

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

151072

DÜŞÜK DAYANIMLI KAYALARDA
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ISLAK KARARLILIK İNDİSİNE ETKİSİ

Ersin KOLAY

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2004

151072

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Kamil KAYABALI danışmanlığında, Ersin KOLAY tarafından hazırlanan bu çalışma 01/10/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Recep KILIÇ

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

İmza : N. Ünsal

Üye : Doç. Dr. Kamil KAYABALI

İmza : K. Kayabali

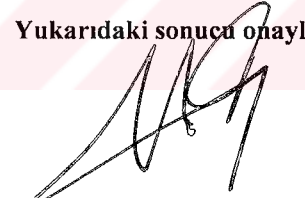
Üye : Doç. Dr. Hasan ÇETİN

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Metin OLGUN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

DÜŞÜK DAYANIMLI KAYALARDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ISLAK KARARLILIK İNDİSİNE ETKİSİ

Ersin KOLAY

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı

Danışman: Doç. Dr. Kamil KAYABALI

Yerkabuğunun üçte birini kil içeren kayalar oluşturmaktadır. Kil içeren, zayıf-orta zayıf dayanımlı kayalarda karşılaşılan başlıca mühendislik sorunları; kavlama, erozyon, şev duraysızlığı, oturma ve dayanım azalmasıdır. Bu tip kayaların mühendislik sınıflarını ve davranışlarını ortaya koymak için bazı özellikleri araştırılmalıdır. Bu özelliklerden birisi ıslak kararlılıktır. ıslak kararlılık deneyinde, iki standart ıslanma-kuruma devrine tabi tutulan kaya numunelerinin zayıflama ve ayrılıp suda dağılmaya karşı gösterdiği direnç belirlenmektedir. Literatürde ıslak kararlılık deneyi ile ilgili çalışmaların bir kısmında araştırmacılar, ıslak kararlılık deneyinden faydalanarak kayaların ıslanma-kuruma durumundaki davranışlarını ortaya koymuşlar ve kayaları daha iyi tanımlamaya çalışmışlardır. Bir kısım araştırmacılar da, Franklin ve Chandra (1972) tarafından geliştirilen ıslak kararlılık deneyinin uygulanma şeklini irdelemişler ve deney sonuçlarını etkileyen parametreleri ortaya koymuşlardır (kayaların mineralojik bileşiminin etkisi, döngü sayısının etkisi, deney çözeltisinin etkisi gibi). Bu çalışmada ise, farklı cins kayalardan (marn, killi kireçtaşı, tuf, kumtaşı, bozuşmuş granit), farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip agregalar hazırlanmış (köşeli, yarı köşeli, yuvarlak) ve her grupta dört döngülü ıslak kararlılık deney yapılarak, agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksine etkisi araştırılmıştır.

Kayaların ıslak kararlılık indeksi değerleri üzerinde, incelenen kaya cinslerinin, agrega yüzey pürüzlülüğünün, yapısal özelliklerin ve kaya içerisindeki mineral dağılımının etkili olduğu belirlenmiştir. Masif yapılı, laminalanma ve tabakalanma göstermeyen kayalarda yuvarlatılmış ve köşeli (pürüzlü) yüzeye sahip agregaların deney sonuçları birbirinden oldukça farklı değerlerde çıkmaktadır. Tabakalı-laminalı kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün deney sonuçları üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. İri taneli kayalar olarak gruplandırılan kumtaşı, tuf ve bozuşmuş granit türü kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksi üzerindeki etkisi, ince taneli kayalardan (marn, killi kireçtaşı) daha fazla olmuştur. Tüm kayalarda yuvarlak profile sahip grupların ıslak kararlılık indeksi (I_d) sonuçları arasındaki farklar oldukça az çıkarken, yarı köşeli ve köşeli gruplarda I_d değerleri daha geniş aralıklarda yayılmaktadır. Ayrıca, kaya gruplarında çoğunlukla yuvarlak agregaların I_d değerleri ile kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı (I_{sk50}) arasında daha yüksek korelasyon değerleri oluşmaktadır. Bu sebeple, ıslak kararlılık deneyi ortalama fraktal boyutu 1.030 olan agregalarla yapıldığında, agregaların pürüzlülüğünden kaynaklanacak hatalar büyük ölçüde ortadan kaldırılmış olacaktır. Özellikle iri taneli kayalar grubunda, köşeli agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen ıslak kararlılık indekslerinin ($I_{d2(K)}$), $I_{d2(V)} = 0,8616I_{d2(K)} - 34,562$ dönüşüm fonksiyonuyla, yuvarlatılmış agregalardan elde edilebilecek ıslak kararlılık indekslerine ($I_{d2(V)}$) dönüştürülmesi durumunda, agregaların köşeli olmasından-kaynaklanacak hatalar belirli ölçülerde ($R^2=0.92$) giderilebilmektedir. Regresyon model çalışmalarında kayaların I_{d2} değerleri bağımlı, fraktal boyut (D), I_{sk50} ve ρ_d değerleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Ayrıca bağımsız değişkenlerin arasındaki etkileşimlerin ($D \cdot I_{sk50}$), $D \cdot \rho_d$, $\rho_d \cdot I_{sk50}$) oluşturulacak modele etkisi araştırılmıştır. Her iki grup kayada oluşturulan modellerde fraktal boyutun I_d değerleri üzerinde etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar on noktadan alınan ve yukarıda belirtilen kayalar için geçerlidir. Farklı türlerdeki pek çok kaya üzerinde benzer çalışmalar yapılarak bu kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksine etkisi araştırılmalıdır.

