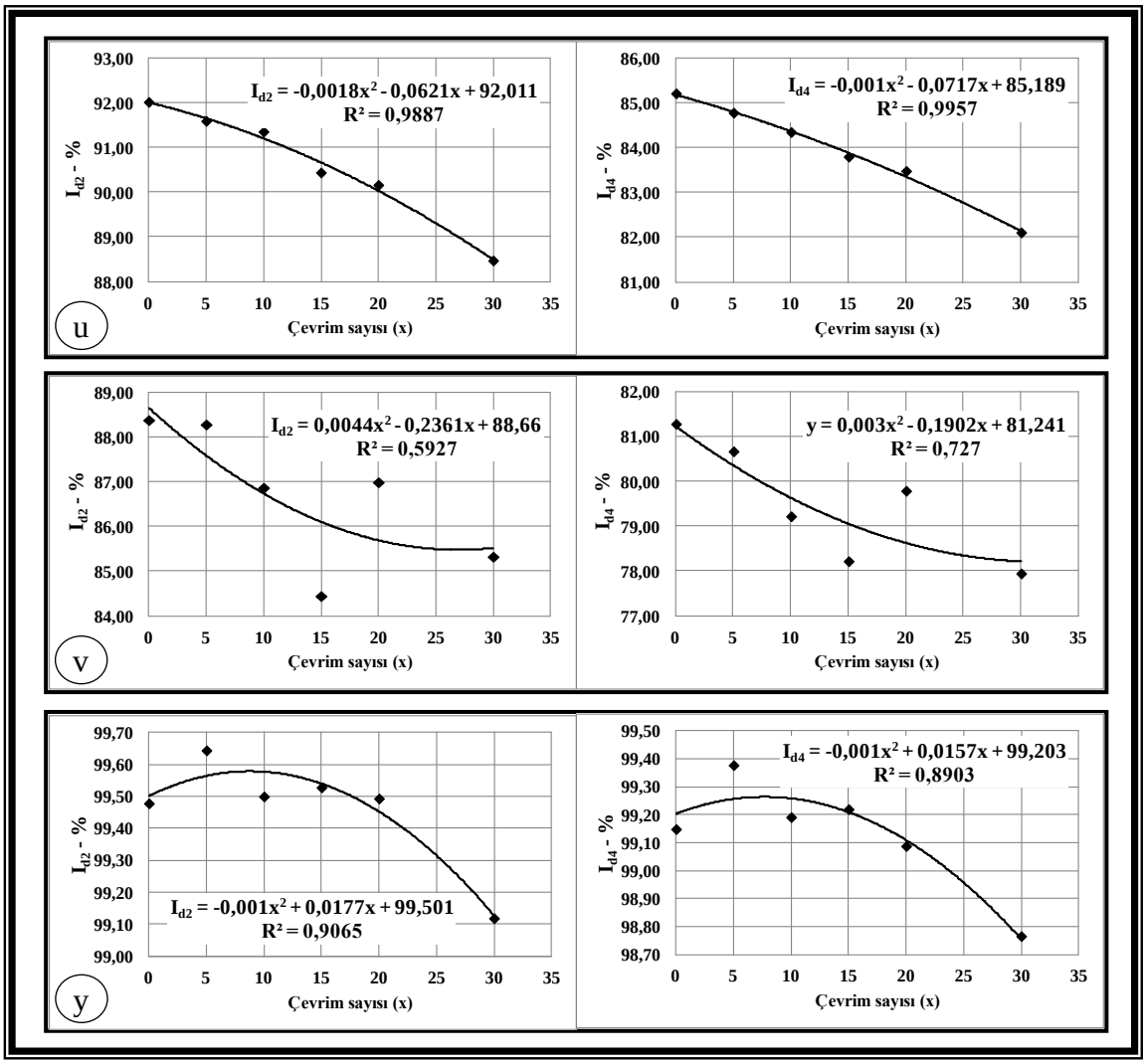
Şekil 4.21. (Devam)



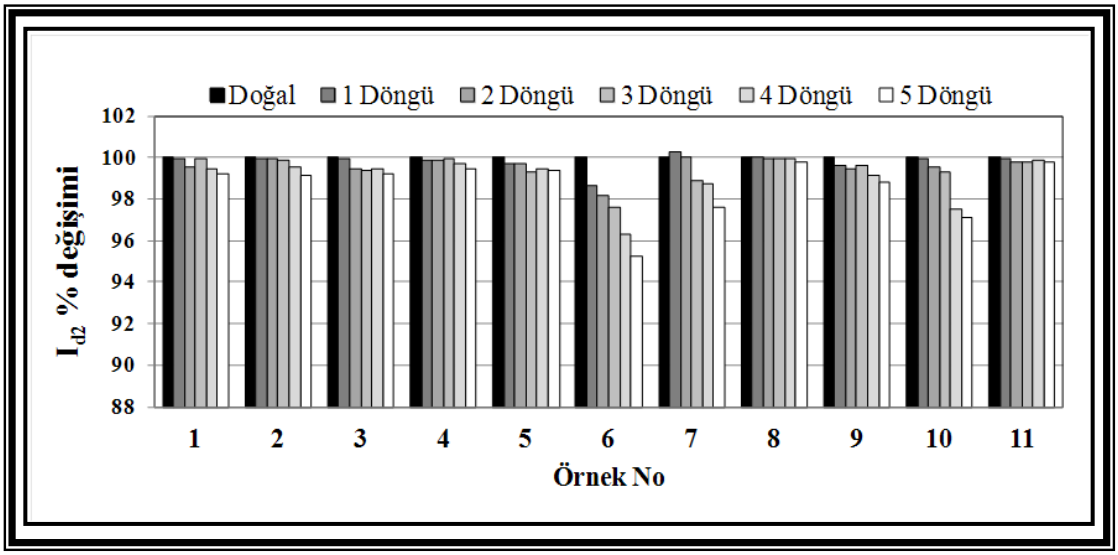
Şekil 4.21. (Devam)



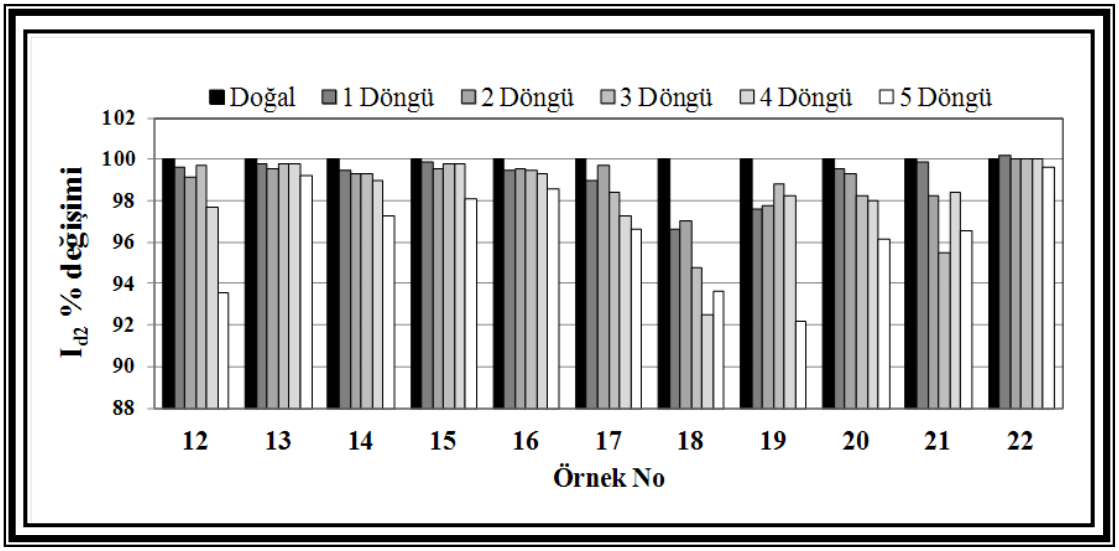
Şekil 4.21. (Devam)



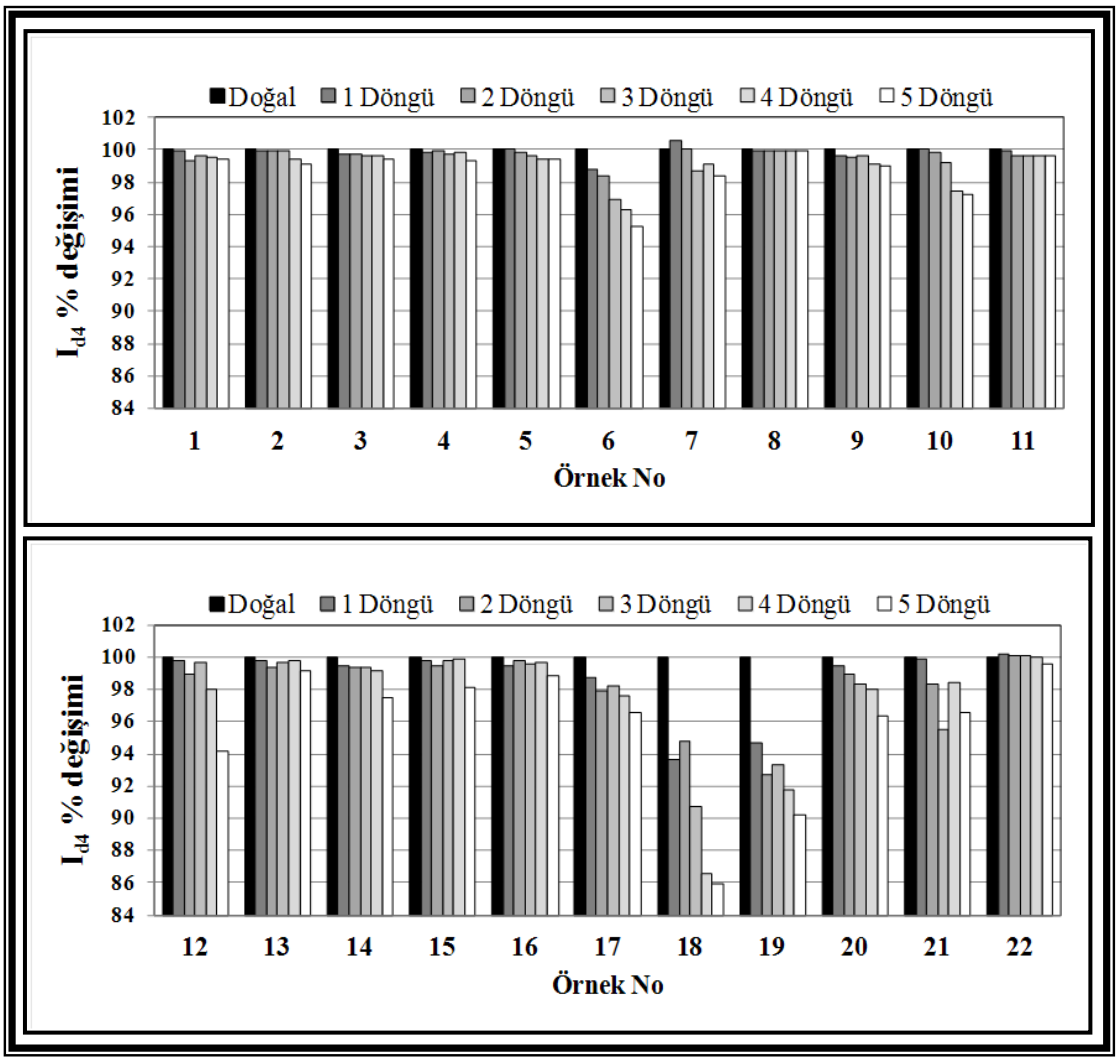
Şekil 4.21. (Devam)



Şekil 4.22. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2}) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri



Şekil 4.22 (Devam)



Şekil 4.23. İncelenen örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d4}) değerlerinin donma-çözülme sürecine bağlı yüzdesel değişimlerinin bar grafikleri

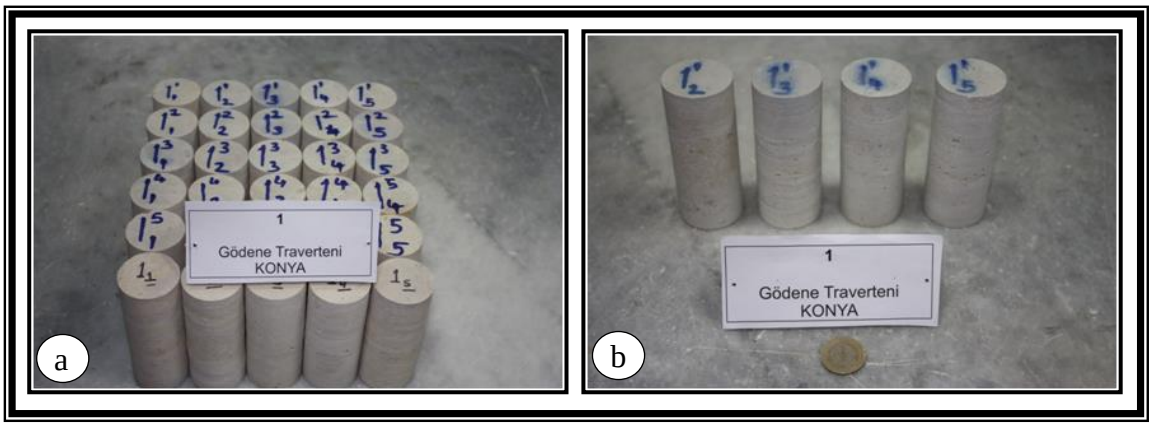
4.4. Donma-Çözülme Sürecinin Kayaçların Dokusu Üzerine Makroskobik ve Mikroskobik Ölçekte Etkisi

Bu bölümde donma-çözülme sürecinin kayaçlar üzerindeki etkileri; gözle görülen (makroskobik) ve kayaçlara ait ince kesitlerin polarizan mikroskop incelemelerindeki dokusal değişimleri (mikroskobik) olmak üzere iki alt başlık altında incelenmiştir.

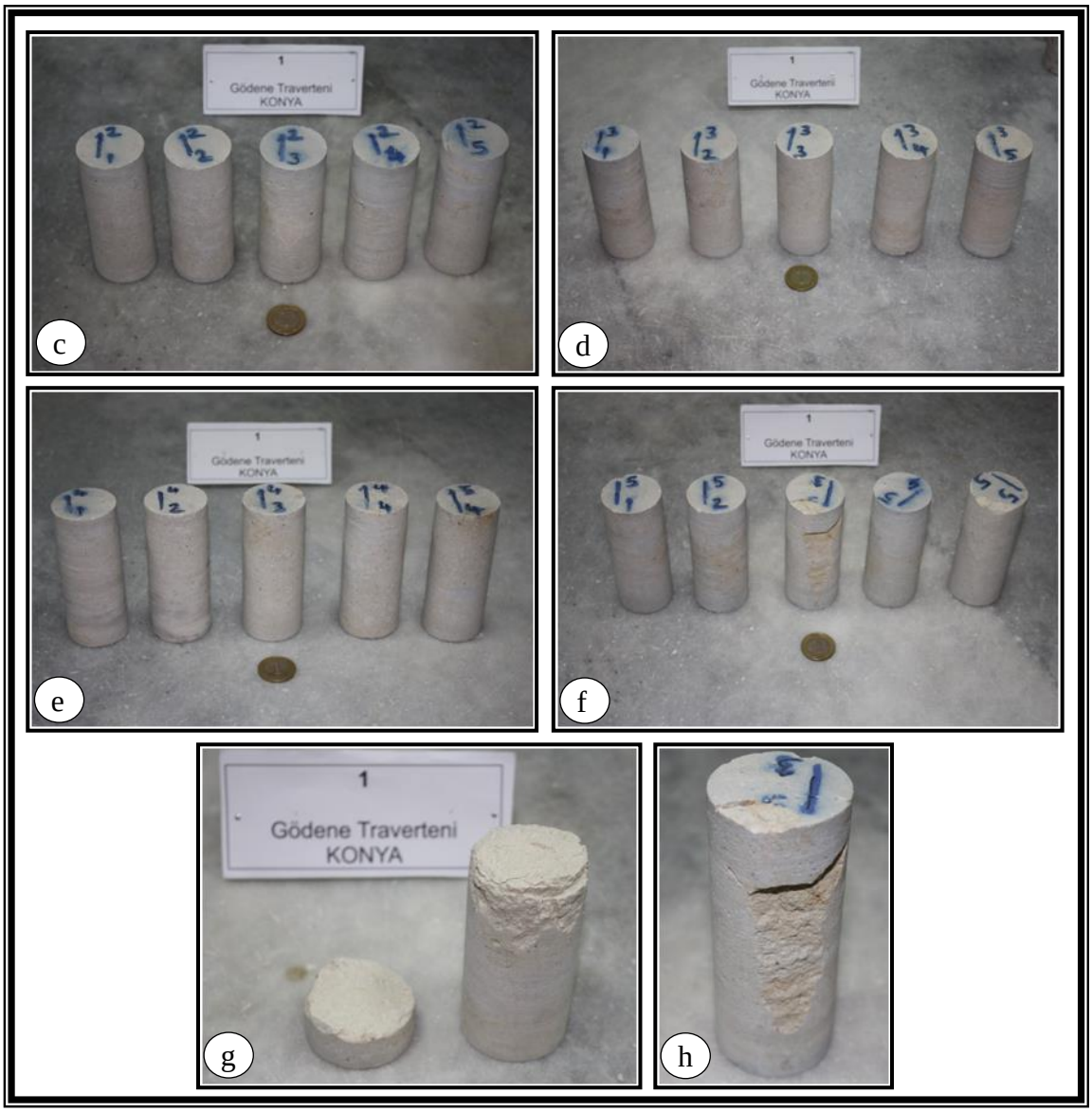
4.4.1. Donma-çözülme sürecinin kayacın dokusu üzerine makroskobik etkisi

Donma-çözülme sürecinin kayaçlar üzerinde gözle görülen (makroskobik) etkilerini incelemek için ASTM D 5312 – 04 standartına uygun olarak her numunenin donma-çözülme süreci öncesi ve sonrası gözle inceleme yapılmış, oluşan değişikler not edilerek fotoğraflanmıştır. Bu bölümde donma-çözülme döngüleri sonrasında kayaçlarda makro ölçekte gözlenen değişimler yorumlanmıştır.

1 nolu kayacın donma-çözülme döngüleri sonrası örneklerin görünümleri Şekil 4.24.a-f' de verilmişitr. Gödene travertenin 1. donma-çözülme döngüsüne ait 1 nolu karot örneğininde kil bandı içerdiği ve bu kısımın donma-çözülmeden etkilendiği belirlenmiştir (Şekil 4.24.g). Gödene travertenin 5. D-Ç döngüsüne ait 3 nolu karot örneğin kalsit damarı boyunca örneğin parçalandığı belirlenmiştir (Şekil 4.24.h).



Şekil 4.24. 1 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) I. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma, h) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma



Şekil 4.24. (Devam)

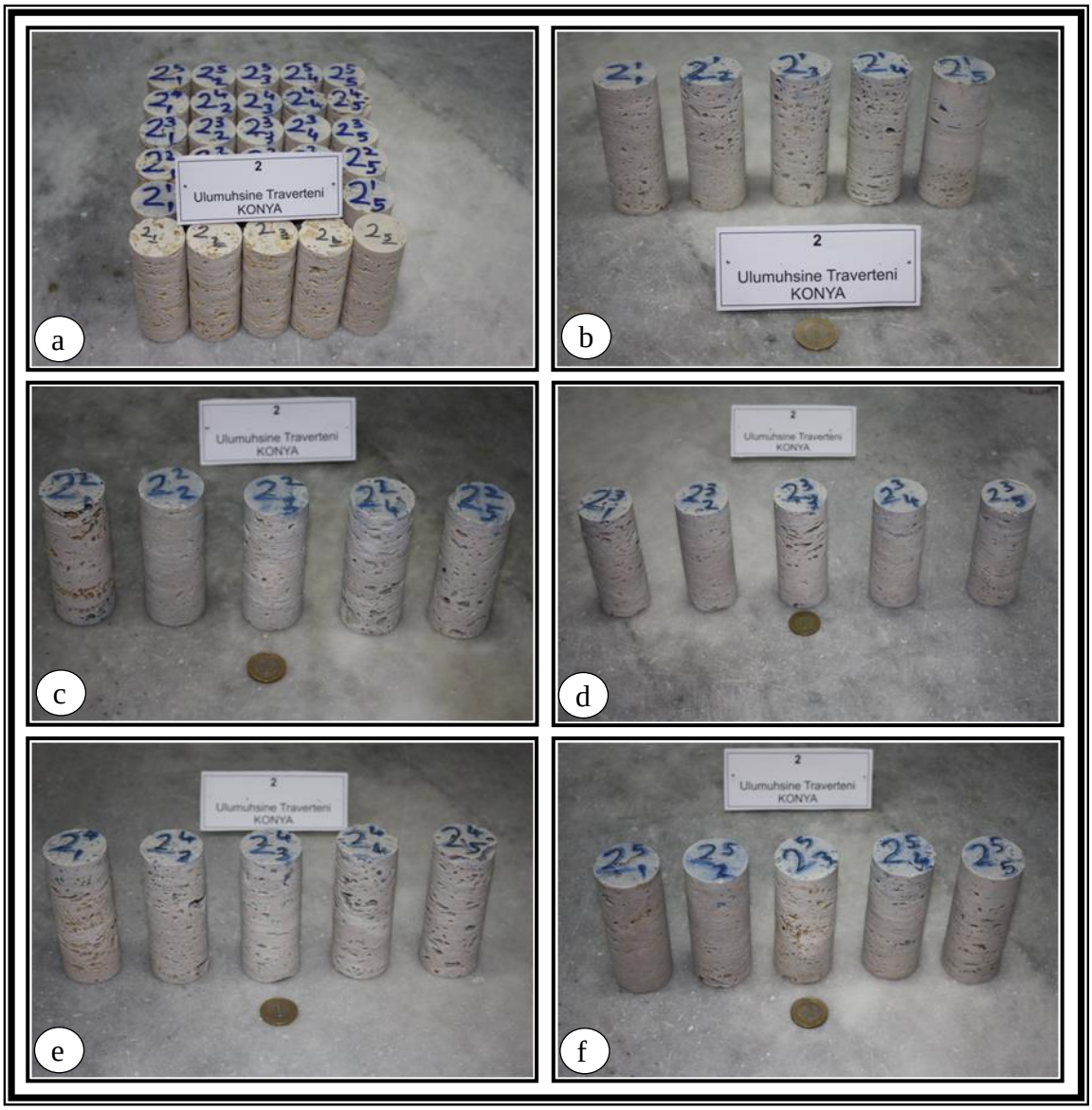
Gödene traverteninin diğer karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası gözle görülür bir değişiklik belirlenmemiştir.

1 nolu örneğin donma-çözülme sürecinden etkilenen karot örneklerindeki değişimler, kayaç bünyesinde var olan kaya kusurlarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

2 ve 3 nolu kayaçların donma-çözülme döngüleri sonrası örneklerin görünümleri Şekil 4.25.a-f ve Şekil 4.25.a-f'de verilmişitir. 2 ve 3 nolu örneklerde D-Ç döngüleri sonrası makroskobik ölçekte bir değişiklik gözlemlenememiştir.

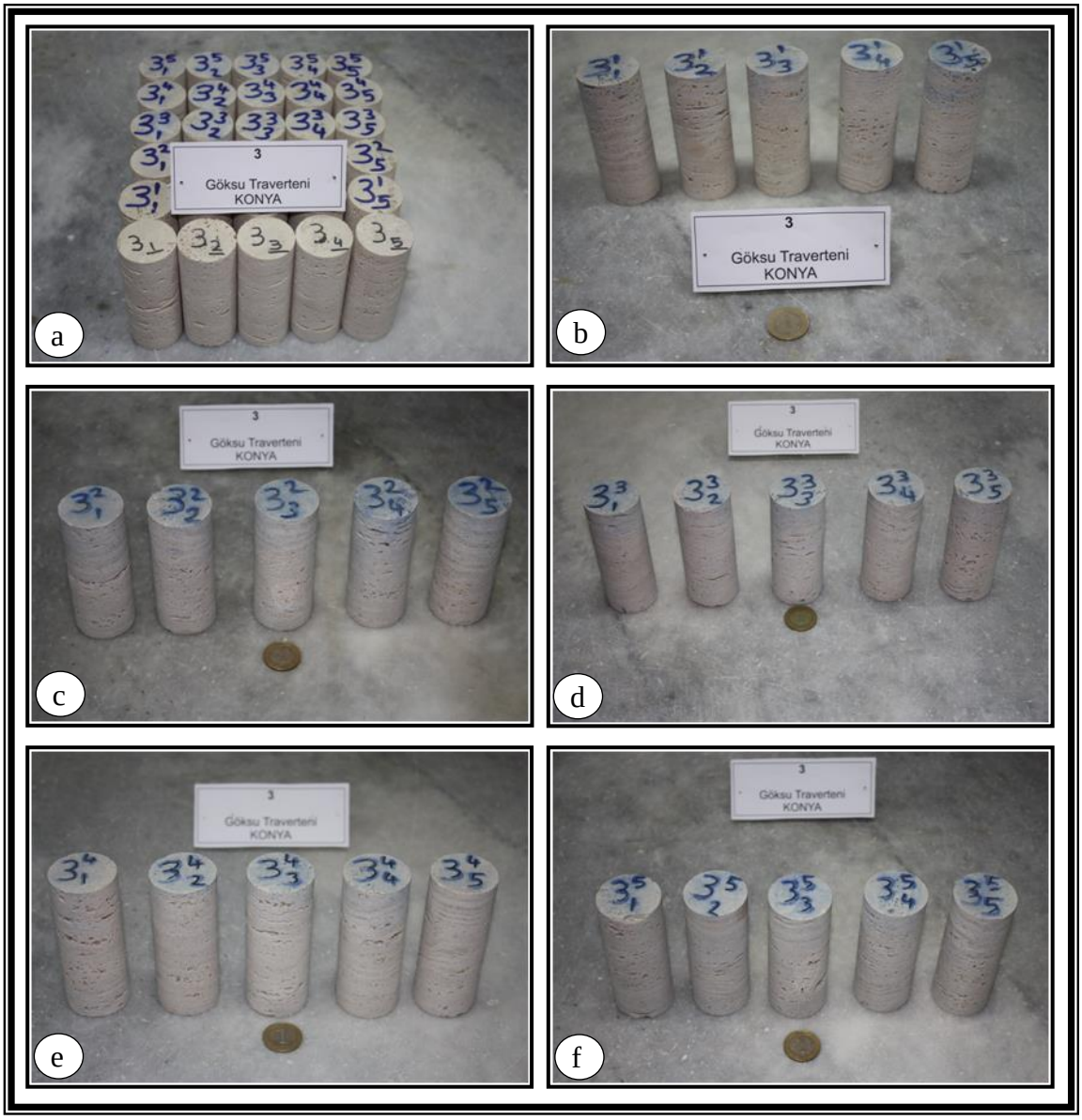
4 nolu örneğe ait karotların toplu görünümü ve donma-çözülme döngüleri sonrasına ait görünmleri Şekil 4.27.a-f' de verilmişitr. Sille taşına ait örneklerde D-Ç

süreçleri öncesine ait görüntüler ile sonrasına ait görüntülerde gözle görülen ölçekte bir değişiklik belirlenmemiştir.



Şekil 4.25. 2 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

Meram andezittine ait örneklerin donma-çözülme süreci öncesi toplu görünümü Şekil 4.28.a' da D-Ç döngüleri sonrasına ait görünümleri Şekil 4.28.b-f" de verilmişitir. D-Ç süreci sonrasında 5 nolu örneğin 1. Donma-çözülme döngüsüne ait 1 nolu karot örneğininde ve 5. D-Ç döngüsüne ait 4 ile 5 nolu karotlarında yer alan fisürler boyunca örneklerin parçalara ayrıldığı gözlenmiştir (Şekil 4.28.g ve h). 5 nolu numunenin diğer karot örneklerinin D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

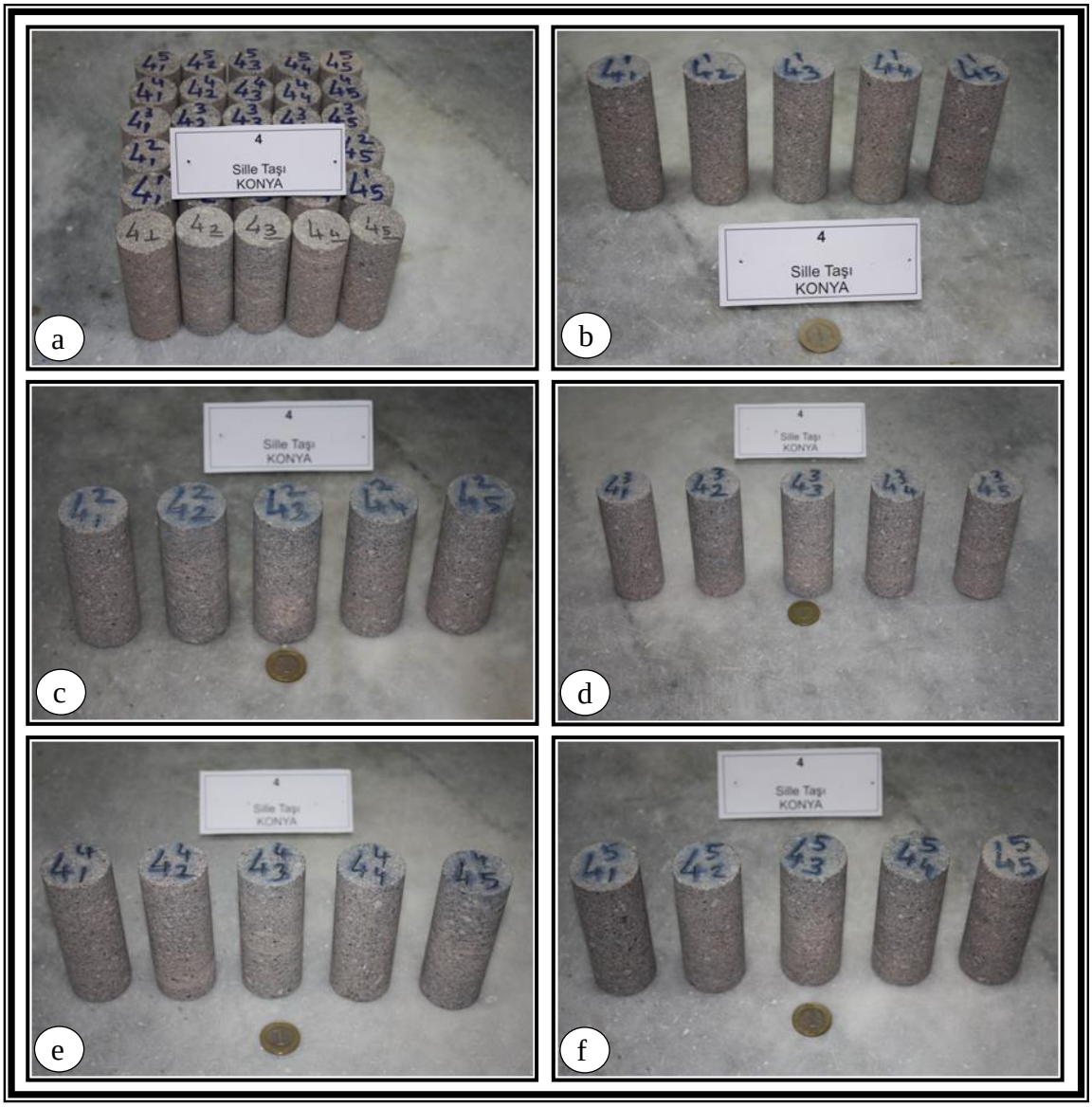


Şekil 4.26. 3 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

6 nolu numuneye ait örneklerin donma-çözülme döngüleri sonrası görünümleri Şekil 4.29.a-f' de verilmiştir. 6 nolu numunenin ilk 4 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik gözlenmemiştir. 6 nolu örneğin 5. D-Ç döngüsüne ait 1 ile 4 nolu karotlarında parça kopmaları ve parçalanmalar gözlemlenmiştir. Buna ek olarak karotlarda D-Ç süreci öncesi mevcut gözeneklerin çaplarında büyümeler belirlenmiştir (Şekil 4.29.f ve g).