2004, 248 sayfa

ANAHTAR KELİMELEER: ıslak kararlılık deneyi, yüzey pürüzlülüğü, fraktal boyut, kil içeren kaya.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS ON SLAKE DURABILITY INDEX FOR LOW-STRENGTH ROCKS

Ersin KOLAY

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Clay-bearing rocks form two third of the Earth's Crust. The engineering problems encountered with weak and moderately weak clayey rocks are lowering of slaking, erosion, slope stability, settling and loading strength. A number of tests are applied for revealing the engineering classes and behavior of such clayey rocks. One of such tests is the slake durability. By this test, the rocks are to be subjected to the two standard wetting-drying stages and examination of the weakening they experience and subsequent resistance they show against dissipation in water. In some of the literature concerning slake durability experiments, the researchers displayed the characteristics of these rocks and tried better understanding their nature by taking the advantage of this test. Some of the researchers have evaluated the applicability of Franklin and Chandra's (1972) slake durability experiment and put forward the parameters affecting the outcome of this test, such as the effects of mineralogical composition, number of cycles and the solution used in experiment. In the current research, aggregates having different surface roughness (angular, sub-angular and rounded) were prepared from different kind of rocks (marl, clayey limestone, sandstone, tuff and weathered granite); each group was tested by four cycled slake durability experiment and the effect of the slake durability index was investigated.

The results showed that the investigated rock type, surface roughness of the aggregate, structural characteristics and the pattern of distribution of the constituting minerals have affected the values of the slake durability index of these rocks. The aggregates prepared from rocks of massive structure with neither lamination nor bedding showed quite different results. The surface roughness of the aggregates prepared from bedded-laminated rocks have no decisive effect on the test results. The effect of surface roughness of aggregates on the slake durability index was higher in the coarse-grained rock groups, sandstone, tuff and weathered granite than those of the finer-grained rock group, marl and clayey limestone. The difference in I_d values of all rocks with rounded outlines was very low; meanwhile, the sub-rounded and rounded groups showed wider ranges. Furthermore, the rounded aggregates among the rock groups showed higher correlation values between I_d and those of pd and $I_{s(50)}$. For this reason, when the slake durability test is performed on the aggregates with average fractal dimension of 1.030, the errors caused by the roughness of these aggregates would be widely eliminated. When the regression function $I_{d2(V)} = 42.41 \cdot \ln(I_{d2(R)}) - 96.375$ of the slake durability index $I_{d2(R)}$ obtained particularly from experimenting angular aggregates within the coarse-grained group of rocks is transformed into slake durability index $I_{d2(V)}$ of the rounded aggregates, the errors which could be resulted because of the angularity of the aggregates can be greatly avoided ($R^2=0.90$). In the regression model workings, the I_{d2} values of rocks were selected as dependent and those of D , $I_{s(50)}$ and pd as independent variables. Furthermore, the effect of the effecting factors among the independent variables ($D \cdot I_{s(50)}$, $D \cdot pd$, $pd \cdot I_{s(50)}$) were investigated in the proposed model. It was noticed that it constituted an affecting factor on the fractal dimension I_d in the proposed model of both rock groups. The results obtained in this research are valid for the ten rock groups mentioned above. Similar work on many other rock types to investigate the effect of surface roughness of these rock aggregates on the slake durability index is recommended.

2004, 248 pages

Key Words: Slake durability test; surface roughness; fractal dimension; clay-bearing rocks.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Kamil KAYABALI' ya,

Çalışmalarda kullanılan deney aletlerinin temininde destek olan Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Recep KILIK' a,

Kayaçların petrografik incelemelerinde yardımını esirgemeyen Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU' na,

Önerileri ile beni yönlendiren Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Nail ÜNSAL' a,

XRD analizlerinin ve ince kesitlerin yapılmasında yardımcı olan Sayın Dr. Neşet KONAK ve Bilgin DÖNMEZ (MTA)' e,

İstatistik analizlerde yardımcı olan Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Yard. Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR ve Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Yılmaz AKDI' ya,

Tezin hazırlanmasında yapıcı ve yönlendirici eleştirilerde bulunan sayın jüri üyelerine,

Çalışmam boyunca manevi desteğini gördüğüm eşime ve aileme,

Çok Teşekkür ederim.