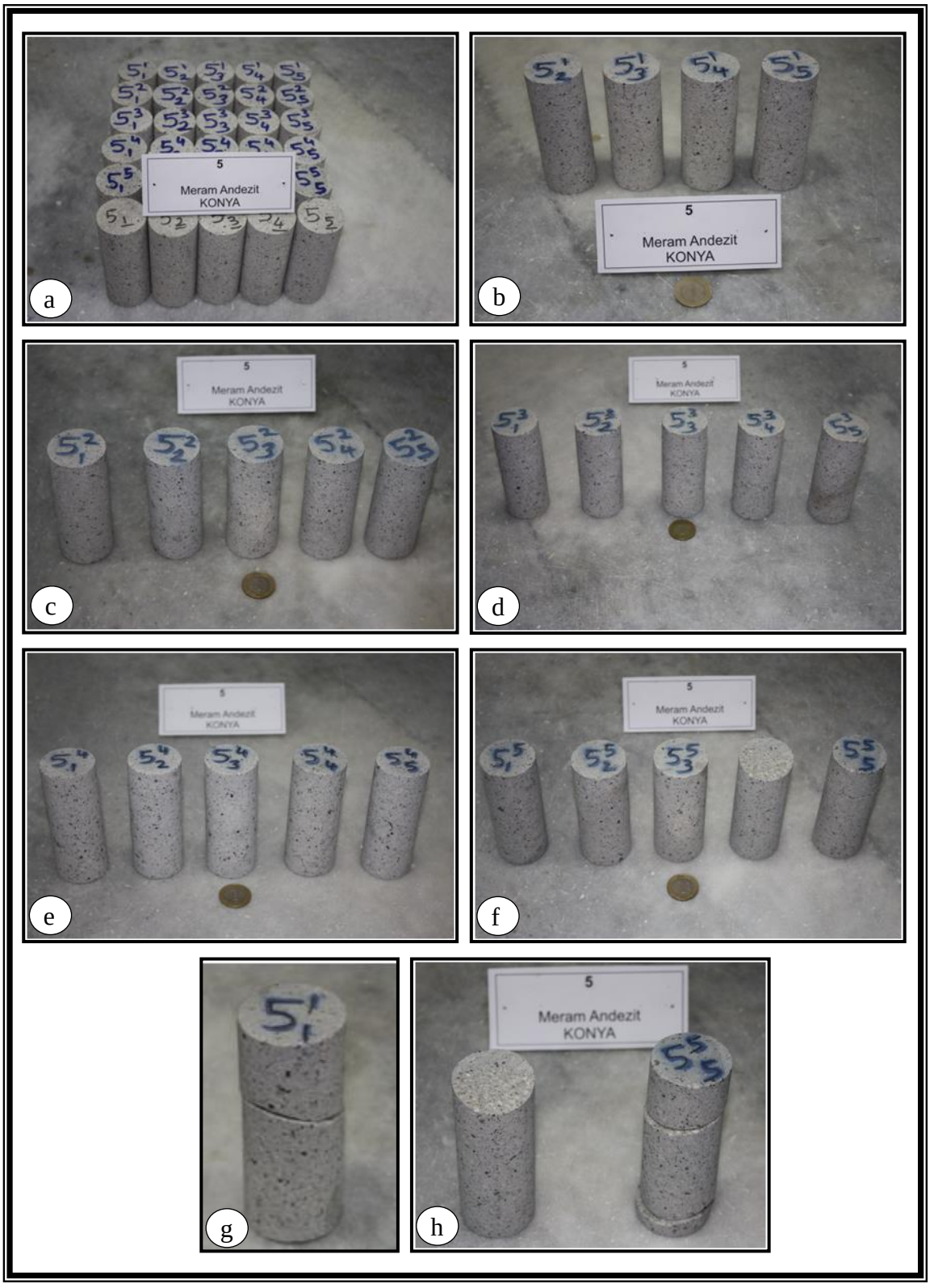
7 nolu numuneye ait örneklerin donma-çözülme öncesi toplu olarak görünümü ve D-Ç döngüleri sonrasına ait görünmleri Şekil 4.30.a-f' de verilmişitr. 7 nolu

numunenin ilk 4 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik belirlenmemiştir. Kayacın 5. D-Ç döngüsüne ait karotlarda küçük parça kopmaları, taneleri birbirine bağlayan çimontoda zayıflamalar gözlenmiştir (Şekil 4.28.f ve g).

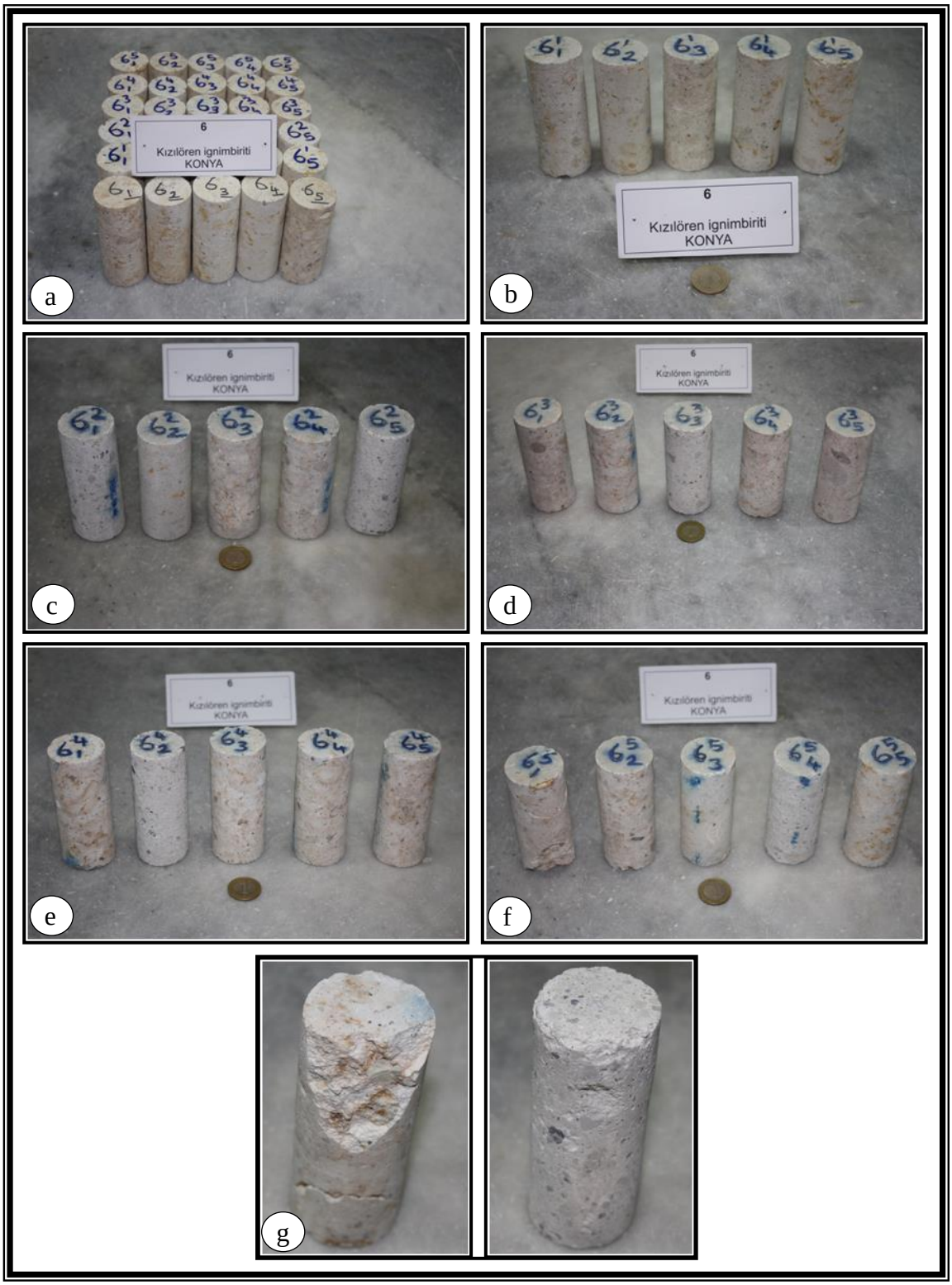


Şekil 4.27. 4 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

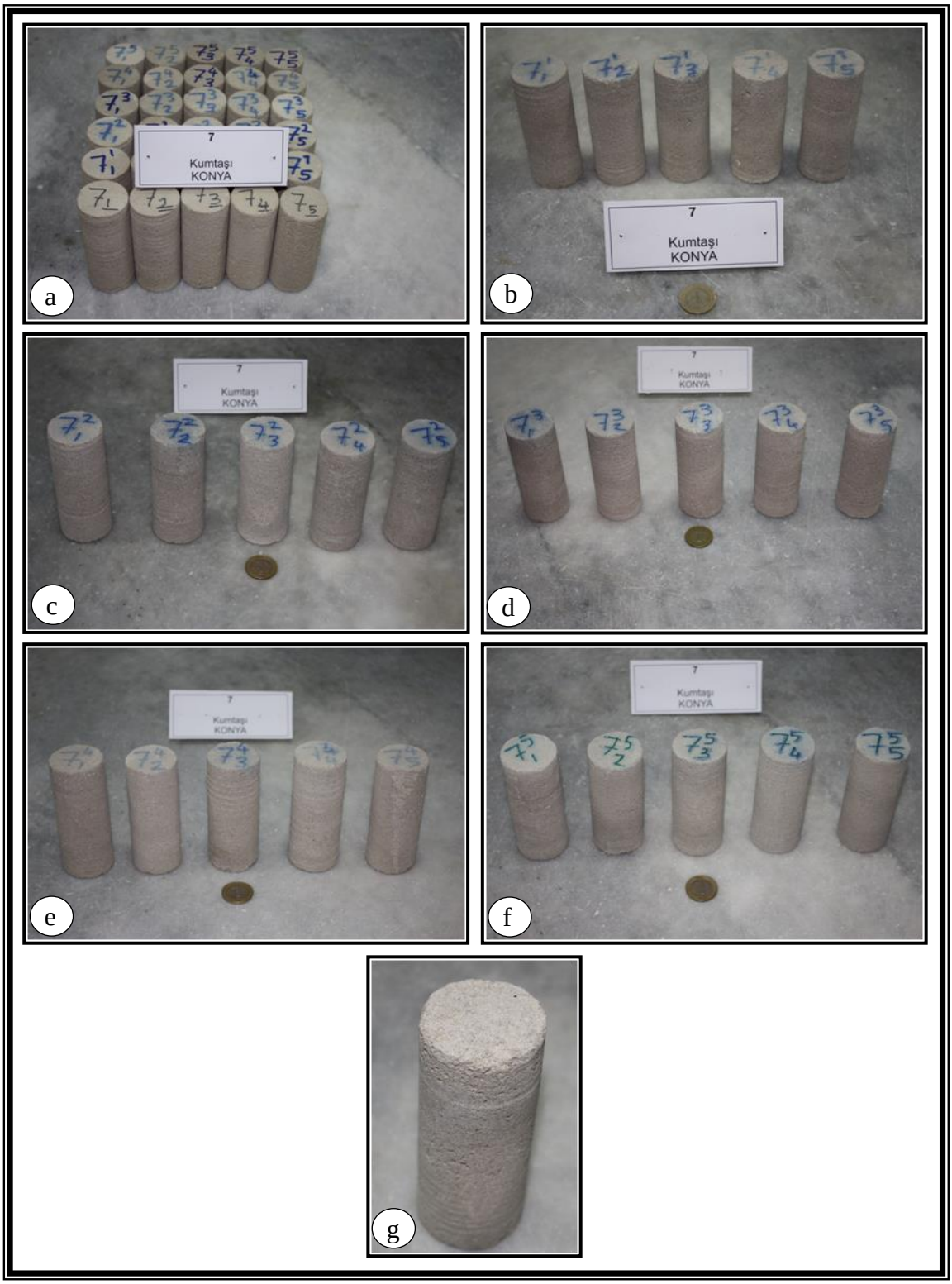
Porozite değeri % 1,0'in altında bulunan 8 nolu örneğe ait karotlarda donma-çözülme döngüleri sonrası makroskobik ölçüde bir değişiklik belirlenmemiştir (Şekil 4.31.a-f).



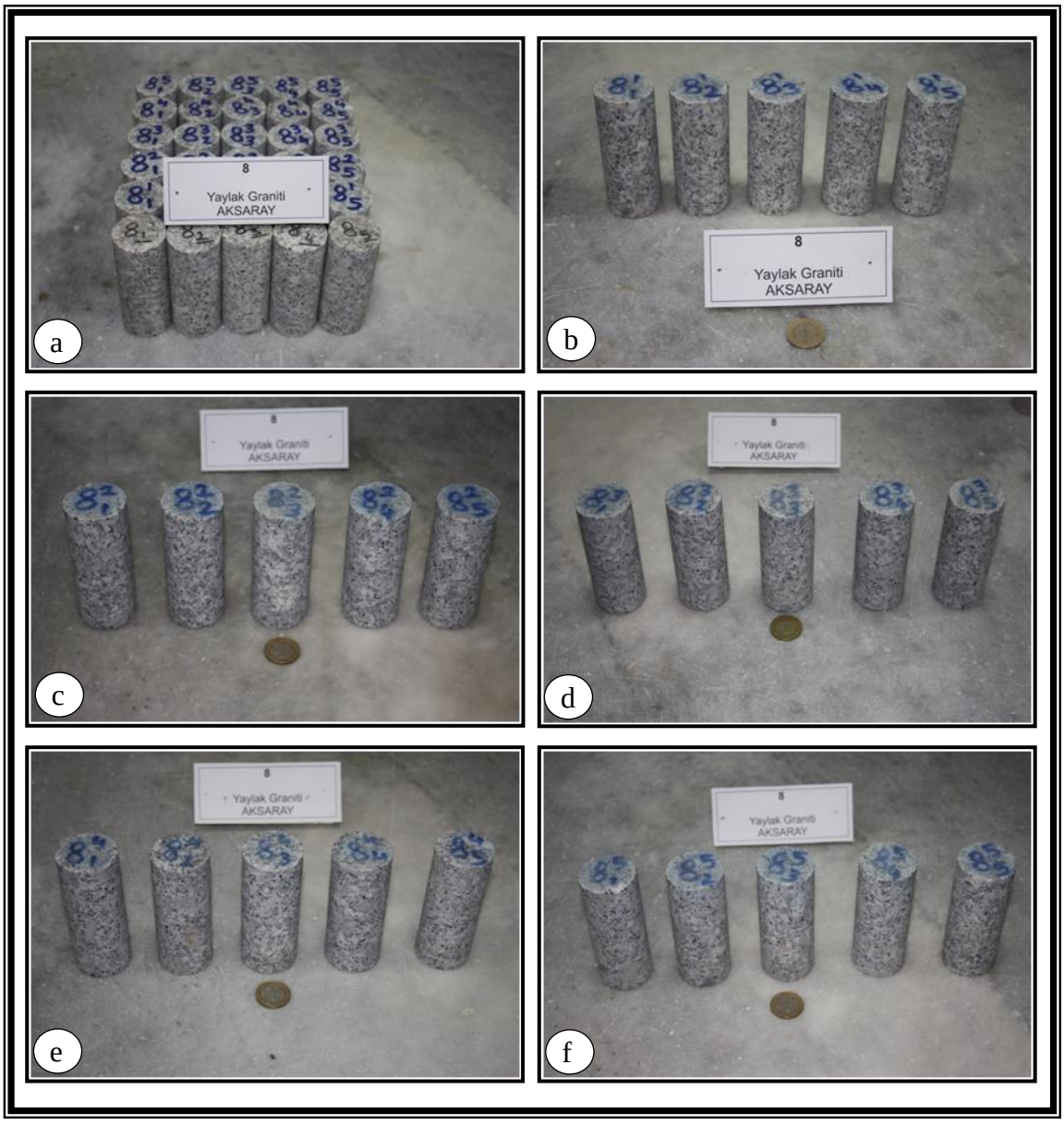
Şekil 4.28. 5 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) I. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunma, h) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar



Şekil 4.29. 6 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar



Şekil 4.30. 7 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar

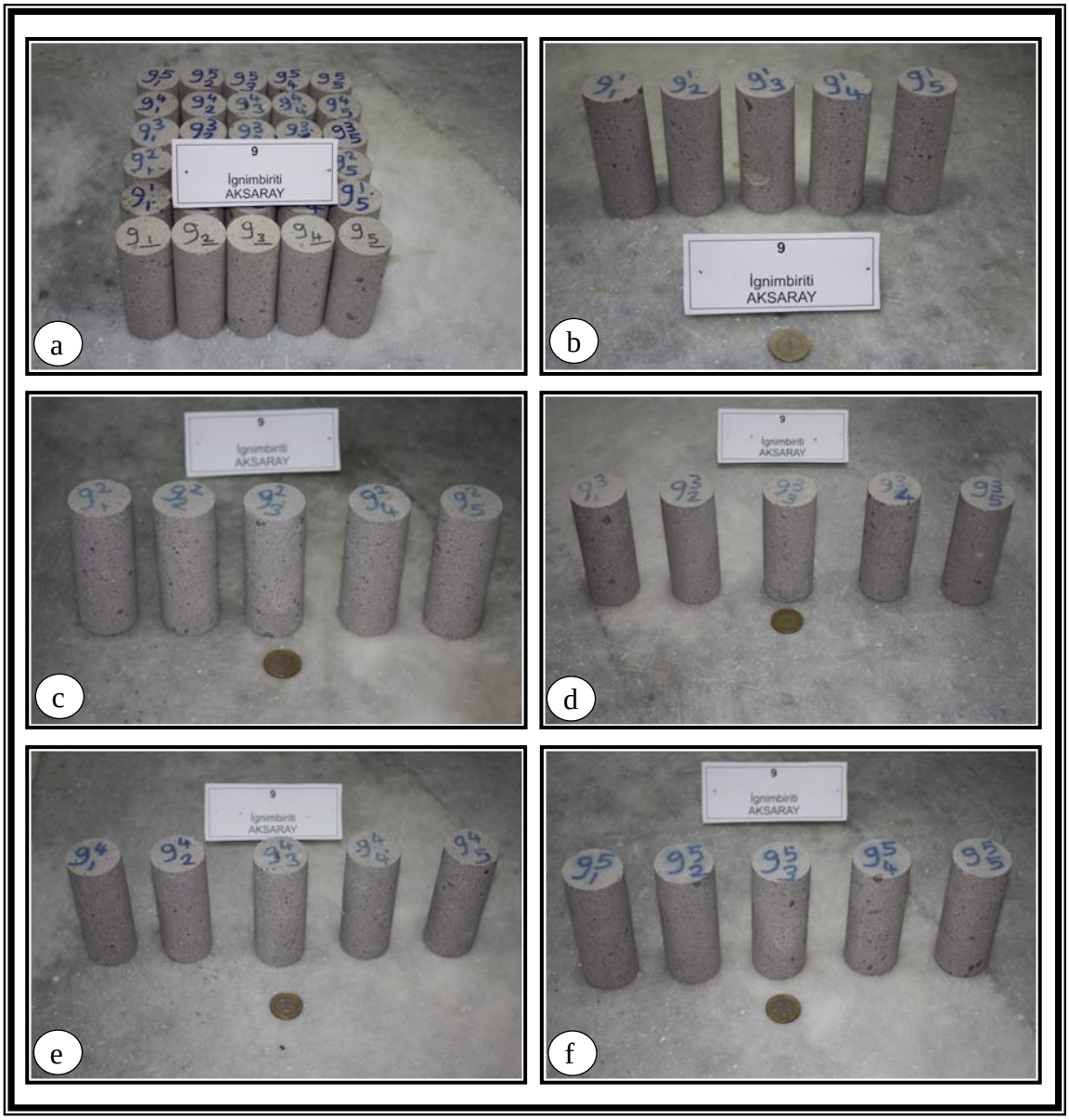


Şekil 4.31. 8 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

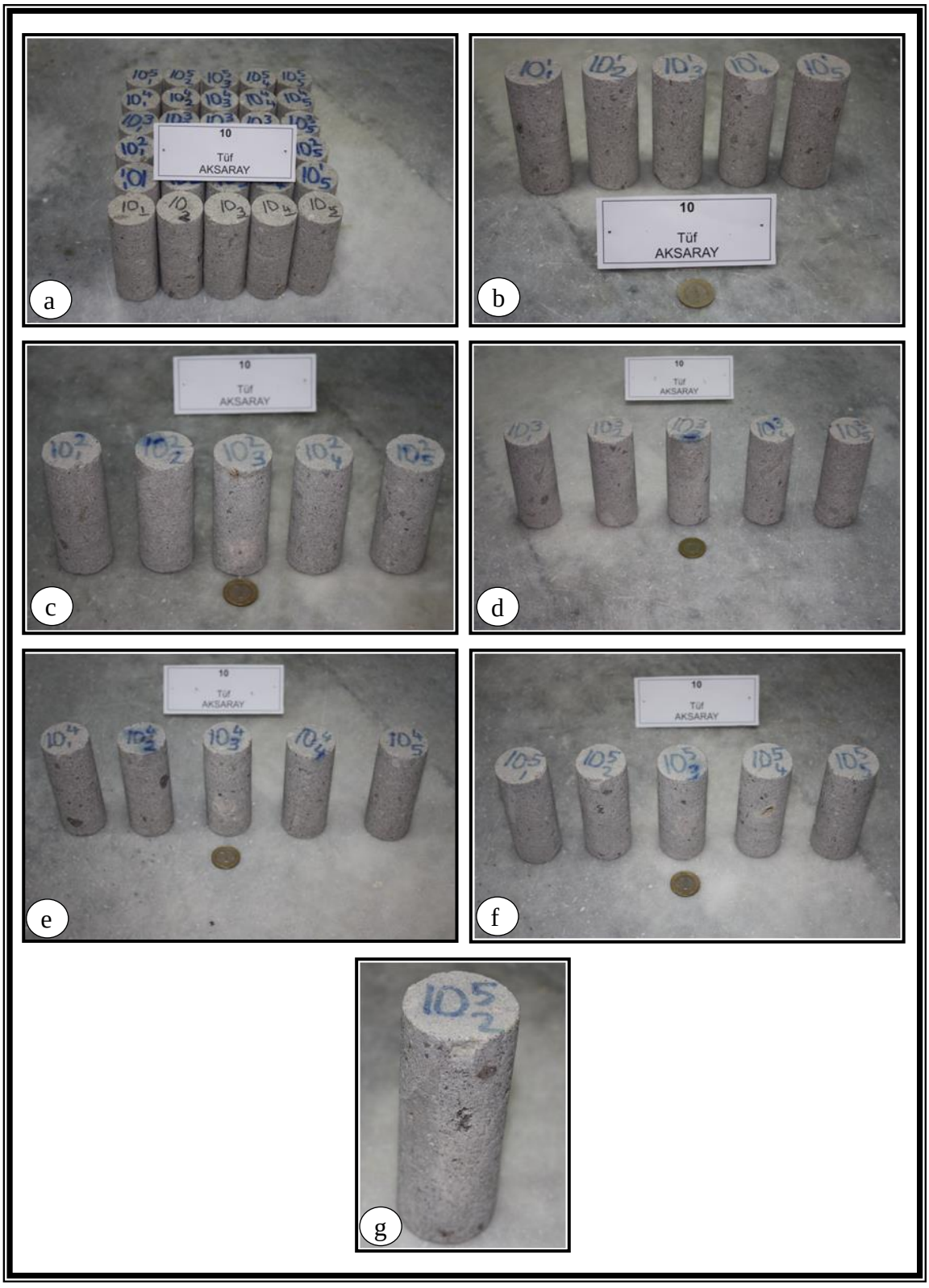
Aksaray bölgesine ait 9 nolu örneğe ait karotların donma-çözülme döngüleri öncesi toplu olarak görünümü Şekil 4.32.a'da verilmiştir. Kayacın D-Ç döngüleri sonrası görünümleri ise Şekil 4.32.b-f' de gösterilmişitir. 9 nolu örneğin donma-çözülme süreci öncesi ve sonrası görünümlerinde gözle görülebilen ölçekte bir değişiklik belirlenmemiştir.

10 nolu örneğe ait örneklerin donma-çözülme döngüleri sonrası görünmleri Şekil 4.33.a-f' de verilmiştir. 10 nolu numunenin ilk 4 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası makroskobik ölçekte bir değişiklik gözlenmemiştir. 5. D-Ç döngüsü

sonrası karotların yüzeylerinde daha önce var olan gözeneklerde büyüme ve yeni gözenek oluşumları gözlemlenmiştir. Buna ek olarak karotların kenar kısımlarda küçük parça kopmaları tespitedilmiştir (Şekil 4.33.f ve g).

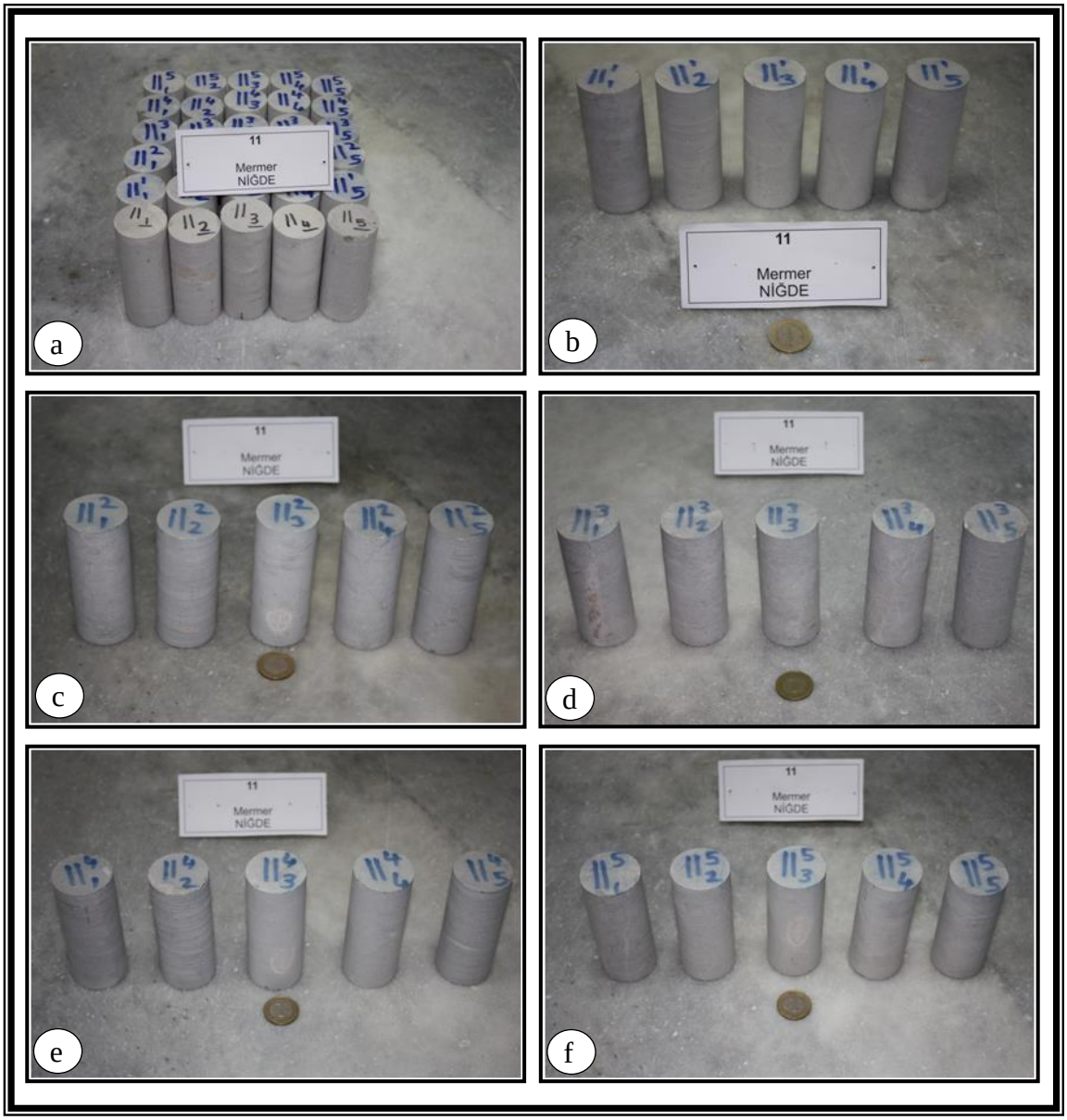


Şekil 4.32. 9 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü



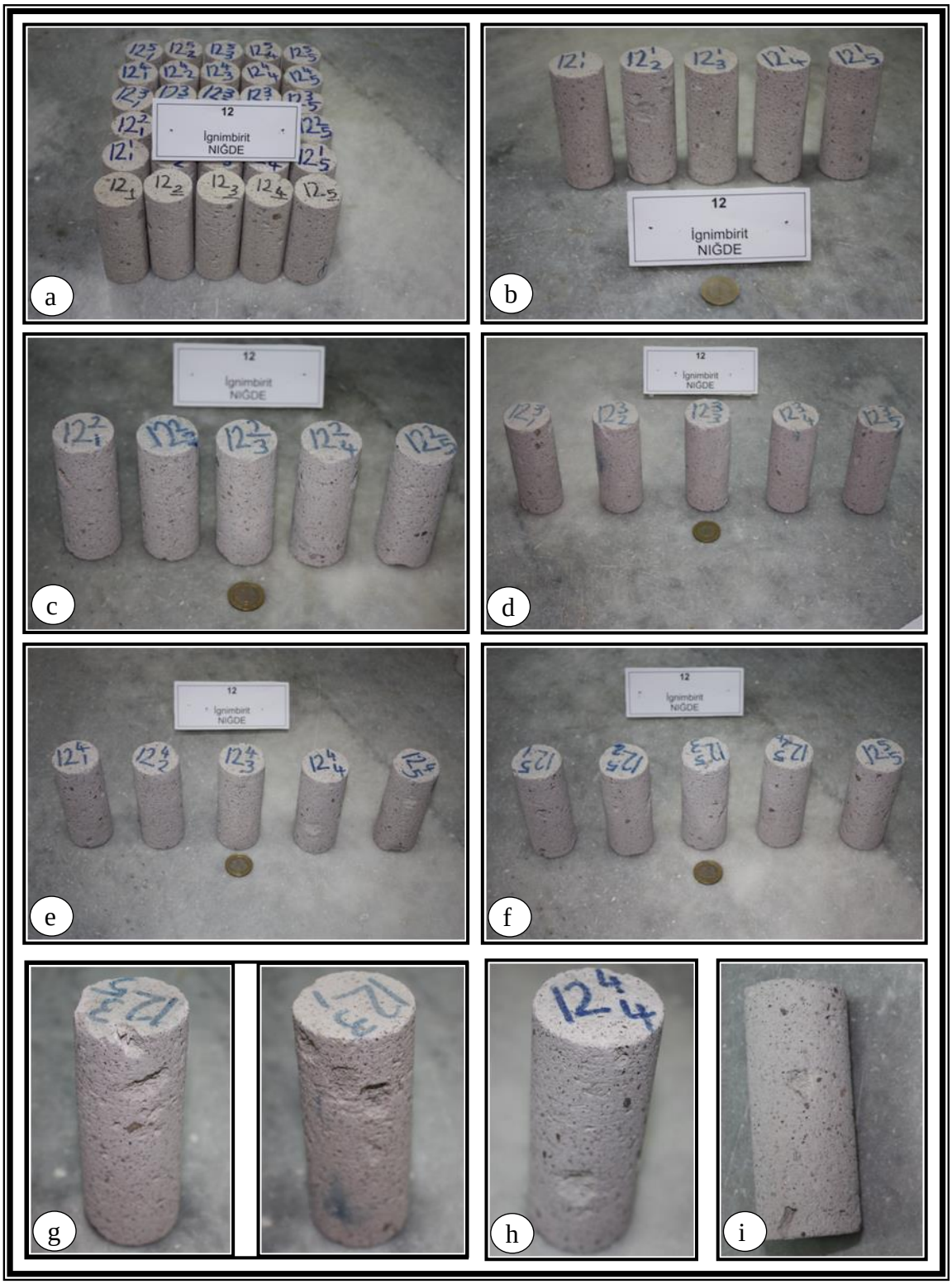
Şekil 4.33. 10 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar

11 nolu örneğin donma-çözülme süreci öncesi ve sonrasına ait görünümleri Şekil 4.34.a-f' de verilmişitir. Kayaçta D-Ç süreci sonrasında makroskobik ölçüde bir değişiklik belirlenmemiştir.



Şekil 4.34. 11 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

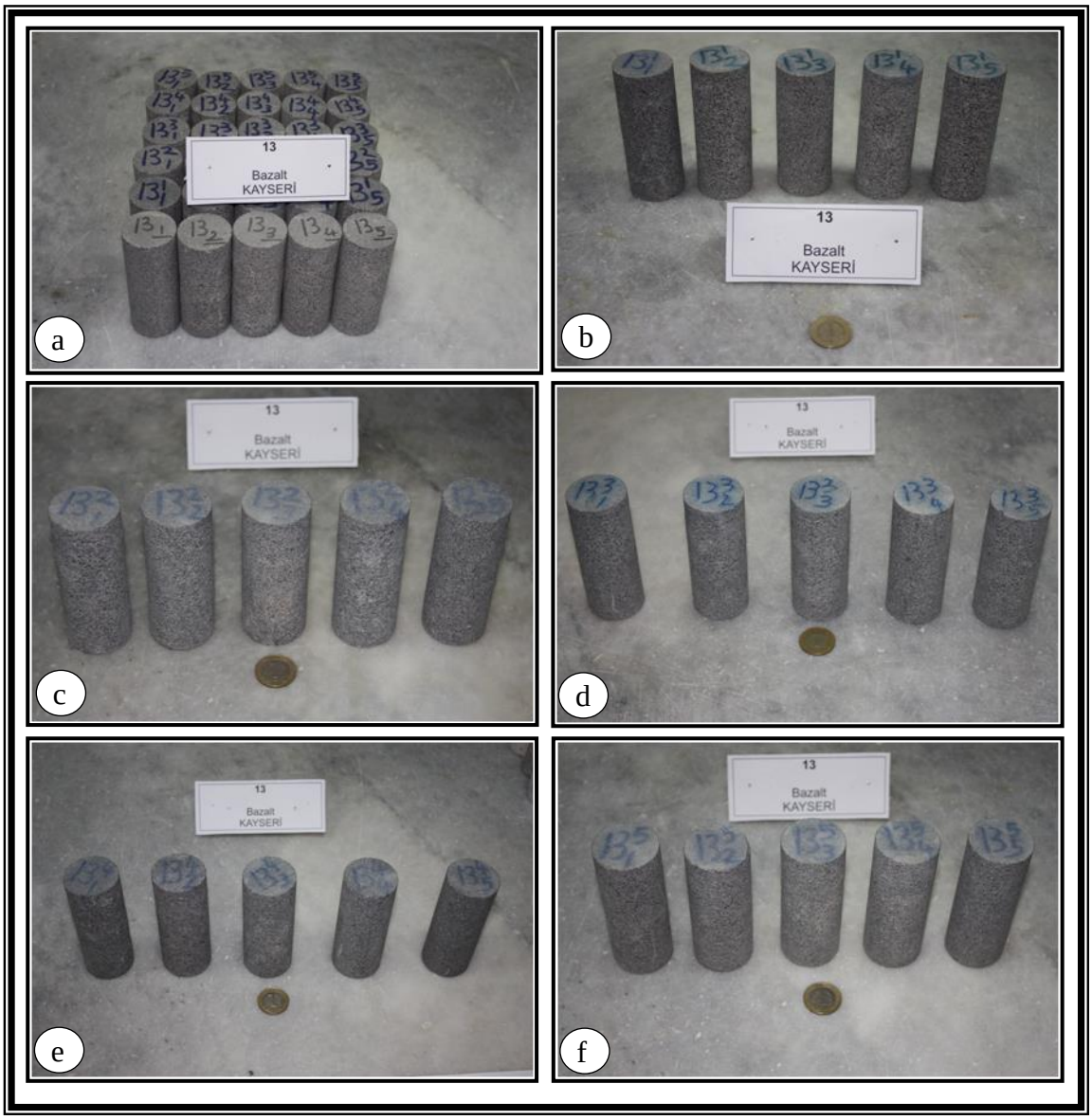
12 nolu örneğin donma-çözülme süreci öncesi karotların toplu olarak görünümü Şekil 4.35.a' de ve D-Ç süreci sonrası görünmleri Şekil 4.35.b-i' de verilmiştir. 12 nolu numunenin ilk 2 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişikliğe rastlanmamıştır. Kayacın 3. D-Ç döngüsünden sonra karot örneklerin yüzeylerinde yer



Şekil 4.35. 12 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar

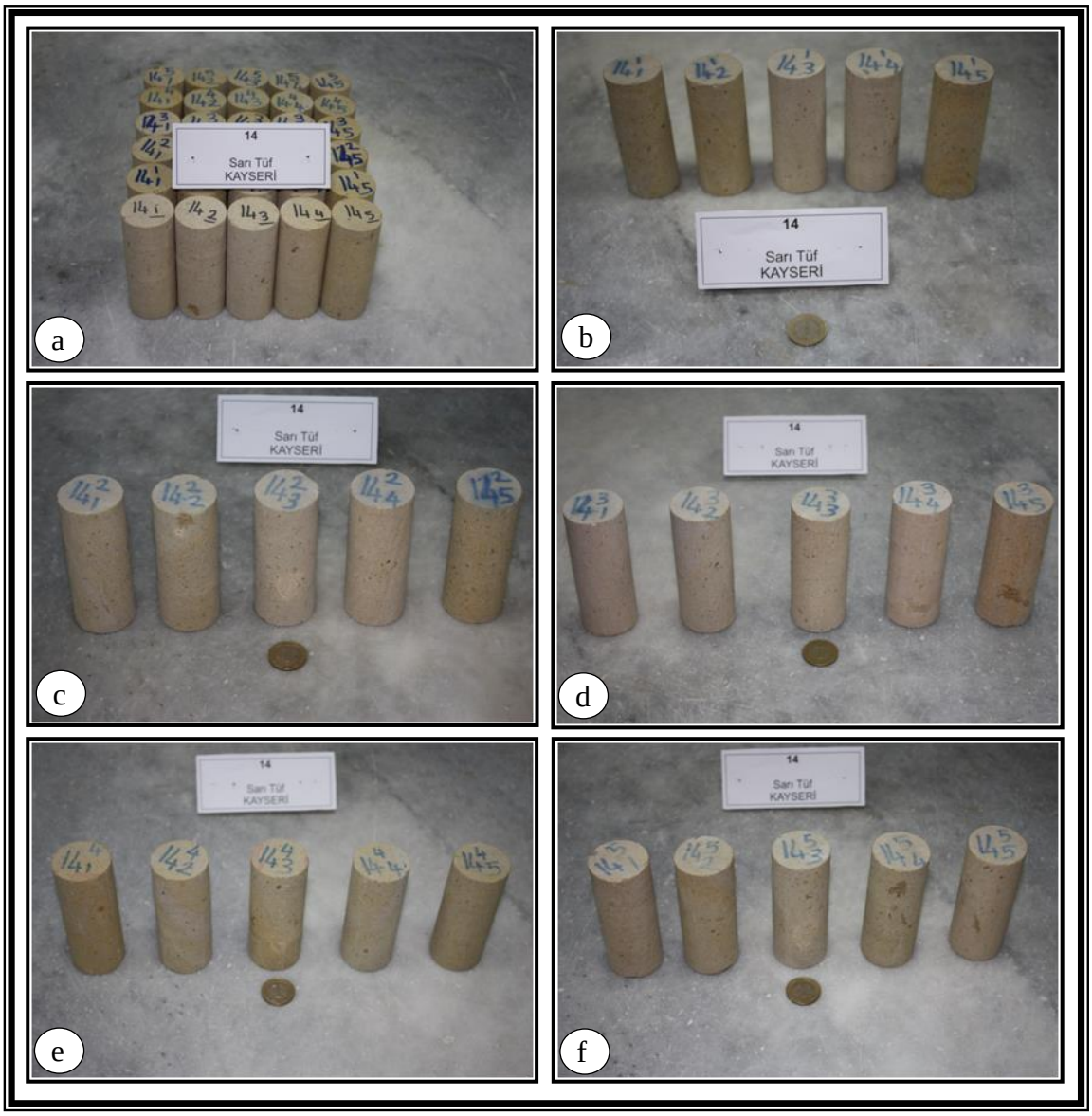
alan gözeneklerde büyüme ve kenar kısımlarda küçük parça kopmaları gözlenmiştir (Şekil 4.35.g-i).

13 nolu örnekte donma-çözülme süreci öncesi ve sonrası yapılan makroskobik gözlemlerde bir değişiklik tespit edilememiştir (Şekil 4.36.a-f).



Şekil 4.36. 13 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

Kayseri bölgesine ait piroklastik kayaçlarda (14, 15, 16 ve 17 nolu örneklerde) donma-çözülme döngüleri sonrası karotlarda makroskobik ölçüde bir değişiklik belirlenmemiştir (Şekil 4.37.a-f, Şekil 4.38.a-f, Şekil 4.39.a-f ve Şekil 4.40.a-f).

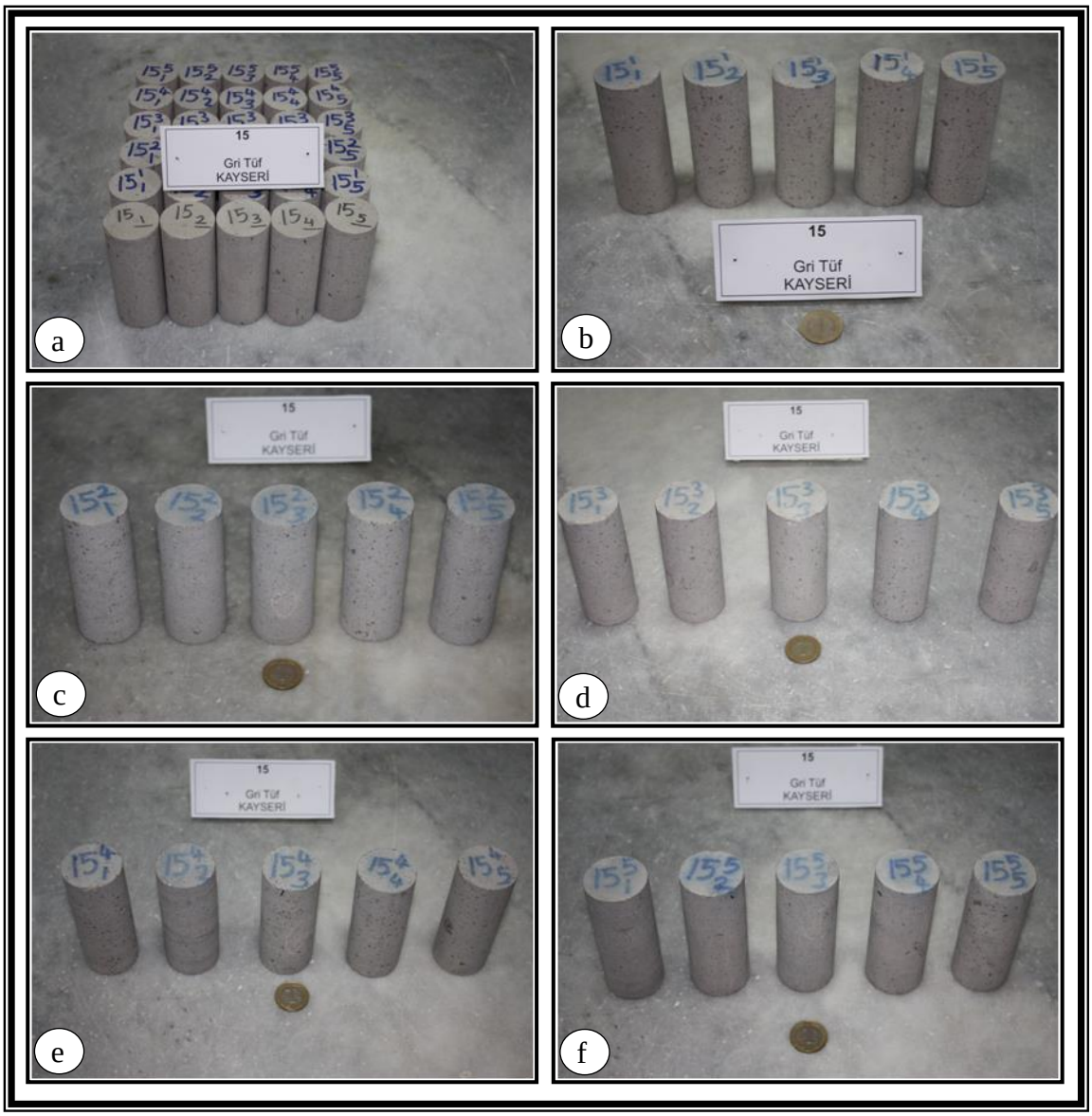


Şekil 4.37. 14 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

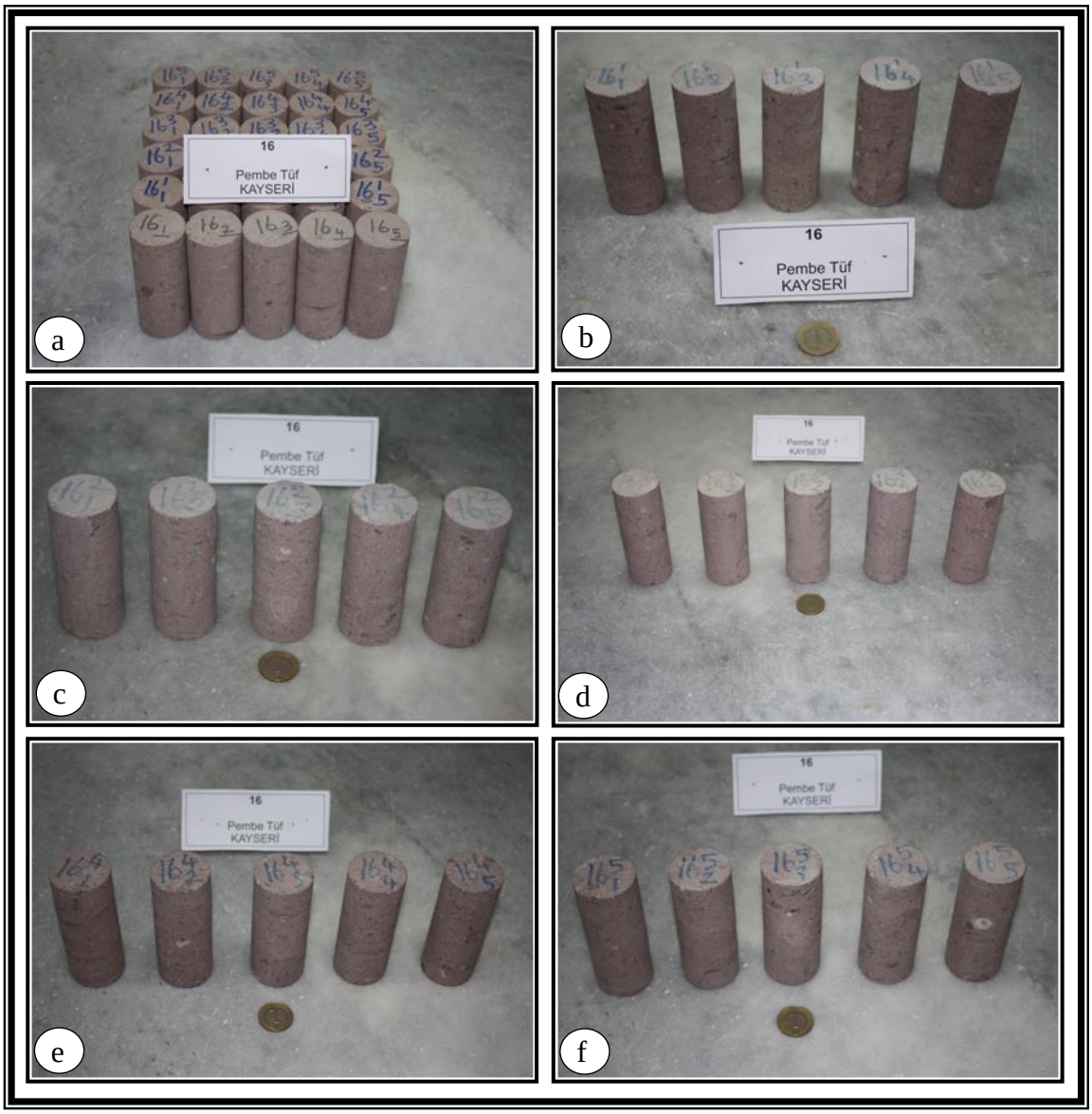
18 nolu örneklerin donma-çözülme döngüleri öncesi karotların toplu olarak görünümleri ve D-Ç döngüleri sonrasına ait görünümler Şekil 4.41.a-f' de verilmiştir. 18 nolu numunenin ilk döngüden itibaren karot örneklerin yüzeylerinde yer alan gözeneklerde büyümeler gözlenmiştir (Şekil 4.41.a-f). D-Ç sürecinin 3. dögüsünden sonra gözeneklerdeki büyüme daha belirgin bir hale gelmiştir (Şekil 4.35.g).

19 nolu örneğe ait karotların toplu görünümü ve donma-çözülme döngüleri sonrasına ait görünümleri Şekil 4.42.a-f' de verilmiştir. 19 nolu numunenin ilk 2 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik belirlenmemiştir (Şekil 4.42.b ve c). 19 nolu numunenin 3. döngüden itibaren karot örneklerin

yüzeylerinde yer alan gözeneklerde belirgin büyümeler gözlenmiştir (Şekil 4.42.d). D-Ç sürecinin 4. döngüsünden sonra gözeneklerdeki büyümelerin yanı sıra karotların kenar kesimlere gelen kısımlarda küçük parça kopmaları gözlenmiştir (Şekil 4.42.h). Kayaçta uygulanan son D-Ç döngüsünden sonra 3 nolu karot örneği tamamen bozunmuştur (Şekil 4.42.i). Bu döngüye ait diğer karotlarda ise gözeneklerde büyümeler ve yüzeylerinden parça kopmaları en üst düzeye ulaşmıştır.



Şekil 4.38. 15 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

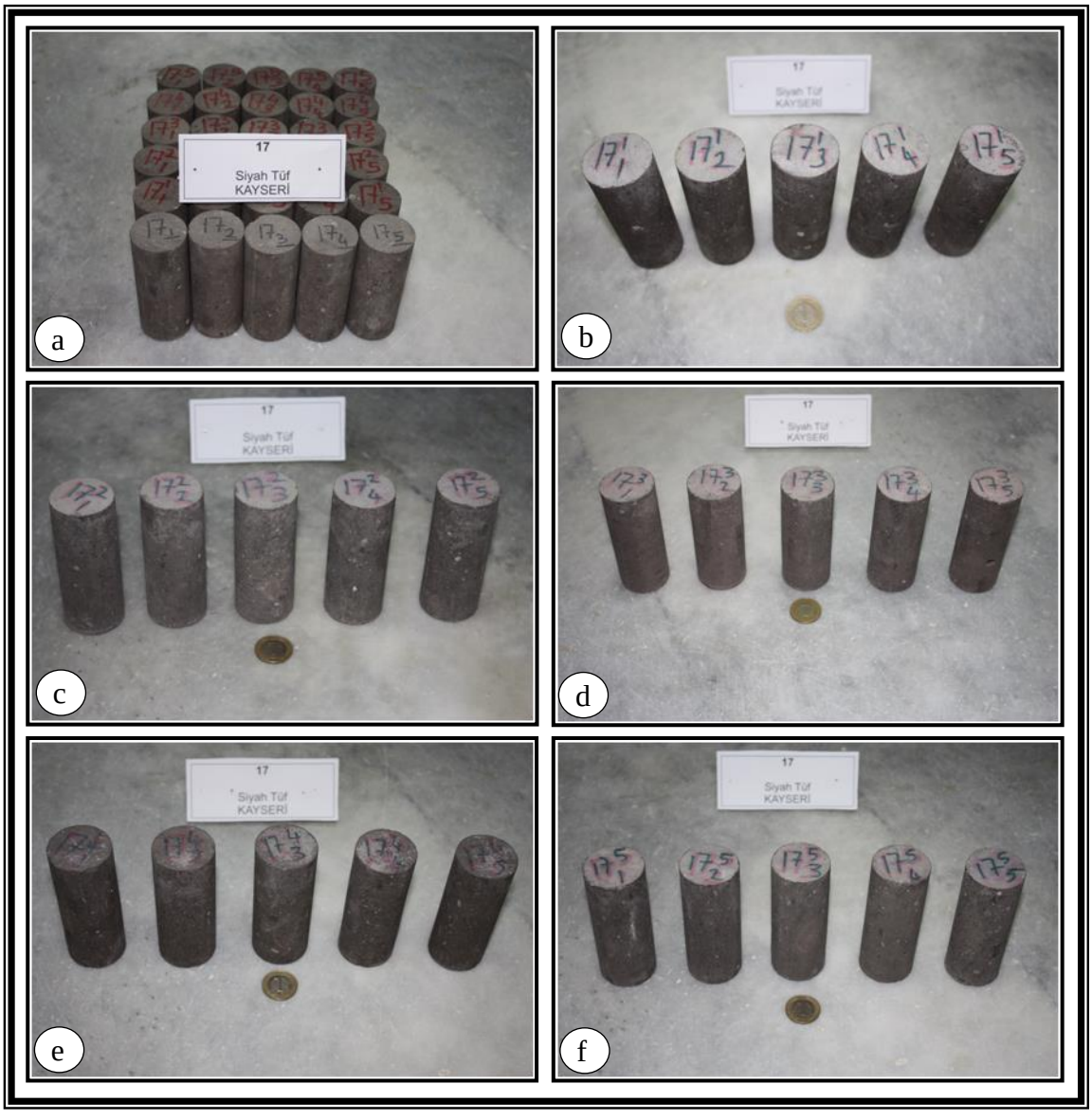


Şekil 4.39. 16 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

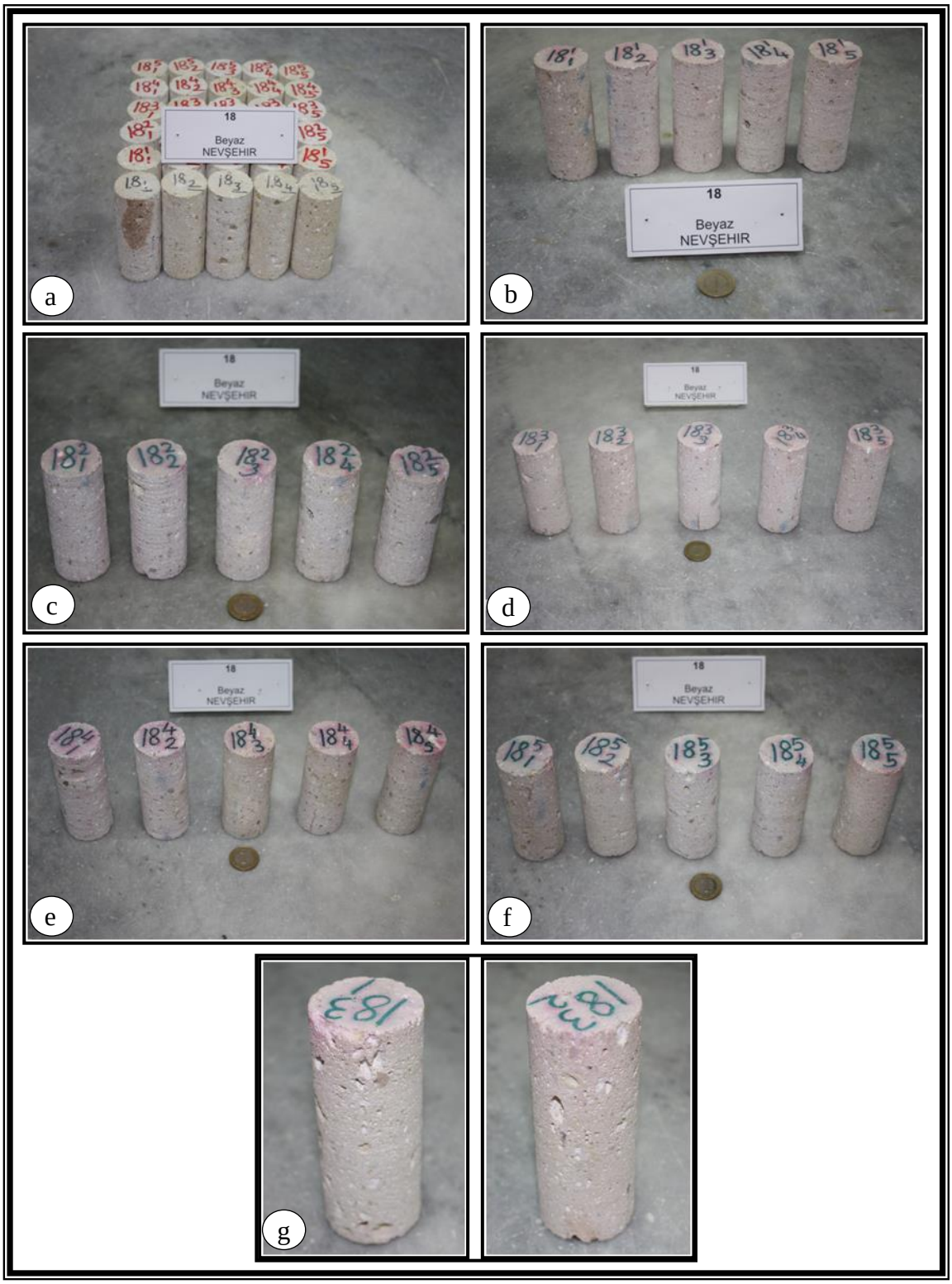
20 nolu örneğin donma-çözülme döngüleri öncesi ve sonrasına ait görünümleri Şekil 4.43.a-f' de verilmişitr. 20 nolu numunenin 1. ve 2. döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.43.b ve c). 20 nolu numunenin 3. döngüden itibaren karotların kenar kesimlere gelen kısımlarda küçük parça kopmaları gözlenmiştir (Şekil 4.43.g). Ayrıca karot örneğin bünyesinde kayaca oranla daha fazla su emebilen kayaç parçasının (Şekil 4.43.g'deki beyaz parça) bulunduğu bölümde parçalanmalar ve çatlak gelişimleri gözlenmiştir. D-Ç sürecinin 4. dögüsünden sonra karotların kenar kesimlere gelen kısımlarında parça kopmalarının gözlendiği kısımlar genişlemiştir (Şekil 4.43.h). Kayaca uygulanan son D-Ç döngüsü

sonrası karotların kenar kesimlerinde soğan kabuğu şeklinde kat kat kavlamalar gözlenmiştir (Şekil 4.43.i).