Ersin KOLAY
Ankara , Ekim 2004

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Kaya İndeks Deneyleri.....	4
2.1.1. Islak kararlılık deneyi (Slake durability test).....	5
2.1.1.1. Kapsam.....	5
2.1.1.2. Araçlar.....	5
2.1.1.3. Deney örnekleri.....	6
2.1.1.4. Deneyin yapılış şekli.....	6
2.1.1.5. Hesaplamalar.....	7
2.1.1.6. Rapor-Sunum.....	8
2.1.1.7. Islak kararlılık deneyi ile ilgili önceki çalışmalar.....	11
2.2. Kayalarda Düzlemsel Yüzey (süreksizlik) Profillerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi.....	19
2.3. Kalitatif yüzey pürüzlülük tanımlamaları.....	23
2.4. Kaya Agregalarında Şekil ve Pürüzlülük Tanımlamaları.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	31
3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyal.....	31
3.1.1. Kaya malzemeler.....	31
3.1.2. Deney gereçleri.....	32
3.2. Yöntem.....	37
3.2.1. Fraktal analiz (Fractal analysis).....	40
3.2.2. Fraktal programı.....	46
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	52
4.1. Kumtaşı 1 (Kmt1).....	59
4.2. Kumtaşı 3 (Kmt3).....	93
4.3. Bozuşmuş Granit.....	99
4.4. Tüf 1 (Ankara).....	105
4.5. Tüf 2 (Göreme).....	111
4.6. Kumtaşı 2 (Kmt2).....	117
4.7. Marn1.....	123
4.8. K.kçt1 (Yozgat).....	129

4.9. K.kçt2 (Bursa).....	135
4.10. Marn2	141
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	147
5.1. Genel	147
5.2. İstatiksel Değerlendirmeler	149
5.2.1. Kaya gruplarındaki istatistiksel değerlendirmeler	150
5.2.1.1. Kumtaşı 1 (Kmt1)	150
5.2.1.2. Kumtaşı 3 (Kmt3)	156
5.2.1.3. Bozuşmuş Granit.....	162
5.2.1.4. Tüfl (Ankara).....	168
5.2.1.5. Tüf2 (Göreme)	174
5.2.1.6. Kumtaşı 2 (Kmt2)	180
5.2.1.7. Marn1	186
5.2.1.8. K.kçt1 (Yozgat).....	192
5.2.1.9. K.kçt2 (Bursa).....	198
5.2.1.10. Marn2	204
5.2.2. Genel istatistiksel değerlendirmeler.....	212
6. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	234
KAYNAKLAR	239
EK.....	243
EK 1. Fraktal Programının kod dosyası.....	243
EK 2. Fraktal Boyut Değerlerini İçeren bir adet CD	248
ÖZGEÇMİŞ	249

SİMGELER DİZİNİ

w	Su içeriği
I_d	Islak kararlılık indeksi
$I_{s(50)}$	Nokta yükü dayanım indeksi
σ_c , UCS	Serbest basınç dayanımı
ρ_d	Kuru yoğunluk
PI	Plastisite indeksi
r	Parça uzunluğu
N	r uzunluğundaki parça sayısı
D	Fraktal boyut
W	Ağırlık
M	Kütle
K	Köşeli
Yk	Yarı köşeli
Y	Yuvarlak

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Islak kararlılık deney tamburunun şematik görüntümü (ISRM 1981).....	5
Şekil 2.2. İkinci döngü sonunda tamburda arta kalan örneklerin tanımlanması	8
Şekil 2.3. Döngü sayısının ıslak kararlılık indeksine etkisi (Gamble 1971).....	10
Şekil 2.4. Düşük ıslak kararlılığa sahip killi kayaların ıslak kararlılık indeksi ve plastisite indeksine göre sınıflandırılması (Gamble 1971)	10
Şekil 2.5. Kayaların Schmidt sertlik değerleri ve tek döngülü ıslak kararlılık deneyindeki malzeme kaybına göre mühendislik tanımlamaları (Aufmuth 1974).....	13
Şekil 2.6. Kayaların tek döngülü ıslak kararlılık indeksi (I_{d1}) ile tanjant modülü arasındaki ilişki (Aufmuth 1974)	14
Şekil 2.7. M-RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde düzeltme faktörü olarak kullanılan bozuşma katsayısı (F_c) ile I_{d2} arasındaki ilişki	15
Şekil 2.8. Breathitt şeylerinde ıslak kararlılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki lineer ilişki (Koncagül ve Santi 1998).....	16
Şekil 2.9. Marnlarda, I_{d4} ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Gökçeoğlu vd 2000).....	17
Şekil 2.10. Islak kararlılık deneyinde kullanılan deney sıvısının ıslak kararlılık indeksine etkisi (Dhakal vd 2002).....	19
Şekil 2.11. Süreksizlik yüzeylerinin dalgahlığı ve pürüzlülüğü (Ulusay ve Sönmez 2002)	20
Şekil 2.12. Pürüzlü yüzeyde boyut faktörü (ISRM 1978).....	21
Şekil 2.13. Kalemli ve metal telli profilometreler (Ulusay ve Sönmez 2002).....	22
Şekil 2.14. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM 1981, Ulusay ve Sönmez 2002' den).....	23
Şekil 2.15 . Pürüzlü yüzeyler ve JRC değerleri (Barton ve Choubey 1977).....	24
Şekil 2.16. Tane şeklinin (şekil, yuvarlaklık ve yüzey dokusu) basitleştirilmiş grafik gösterimi. Şeklin A kısmı bu parametreler arasındaki bağımsız ilişkiyi, B kısmı parametreler arasındaki hiyerarşik ilişkiyi göstermektedir (Barret 1980, Boggs 1995' ten).....	25
Şekil 2.17. Tanesel (granular) şekillerin sınıflandırılması (Vallejo 1994).....	26
Şekil 2.18. Köşellilik sınıflandırması için gerekli çapların belirlenmesi (Vallejo 1994)	26
Şekil 2.19. İri zemin tanelerinin köşelliliği (Clayton vd 1995' ten)	27
Şekil 2.20. Sedimenter partiküllerin yuvarlaklığı (Powers 1953, Boggs 1995' ten)	28
Şekil 2.21. Yüzey alanı hesaplanan geometrik şekiller.....	29
Şekil 3.1. Örnek lokasyon haritası	31
Şekil 3.2. Islak kararlılık deney setinin üstten görüntüsü	32
Şekil 3.3. Islak kararlılık deney tamburu ve fiber hazne.....	32

Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan fırın ve elektronik terazi	33
Şekil 3.5. Deneye tabi tutulacak agregaların hazırlanmasında kullanılan gereçler.....	34
Şekil 3.6. Deney agregalarının yüzey pürüzlülüğünü gidermek için kullanılan tambur	35
Şekil 3.7. Agregaların profillerini belirlemede kullanılan dijital fotoğraf makinesi ve fotoğraf çekme sehпасı.....	36
Şekil 3.8. Agregaların profillerini belirlemede kullanılan tarayıcı ve bilgisayar.....	36
Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü tamburla belirlenen agregada meydana gelen kil yapışma zonu.....	39
Şekil 3.10. Hausdorff ve Besicovitch grafiği (Mandelbrot 1983).....	42
Şekil 3.11. Agreganın profilinin fraktal boyutunun planlı yürütüş tekniğiyle belirlenmesi (Vallejo 1994).....	43
Şekil 3.12. Islak kararlılık deneyinde kullanılan üç agregaya ait profiller (Vallejo 1994)	44
Şekil 3.13. Şekil 5.14' deki profillere ait fraktal boyut değerleri (Vallejo 1994)	45
Şekil 3.14. M1 nolu marn agregasının 1. profili (M11.jpg).....	47
Şekil 3.15. M1 nolu marn agregasının Adobe Photoshop programı ile belirginleştirilmiş 1. profili (M11.jpg).....	47
Şekil 3.16. Didger 2 programı ile agreganın profilinin sayısallaştırılması	48
Şekil 3.17. Fraktal programı ile fraktal boyutu (D) belirlenen profiller.....	51
Şekil 4.1. Prizmatik örneklerin nokta yükleme deneyi sonundaki durumları	56
Şekil 4.2. Bazı agregaların profilleri ve fraktal boyut (D) değerleri.....	58
Şekil 4.3. Kumtaşı 1 (kmt1)' in çift nikol mikrofotografı	59
Şekil 4.4. Kumtaşı 1 (kmt1)' in XRD difraktogramı	60
Şekil 4.5. Kmt1' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	62
Şekil 4.6. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 1. profilleri.....	63
Şekil 4.7. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 2. profili	64
Şekil 4.8. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 3. profili	65
Şekil 4.9. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 4. profili	66
Şekil 4.10. Kmt1' e ait Köşeli 2 (K2) grubu agregalar	67
Şekil 4.11 Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 1. profili	68
Şekil 4.12. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 2. profili	69
Şekil 4.13. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 3. profili.	70
Şekil 4.14. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 4. profili	71
Şekil 4.15. Kmt1' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar.....	72
Şekil 4.16. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 1. profili.....	73
Şekil 4.17. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 2. profili.....	74
Şekil 4.18. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 3. profili.....	75
Şekil 4.19. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 4. profili.....	76
Şekil 4.20. Kmt1' e ait yarı köşeli 2 (Yk2) grubu agregalar.....	77

Şekil 4.21. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 1. profili	78
Şekil 4.22. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 1. profili	79
Şekil 4.23. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 3. profili	80
Şekil 4.24. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 4. profili	81
Şekil 4.25. Kmt1' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	82
Şekil 4.26. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 1. profili	83
Şekil 4.27. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 2. profili	84
Şekil 4.28. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 3. profili	85
Şekil 4.29. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 4. profili	86
Şekil 4.30. Kmt1' e ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar	87
Şekil 4.31. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 1. profili	88
Şekil 4.32. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 2. profili	89
Şekil 4.33. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 3. profili	90
Şekil 4.34. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 4. profili	91
Şekil 4.35. Kmt1 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	92
Şekil 4.36. Kumtaşı 3 (kmt3)' ün çift nikol mikrofotografı	93
Şekil 4.37. Kumtaşı 3 (kmt3)' ün XRD difraktogramı	94
Şekil 4.38. Kmt3' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	95
Şekil 4.39. Kmt3' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	96
Şekil 4.40. Kmt3' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	97
Şekil 4.41. Kmt3 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	98
Şekil 4.42. İleri derecede bozuşmuş granitin çift nikol mikrofotografı	99
Şekil 4.43. İleri derecede bozuşmuş granitin XRD difraktogramı	100
Şekil 4.44. Bozuşmuş granit' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	101
Şekil 4.45. Bozuşmuş granit' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	102
Şekil 4.46. Bozuşmuş granit' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	103
Şekil 4.47. Bozuşmuş granite ait agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	104
Şekil 4.48. Tüfl' in çift nikol mikrofotografı	105
Şekil 4.49. Tüfl' in XRD difraktogramı	106
Şekil 4.50. Tüfl' e ait köşeli 2 (K2) grubu agregalar	107
Şekil 4.51. Tüfl' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	108
Şekil 4.52. Tüfl' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	109
Şekil 4.53. Tüfl' e ait agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	110
Şekil 4.54. Tüf2' nin tek (a) ve çift (b) nikol mikrofotografı	111
Şekil 4.55. Tüf2' nin XRD difraktogramı	112
Şekil 4.56. Tüf 2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	113