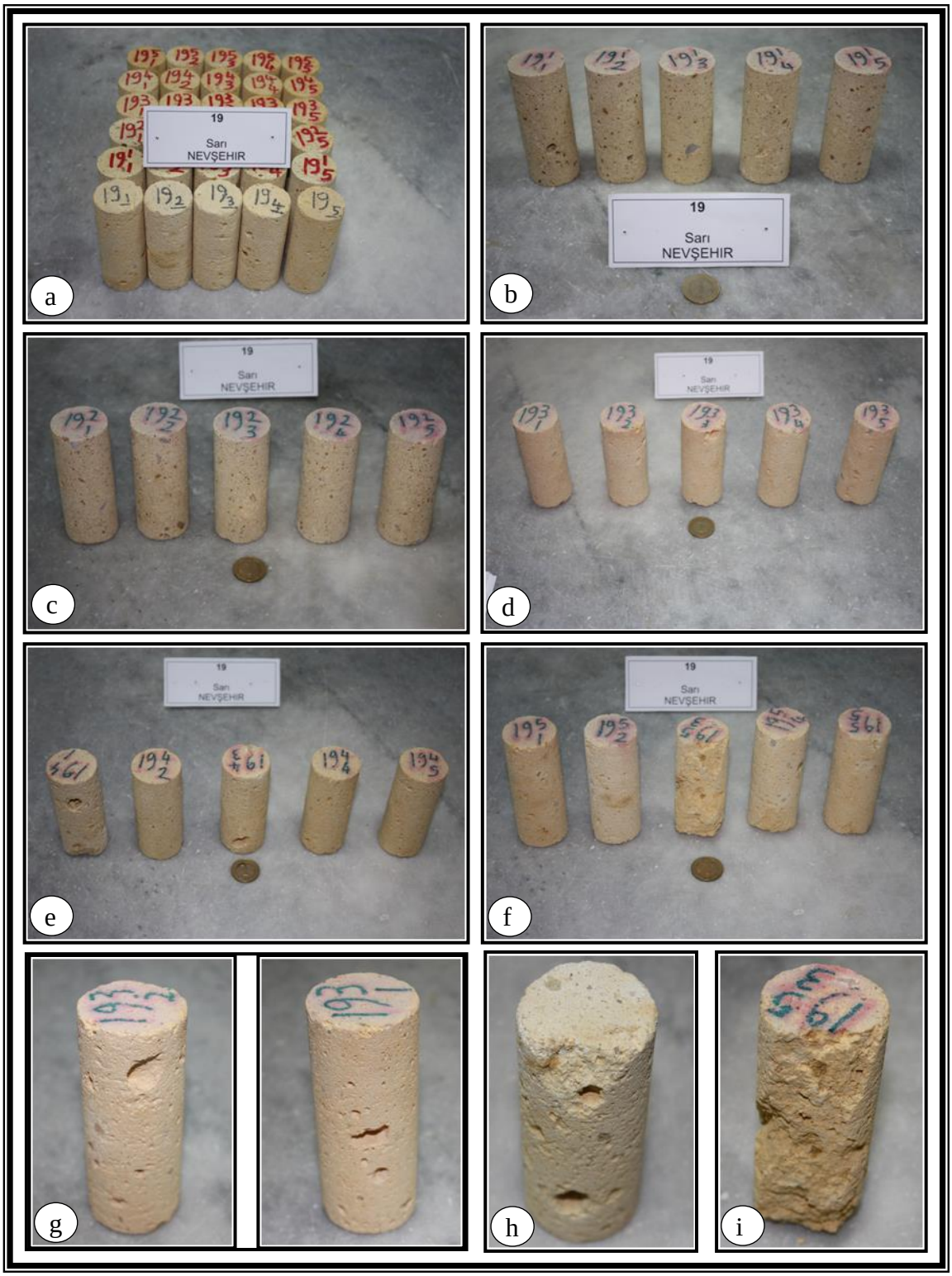
21 nolu örneğin donma-çözülme döngüleri öncesi ve sonrası görünümleri Şekil 4.44.a-i' de verilmişitr. 20 nolu numunenin ilk 2 döngüsüne ait karot örneklerinde D-Ç döngüleri sonrası bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.44.b ve c). 21 nolu numunenin 3. döngüden itibaren karotların kenar kesimlere gelen kısımlarda küçük parça kopmaları gözlenmiştir (Şekil 4.44.g).



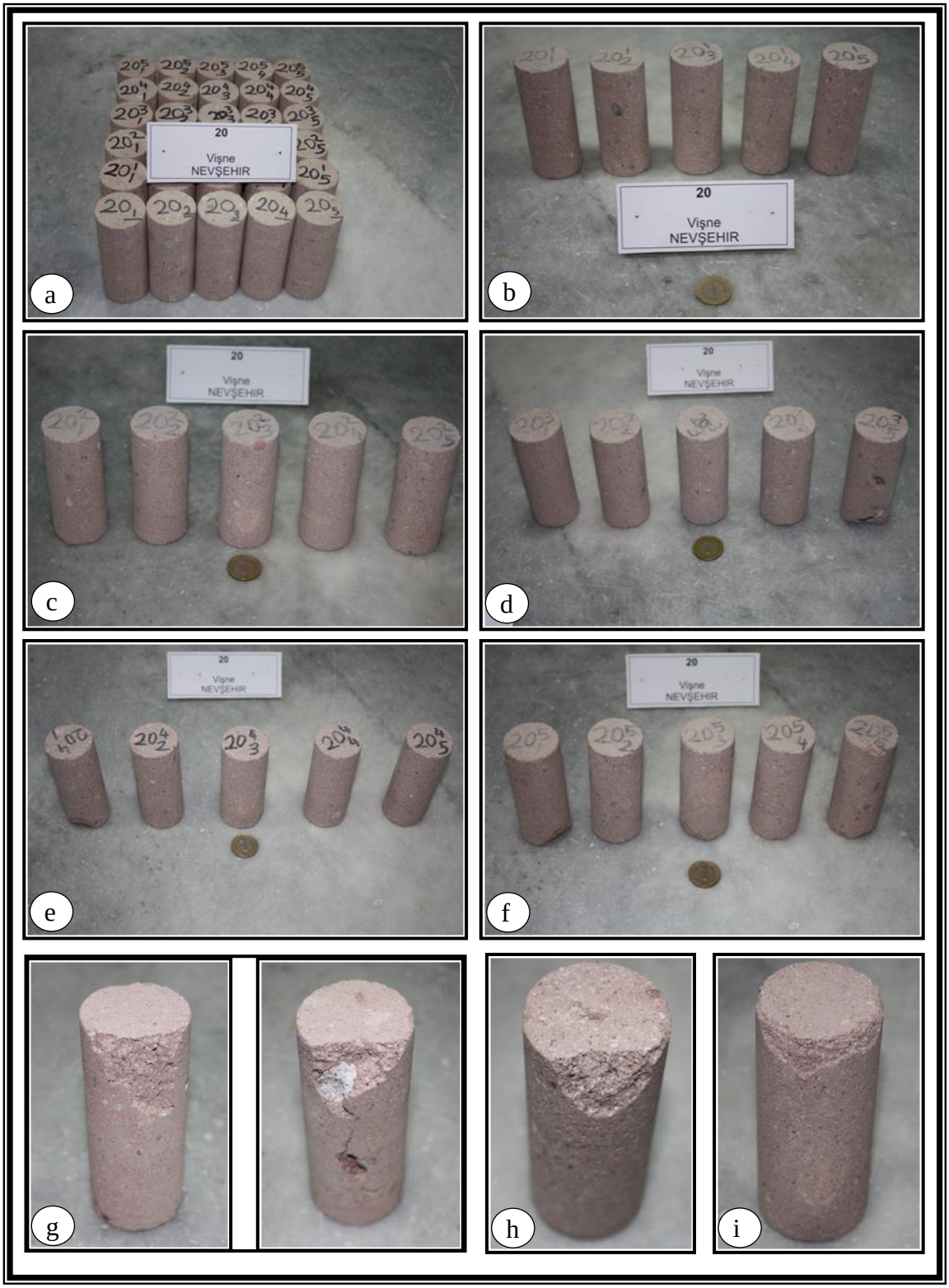
Şekil 4.40. 17 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü



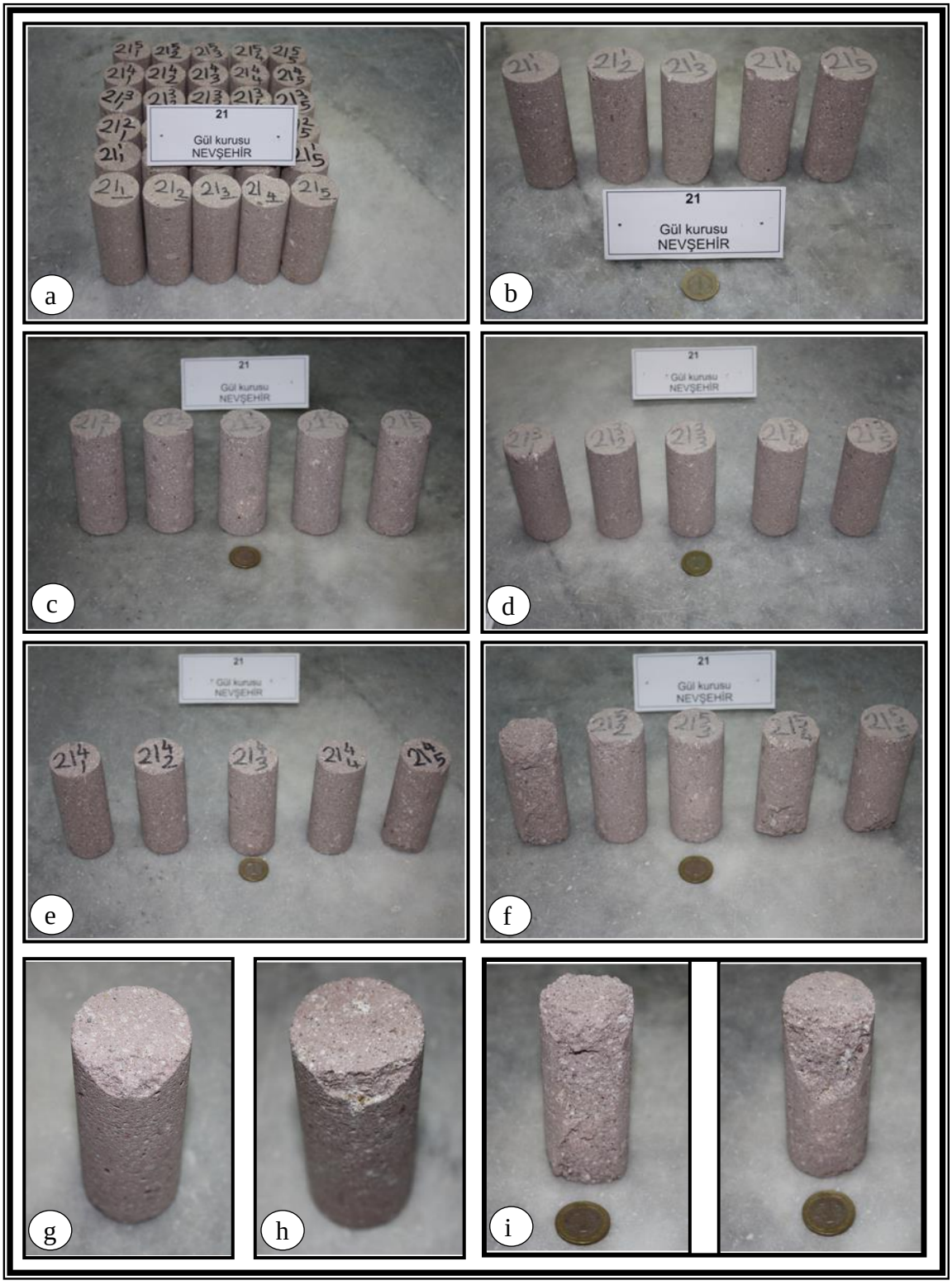
Şekil 4.41. 18 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar



Şekil 4.42. 19 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin toplu görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar



Şekil 4.43. 20 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar



Şekil 4.44. 21 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü, g) III. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, h) IV. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar, i) V. döngü sonrası örnekte gözlenen bozunmalar

D-Ç sürecinin 4. dögüsünden sonra karotların kenar kesimlere gelen kısımlarında parça kopmalarının gözlendiği kısımlar genişlemiştir (Şekil 4.44.h). Kayaçta uygulanan son D-Ç döngüsü sonra 1 ve 4 nolu karot örnek tamamen parçalanmıştır (Şekil 4.42.i).

22 nolu örneğe ait karotların D-Ç süreci öncesi toplu olarak görünümü Şekil 4.31.a' da verilmiştir. Donma-çözülme döngüleri sonrası örneklerin görünümleri Şekil 4.31.b-f' de gösterilmiştir. Kayaçta D-Ç süreci sonrasında makroskobik ölçekte bir değişiklik belirlenmemiştir.

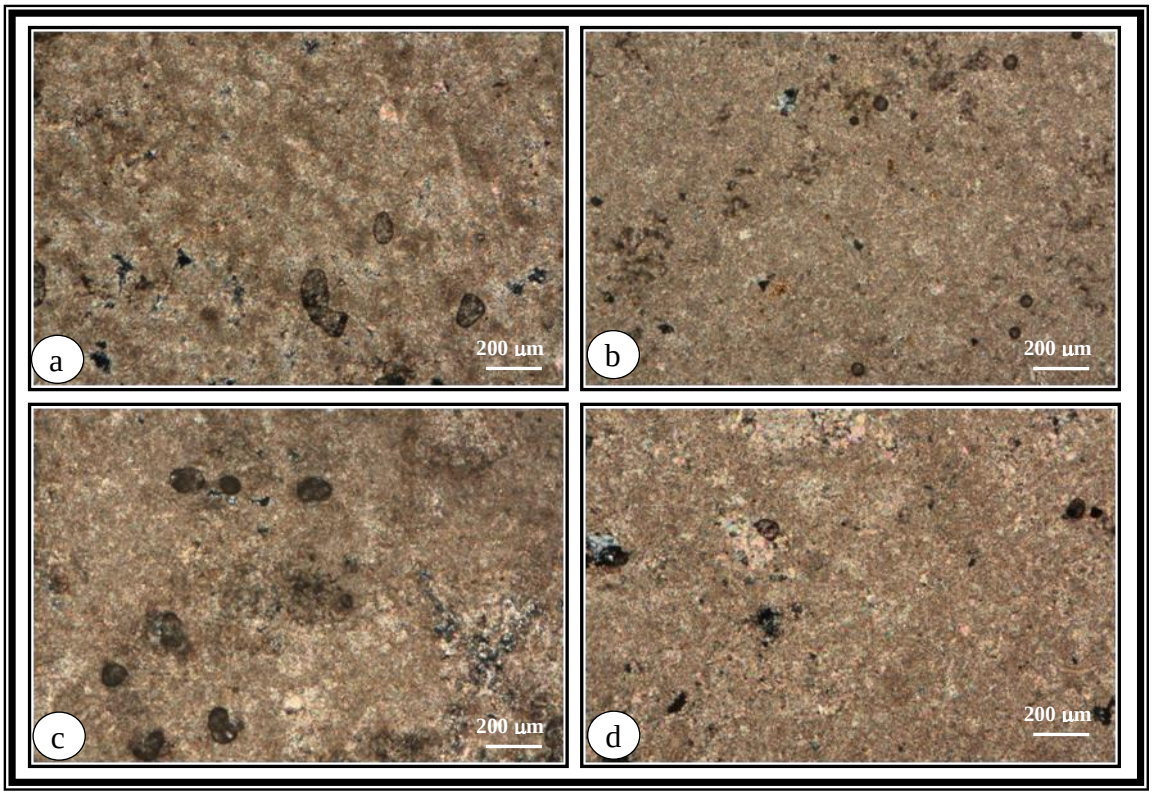


Şekil 4.45. 22 nolu numunenin donma-çözülme döngüleri sonrasında örneklerde gözlenen makroskobik değişimler; a) şahit ve donma-çözülme döngüleri için hazırlanan örneklerin toplu görünümü, b) I. döngü sonrası örneklerin görünümü, c) II. döngü sonrası örneklerin görünümü, d) III. döngü sonrası örneklerin görünümü, e) IV. döngü sonrası örneklerin görünümü, f) V. döngü sonrası örneklerin görünümü

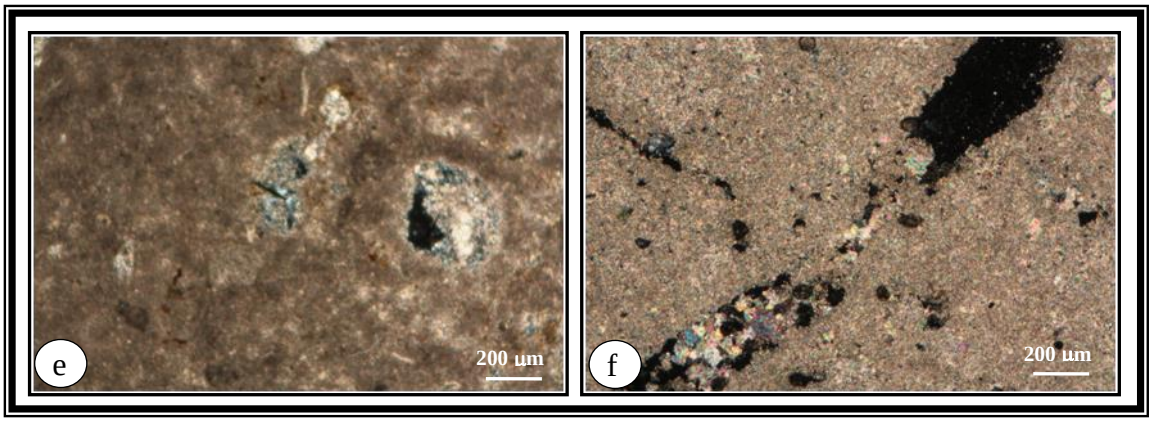
4.4.2. Donma-çözülme sürecinin örneklerin mikroskobik dokusu üzerine etkisi

Donma-çözülme sürecinin kayaçlar üzerinde mikroskobik ölçekte meydana getirdiği değişimleri belirlemek üzere her numuneden şahit ve donma-çözülme döngüleri sonrası ince kesitler yapılmıştır. Kayaçlarda donma-çözülme sonrası mikro ölçekte meydana gelen dokusal değişimler ince kesit araştırmalarında fotoğraflanarak her numune için meydana gelen değişimler aşağıda verilmiştir.

1 nolu örneğin donma-çözülme sürecine bağlı olarak dokusal özelliklerindeki değişimler; ilk 3 döngü sonrasında belirgin dokusal değişimler gözlenmezken 4. döngüden itibaren spari kalsit kristallerinin donma-çözülmeden etkilendiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.46.a-f). Bu etkilenme dördüncü döngüde fosil kalıplarını dolduran spari kalsit kristallerinde, beşinci döngüde ise damarlarda yer alan spari kalsit kristallerinde gözlenmiştir (Şekil 4.46.e ve f). Bu veriler makro incelemelerde 5. D-Ç döngü sonrası kalsit damarı boyunca kayacın parçalanmasını açıklayabilir. Damar içerisinde yer alan iri kalsit (spari kalsit) kristalleri donma-çözülme sürecinden daha fazla etkilenerek kayaçın parçalanmasına sebep olmuştur.

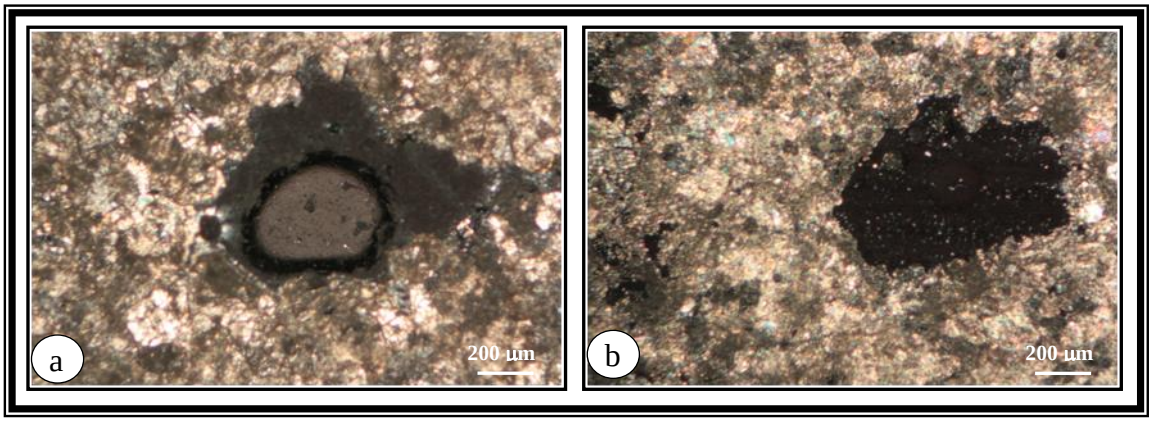


Şekil 4.46. 1 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

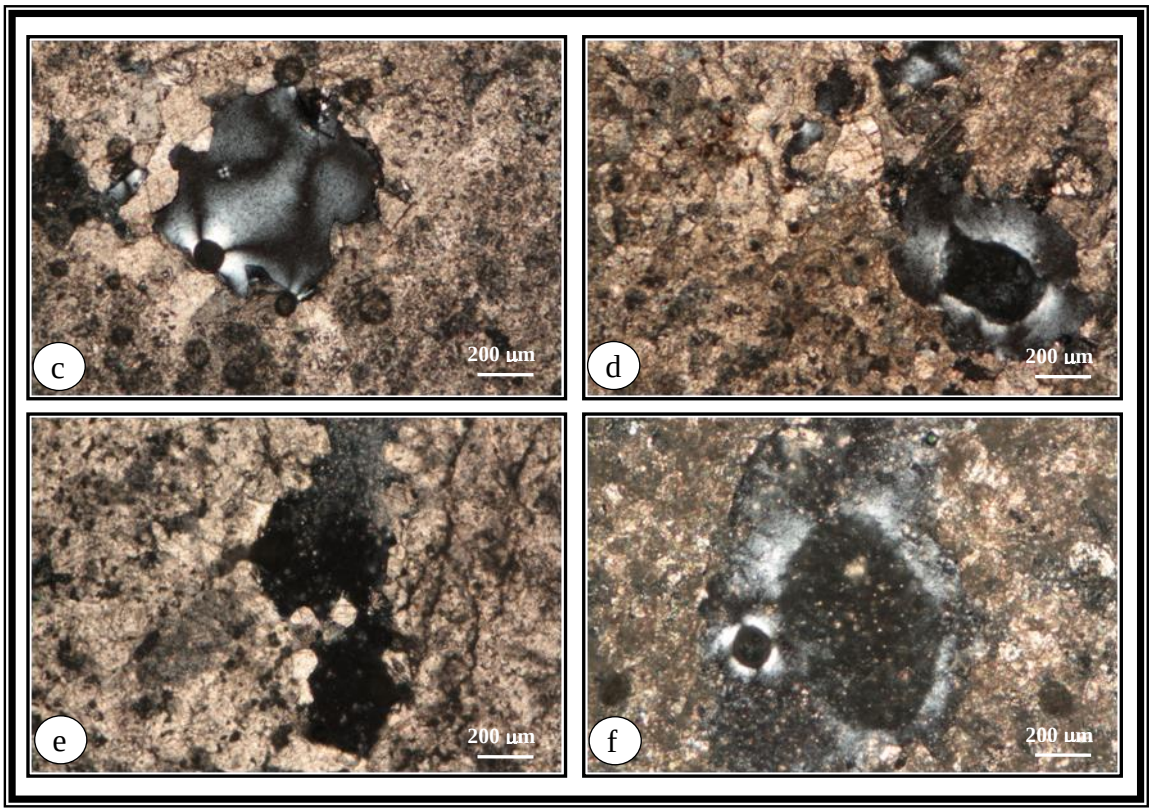


Şekil 4.46. (Devam)

2 nolu örnekteki dokusal değişimler; donma-çözülme sürecinin ilerlemesine bağlı olarak (1. ve 2. döngüde) var olan boşlukların genişlediği gözlenmektedir (Şekil 4.47.a-c). Donma-çözülme sürecinin 3. döngüsünden itibaren birbirine yakın olan gözenekler arasındaki yer alan sparitin donma sürecinden etkilenerek boşlukların birleşme eğilimine geçtiği ve 4. döngüde boşluklar birleştiği görülmektedir (Şekil 4.47.d-f). 5. döngüde ise boşlukların birleşerek kesit genelinde daha geniş çaplı boşluklar oluşturduğu ve boşluğun çevresinde donmadan etkilenmiş bir zonun oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.47.f).

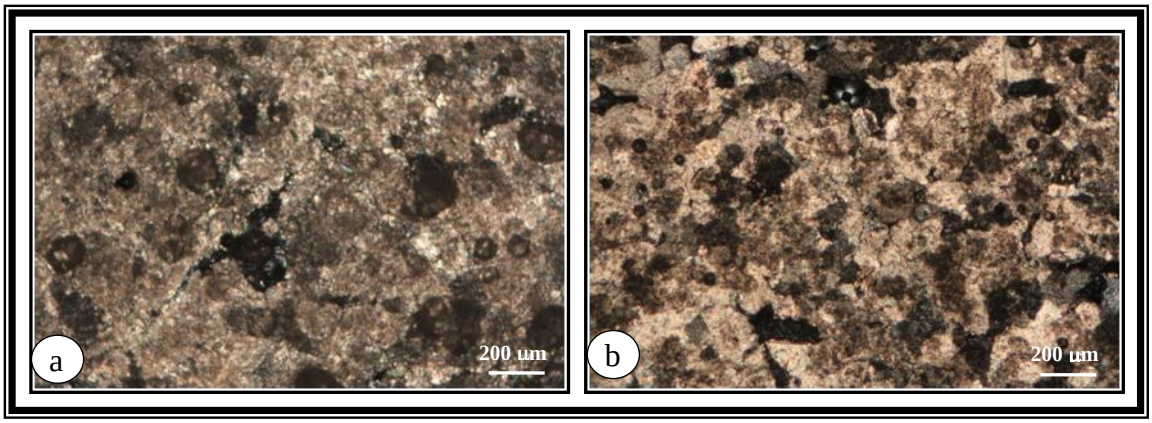


Şekil 4.47. 2 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

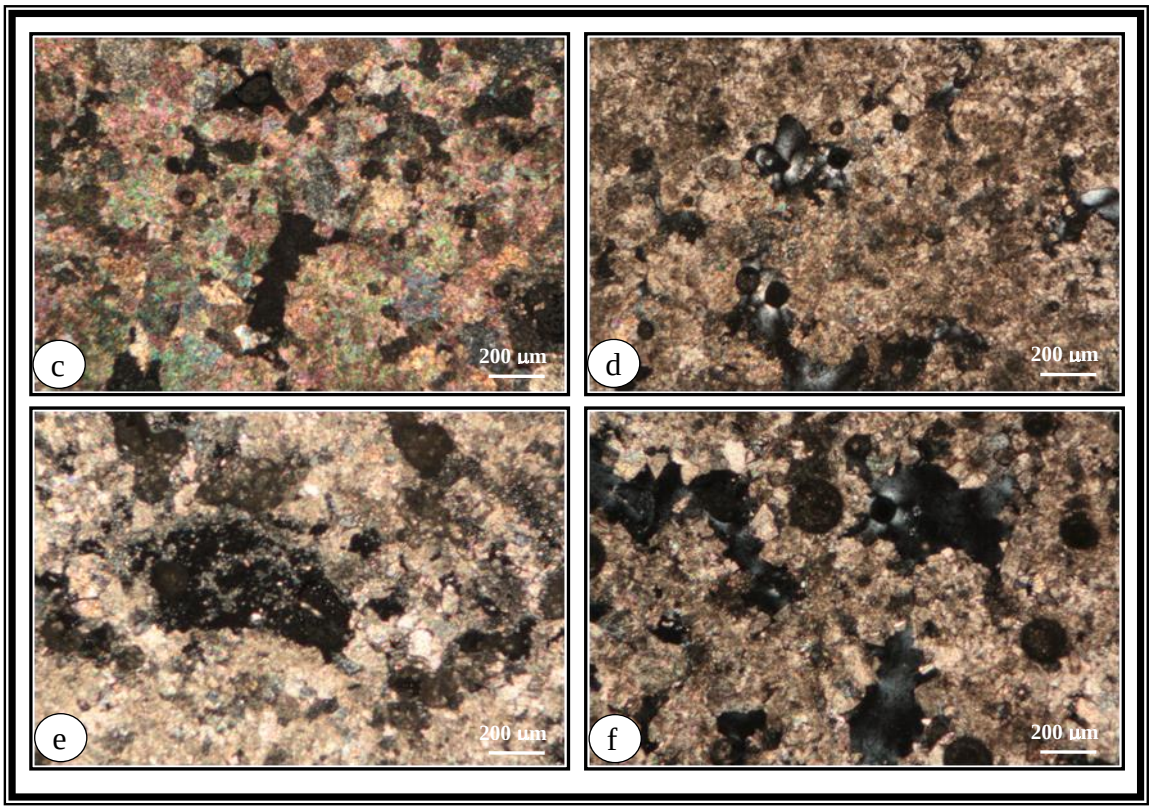


Şekil 4.47. (Devam)

3 nolu örnekte gözlenen dokusal değişimler; 1. döngüye ait ince kesitlerde belirgin bir etkilenme gözlenmezken, 2. döngüden itibaren mevcut gözeneklerin çevresinde donma-çözülme sürecine bağlı olarak genişlemeler belirlenmiştir (Şekil 4.91.a-f). 2. ile 3. döngü sonrası var olan gözenek çaplarının genişlemeler gözlenirken, 4. ve 5. döngü sonrası genişleyen gözeneklerin bir birleriyle birleşerek kayacın daha gözenekli bir yapı sergilediği tespit edilmiştir.

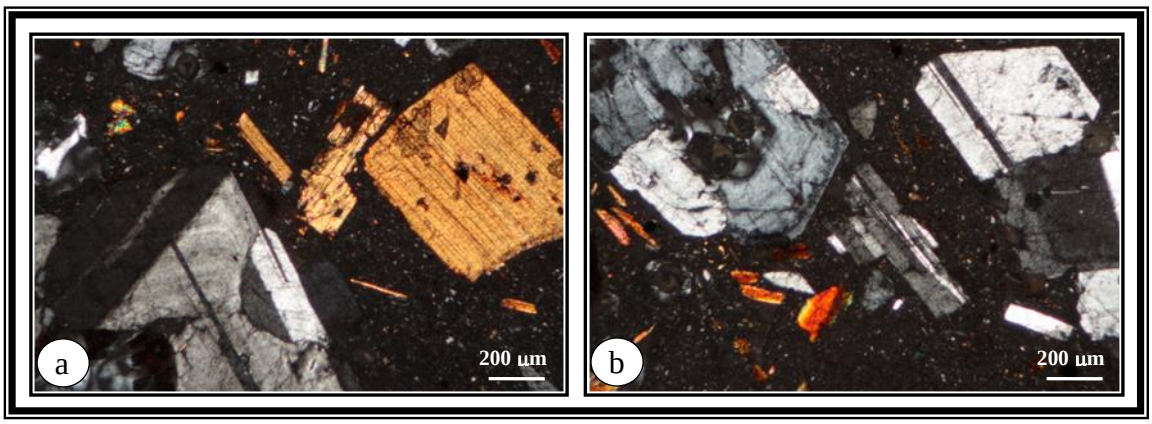


Şekil 4.48. 3 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

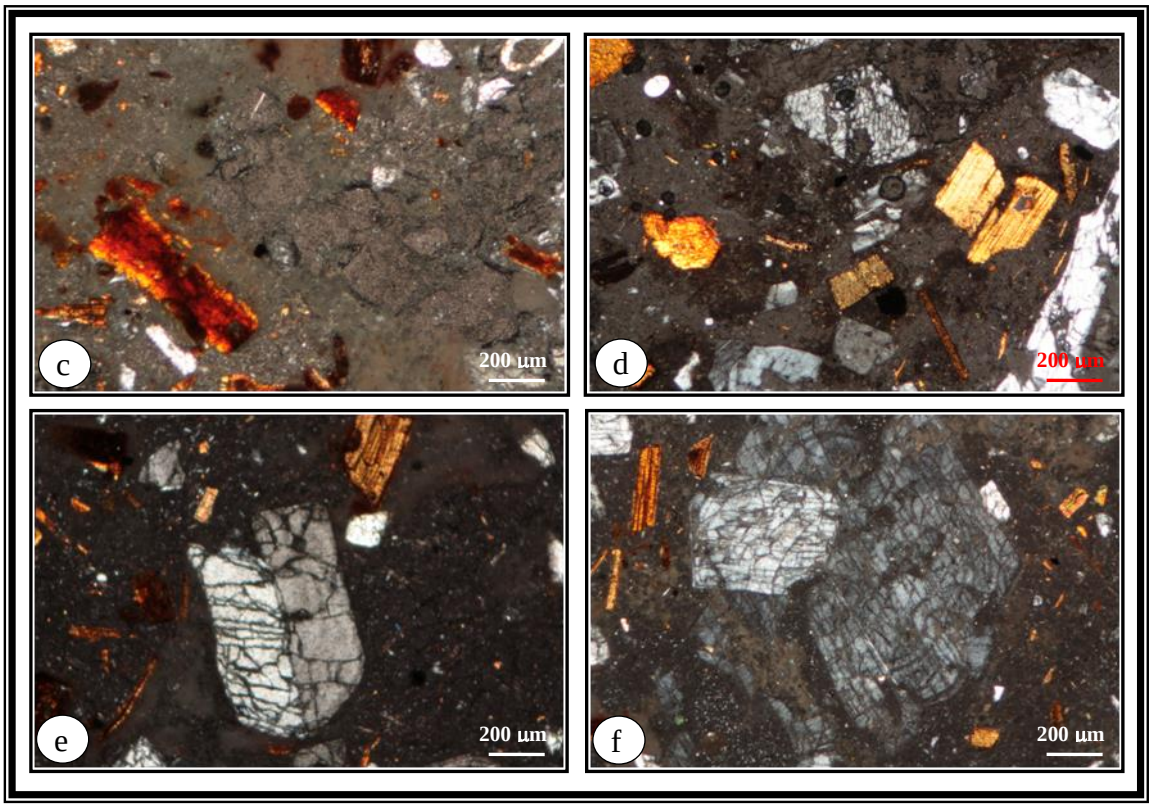


Şekil 4.48. (Devam)

4 nolu örnekte mikroskobik ölçekte gözlenen değişimler; 1. ve 2. döngü sonrası volkanik cam kısmında küçük gözenek oluşumları gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 4.92.a-c). 3. döngüde de volkanik cam kısmında gözenek gelişimleri devam etmiştir. Buna ek olarak kuvars ve plajioklas feno kristallerinde düzensiz çatlak gelişimleri gözlenmiştir (Şekil 4.49.d-f).



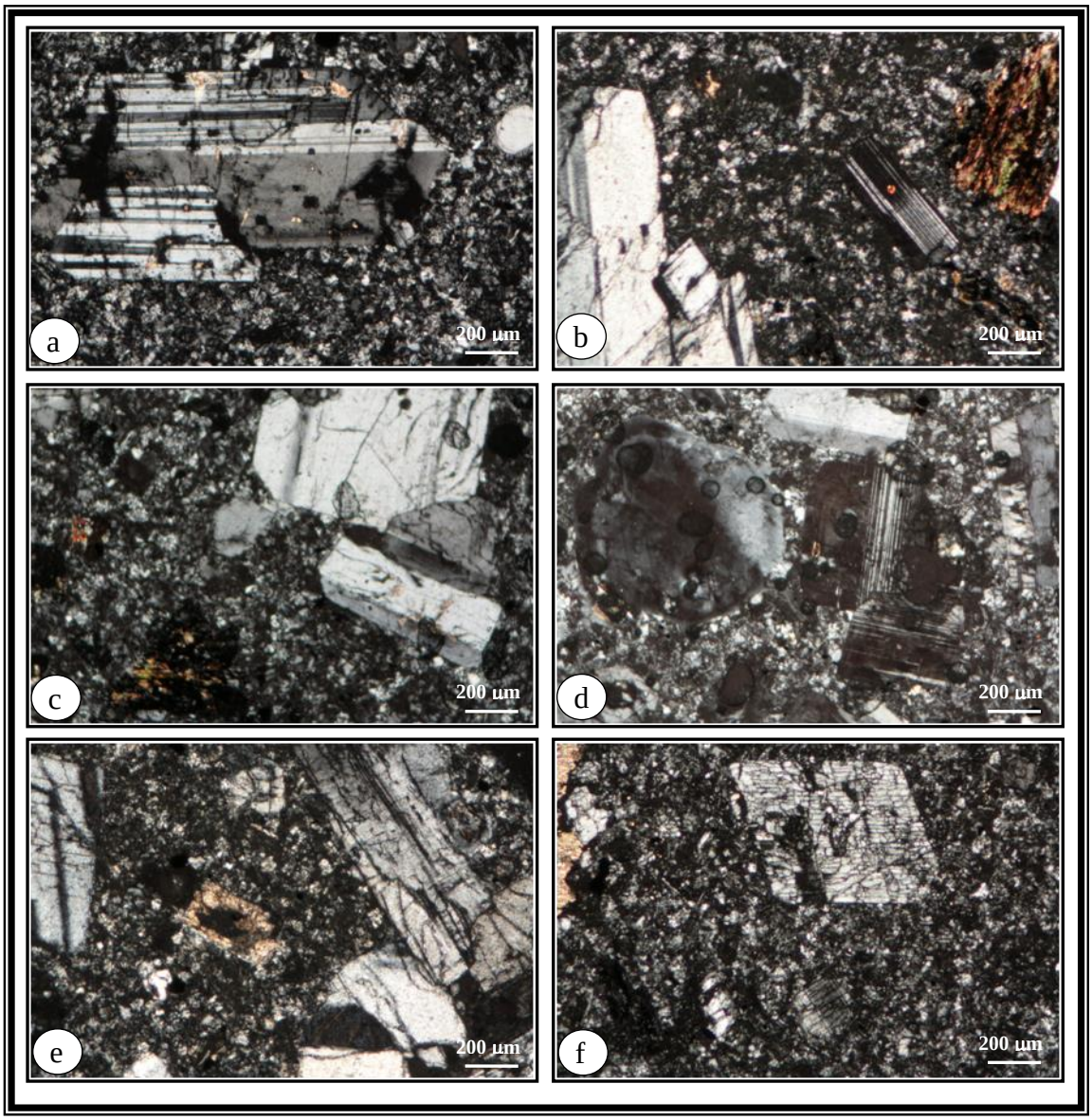
Şekil 4.49. 4 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü



Şekil 4.49. (Devam)

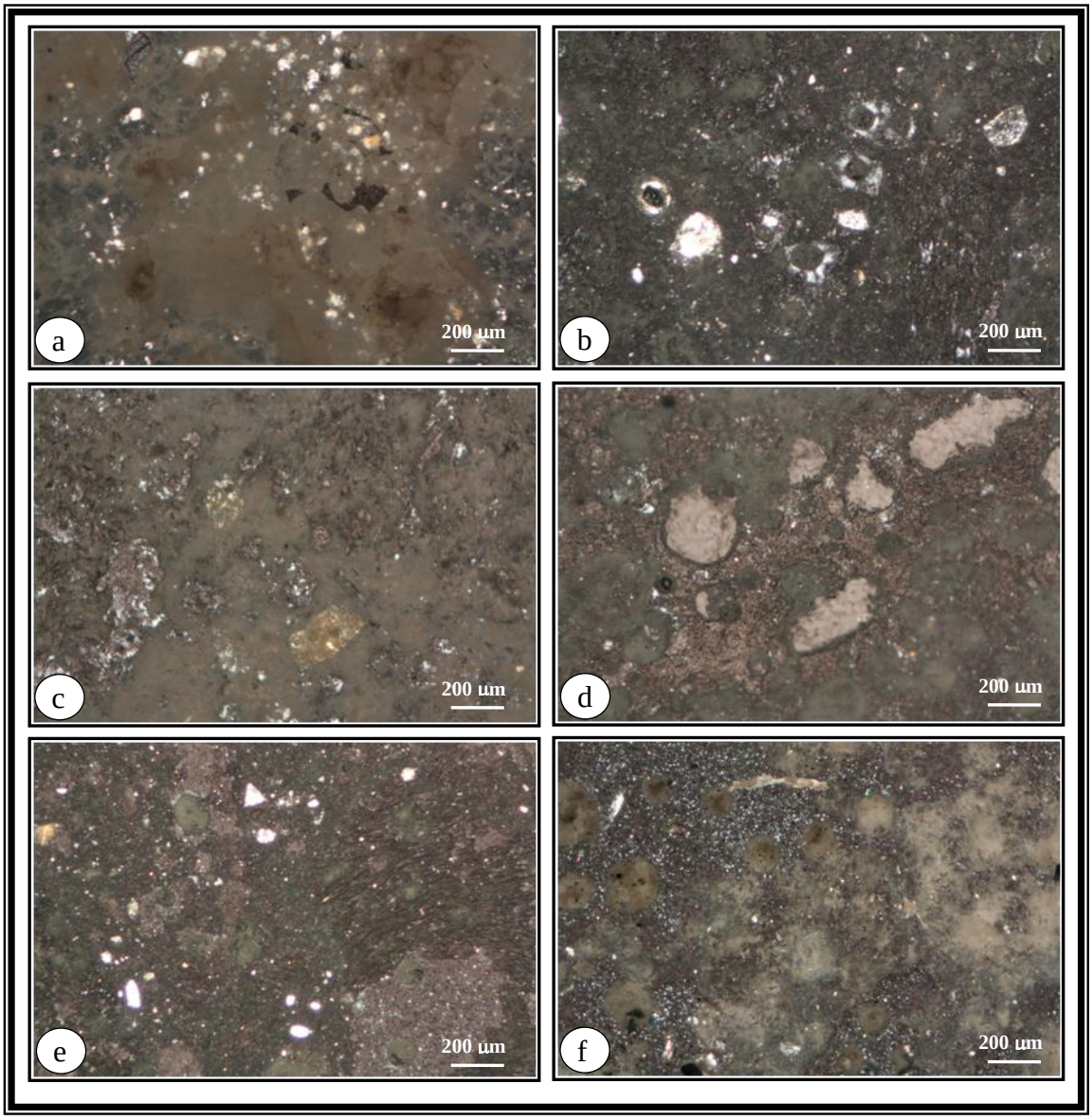
4. döngüden itibaren donma-çözülme sürecinin etkileri daha küçük kristallerde gözlenmeye başlamıştır. 5. döngüde volkanik cam kısmındaki gözenek oranı artmış ve kuvars ile plajioklas feno kristallerde deformasyonlar maksimum düzeyde gözlenmiştir (Şekil 4.49 f). Donma-çözülme sürecinden biyotit kristalleri diğer kristallere göre daha az etkilenmişlerdir bu biyotit minerallerinin daha esnek (elastik) olmasıyla açıklanabilir.

5 nolu örnekteki dokusal değişimler; ince kesit görüntülerinde D-Ç sürecinin etkisi ile 1., 2. ve 3. döngülerden sonra kuvars ve plajioklas feno kristallerinde birkaç düzensiz çatlak gelişimi gözlenmiştir (Şekil 4.50.a-d). 4. döngüden itibaren feno kristallerde D-Ç sürecinin etkisiyle gözlenen çatlakların sayısı ve uzunlukları büyük oranda artmaktadır (Şekil 4.50.e ve f). 5. döngü sonrasında ise iri kristallerin doğal şekli gözlenebilmesine rağmen kristale etkiyen tekrarlanan don basınçları sonucunda birçok süreksizlik gelişmiş ve bunun sonucunda feno kristal parçalı bir görünüm kazanmıştır (Şekil 4.50.f). Kayacın hamur fazını oluşturan küçük kuvars kristallerinde değişimler gözlenmemiştir.



Şekil 4.50. 5 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

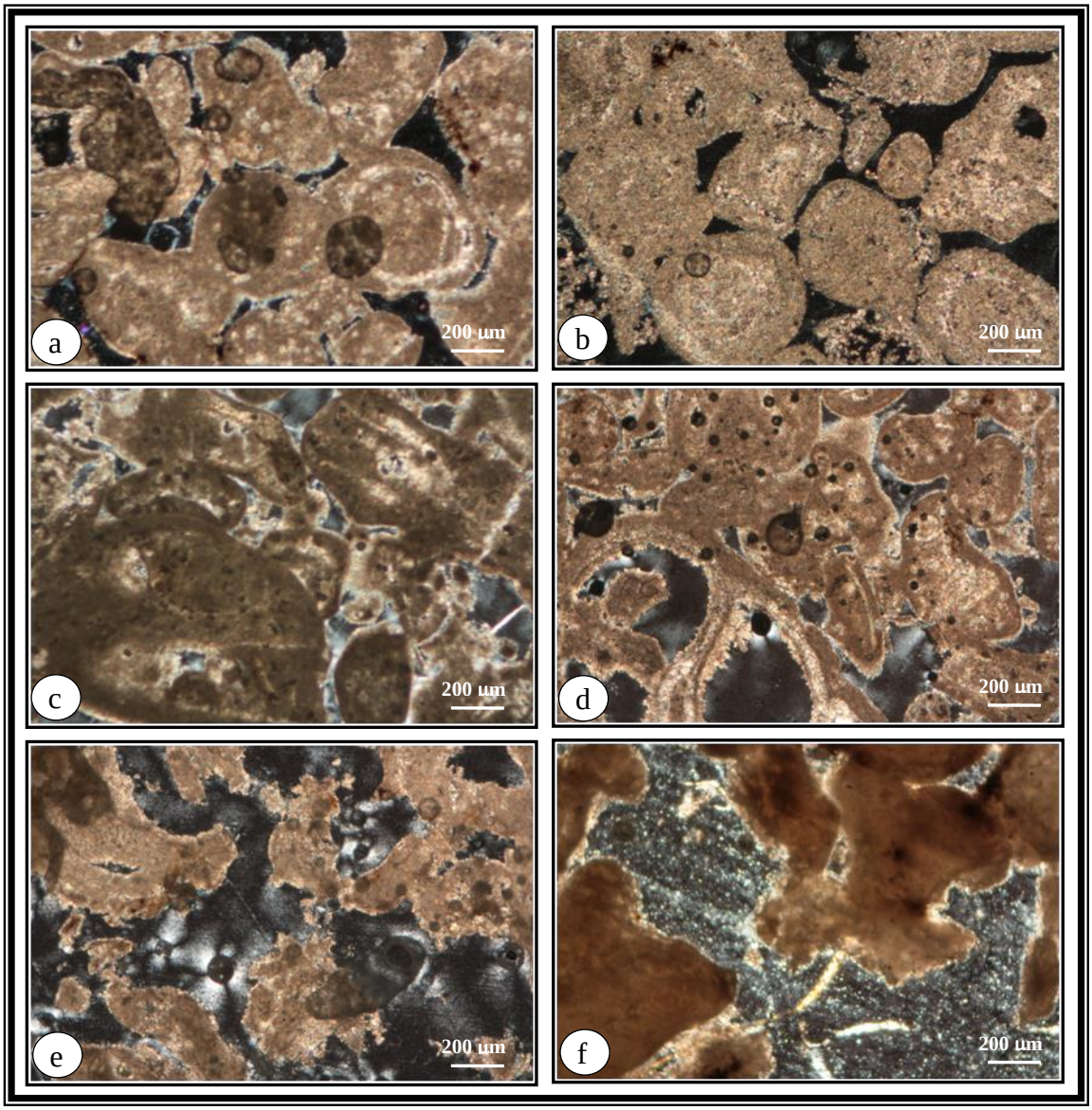
6 nolu örnekte mikroskobik ölçekteki dokusal değişimler; donma-çözülme sürecinin 1. döngüden itibaren gözenek oranı hızla artmakta ve 5. döngüde kayaçtaki porozite oranı en yüksek düzeye ulaşmaktadır (Şekil 4.51.a-f). D-Ç sürecinin 1. ve 2. döngüsünde kayacın ince kesit araştırmalarında porozitenin kesitteki dağılımı homojen ve eş boyutlu boşluklar şeklinde (elek dokusu) gözlenmektedir (Şekil 4.51.a ve b). 3. döngüden itibaren donma-çözülme sürecinin etkisiyle boşlukların çapları genişlemiş ve diğer boşluklarla birleşmişlerdir. Kesitte ilk döngülerde gözlenen homojen porozite dağılımı özelliğini kaybederek, çeşitli çap ve boyutlarda gözeneklerden oluşan hetorojen bir doku kazanmıştır (Şekil 4.51.d, e ve f).



Şekil 4.51. 6 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

7 nolu örnekteki dokusal değişimler; donma-çözülme sürecinin ilerlemesi bağlı olarak var olan boşlukların genişlediği gözlenmektedir (Şekil 4.95.a-f). Şahit numuneye ait ince kesit fotoğrafında taneler arasında görülen zayıf çimentolu bölümlerin donma-çözülme sürecinin 1. döngüsünde etkilendiği ve taneleri bir birine bağlayan bağının azaldığı/kalmadığı gözlenmiştir. 2. döngüden itibaren taneler arası boşluk hızla artarken diğer yandan fosil kalıpları içinde yer alan spari kalsit çimentonun donma-çözülme sürecinden etkilendiği ve kayacı oluşturan taneler içinde de boşlukların oluşmaya başladığı gözlenmiştir (Şekil 4.95.b). 3. döngü sonrasında fosil kalıpları içindeki

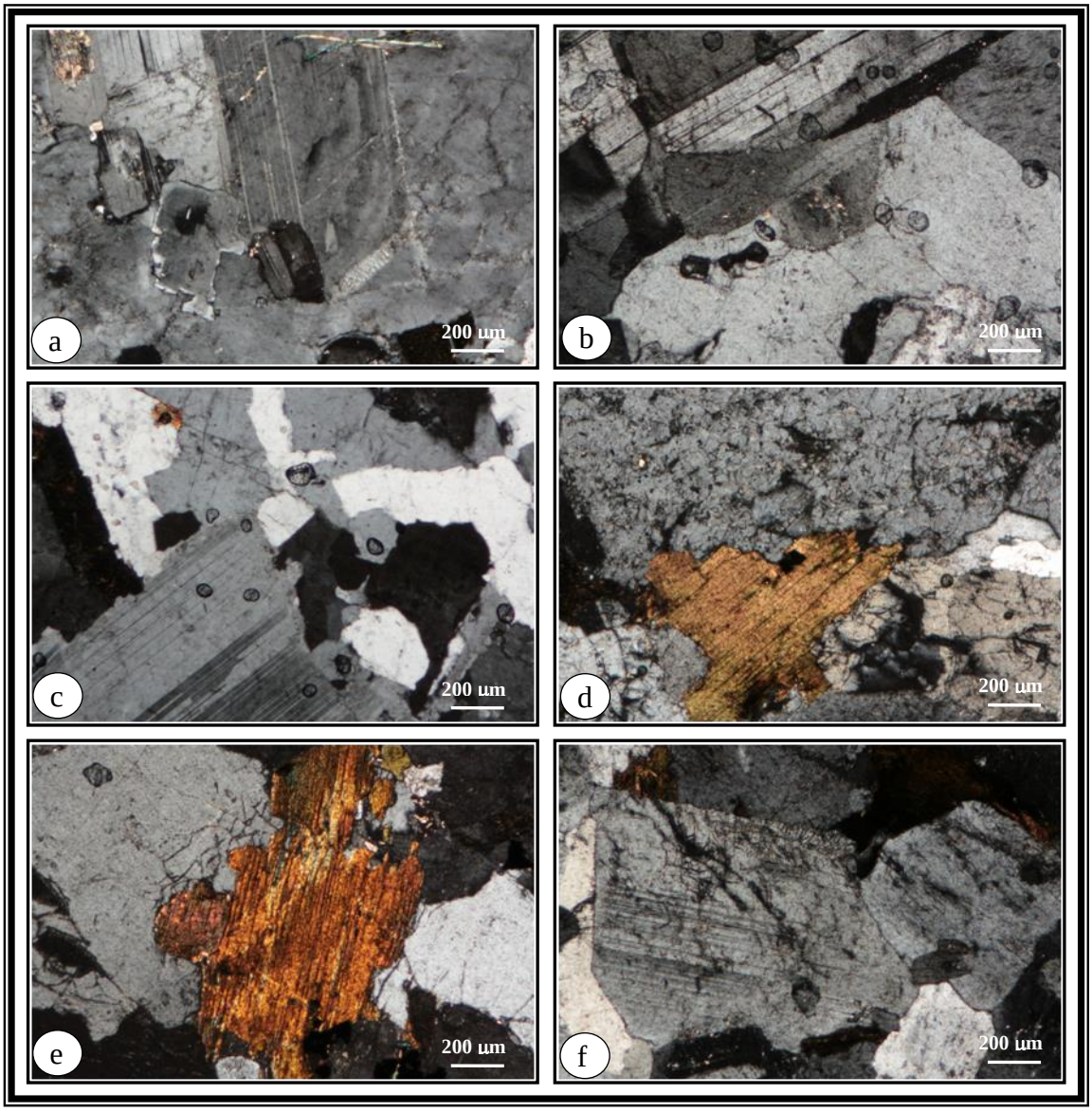
boşluklar daha belirgin bir hale gelmiştir (Şekil 4.95.c). 4. döngüden itibaren taneler arası boşluklar ile tane içi boşluklar birleşmiştir (Şekil 4.95.e). Donma-çözülmenin son döngüsü sonrası ince kesit görünümünde büyük boşluklar içerisinde yüzen dondan etkilenmiş tane öbekleri şeklinde görünmektedir. 5. Döngü sonrası kayaç en büyük porozite değerine ulaşmıştır (Şekil 4.95.f).



Şekil 4.52. 7 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

8 nolu örnekteki dokusal değişimler; numunenin şahit görüntüsü ve donma-çözülme sürecinin 1. ve 2. döngü sonrasına ait ince kesit fotoğraflarında belirgin bir dokusal değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.53.a-c). Donma-çözülme sürecinin 3.

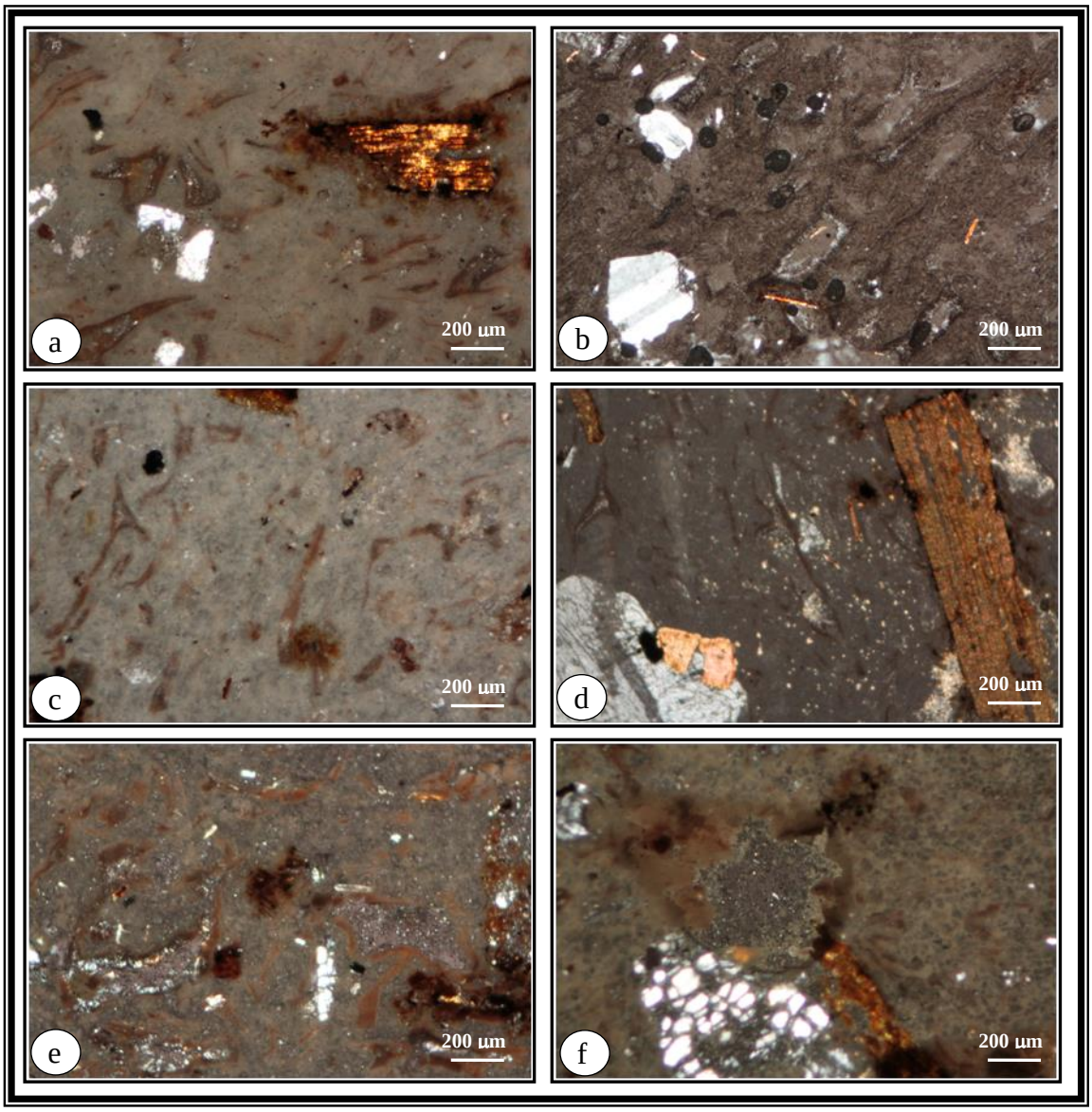
döngüsünden itibaren kayacın kener kısımlarından yapılan ince kesitlerde daha önceden var olan dilinim ve çatlaklar çevresinde küçük süreksizlikler gelişmeye başlamıştır (Şekil 4.53.d). 4. ve 5. döngüye ait kesitlerde ise etkinin kayacın dış kesimlerinden iç kısımlara doğru nufuz ettiği ve süreksizliklerin daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.53.e ve f).



Şekil 4.53. 8 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

9 nolu örnekteki dokusal değişimler; Donma-çözünmenin 1. ve 2. döngülerde volkanik cam içinde küçük gözenek gelişimleri gözlenmiştir (Şekil 4.54.b ve c). 3. döngüde volkanik cam üzerinde gelişen bu boşluklar kayaca elek dokusu görüntüsü

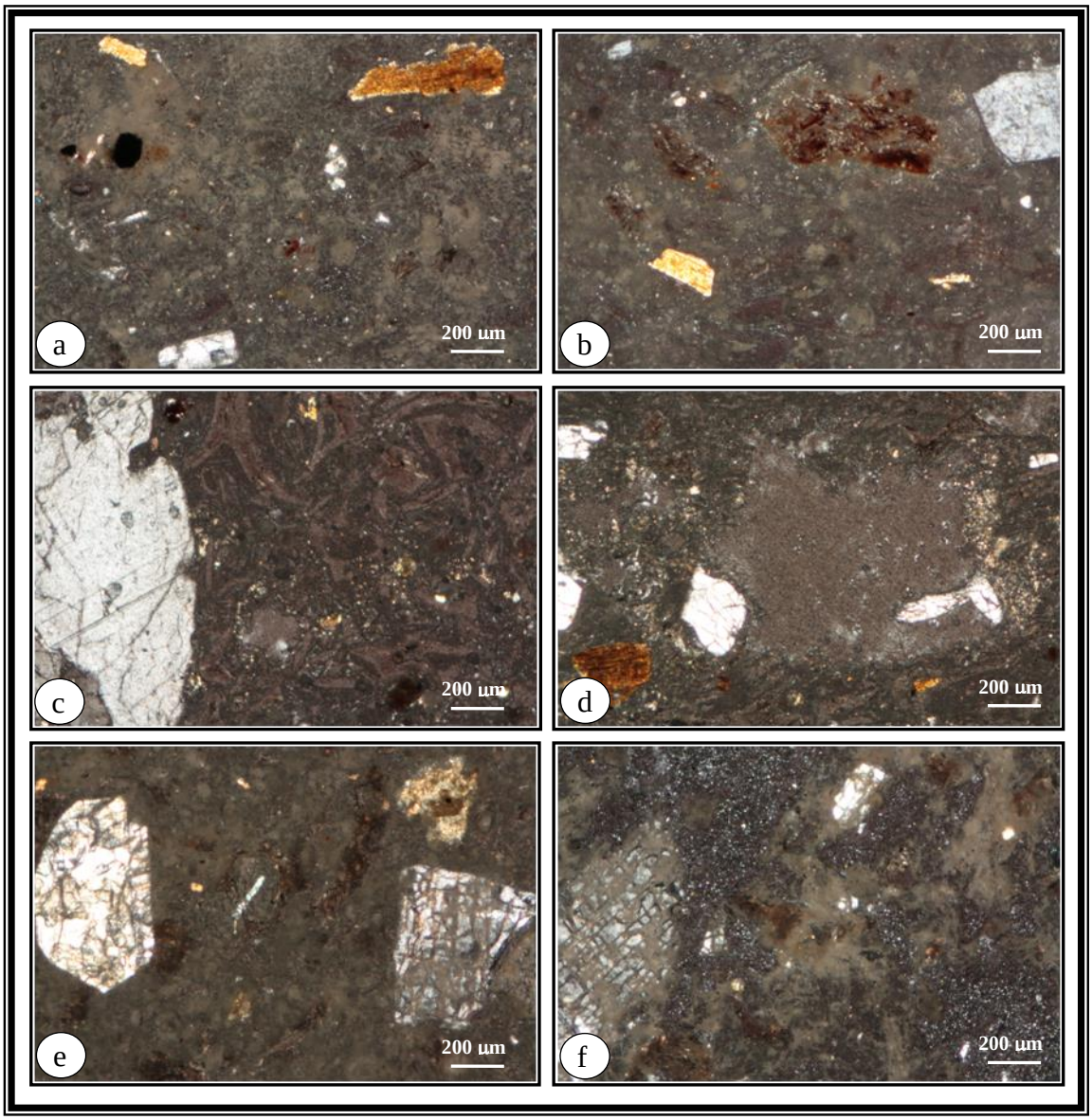
kazandırmıştır (Şekil 4.54.d). 4. ve 5. döngü sonrasında bu gözenekler birleşerek kayaçta büyük boşlukların oluşmasına sebep oldukları gözlenmiştir (Şekil 4.54.e ve f). Kayaçta yer alan feno kristallerde 3. döngüden itibaren çatlak gelişimleri gözlenmeye başlamıştır (Şekil 4.54.d-f).