Şekil 4.57. Tüf 2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	114
Şekil 4.58. Tüf 2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	115
Şekil 4.59. Tüf2' ye ait agregaların dört döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	116
Şekil 4.60. Kumtaşı 2 (kmt2)' nin çift nikol mikrofotografı	117
Şekil 4.61. Kumtaşı 2 (kmt2)' nin XRD difraktogramı	118
Şekil 4.62. Kmt 2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	119
Şekil 4.63. Kmt 2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	120
Şekil 4.64. Kmt 2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	121
Şekil 4.65. Kmt2 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	122
Şekil 4.66. Marn1' in çift nikol mikrofotografı	123
Şekil 4.67. Marn1' in XRD difraktogramı	124
Şekil 4.68. Marn1' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	125
Şekil 4.69. Marn1' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	126
Şekil 4.70. Marn1' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	127
Şekil 4.71. Marn grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	128
Şekil 4.72. K. Kçt1' in çift nikol mikrofotografı	129
Şekil 4.73. K. Kçt1' in XRD difraktogramı	130
Şekil 4.74. K.kçt1' e ait köşeli 2 (K2) grubu agregalar	131
Şekil 4.75. K.kçt1' e ait yarı köşeli 2 (Yk2) grubu agregalar	132
Şekil 4.76. K.kçt1' e ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar	133
Şekil 4.77. K. Kçt1 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	134
Şekil 4.78. K. Kçt2' nin çift nikol fotoğrafı	135
Şekil 4.79. K. Kçt2' nin XRD difraktogramı	136
Şekil 4.80. K.kçt2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	137
Şekil 4.81. K.kçt2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	138
Şekil 4.82. K.kçt2' ye ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar	139
Şekil 4.83. K. Kçt2 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	140
Şekil 4.84. Marn2' nin çift nikol mikro fotoğrafı	141
Şekil 4.85. Marn2' nin XRD difraktogramı	142
Şekil 4.86. Marn2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar	143
Şekil 4.87. Marn2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar	144
Şekil 4.88. Marn2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar	145
Şekil 4.89. Marn2 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu	146
Şekil 5.1. Kmt1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	151

Şekil 5.2. Kmt 1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	155
Şekil 5.3. Kmt1' de D- I_d ilişkisi.....	156
Şekil 5.4. Kumtaşı 3 (Kmt3)' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı.....	157
Şekil 5.5. Kmt 3' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	161
Şekil 5.6. Kmt3' de D- I_d ilişkisi.....	162
Şekil 5.7. Bozuşmuş granitte gruplara göre fraktal boyut dağılımı	163
Şekil 5.8. Bozuşmuş granitte döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	167
Şekil 5.9. Bozuşmuş granitte D- I_d ilişkisi	168
Şekil 5.10. Tüf1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	169
Şekil 5.11. Tüf1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri	173
Şekil 5.12. Tüf1' de D- I_d ilişkisi	174
Şekil 5.13. Tüf2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	175
Şekil 5.14. Tüf2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	179
Şekil 5.15. Tüf2' de D- I_d ilişkisi.....	180
Şekil 5.16. Kmt2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	181
Şekil 5.17. Kmt 2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	185
Şekil 5.18. Kmt2' de D- I_d ilişkisi.....	186
Şekil 5.19. Marn1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	187
Şekil 5.20. Marn1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	191
Şekil 5.21. Marn1' de D- I_d ilişkisi	192
Şekil 5.22. K. kçt1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	193
Şekil 5.23. K. kçt1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	197
Şekil 5.24. K. kçt1' de D- I_d ilişkisi.....	198
Şekil 5.25. K. kçt2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	199
Şekil 5.26. K. kçt2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	203
Şekil 5.27. K. kçt2' de D- I_d ilişkisi.....	204
Şekil 5.28. Marn2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı	205
Şekil 5.29. Marn2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri.....	209
Şekil 5.30. Marn2' de D- I_d ilişkisi	210
Şekil 5.31. İri ve ince taneli kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün I_{d2} değerlerine etkisi	211
Şekil 5.32. Çalışmada kullanılan tüm kayalarda kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi.....	213
Şekil 5.33. Çalışmada kullanılan iri taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi.....	213
Şekil 5.34. Çalışmada kullanılan ince taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi.....	214
Şekil 5.35. Çalışmada kullanılan iri taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) arasındaki istatistiksel ilişkisi.....	215