Şekil 4.54. 9 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

10 nolu örnekteki dokusal değişimler; donma-çözülme sürecinin bu kayaç üzerindeki değişimleri 1. döngüden itibaren belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 4.54.a-f). 1. döngüden itibaren iri kuvars ve plajioklas kristallerde donma-çözülme sürecinin etkisiyle çatlaklar gelişmeye başlamıştır (Şekil 4.54.b). 3. döngüsünden

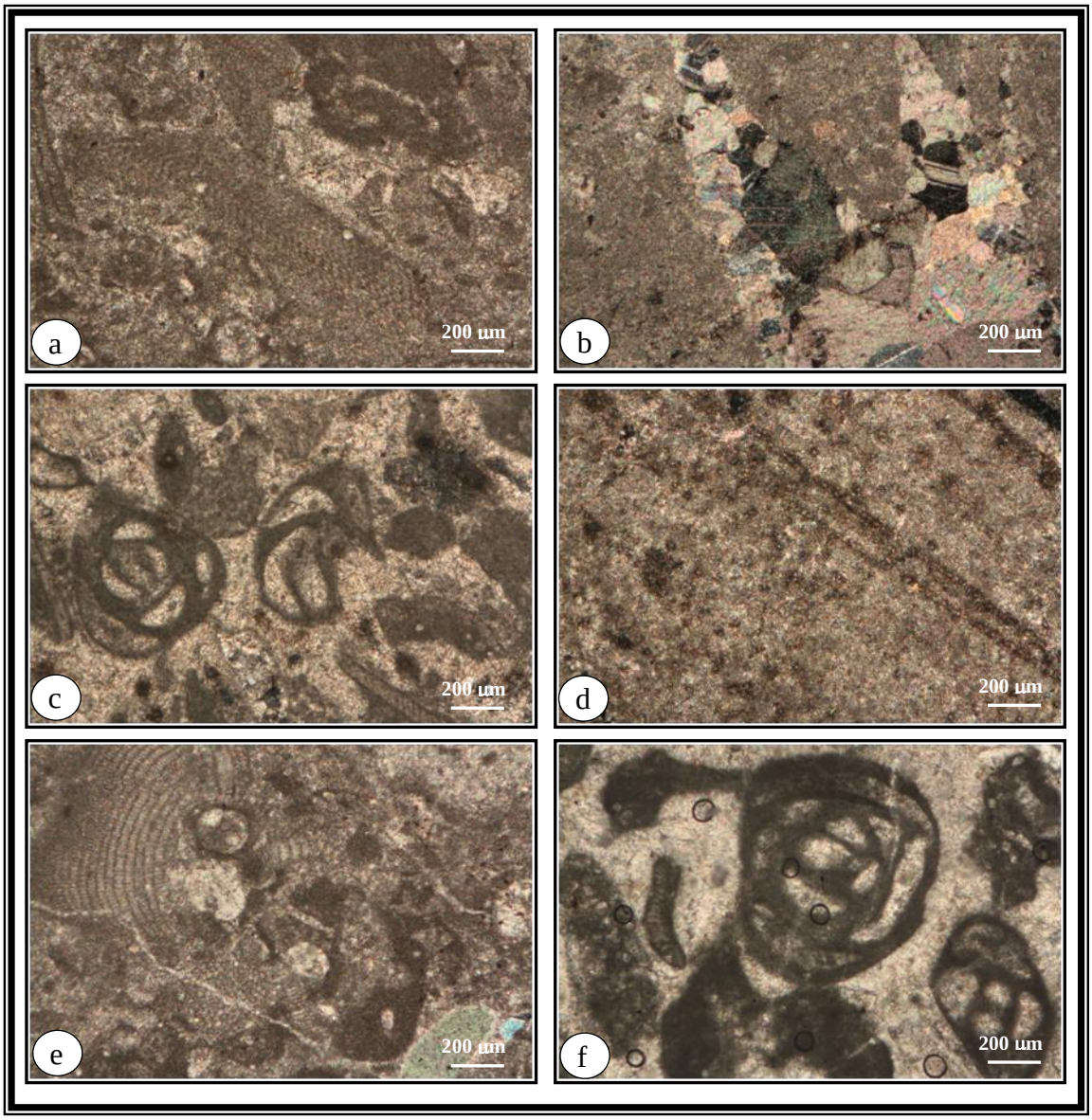
itibaren küçük kristallerde çatlak gelişimleri gözlenmeye başlamıştır. 3. döngüden sonra porozitenin ince kesit üzerindeki oranı hızla artmıştır (Şekil 4.54.d, e ve f). D-Ç'nin 4. ve 5. döngülerine ait ince kesit görüntülerinde kuvars ve plajioklas kristalleri parçalı bir görünüm kazanmışlardır (Şekil 4.54.e ve f).



Şekil 4.55. 10 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

11 nolu örnekteki dokusal değişimler; bu kayaca ait ince kesit araştırmaları sonucunda örnekte donma-çözülme sürecine bağlı belirgin dokusal değişimler tespit edilememiştir (Şekil 4.56.a- f). Kayacın porozitesinin düşük olması donma-çözülme süresinde en büyük etkiye sahip suyun kayaç bünyesine girmesini engellemiştir. Buna

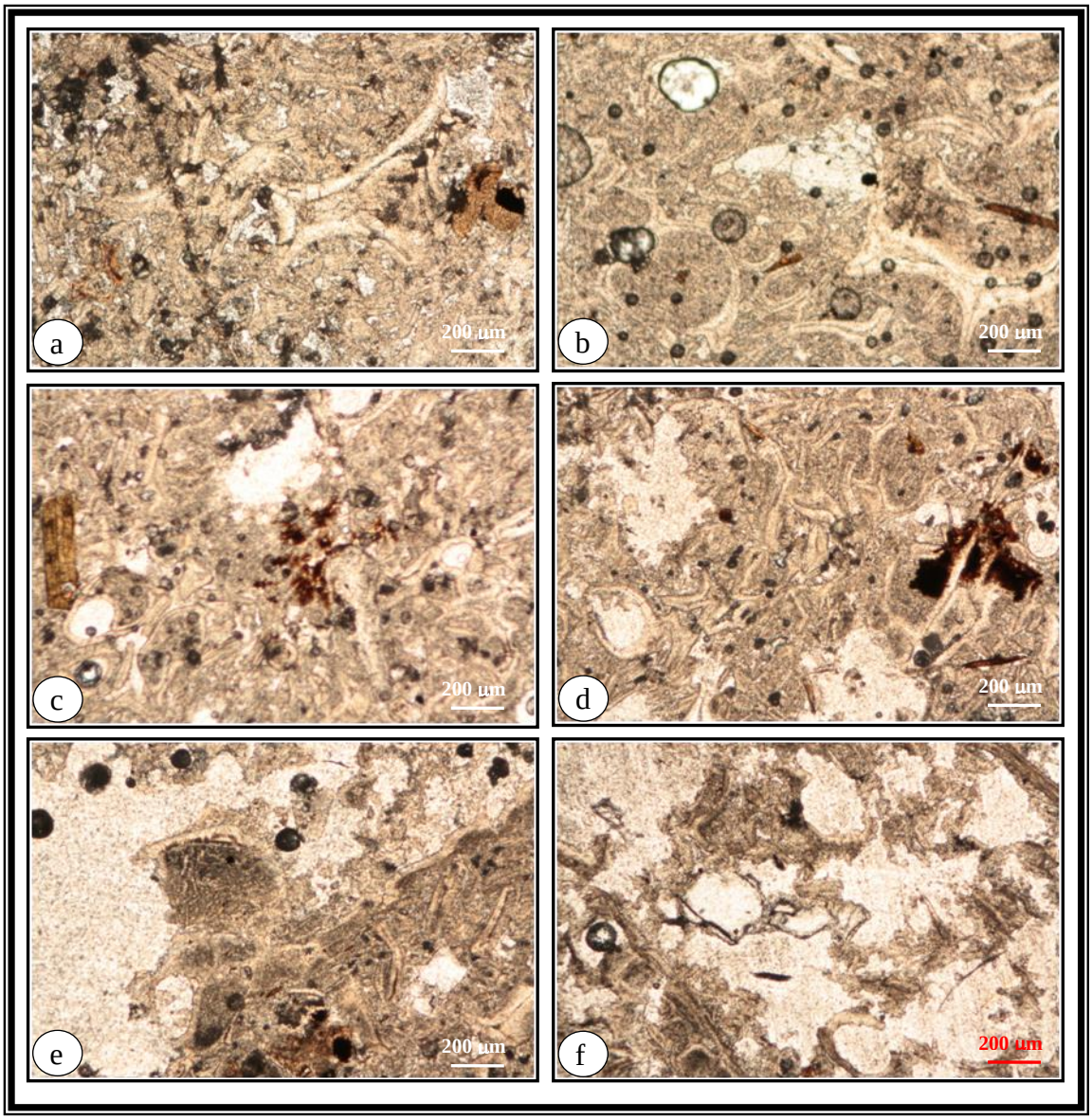
ek olarak kayacın küçük boyutlu kalsit kristallerinin (mikritin) hakim olması kayacın D-Ç sürecinden daha az etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.56. 10 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

12 nolu örnekte gözlenen dokusal değişimler; Numunenin bileşiminin % 70' den fazla volkanik cam içermesi nedeniyle kayaçta gözlenen dokusal değişimler tek nikolde yapılmıştır. Donma-çözülme sürecinin etkileri 1. döngüden itibaren belirgin olarak gözlene bilmektedir (Şekil 4.57.a-f). Değişim 1., 2. ve 3. döngülerde mevcut gözeneklerin çaplarında artmalar ve sert iri kristallerde çatlak gelişimleri şeklinde gözlenmiştir. 4. ve 5. döngülerde çapları genişleyen gözenekler birleşerek büyük

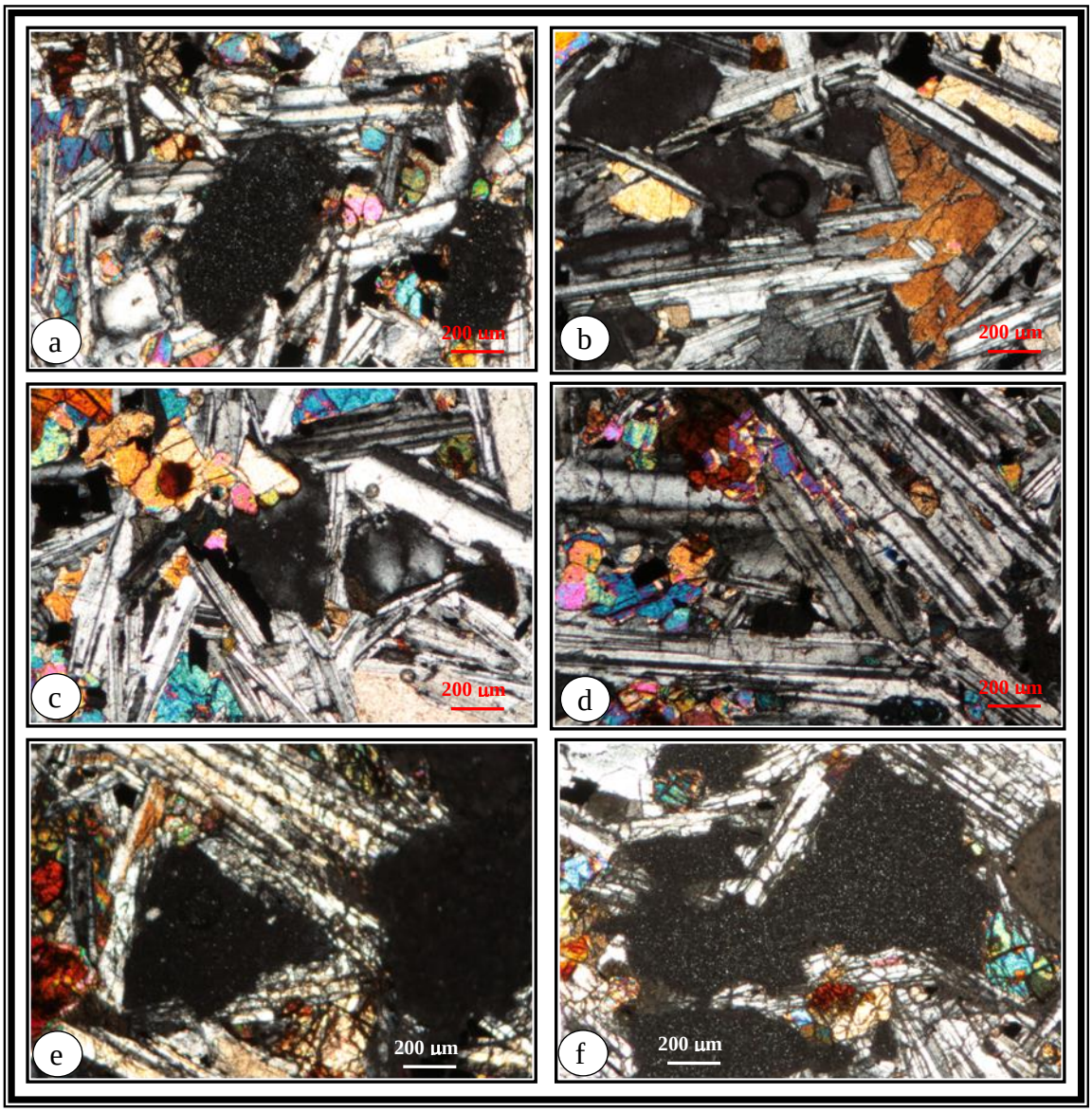
boşlukları oluşturmuştur. İri kristaller tekrarlanan don basıncını etkisiyle aşırı derecede parçalı bir görünüm kazanmıştır.



Şekil 4.57. 12 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (tek nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

13 nolu örnek bazalt bileşimine sahip olup, kayaçta D-Ç sürecine bağlı olarak meydana gelen dokusal değişimlerin en belirgin gözlendiği yerler kayacın bünyesinde mevcut soğuma boşlukları ve çevreleridir. D-Ç sürecinin kayaçtaki etkileri mevcut gözeneklerin çaplarında artmalar ve gözeneklerin çevresinde yer alan minerallerde çatlak gelişimleri şeklinde gözlenmiştir (Şekil 4.58.a-f). D-Ç sürecinin 3. döngüsünden itibaren kayacın boşlukları çevrelerinde yer alan kiristallerde çatlak gelişimleri

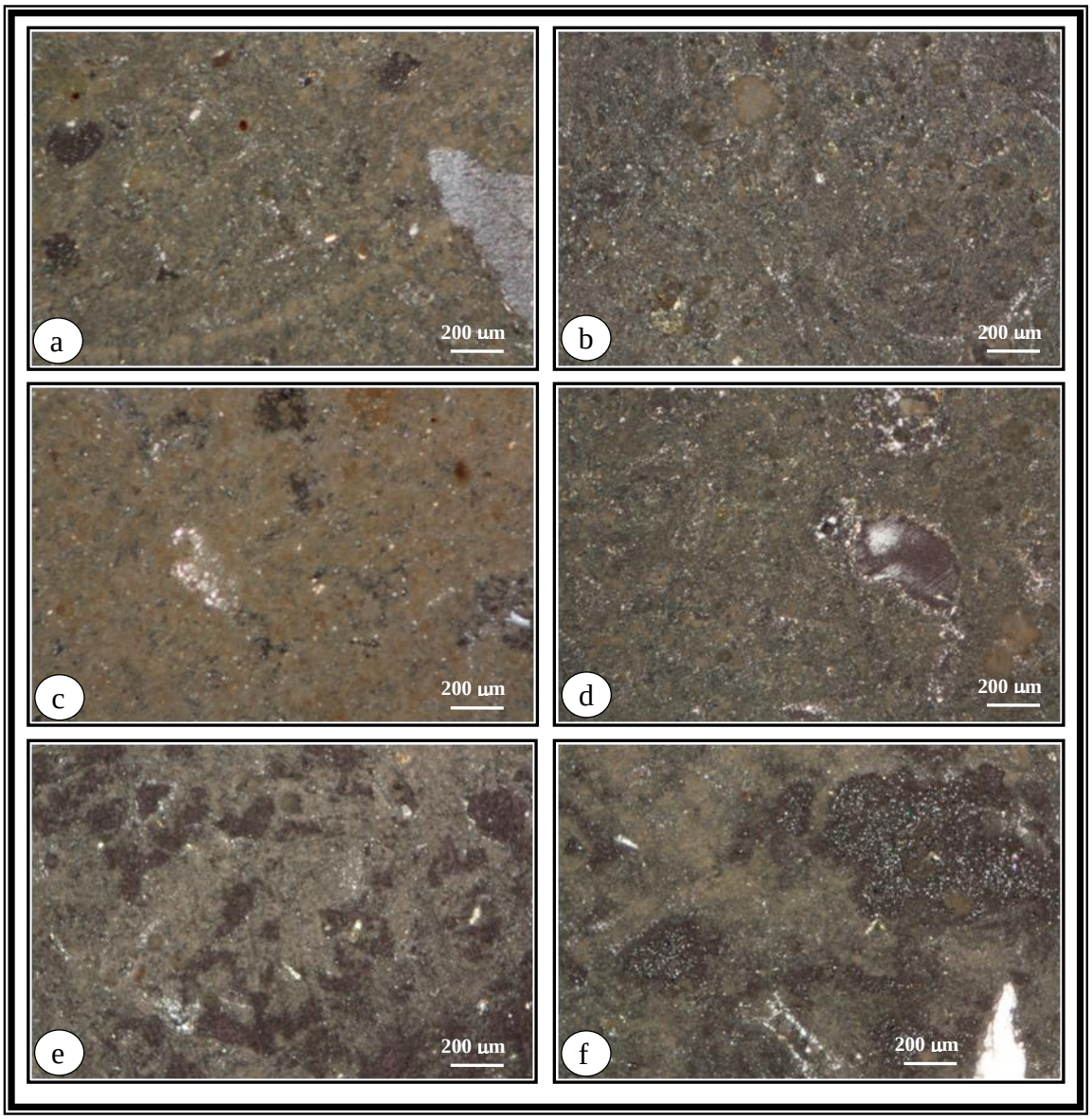
gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 4.58.d). Donma-çözülmenin 4. ve 5. döngüsü sonrası kayacın soğuma başlukları çevresinde yer alan kristallerde, tekrarlanan donma basıncı sonrası gelişen çatlakların sayısı ve uzunlukları artmıştır (Şekil 4.58.e ve f). D-Ç sürecinin etkisi soğuma boşluğundan uzaklaştıkça azalmakta ve/veya kaybolmaktadır.



Şekil 4.58. 13 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

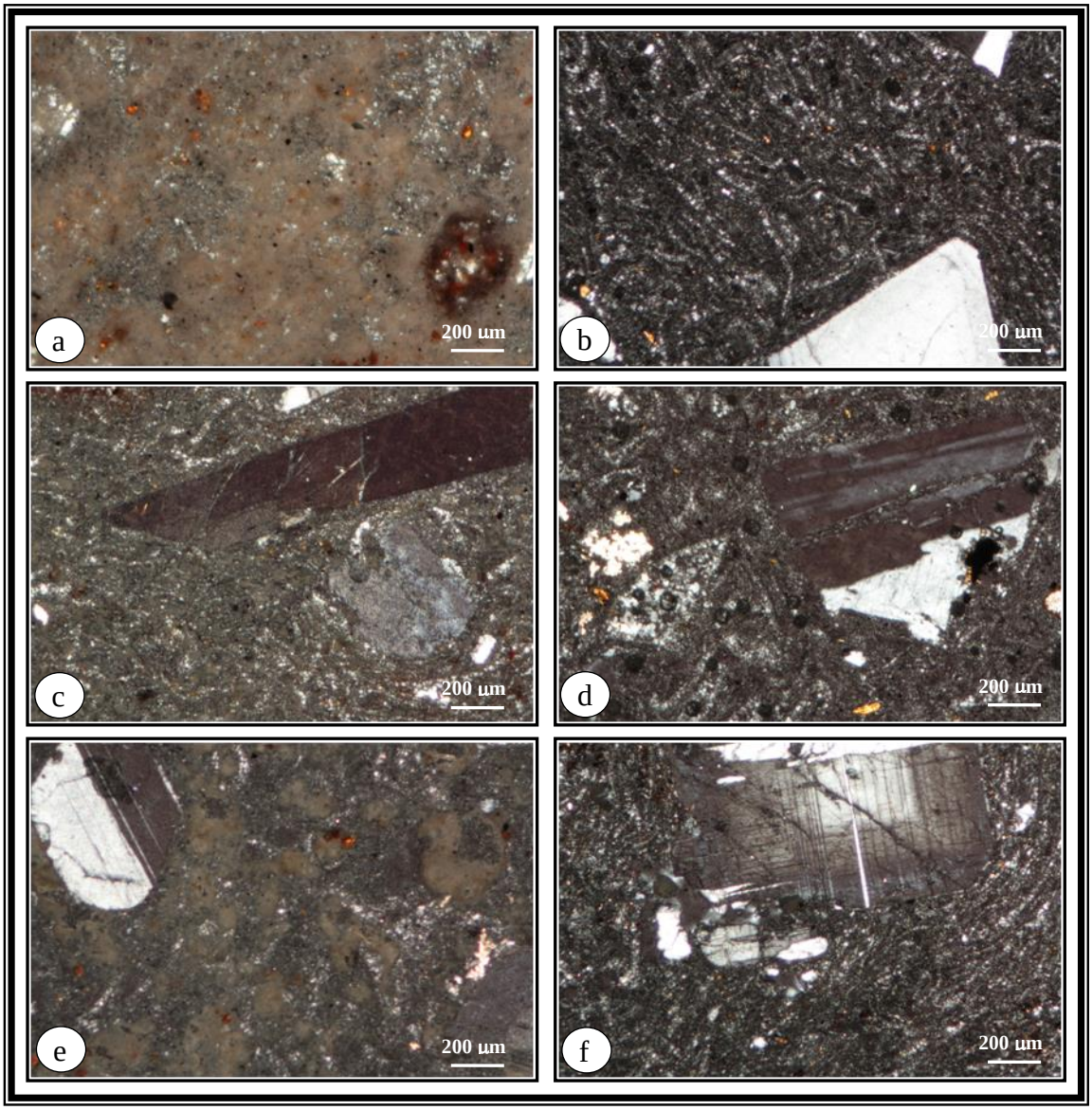
14 ile 21 arasındaki numuneler Kayseri ve Nevşehir bölgelerine ait piroklastik kayaçlarardan alınmış örnekler olup, donma-çözülme sürecinin meydana getirdiği dokusal özelliklerdeki değişimler benzerlikler göstermektedir.

14 nolu örnekteki dokusal değişimler; 1. döngüden itibaren mevcut gözeneklerin çaplarının genişlemesi ve yeni gözenek oluşumları şeklindedir (Şekil 4.59.a ve b). 2. döngü ile birlikte gözeneklerin çaplarının genişlediği ve boşlukların bir birleriyle birleşerek daha büyük çaplı gözenekler oluşturdukları gözlenmektedir (Şekil 4.59.c). Bu süreç 3. döngüde devam etmektedir (Şekil 4.59.d). 4. döngü sonrasında boşlukların çaplarının genişlemesinin devam etmesi ve yeni boşlukların oluşması sonucu irili ufaklı boşluklar gözlenmiştir (Şekil 59.e). Donma-çözülmenin 5. döngüsü sonrası kesit içinde büyüyen boşluklar kesitlerde belirgin bir yer teşkil ettikleri gözlenmektedir (Şekil 59.f). Kesitlerde gözlenen plajioklas ve kuvars kristaleride D-Ç sürecinden etkilenmişlerdir.



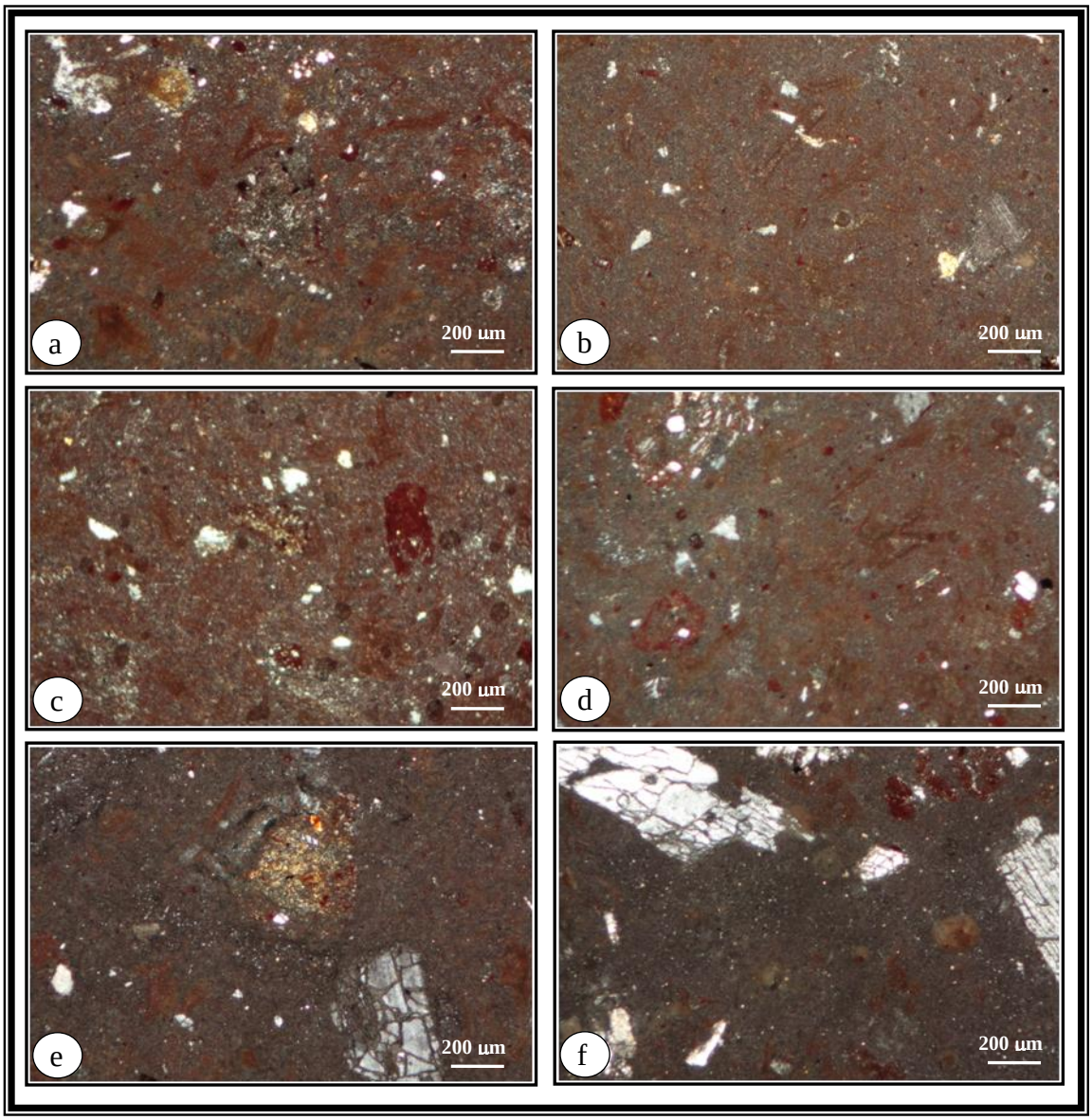
Şekil 4.59. 14 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

15 nolu örnekteki dokusal değişimler; 1. döngüden itibaren volkanik cam kısmının donma-çözülme sürecinden etkilenerek gözenek miktarında artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.60.a-f). Donma-çözülme sürecinin 4. ve 5. döngülerinde diğer örneklerde olduğu gibi porozite değerlerinde belirgin artışlar gözlenmemiştir. Dokuyu oluşturan feno kristallerde donma-çözülme sonrası belirgin çatlak gelişimleri tespit edilmemiştir. 5. D-Ç döngüsü sonrası çatlakların açıklığı, uzunluğu ve sayısı en üst düzeye ulaşmıştır (Şekil 4.60.f).



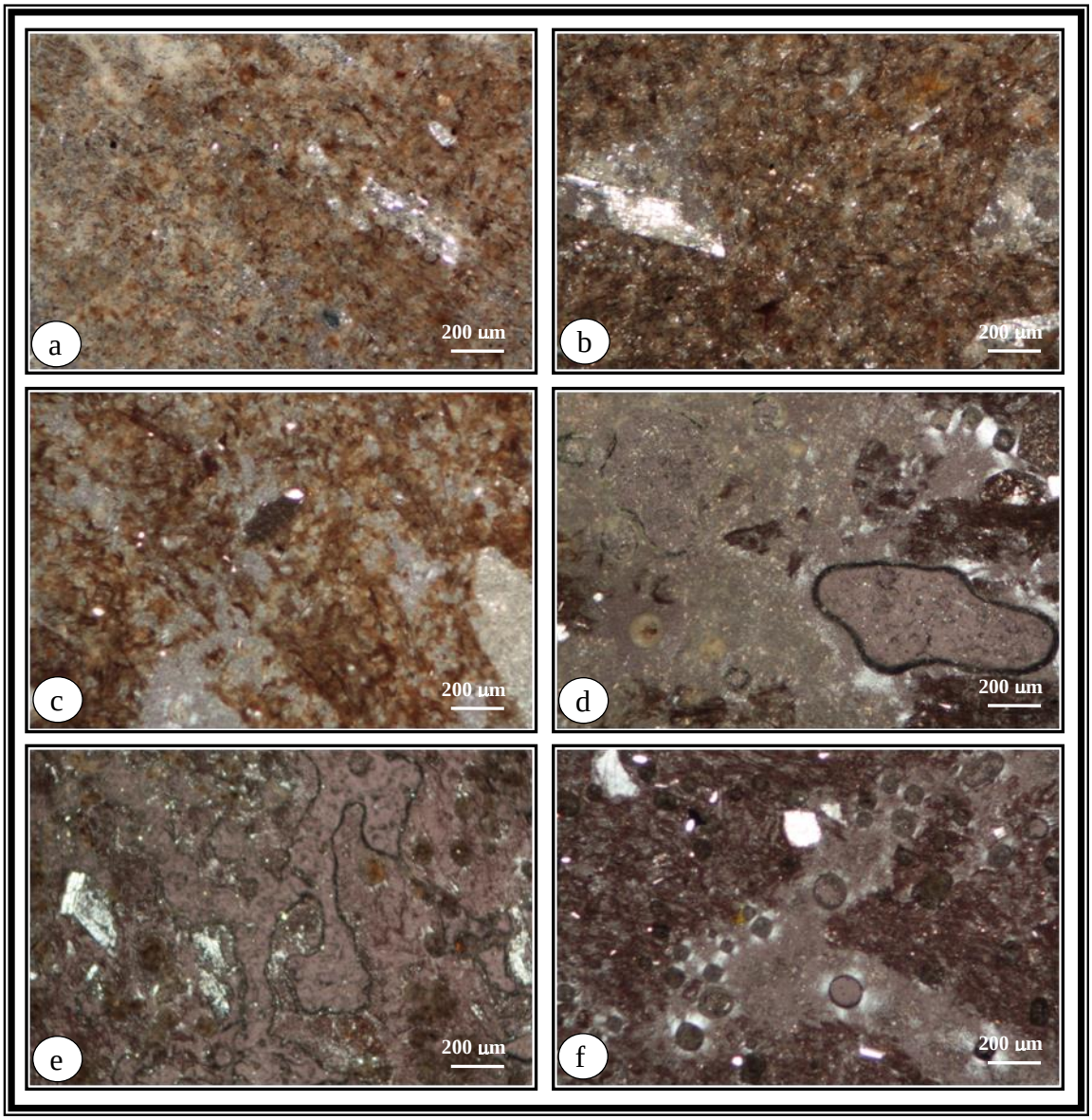
Şekil 4.60. 15 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

16 nolu örnekteki dokusal değişimler; numunenin şahit örneğe ait ince kesitler incelendiğinde porozitenin kayaç içinde homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir (Şekil 4.61.a). 1. döngüden itibaren mevcut gözeneklerin genişleyerek diğer boşluklarla birleşmeleri ve yeni gözeneklerin oluşması kesit içinde irili ufaklı boşluklar oluşturmuştur (Şekil 4.61.b-f). 5. döngü sonrası kayaçtaki porozite oranı en yüksek değerlere ulaşmıştır. D-Ç'nin 4. döngüsü sonrası iri kristallerde don basıncının etkisiyle çatlak oluşumları gözlenmeya başlamıştır (Şekil 4.61.e). 5. döngü sonrası iri kristallerde çatlak gelişimi devam ederken, küçük boyutlu kristallerdede çatlak oluşumları gözlenmeye başlamıştır (Şekil 4.61.f).



Şekil 4.61. 16 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

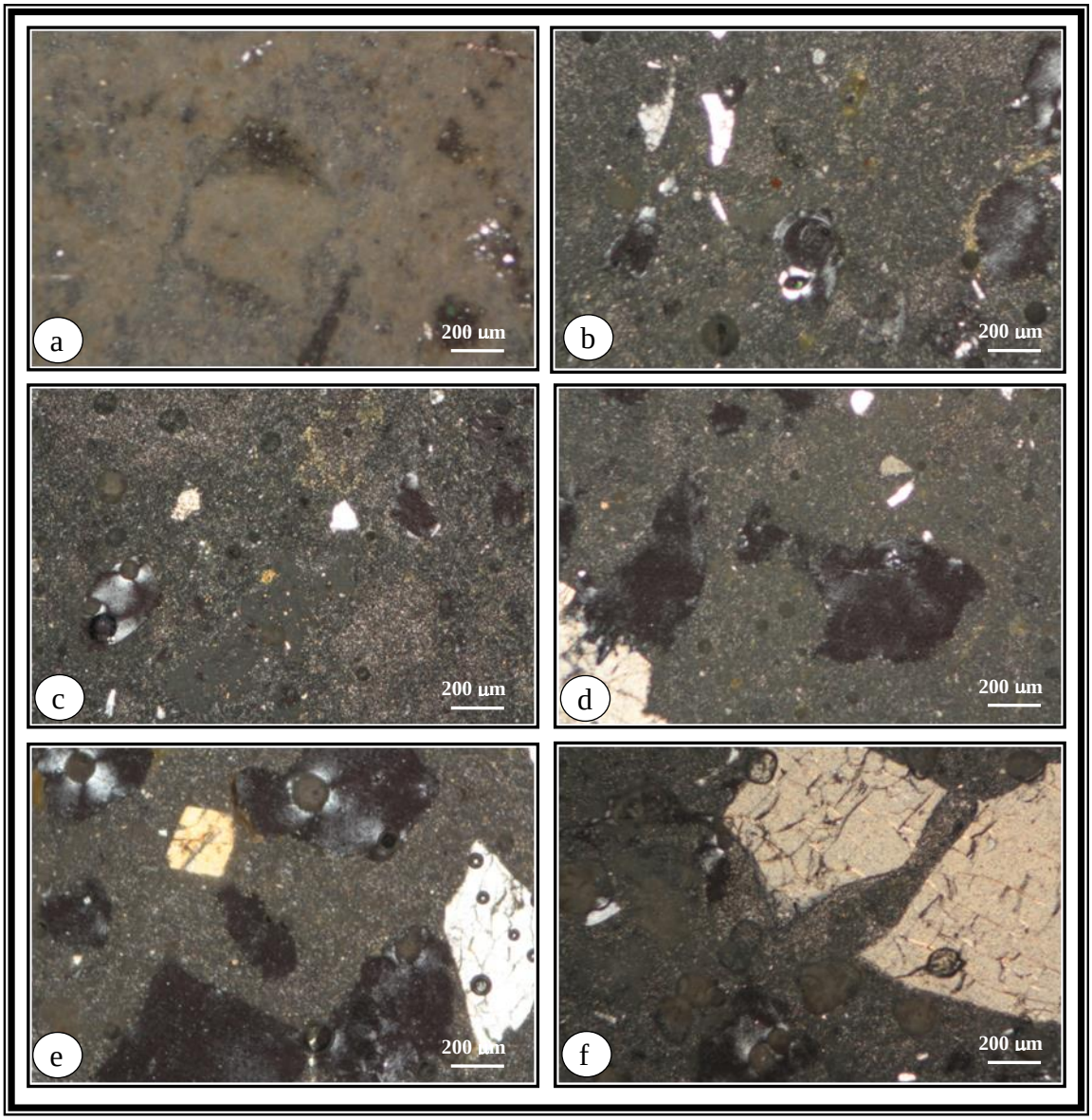
17 nolu örnekteki dokusal değişimler; numunenin doğal hali ve 1. ve 2. döngüsü arasında belirgin doku farklılıkları gözlenmezken 3. döngüden itibaren ince kesitte büyük çapta boşlukların oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 4.62.a-d). 4. döngüden itibaren kesit içinde boşlukların birleşerek dentritik bir görünüm kazanmıştır (Şekil 4.62.e). 5. döngüye ait ince kesitlerdeki görüntülerde ise boşlukların daha da genişlediği gözlenmiştir (Şekil 4.62.f). Kayaç içerisinde yer alan iri plajioklas kristallerinde 3. döngüden itibaren çatlak gelişimleri gözlenmeye başlamıştır.



Şekil 4.62. 17 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. Döngü

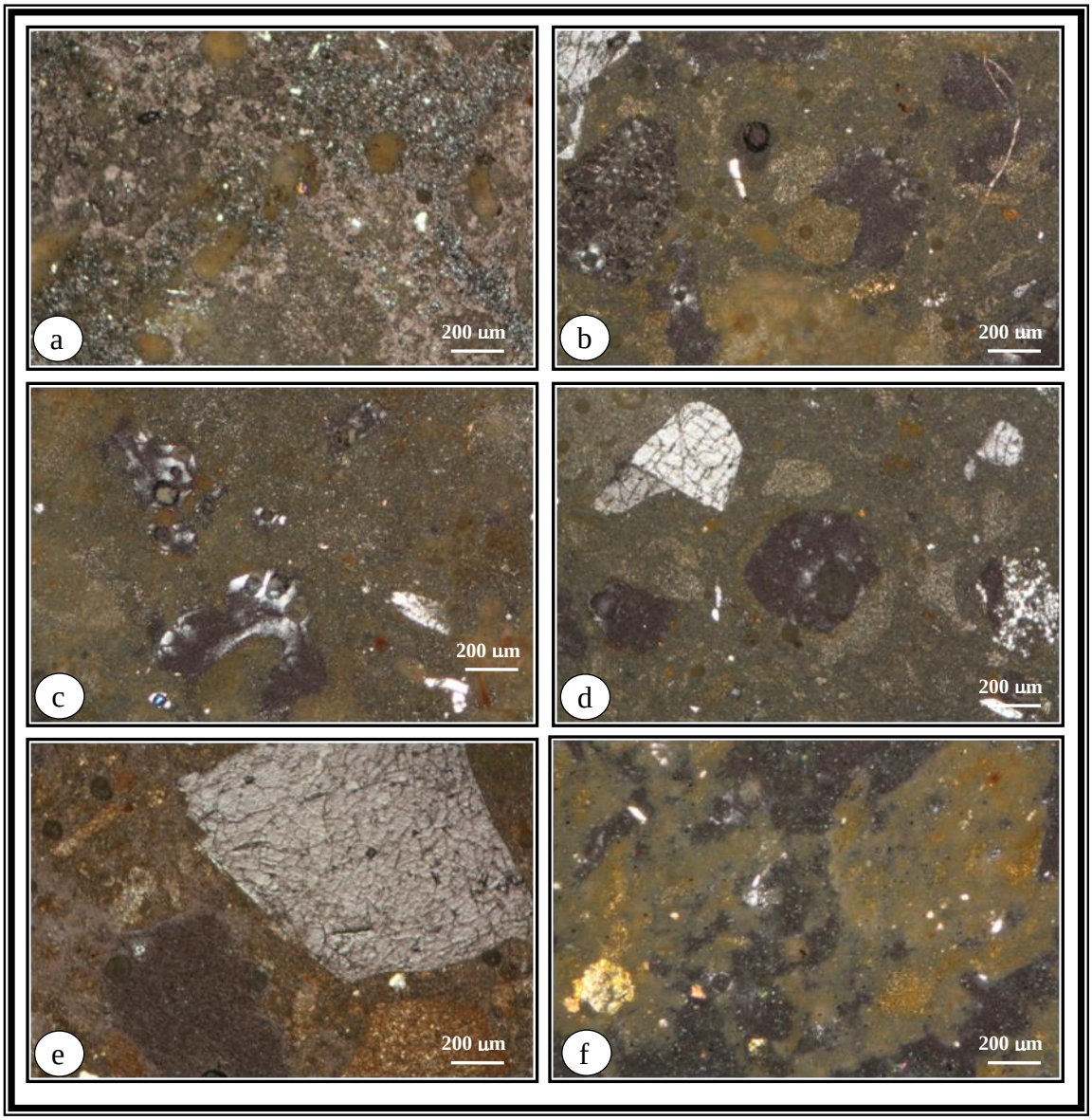
18 nolu örnekteki dokusal değişimler; kayacın şahit örneğe ait ince kesit görüntülerinde porozitesinin homojen olarak dağıldıkları gözlenmektedir (Şekil 4.63.a).

Donma-çözülme süreciyle kayaçta porozite oranında dikkat çekici artışlar gözlenmektedir (Şekil 4.63.b-f). 2. döngüden itibaren küçük boşlukların genişleyerek diğer gözeneklerle birleştikleri ve kesitin değişik yerlerinde daha büyük çaplı boşluklar oluşturdukları tespit edilmiştir (Şekil 4.63.c-f). Sürecin 4. ve 5. döngülerinde ise kayaç porozite egemen bir görünüm almıştır. D-Ç sürecinin 3. döngüsünden itibaren iri kristallerde tekrarlanan don basıncının etkisiyle çatlak oluşumları gözlenmiştir (Şekil 4.63.d-f). 5. döngü sonrası küçük boyutlu kristallerdede çatlak oluşumları gözlenmeye başlanmıştır.



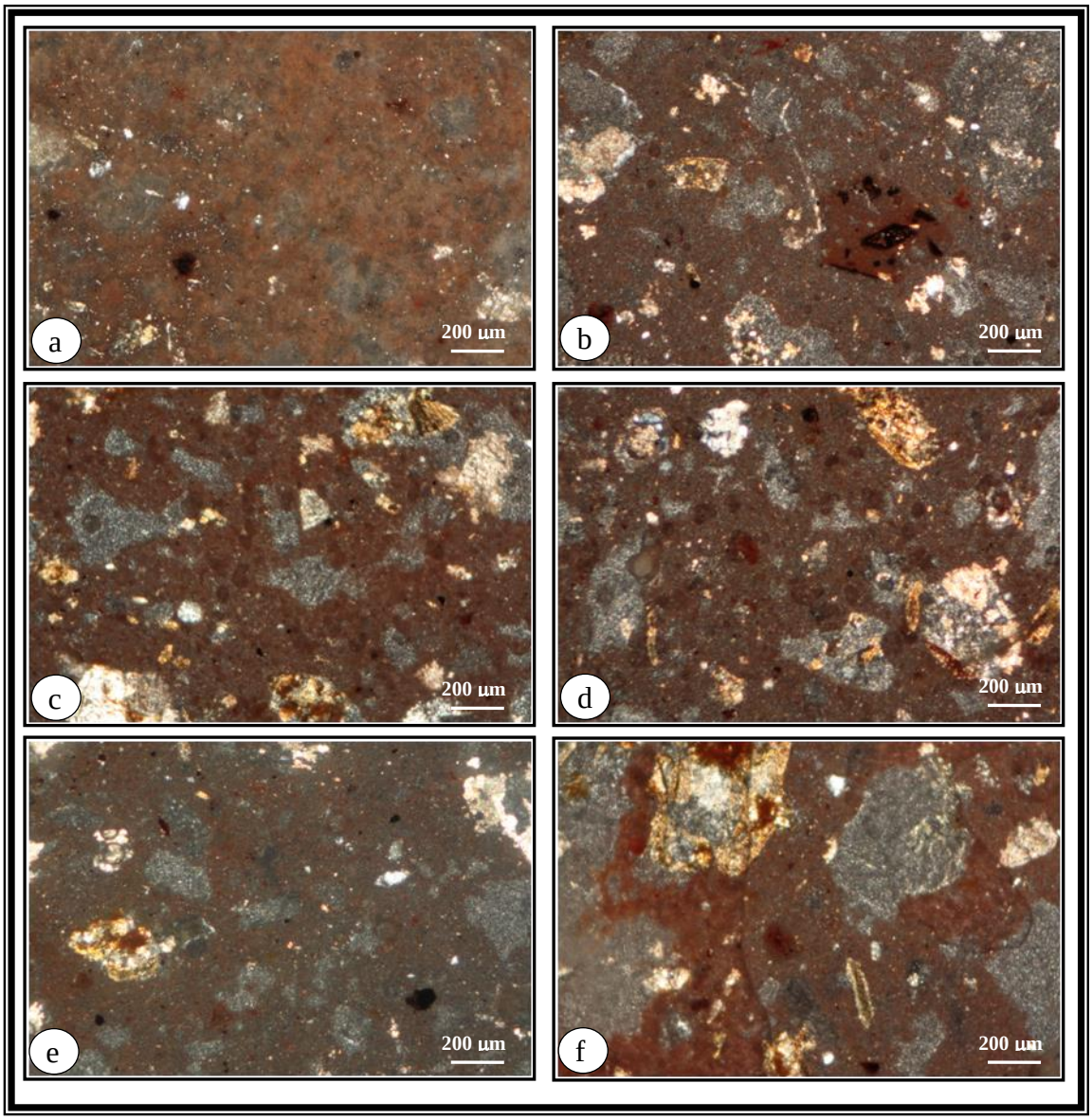
Şekil 4.63. 18 nolu örneğin şahitl ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

19 nolu örnekteki dokusal değişimler; 1. döngüden itibaren gözlenebilmektedir (Şekil 4.64.a-f). 1. döngüde kayaç içinde porozite oranında artışlar başlamakta, 2. ve 3. döngü sonrasında kesit içinde dağılmış şekilde orta büyüklükte boşluklar görülmektedir (Şekil 4.64.c ve d). Donma-çözülme sürecinin 4. ve 5. döngüsüne ait ince kesitlerde büyük boşluklar gözlenmektedir (Şekil 4.64.e ve f). Donma-çözülmenin ilk döngüsünden itibaren kayacın dokusunda bulunan iri kristallerde tekrarlanan don basıncının etkisiyle çatlak oluşumları gözlenmektedir (Şekil 4.64.b-f).

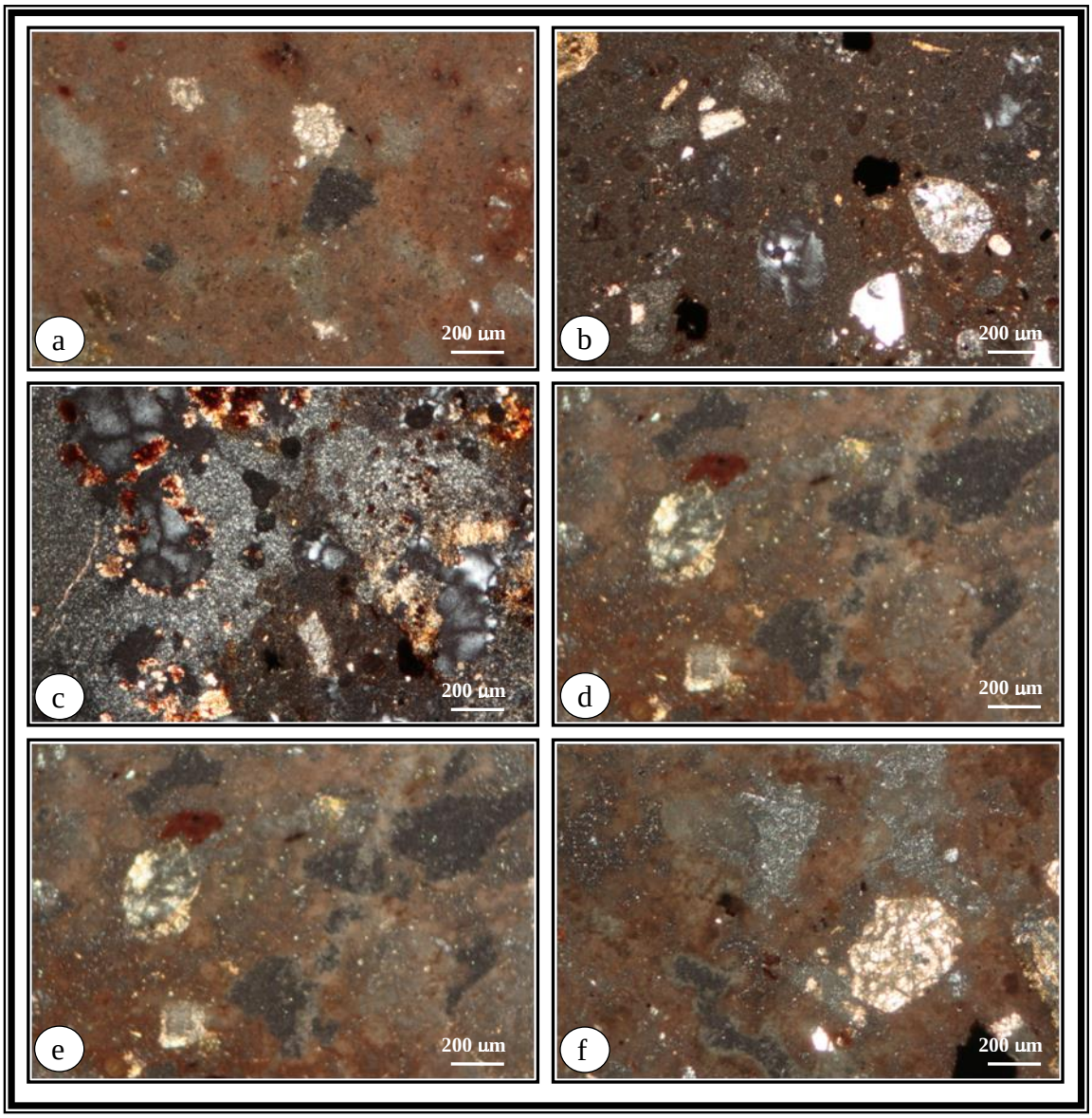


Şekil 4.64. 19 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

Çalışmaya ait 20 ve 21 nolu örneklerdeki dokusal değişimler bir birine benzer özellik sergilediğinden iki örnek bir arada değerlendirilmiştir. Her iki kayacın şahit örneklerine ait ince kesit görüntülerinde porozite dağılımları homojen olarak gözlenmiştir (Şekil 4.65.a ve Şekil 4.66.a). Donma-çözülme sürecinde ilerlemesiyle doğru orantılı olarak kayacın porozite oranında bir artış belirginleşmektedir (Şekil 4.65.b-f, Şekil 4.66.b-f). Donma-çözülme sürecinin 4. ve 5. döngülerinde kayaçlarda en büyük boşluk oranları tespit edilmiştir (Şekil 4.65.f, Şekil 4.66.f).

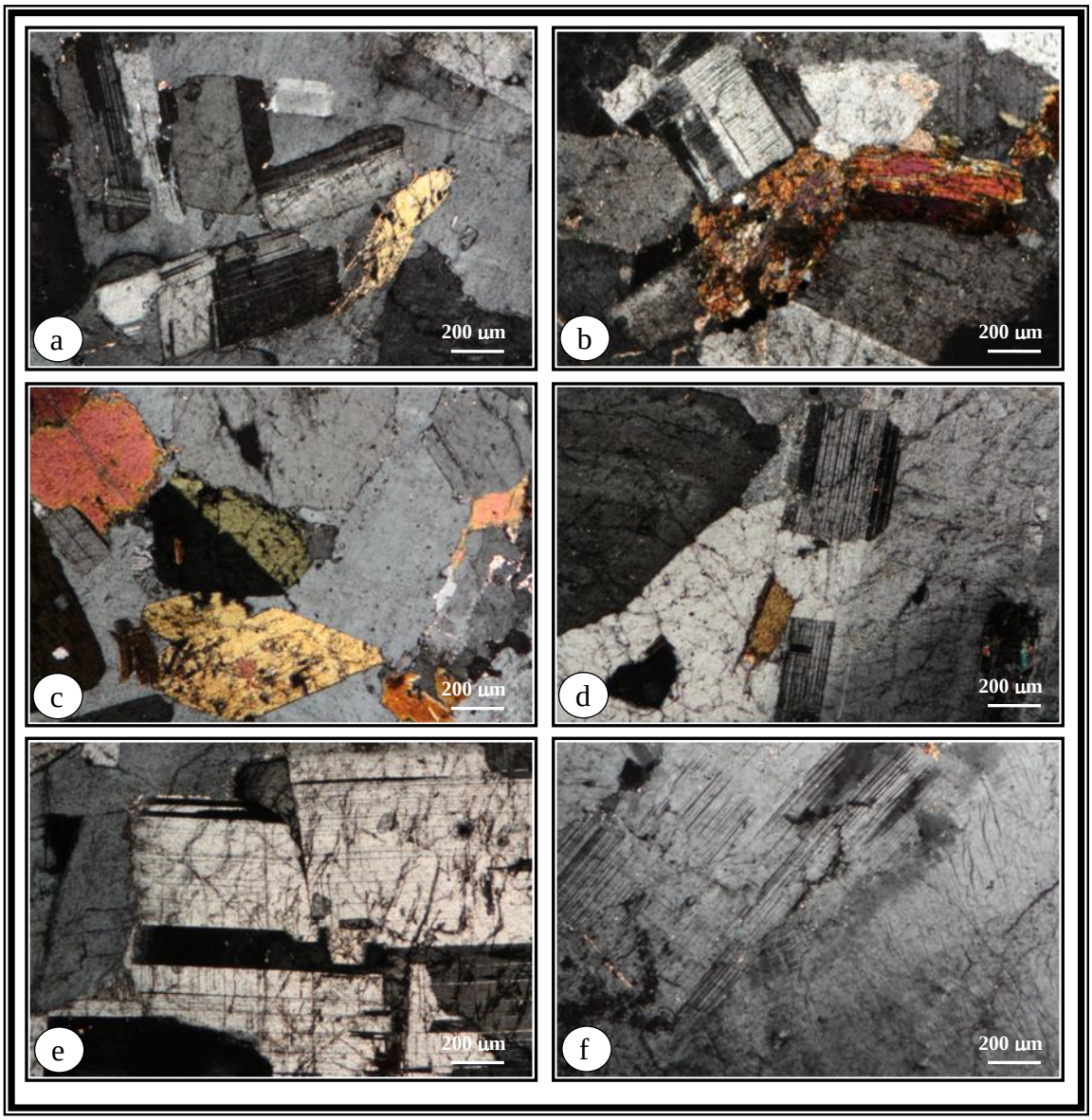


Şekil 4.65. 20 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü



Şekil 4.66. 21 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

İncelenen son örnek için dokusal değişimler ise; numunenin şahit örneğine ait görüntüsü ve donma-çözülme sürecinin 1. ve 2. döngüleri sonrasına ait ince kesit fotoğraflarında belirgin bir dokusal değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.67.a, b ve c). Donma-çözülme sürecinin 3. döngüsünden itibaren kayacın kener kısımlarından yapılan ince kesitlerde daha önceden var olan dilinim ve çatlaklar çevresinde küçük düzensiz süreksizlikler gelişmeye başlamıştır (Şekil 4.67.d). Son iki döngüye ait kesitlerde ise etkinin kayacın dış dış kesimlerinden iç kısımlara doğru nüfuz ettiği ve süreksizliklerin daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.67.e ve f).



Şekil 4.67. 22 nolu örneğin şahit ve donma-çözülme süreci sonrasında yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri üzerinde dokusal özelliklerdeki değişimler (çapraz nikol); a) şahit numune, b) I. döngü, c) II. döngü, d) III. döngü, e) IV. döngü, f) V. döngü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Konya, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Kırşehir illerinin çevresinde yüzeyleyen ve yapı taşı olarak kullanılan veya muhtemel olarak kullanılabilecek 22 kayaçta donma-çözülme döngüsünün mühendislik parametreleri üzerine etkisi araştırılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Kayaçların porozite ve ağırlıkça su emme değerleri D-Ç çevrim sayısının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Porozite ve ağırlıkça su emme değerlerinin D-Ç çevrim sayısı grafiklerinde en yüksek R^2 değerleri piroklastik kayaçlarda, en düşük R^2 değerler ise magmatik kayaçlarda belirlenmiştir.

Porozite değeri % 1'den küçük olan kayaçlarda D-Ç çevrim sayısı ile porozite arasında ilişki belirlenememiştir.

Kayaçların D-Ç çevrim sayısı ile mühendislik özellikleri arasında bir ilişki belirlenemediği durumlarda, kayaçların mühendislik özelliklerinin şahit değerlerinin D-Ç döngüler sonrası değerlerine göre yüzdesel değişimi daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

P dalgası yayılma hızının D-Ç çevrim sayısının artmasıyla ters orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Değişik araştırmacılar tarafındam bozunma sınıflamasında kullanılan P dalgası yayılma hızının birçok faktörden etkilendiği için bozunma sınıflamasında **tek başına kullanılmasının yeterli olmadığı** düşünülmektedir.

Donma-çözülme kaybı en çok gözlenen örnekler piroklastik kayaçlardır. 5. Donma-çözülme döngüsü sonrası en düşük $DÇ_k$ değeri % 0,002 ile 13 nolu kayaçta, en yüksek $DÇ_k$ değerili kayaç ise % 4,168 ile 19 nolu kayaçta gözlenmiştir.

Kayaçların 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı ($\sigma_{c(50)}$), 50 mm çaptaki nokta yük dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) ve dolaylı çekilme dayanım (σ_t) değerlerinin D-Ç sürecinin ilerlemesiyle azaldığı belirlenmiştir. Kayaçların dayanım değerlerinde en çok değişim proklastik kayaçlarda en az değişim ise magmatik kayaçta gözlenmiştir.

D-Ç süreci ile σ_t ve $I_{s(50)}$ değerinin başlangıç değerine göre yüzdesel değişimleri piroklastik kayaçlarda ilk döngüde % 10'nun üzerinde azalma şeklinde gözlenirken diğer kayaç gruplarında % 10'nun altında azalma şeklinde gözlenmiştir.

Kayaçların dayanım değerlerinin azalmasıyla D-Ç sürecinden etkilenmesi arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.

İncelenen kayaçların tümünde donma-çözülme sürecinin ilerlemesiyle Böhme aşınma kaybı değerinin artığı belirlenmiştir. Böhme aşınma kaybının D-Ç'nin 5. döngü sonrası en çok etkilenen örneklerin piroklastik kayaçlar, en az etkilenenlerin ise kuvars ve feldispat minerallerince zengin 8 ve 22 nolu magmatik kayaçların olduğu gözlenmiştir.

Agrega darbe dayanım değeri donma-çözülme çevrim sayısının artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır.