Şekil 5.36. Çalışmada kullanılan ince taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) arasındaki istatistiksel ilişki	215
Şekil 5.37. Çalışmada kullanılan iri taneli kayalarda, ıslak kararlılık indeksi ($I_{s(50)}$) ve nokta yükü dayanımı (I_{d2}) ilişkisi	216
Şekil 5.38. Çalışmada kullanılan ince taneli kayalarda, ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi	216
Şekil 5.39. İri taneli kayalar grubunda, Yarı köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	221
Şekil 5.40. İri taneli kayalar grubunda, köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	221
Şekil 5.41. İnce taneli kayalar grubunda, Yarı köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	222
Şekil 5.42. İnce taneli kayalar grubunda, köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	222
Şekil 5.43. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d2} ilişkisi	224
Şekil 5.44. İri taneli kayalarda şekil 5.42' deki denklemle hesaplanan I_{d2} ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri	224
Şekil 5.45. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d3} ilişkisi	225
Şekil 5.46. İri taneli kayalarda şekil 5.44' deki denklemle hesaplanan I_{d3} ve deneyle bulunan I_{d3} değerleri	225
Şekil 5.47. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d4} ilişkisi	226
Şekil 5.48. İri taneli kayalarda şekil 5.46' daki denklemle hesaplanan I_{d2} ve deneyle bulunan I_{d4} değerleri	226
Şekil 5.49. İnce taneli kayalarda I_{d1} - I_{d2} ilişkisi	227
Şekil 5.50. İnce taneli kayalarda hesaplanan şekil 5.48' deki denklemle hesaplanan I_{d2} ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri	227
Şekil 5.51. İnce taneli kayalarda I_{d1} - I_{d3} ilişkisi	228
Şekil 5.52. İnce taneli kayalarda şekil 5.50' deki denklemle hesaplanan I_{d3} ve deneyle bulunan I_{d3} değerleri	228
Şekil 5.53. İnce taneli kayalarda I_{d1} - I_{d4} ilişkisi	229
Şekil 5.54. İnce taneli kayalarda şekil 5.52' deki denklemle hesaplanan I_{d4} ve deneyle bulunan I_{d4} değerleri	229
Şekil 5.55. İri taneli kayaların çizelge 5.68' deki modelle hesaplanan ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	232
Şekil 5.56. İnce taneli kayaların çizelge 5.69' daki modelle hesaplanan ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	233

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Gamble tarafından geliştirilen ıslak kararlılık sınıflaması.....	12
Çizelge 2.2. I_{d2} ile RMR ve Q değerleri arasındaki istatistiksel ilişki.....	15
Çizelge 2.3. Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayalardaki kil fraksiyonu (simektit, illit, kaolinit) ile ıslak kararlılık indeksi (I_{d1} , I_{d2} , I_{d3} , I_{d4}) arasındaki istatistiksel ilişki (Gökçeoğlu vd 2000).....	18
Çizelge 2.4. Köşellilik sınıflandırması (Vallejo 1994)	27
Çizelge 2.5. Agrega profili ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki (Vallejo 1994)	29
Çizelge 3.1. Şekil 3.11' deki profile ait uzunluk ve fraktal boyut değeri (Vallejo 1994)	44
Çizelge 3.2. Şekil 3.12' deki profillerin fraktal boyutunun hesaplanmasında kullanılan değerler (Vallejo 1994)	45
Çizelge 3.3. M1 nolu numunenin 1. profiline ait koordinat değerleri.....	50
Çizelge 3.4. Fraktal programıyla yapılan hesaplamalar ve fraktal boyut değeri	51
Çizelge 4.1. Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayaların kuru yoğunluk değerleri.....	55
Çizelge 4.2. Kmt1' de gruplara göre I_d değerleri.....	60
Çizelge 4.3. Kmt3' de gruplara göre I_d değerleri.....	94
Çizelge 4.4. Bozuşmuş granitte gruplara göre I_d değerleri	100
Çizelge 4.5. Tüf1' de gruplara göre I_d değerleri.....	106
Çizelge 4.6. Tüf2' de gruplara göre I_d değerleri.....	112
Çizelge 4.7. Kmt2' de gruplara göre I_d değerleri.....	118
Çizelge 4.8. Marn1' de gruplara göre I_d değerleri	124
Çizelge 4.9. K. Kçt1' de gruplara göre I_d değerleri	130
Çizelge 4.10. K. Kçt2' de gruplara göre I_d değerleri	136
Çizelge 4.11. Marn2' de gruplara göre I_d değerleri	142
Çizelge 5.1. Korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki ilişki	149
Çizelge 5.2. Kmt1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	152
Çizelge 5.3. Kmt1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	152
Çizelge 5.4. Kmt1' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri... 153	
Çizelge 5.5. Kmt1' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri... 153	
Çizelge 5.6. Kmt1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri..... 154	
Çizelge 5.7. Kmt1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri..... 154	
Çizelge 5.8. Kmt3' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri..... 158	
Çizelge 5.9. Kmt3' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri..... 158	
Çizelge 5.10. Kmt3' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri. 159	
Çizelge 5.11. Kmt3' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri. 159	

Çizelge 5.12. Kmt3' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri...	160
Çizelge 5.13. Kmt3' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri...	160
Çizelge 5.14. Granite ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	164
Çizelge 5.15. Granite ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	164
Çizelge 5.16. Granite ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	165
Çizelge 5.17. Granite ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	165
Çizelge 5.18. Granite ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	166
Çizelge 5.19. Granite ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	166
Çizelge 5.20. Tüfl' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	170
Çizelge 5.21. Tüfl' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	170
Çizelge 5.22. Tüfl' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	171
Çizelge 5.23. Tüfl' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	171
Çizelge 5.24. Tüfl' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	172
Çizelge 5.25. Tüfl' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri	172
Çizelge 5.26. Tüf2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	176
Çizelge 5.27. Tüf2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	176
Çizelge 5.28. Tüf2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	177
Çizelge 5.29. Tüf2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	177
Çizelge 5.30. Tüf2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	178
Çizelge 5.31. Tüf2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	178
Çizelge 5.32. Kmt2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	182
Çizelge 5.33. Kmt2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	182
Çizelge 5.34. Kmt2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	183
Çizelge 5.35. Kmt2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	183
Çizelge 5.36. Kmt2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	184
Çizelge 5.37. Kmt2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	184
Çizelge 5.38. Marn1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	188
Çizelge 5.39. Marn1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	188
Çizelge 5.40. Marn1' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	189
Çizelge 5.41. Marn1' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	189
Çizelge 5.42. Marn1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	190
Çizelge 5.43. Marn1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	190
Çizelge 5.44. K.kçt1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	194
Çizelge 5.45. K.kçt1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri ..	194
Çizelge 5.46. K.kçt1' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	195

Çizelge 5.47. K.kçt1' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	195
Çizelge 5.48. K.kçt1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri .	196
Çizelge 5.49. K.kçt1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri .	196
Çizelge 5.50. K.kçt2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	200
Çizelge 5.51. K.kçt2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	200
Çizelge 5.52. K.kçt2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	201
Çizelge 5.53. K.kçt2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	201
Çizelge 5.54. K.kçt2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	202
Çizelge 5.55. K.kçt2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	202
Çizelge 5.56. Marn2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	206
Çizelge 5.57. Marn2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	206
Çizelge 5.58. Marn2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	207
Çizelge 5.59. Marn2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	207
Çizelge 5.60. Marn2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	208
Çizelge 5.61. Marn2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri.....	208
Çizelge 5.62. İri taneli kayalarda yuvarlak (Y) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları	217
Çizelge 5.63. İri taneli kayalarda yarı köşeli (Ak) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki.....	217
Çizelge 5.64. İri taneli kayalarda köşeli (K) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları	218
Çizelge 5.65. İnce taneli kayalarda yuvarlak (Y) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları	218
Çizelge 5.66. İnce taneli kayalarda yarı köşeli (Ak) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları.....	219
Çizelge 5.67. İnce taneli kayalarda köşeli (K) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları	219
Çizelge 5.68. İri taneli kayalarda çoklu regresyon analizinin özeti	231
Çizelge 5.69. İnce taneli kayalarda çoklu regresyon analizinin özeti	232

1. GİRİŞ

Kaya Mekaniği Bilimi, kaya kütlesi üzerinde ve içerisinde yapılan mühendislik uygulamalarında, çalışmaların emniyetli ve ekonomik olarak yürütülmesi için veriler sunmaktadır. Bu amaçla mühendislik yapısı yapılacak kaya ortamının davranışının önceden belirlenmesi önemlidir. Bunun için de kayanın hem madde (taş) hem de kütle olarak özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Kayanın özellikleri ise laboratuvar ve arazi deneyleri ile belirlenebilmektedir.

Kayalardan alınan örnekler üzerinde bilimsel anlamdaki ilk çalışmalar (tektonik özellikler), 1908-1911 yıllarında Griggs ve Von Karman ile başlamıştır. Kayalar üzerinde mühendislik amaçlarına dönük laboratuvar ve arazi ölçümlerine ise 1945' den sonra başlanmıştır (Yüzer ve Vardar 1986).

Bilimin ve teknolojinin hızla gelişmesi, ortaya çıkan ihtiyaca cevap verebilme çalışmaları ve var olan deneysel yöntemlerle problemlerin tam manasıyla çözümlenememesi sebebiyle yeni deneysel yöntemlere başvurulmakta, var olan yöntemler de geliştirilmektedir.

Sedimentolojik süreçler sebebiyle, yerkabuğunun büyük bir kısmı sedimentler ve sedimanter kayalar tarafından örtülmektedir. Blatt (1982) tabakalı ve kil içeren kayaların (kilitaşı, çamurtaşı, silttaşı, şeyl v.b) stratigrafik kolonun üçte ikisini ve toplam kara alanlarının üçte birini oluşturduğunu belirtmektedir (Dick vd 1994). Ayrıca Franklin ve Chandra (1972), kil içeren kayaların yerkabuğunun %35' ten daha fazlasını kapsadığını belirtmektedir. Bu durum, yer yüzeyinde ve yeraltında yapılacak mühendislik çalışmalarında killi kayalarda ya da bozuşma sonucu killeşmiş kayalarda çalışmanın kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Değişen iklim şartlarının (ıslanma-kuruma, donma-çözünme, sıcaklık farklılıkları gibi) etkisiyle killi kayaların özellikle dayanımlarında kayda değer değişimler meydana gelmektedir. Islanma ve kuruma evreleri sonucunda killi kayalarda şişmeler (özellikle plastisitesi yüksek kil içeren killi kayalarda) ve parçalanmalar-kavlamalar meydana gelmektedir. Killi kayalarda meydana gelen bu tip değişimler; şevlerdeki yüzey kayalarının hızla bozuşmasına, böylece de

şevin duraylılığının azalmasına; dolguların yenilmesine; yeraltı açıklıklarında sağlam kayaların dayanımlarının zamanla azalmasına sebep olmaktadır (Gökçeoğlu vd 2000).