Los Angelas aşınma dayanımı değeri donma-çözülme çevrim sayısının artışı ile orantılı bir şekilde artmaktadır.

Donma-çözülme çevrim sayısının artışı ile örneklerin I_{d2} ve I_{d4} değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. D-Ç süreci sonrası I_{d2} ve I_{d4} değeri en çok etkilen örneklerin piroklastik kayaçlar en az etkilenenenlerin mağmatik kayaçlar olduğu belirlenmiştir.

D-Ç süreci boyunca yapılan makroskobik ve mikroskobik kayaç gözlemlerinde en çok etkilenen kayaç grubunun porozitesi yüksek ve dayanımı düşük piroklastik kayaçlar olduğu belirlenmiştir.

Kayaçta makroskobik boyutta gözlenen kusurlar (çatlak, damar vb.) kayacın D-Ç sürecinden etkileneceği zayıflık zonlarını oluşturmaktadır.

Karbonatlı kayaçlarda bileşimleri aynı fakat tane boyları farklı olan spari kalsit ve mikrit kristalleri D-Ç sürecinden farklı etkilendikleri belirlenmiştir. Buda kayacın dokusal özelliklerinin D-Ç sürecini doğrudan etkileyen önemli bir özellik olduğu sonucuna varılmıştır.

Kayacın dokusunu oluşturan rijit minerallerin tane boyutu büyüdükçe D-Ç sürecinden etkilenmeleri için geçen çevrim sayısı azalmaktadır.

Sert mineraller, elastik minerallere oranla D-Ç sürecinden daha çok etkilenmektedirler.

Mineralin bünyesinde var olan süreksizlikler (çatlak, dilinim vb.) D-Ç süresininden etkilenme ivmesinin artmasına sebep olmaktadır.

Donma-çözülme çevrim sayısı ile kayacın mühendislik özelliklere arasında **doğrusal olmayan** bir ilişki vardır.

Kayaçların donma-çözülme kaybı değerinin, örneklerin D-Ç sürecinden etkilenme düzeyi hakkında tek başına bilgi vermede **yeterli bir ölçüt** olmadığı düşünülmektedir. Kayacın D-Ç sürecinden etkilenme düzeyinin daha iyi anlaşılması için **kayacın dokusal özelliklerinin önemi bu çalışmayla daha iyi** ortaya konulmuştur.

Yapı malzemesi olarak tercih edilecek kaya malzemesinin bozunmasına sebep olan en önemli bir faktör olan D-Ç sürecine karşı davranışının daha önceden belirlenmesi inşaat firmalarına prestij, kişi ve ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır.

Tarihi yapılarda rekonstruksiyon yapılırken kullanılacak yapı taşlarının D-Ç sürecinden etlkilenmeyen veya en az etkilenenlerin tercih edilmesi kültürel mirasın daha uzun süreyle korunmasına yardımcı olacaktır.

Ülkemizde ve dünyada mevcut kültürel mirasın korunabilmesi için yapı taşında D-Ç süreci sonrası bozunmaya neden olan yeraltı yada yüzey sularının mimari yapılardan uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

Akin, M., 2010, A quantitative weathering classification system for yellow travertines, *Environmental Earth Sciences*, 61-1, pp. 47-61

Akin, M. and Özsan, A., 2011, Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests, *Bull Eng Geol Environ* 70, pp. 100-114

Aksoy, R. and A. Demiröz, 2012, The Konya earthquakes of 10-11 September 2009 and soil conditions in Konya, Central Anatolia, Turkey, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(2), pp. 295-303

Altındağ, R. ve Alyıldız, I.S., 2004, Donma-çözülme periyotlarının tüfün (Isparta-Dereboğazı) fiziko-mekanik özellikleri üzerine etkisi, *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye, s. 255-262

Altindag, R., Alyıldız, İ.S. ve Onargan, T., 2004, Mechanical property degradation of ignimbrite subjected to recurrent freeze-thaw cycles, *Int. J. Rock Mech.& Min. Sci.*, V.41, pp.1023-1028

Altındag, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. and Onargan, T., 2006, The integrıty loss of physicomechanical properties of buildıng stones when subjected to recurrent cycles of freeze–thaw (F-T) process, *Fracture and Failure of Natural Building Stones*, pp.363-372

Altındağ, R., 2012, Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol:112, pp. 229-237

Alyıldız, I. S., 2003. Isparta-Derebogazı tüflerinde donma-çözülme periyotlarının fiziko-mekanik davranışlarına etkisi, Y. Lisans Tezi, *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 63 s. (yayınlanmamış)

Angı, O. S., 2007, Aksaray Yaylak Graniti'nin kaplama taşı yönünden özelliklerinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, *İ.T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 119, (yayınlanmamış)

Anonim, 2012, [online], Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=mermer&bn=230&hn=230&nm=390&id=395 [Ziyaret Tarihi: 13 Aralık 2012]

Anonim, 2013a, [online], Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, http://www.migem.gov.tr, [Ziyaret Tarihi: 23 Ocak 2013]

Anonim, 2013b, [online], İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği,http://www.immib.org.tr/tr/ihracat-ihracat-rakamlari-istatistikler.html, [Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2013]

Anonim, 2013c, [online], POLMER Madencilik, http://www.polmerstone.com/tr/ocak.html?id_lib=84, [Ziyaret Tarihi: 25 Ocak 2013]

Arikan, F., Ulusay, R. and Aydin, N., 2007, Characterization of weathered acidic volcanic rocks and a weathering classification based on a rating system, *Bull Eng Geol Environ*, 66-44, pp. 415-430

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 and Meterials) Standard D 5312-04, 2004, Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under freezing and thawing conditions, 4 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, 4 p.

Ayaz, E. ve Karacan, E., 2000, Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Jeoloji Mühendisliği*, 24 (1), s. 87-99

Bayram, F., 2012, Predicting mechanical strength loss of natural stones after freze-thaw in cold regions, *Cold Regions Science and Technology*, vol: 83-84, pp. 98-102

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

Bell, F.G., 1983, Engineering properties of soils and rocks, 2. Edition, *Butterworths*, 149 p.

Bell, F.G., 1993, Engineering Geology, *Blackwell*, Oxford, 359 p.

Bell, F G., 2006, Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat,(Çeviren: Kayabalı K.), *Gazi Kitabevi,* Ankara, 797 s.

Benavente, D., Garcıa del Cura, M. A., Fort, R., and Ordóñez, S., 2004, Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength, *Engineering Geology*, 74(1), pp. 113-127

Binal, A., Kasapoglu, K.E., Gökçeoglu, C. 1997a. Eskisehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaçların donma-çözünme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin degisimi, *Hacettepe Üniv. Yayınları*: *Yerbilimleri*, 20, s. 41-54

Binal, A., Kasapoğlu, K.E. and Gökçeoğlu, C., 1997b, The surficial physical deterioration behaviour of Neogene volcanosedimentary rocks of Eskişehir-Yazılıkaya, NW Turkey, *Engineering Geology and the Environment*, 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (eds.), A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 3065-3069

Binal, A. ve Kasapoglu, K.E. 2002. Donma-çözülme sürecinin Aksaray-Ihlara Vadisi'nde yüzeylenen Selime ignimbiritinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, *VI. Bölgesel Kaya Mekanigi Semp*., Konya, s. 189-196

Binal, A. ve Kasapoğlu K.E. ve Seğmenoğlu, Ç., 2004, Donma-çözülme sürecinin Ankara ignimbiritinin jeomekanik özellikleri üzerine etkisinin doğal ve laboratuvar ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmesi, *KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu,* Sivas, s.59-66

Binal, A. ve Sel, A., 2009, Doğal yapı malzemesi olarak kullanılan kayaların fiziksel bozunmasının atmosferik etkiler altında ve laboratuvar ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmesi ve yeni deney yöntemlerinin önerilmesi, *TÜBİTAK projesi,104Y195*, 90 s.

Binol, S., 2005, Doğal yapıtaşlarında alterasyon: Eflatunpınar Hitit Anıtında ve Kızılören Hanında (Konya) Yapıtaşı Alterasyonu Örnekleri, Y. Lisans Tezi, *S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 60 s. (yayınlanmamış)

Bingöl, E., 1989, 1 : 2.000.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. *M.T.A. Yayını*, Ankara

Biricik, A. S., Pınar, A. ve Buldurur A., 1999, Yerköprü doğusunda aktüel travertenler (Hadim-Konya) Aksazak travertenleri, *S.Ü. Sosyal Bilimler Enst. Dergisi*, 7, Konya, s. 399-408

Blumenthal, M., 1956. Yüksek Bolkardağı kuzey kenarı bölgelerinin ve batı uzantılarının jeolojisi, *M.T.A. Enst. Seri D, No:* Ankara, *7*, 153 s.

BS 812, Part 112, 1990, Methods for determination of aggregate impact value (AIV), 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, *Environ Earth Sci*, 61, pp. 1327-1336

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

Ceryan, S., Tudes, S. and Ceryan, N., 2008, Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey), *Bull. Eng. Geo Environ.*, 67, pp. 97-104

Chen, T. C., Yeung, M. R. and Mori N., 2004, Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze–thaw action, *Cold Regions Sci Technol*, 38, pp. 127-136

Çelik, M., 2003, Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri, *Madencilik*, cilt 42, sayı 1, s. 3-15

Çetin, T., 2003, Türkiye mermer potansiyeli üretimi ve ihracatı, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, cilt 23, sayı 3, s. 243-256

Çevikbaş, A. ve Öztunalı, Ö., 1992, Ulukışla-Çamardı (Niğde) Mestrihtiyen sonrası çökel havzasının jeolojisi, *MTA Dergisi*, 114, s. 155-172

Çobanoğlu, İ. and Çelik, S. B., 2012, Determination of strength parameters and quality assessment of Denizli travertines (SW Turkey), *Engineering Geology*, 129-130, pp. 38–47

Diamantis, K., Bellas, S., Migiros, G. And Gartzos E., 2011, Correlating wave velocities with physical, mechanical properties and petrographic characteristics of peridotites from the Central Greece, *Geotech Geol Eng*, 29, pp.1049–1062

Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966, Engineering classification and index properties for intactrock, *tecnical report no: AFNL-TR-65-116, Air ForceWeapons Loboratory*, New Mexico

Degryse, P., Elsen, J. and Waelkens M., 2002, Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation, *Cement and Concrete Research*, 32, pp. 1457-1463

DPT, 2001, *D.P.T VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel ihtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri Cilt II. (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz(Sleyt)) Çalışma Grubu Raporu*, Ankara, 195 s.

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, Natural stone determination of the abrasion resistance, *CEN 2004*, 13 p.

Erdoğan, M., ve Yüzer, E., 1999; "Mermer ve Yapıtaşları", Endüstriyel Mineraller Envanteri, (Editörler: Önal,G., Yüce, A.E., Özpeker, I., ve Güney, A.) *İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı*, İstanbul

Eren Ö. ve Bahali M., 2005, Some engineering properties of natural building cut stones of Cyprus, *Construction and Building Materials*, 19, pp. 213-222

Eren, Y, 1993, Konya kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 36, s.7-23

Ergüler, Z. A., 2009, Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs, *Engineering Geology*, 105 , pp.186-199

Fener, M., 2011, The Effect of Rock Sample Dimension on the P-Wave Velocity, *J Nondestruct Eval*, 30, pp.99-105

Fener, M. ve İnce, İ., 2012a, Donma çözülme (D-Ç) sürecinin Sille taşı'nın (Konya) fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi, *C.Ü. Jeoloji Müh. Böl. 30. yıl sempozyumu, 11-13 Ekim 2012, Sivas*, s.17-20

Fener, M. and İnce, İ., 2012b, Influence of orthoclase phenocrysts on point load strength of granitic rocks, *Engineering Geology*, 141–142, pp. 24-32

Fisher, R. V., 1966, Rock composed of volcanic fragments and their classification, *Earth Sci. Rev.*, 1, pp. 287-298

Franklin, J.A., Chandra, R., 1972, The slake durability test, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr*, 9, pp. 325–341

Garcia-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martinez-Martinez, J. and Cueto, N., 2012, Sedimentary structures and physical properties of travertine and carbonate tufa building Stone, *Construction and Building Materials*, 28, pp. 456-467

Göğer, E. ve Kıral, K., 1969, Kızılören dolayının jeolojisi, *M.T.A. Rapor No: 5204* (yayınlanmamış)

Gökçeoğlu C., Ulusay, R. and Sönmez h., 2000, Factors affecting the durabilityof selected weak and clay-bearing rocks from Turkey with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, *Engineering Geology*, 57, pp. 215-237

Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşçu, İ., Erler, A., Olgun, E., 1991. Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi. bölüm 1: güney kesim, *TPAO Rapor No: 3155*, Ankara, 140 s.

Gönncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşçu, I., Erler, A., Olgun, E., 1991, Geochemical characteristics of granitoids along the western margin of the Central Anatolian Crystalline Complex and their implications. *Geol. J.*, 28, pp. 371-382

Görmüş, M., 1984, Kızılören (Konya) dolayının jeoloji incelemesi; yüksek lisans tezi, *S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 67 s. (yayınlanmamış)

Götze, J. and Siedel, H., 2004, Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany), *Materials Characterization*, 53, pp.209-222

Güleç, N., 1994, Rb-Sr isotope data from the Ağacören Granitoid (East of Tuz Gölu): geochronological and genetical implications, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 3, pp.39-43

Güneş Yilmaz, N. G., Karaca, Z., Goktan R.M., Akal C., 2009,Relative brittleness characterization of some selected granitic building stones: influence of mineral grain size, *Construction and Building Materials*, 23, pp.370-375

Hoek, E. and Brown, E.T.,1980, Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, *Stephen Austin and sons ltd.*, Hertford, England, 577 pp.

Hudec, P., 1998, Rock properties and physical processes of rapid weathering and deterioration, In: Moore, D.P., Hungr, O. (Eds.), *Proceedings of 8th International Congress of IAEG*, vol. 1. Balkema, Rotterdam, pp. 335-341

Illiev, I.G., 1967, An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physica-mechanical properties, *Proc 1st Int Congress Int Soc Rock Mech, Lisbon*, 1, pp.109-114

International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1981, Rock characterisation, testing and monitoring: ISRM suggested methods, E.T. Brown (ed), *Pergamon, Oxford*, 211 pp.

International Society for Rock Mechanics (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, 2005, Mineralogical-geochemical constraints on intrusives in central Anatolia, Turkey: tectono-magmatic evolution and characteristics of mantle source, *Geol. Mag*., 142 (2), pp. 187-207

İlbeyli, N., Pearce, J. A., Meighan, I. G. and Fallick, A. E., 2009, Contemporaneous late Cretaceous calc-alkaline and alkaline magmatism in Central Anatolia, Turkey: oxygen isotope constraints on petrogenesis, *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 18, pp. 529-547

Jeng, F.S., Weng, M.C., Lin, M.L. and Huang, T.H., 2004, Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan, *Engineering Geology*, 73(1–2): pp.71-91

Johnson, R.B., and De Graff, J.V., 1988, Principles of engineering geology, *John Willey & Sons*, 497 p.

Jung, D. und Keller, J., 1972, Die jungen vulkanite im raum zwischen Konya und Kayseri (Zentral - Anatolien), *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 123, pp.503-512

Kadıoğlu, Y.K. and Güleç, N., 1996, Structural setting of gabbros in the Agaçören granitoid: implications from geological and geophysical (resistivity) data, *TÜBITAK Turkish Journal of Earth Sciences*, vol. 5, pp.153-159

Kahraman, S., Gunaydin, O. and Fener., 2005, The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 42, pp. 584-589

Karaca, Z, Deliormanli, A H, Elci, H, 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

Karaman, K., Cihangir, F., Erçıkdı, B. ve Kesimal, A., 2010, Killi-karbonatlı kayaçlarda numune uzunluğunun ultrasonik P-dalga hızı üzerindeki etkisi, *Madencilik*, 49(4), s. 37-45

Kaya, A. C., 2008, Midyat Taşının Kaplama ve Yapıda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, *Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 92 s.

Kaya, T., 2007, Ulumuhsine (Konya) Civarındaki Traverten Yataklarının Jeolojisi ve Fiziksel Özellikleri, yüksek lisans tezi, *S.Ü. Fen Bil. Enst.*, 47 s. (yayınlanmamış)

Keller, J., Jung, D., Burgath, K. ve Wolff, F., 1977, Geologie und petrologie des Neogenen kalkalkali - vulkanismus von Konya Erenler Dağı - Alacadağ Massiv, Zentral - Anatolien), *Geol. Jb.,B25*, pp.37-117

Koçu, N. ve Dereli M., 2003, Mermerlerin günümüz mimarisinde kaplama (duvar-döşeme) elemanı olarak kullanılması ve uygulama sorunları, *Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM'2003) 18-19 Aralık 2003*, Bildiriler Kitabı, s.61-73

Kolay, E. and Kayabali, K., 2006, Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach. *Engineering geology*, *86*(4), pp. 271-284

Koncagül, E. C. and Santi, P. M., 1999, Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, shore hardness and rock structural properties, International *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, pp.139-153

Köhler, W., 1991, Untersuchungen zu Verwitterungsvorgängen an Carrara-Marmor in Potsdam-Sanssouci, *Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland, Steinschäden-Steinkonservierung*, 2, pp. 50-53

Kulaksız, S., 2005, Doğal tas maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri, *Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 624 s.

Larsen, T. D. and Cady, P. D. 1969, Identification of frost sucseptible particles in concrete aggregates, *National cooperative research program, Report 66, Higway Research Board*, Washington DC.

Lee, C. H., Lee, M. S., Suh, S. and Choi, S. W., 2005, Weathering and deterioration of rock properties of the Dabotap pagoda (World Cultural Heritage), Republic of Korea, *Environ Geol*, 47, pp. 547-557

Lefebvre, C., Barnhoorn, A., Hinsbergen D.J.J., Kaymakci, N. and. Vissers, R.L.M., 2011, Late Cretaceous extensional denudation along a marble detachment fault zone in the Kırşehir massif near Kaman, central Turkey, *Journal of Structural Geology*, 33, pp. 1220-1236

Lienhart, D. A., 1988, The geographic distribution of intensity and freeze-thaw cycles, *Bulletin of IAEG*, 25(4), pp. 465-469

Lisø, K.R, Kvande, T, Hygen, H.O., Thue, J.V. and Harstveit, K., 2007, A frost decay index for porous, mineral building materials, *Build Environ*, 42, pp. 3547-3555

Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Gomez-Heras, M., Marco-Castaño, L., García-del-Cura, M.A., 2013, Non-linear decay of building stones during freeze–thaw weathering processes, *Construction and Building Materials*, 38, pp. 443–454

MTA, 2002, 1:500.000 jeoloji haritası Kayseri paftası (Ed. M. Şenel); Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Moos, A.V. und De Quervain, F., 1948, Technische gesteinkunde, Birkhauser, Basel

Mutlutürk, M.. Altindag, 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. J. Rock Mech.& Min. Sci*., 41 (2), pp. 237-244

Nazik., A. ve Gökçen, N., 1989, Ulukışla Tersiyer istifinin foraminifer ve ostrakod faunasına göre stratigrafik yorumu, *Türkiye Jeoloji Bülteni*,32, ss. 89-99

Nicholson, D. T. and Nicholson, F. H., 2000, Physical deterioration of sedimentary rocks subjected to experimental freezing and thawing, *Earth Surf Process Landforms*, 25, pp. 1295-1307

Nicholson, D.T., 2001. Pore properties as indicators of breakdown mechanism in experimentally weathered limestones, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp. 819-838

Ordonez, S., Fort, R., Garcia del Cura, M. A., 1997, Pore size distribution and the durability of a porous limestone, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 30, pp. 221-230

Ota, R. and Dinçel, A., 1975, Volcanic rocks of Turkey, *Bull. Geol. Surv. Japon*, 26, pp.18-45

Özcelik, Y., Careddu, N. and Yilmazkaya, E., 2012, The effects of freeze-thaw cycles on the gloss values of polished stone surfaces, *Cold Regions Science and Technology*,82, pp.49-55

Özkan, A. M., 2000, Ulumuhsine-Tatköy (Konya) civarındaki üst miyosen-alt pliyosen yaşlı kumtaşlarının petrofasiyes özellikleri, *P. Ü. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt: 6, sayı: 2-3, s. 229-239

Perry, H.R., 1986, Engineering geology, environmental approach, *Elsevier Science Publ. Co.*, New York, NY, 589 p.

Pettijohn, F.J., 1975, Sedimentary rocks, 3rd edition: N.Y., *Harper & Row*, 628 p.

Prikryl, R., Lokajicek, T., Svobodova, J. and Weishauptova, Z., 2003, Experimental weathering of marlstone from Predni Kopanina (Czech Republic) historical building stone of Prague, *Building and Environment*, 38, pp. 1163-1171

Ratnayake, A. S. and Pitawala, A., 2009, Weathering of Monuments at Jethawanaramaya Complex in North-Central, Sri Lanka, *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 83(5), pp. 1024-1030

RILEM, 1980, recommended test to measure the deterioration of stone and to ases the effectiveness of treatment methods, commission 25-PEM, *Material and Structures*, Vol.13, pp.175-253

Ruedrich J. and Siegesmund S., 2007, Salt and ice crystallisation in porous sandstones. *Environ Geol*, 52, pp. 225-249

Ruedrich, J.,. Kirchner, D. and Siegesmund, S., 2011, Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study, *Environ Earth Sci.*, 63, pp. 1573-1586

Saad, A., Gue´don, S. and Martineau, F., 2010. Microstructural weathering of sedimentary rocks by freeze–thaw cycles: experimental study of state and transfer parameters, *Comptes Rendus Geoscience*, 342, pp. 197-203

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 physicomechanical properties and weathering of ornamental granites, *Eng Geol*, 77, pp.153-168

Streckeisen, A., 1979, Classification and nomenclature of volconic rock, lomprophyres, corbanatites and millitic rocks, *Geology*, 7, pp.331-335

Şengün, N., Altındag, R., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. ve Kıstır, R., 2008, Kireçtaslarında donma-çözünme (F-T) çevrimlerinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi *¸S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,12-2, s. 128-134

Şimşek, O. ve Erdal, M., 2004, Ahlat Taşının (İgnimbrit) bazı mekanik ve fiziksel özeliklerinin araştırılması, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(4), s. 71-78

Takarli, M., Prince, W. and Siddique, R., 2008, Damage in granite under heating/cooling cycles and water freeze–thaw conditions. *Int J Rock Mech Min Sci*, 45: pp. 1164-1175

Tamrakar, N.K., Yokota, S. and Shrestha, S.D., 2007, Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas, *Engineering Geology*, 90, pp.105-123

Temel, A., 1992, Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri, doktora tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 208 s.

Temel, A., Gündogdu, M.N., Gourgaud, A., Le Pennec, J.L., 1998. Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 85, pp. 447-471

Topal,T. and Doyuran, V., 1998, Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey, *Environmental Geology*, 34 (1), pp. 5-20

Topal, T. ve Sözmen, T., 2000. Freeze-thaw resistance of the Yazılıkaya tuffs, *Proc. of the 9th Int. congress on deterioration and conservation of stone*, Venice, Italy: pp. 275-281

Topal, T. and Sözmen, B., 2001, Characteristics of the Weathering Zones Developed Within the Tuffs of the Midas Monument, *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 10, pp. 83-91

Topal, T. and Sozmen, B. 2003, Deterioration mechanics of tuffs in Midas monument. *Eng Geol*, vol:68 (3-4), pp. 201-223

Török, A., 2006, Influence of fabrıc on the physıcal propertıes of limestones, S.K. Kourkoulis (ed.), *Fracture and Failure of Natural Building Stones*, pp. 487–495

TS EN 1925, 2000, Doğal taşlar–deney metotları-kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, *TSE yayınları*, Ankara,7 s.

TS EN 12407, Doğal taşlar-deney metotları-petrografik inceleme, *TSE yayınları*, 4 s.

Tuğrul, A., 1995, Niksar yöresindeki bazaltların mühendislik özelliklerine ayrışmanın etkileri, *İstanbul Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora tezi, 183 s., (yayınlanmamış)

Tuğrul, A., 1997. Change in pore size distribution due to weathering of basalts and its engineering significance, *In: Marinos, P.G., Koukis, G.C., Tsiambaos, G.C., Stournaras, G. (Eds.), Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, vol. 1. Balkema, Rotterdam, pp. 419-424

Tuğrul, A. 2004, The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey, *Eng Geol.*,75, pp.215-227

Tuğrul, A., Zarif, İ.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, *Engineering Geology*, 51, pp. 303-317

Turğut P., Yeşilnacar, M.İ. ve Bulut, H., 2006, Yapı malzemesi olarak Urfa Taşı'nın mekanik, fiziksel ve teknolojik özelliklerinin tespiti, *TÜBİTAK, PROJE NO: MAG-104I084*, 37 s.

Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F. and Çağlan, D., 1995, Engineering geological characterization of coal mine waste material and evaluation in the context of back analysis of spoil pile instabilites in a strip mine, SW Turkey, *Engineering Geology*, 40, pp. 77-101

Ulusay, R., Gökçeoğlu C. ve Binal A., 2001, Kaya mekaniği laboratuar deneyleri, *TMMOB Jeoloji Müh. Odası yayınları, No:58*, Ankara, 161 s.

Ulusay, R., Türeli, K., Ider, M.H., 1994. Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques, *Engineering Geology*, 37, pp. 135-157

Uyanık, T., 2008, Doğal Taşlar, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi*, 14 s.

Uysal, F., 2008, Hatıp-Pamukçu-Dikmeli-Karadiğin (Konya) civarının jeolojisi ve yöredeki karbonatlı kayaçların yapı taşı olarak kullanılabilme özellikleri, *S.Ü. Fen Bil. Enst*., yüksek lisans tezi, 60 s. (yayınlanmamış)

Ünver, B., ve Ünal, M., 1995. Kayaların bozunma özelliklerinin yerüstü kazıları ve yeraltı açıklıklarının duraylılığına etkisi, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını*,34 (3), s. 15–29

Van den Eynde, V.C., Mateos, F.J. and Paradelo, R., 2013, Degradability of building stone: influence of the porous network on the rate of dissolution of carbonate and evaporitic rocks, *Journal of Cultural Heritage*, xxx, pp. xxx–xxx (in press)

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., Türk N. ve Koca M.Y., 2002 Muğla yöresi mermerlerinin. mineralojik, kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, cilt: 26 (1), s. 1-18

Yavuz, A.B., Türk N. ve Koca M.Y., 2005, Material properties of the Menderes Massif marbles from SW Turkey, *Engineering Geology*, 82, pp. 91– 106

Yavuz, H., Altındağ R, Sarac¸ S, Uğur I. and Şengun N., 2006, Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering. *Int J Rock Mech Min Sci*, 43: pp. 767–775

Yavuz, A.B., ve Elçi H., 2007, Göktepe (Muğla) beyaz mermerinin doğal yapı taşı olarak kullana bilirliğini etkileyen parametreler, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg*., c.22, s.3, 2007, s. 57-68

Yavuz, H., 2011, Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite Stone, *Bull. Eng. Geol Environ*., 70: pp. 187–192

Youash, Y.Y., 1970, Dynamic physical properties of rock, *in:proceedings of 2nd cong. Int. Soc. Rock Mech. Part-1, theory and procedure*, Belgrade, pp 171–183

Zedef, V., Koçak, K., Döyen, A., Özşen, H. and Kekeç, B., 2007, Effect of salt crystallization on stones of historical buildings and monuments, Konya, Central Turkey , *Building and Environment*, 42, pp. 1453-1457

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail İNCE
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 27.06.1978
Telefon :
Faks :
e-mail : iince78@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Fatih Endüstri Meslek Lisesi, Selçuklu, Konya	1995
Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Jeoloji Müh.Böl., Selçuklu, Konya	2000
Lisans	:	Anadolu Üniversitesi, İşletme Bölümü, Eskişehir	2006
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, FBE, Jeoloji Müh., Selçuklu, Konya	2004
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi, FBE, Jeoloji Müh., Selçuklu, Konya	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
12	S.Ü. Fen Bilimleri Enstitusü	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI
Kaya Mekaniği
YABANCI DİLLER
İngilizce

YAYINLAR

A - Uluslararası Çalışmalar

A-1

1. Özdemir, A. and **İnce, İ**. 2005, Geology seismotectonics and soil liquefaction susceptibility of Ilgın (west-central part of Turkey) residential area, Engineering Geology, 77, 169-188
2. Fener, M. and **İnce, İ**., 2012, Influence of Orthoclase Phenocrysts on Point Load Strength of Granitic Rocks, Engineering Geology, Vol:141-142, pp. 24-32

A-3

1. Doğanay,O, **İnce, İ**, Hüseyinca, M.Y. Bilim, N and Özşen, H., 2010, A Geological View of The Isaurıa Rock Tombs, Ozean Journal of Applied Sciences, 3(2), pp. 295-302
2. **İnce, İ.** and Özdemir, A., 2010, Soil Type Investigation of the Doğanhisar Clays, Central Anatolıa, Turkey, Ozean Journal of Applied Sciences 3(3), pp. 359-364(Yükseklisans tezinden yapılmıştır)

B- Uluslararası Bildiriler
B-1) Tam metinli bildiriler

1. **İnce İ.,** Aksoy R. and Hüseyinca M.Y., 2008, Geotechnical Properties of Doğanhisar Clays (Central Anatolia, Turkey); International Scientific Conference SGEM 2008 Conference Proceeding Vol.: 1, pp. 107-113
2. Hüseyinca M.Y., Aksoy R. and **İnce İ.,** 2008, Neotectonic Features of The Cavuşcugöl Graben (Central Anatolia, Turkey); International Scientific Conference SGEM 2008 Conference Proceeding Vol.: 1, pp.157-164
3. 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 SGEM 2008 Conference Proceeding Vol.: 1, pp. 83-90

E- Ulusal Bildiriler
E-1.1) Özet

1. **İnce, İ.** ve Özdemir A., 2005 Doğanhisar Killerinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Jeoteknik Özellikleri, K.T.Ü. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, s. 164-165, Trabzon (Yükseklisans tezinden yapılmıştır)
2. Nalbantçılar, M.T., **İnce, İ**. ve Ayaz, A., 2005 Doğanhisar (Konya) Yöresindeki Kaynakların Hidrokimyasal Özellikleri, K.T.Ü. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, s.169-170, Trabzon
3. Fener, M. ve **İnce, İ.**, 2012, Donma Çözünme (D-Ç) Sürecinin Sille taşının (Konya) Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, C. Ü. 30. Yıl Sempozyumu, s.17-20, Sivas (Doktora tezinden yapılmıştır)