Kayaların ıslak kararlılığı (suya dayanıklılık, suda dağılmaya karşı duraylılık), jeoteknik uygulamalarda kaya kütleleri ve kaya materyalleri için önemli bir özelliktir (Franklin ve Chandra 1972, Rodrigues 1991, Dick ve Shakoor 1995, Gökçeoğlu vd 2000, Dhakol vd 2001). Ana problemlerden birisi, killi kayalar içerisinde yapılan yapılarda, bu tip kayaların ayrışması ve bozulması ile ortaya çıkmaktadır. Kayaların bozulmaya karşı hassaslığı ve oranları bazı kararlılık parametreleri ile (örneğin Islak Kararlılık İndeksi) belirlenir. Islak kararlılık özelliklerle, çamurtaşı, marn, ignimbrit, zayıf çimentolu çakıtaşı ve silttaşları için önemli bir mühendislik parametresidir (Gökçeoğlu vd 2000). Islak kararlılık indisi son yıllarda granitik kayaların ayrışma özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır (Zhao vd 1994, Lee ve Freitas 1998). Ünal (1996), ıslak kararlılık indeksini M-RMR kaya kütlesi sınıflama sistemine dahil etmiştir. Böylece ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) kaya ortamındaki tasarım uygulamalarında da kullanılmıştır. Ayrıca Koncağül ve Santi (1998), şeyllerin tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesinde ıslak kararlılık deneyinden yararlanmışlardır.

Islak kararlılık deneyi ilk olarak Chandra (1970) ve Franklin ve Chandra (1972) tarafından ortaya atılmıştır. Zemin benzeri (zayıf ve kil içeren) kayalardaki mühendislik çalışmalarında; erozyon, şev duraysızlığı, dayanım azalması ve dolgu çalışmaları gibi uygulamalarda sık sık kullanılan Islak kararlılık deneyi ISRM (1981) tarafından önerilmiş, ISRM (1981) ve ASTM (1990) tarafından standartlaştırılmıştır. Islak kararlılık indeksi, ıslanma-kuruma ve aşındırma gerilmelerinin kaya parçalarının duraylılığına etkisini belirlemek için hesaplanmaktadır (Vallejo 1994). Islak kararlılık deneyi sonuçlarının; deneye tabi tutulan kaya agregalarının porozite ve permeabilitesine, deneyde kullanılan sıvının özelliklerine, kayacın şişme ve dağılma direncine, deney tamburuna konulan agregaların şekline ve sayısına, deney aletinin özelliklerine, numunenin saklanma koşullarına ve döngü sayısına göre değişim gösterdiği belirtilmektedir. Islak kararlılık deney sonuçları yukarıdaki faktörler göz önüne alınmadan değerlendirildiğinde hatalı yorumlamalar kaçınılmaz olmaktadır. Bu

durumda, incelenen örnekler farklı sınıflara dahil edilebilmekte, dolaylı yoldan belirlenecek mühendislik parametreleri (örneğin tek eksenli basınç dayanımı) yanlış belirlenebilmekte, ya da yanlış tasarımlar yapılabilmektedir.

Islak kararlılık deneyine tabi tutulacak kaya agregalarının 40-60 g ağırlığında, küresele yakın (eş boyutlu) bir şekilde ve köşeleri yuvarlatılmış olarak hazırlanması gerekmektedir (ISRM 1981, ASTM 1990). Ancak uygulamalarda, kayacın tırütne, bozuşma derecesine, tane boyuna, mineralojik bileşimine ve yapısal-dokusal özelliklerine bağlı olarak küresel numunelerin hazırlanması güçleşmektedir. Bu sebeple küresel örneklerin hazırlanması oldukça zorlaşmakta ve zaman almaktadır. Bazen de mümkün olamamaktadır. Çalışmalarında ıslak kararlılık deneyini kullanan pek çok araştırmacı bu zorluklar nedeniyle deneyi, küresellikten uzak ve oldukça pürüzlü yüzeye (çok miktarda kenar ve köşeler) sahip agregalarla yapabilmekmiştir. Bu durum deney sırasında oluşan aşındırma gerilmelerinin, agregaları daha fazla etkilemesine ve daha fazla parçalamasına neden olmaktadır. Agregalar küresellikten uzaklaştıkça ve yüzeyleri pürüzlü hale geldikçe, deney sırasında suyla temas eden yüzey alanları artmakta, böylece deneyde kullanılan suyun agregayla etkileşimi de artmaktadır. Bu durum da, yukarıda belirtildiği gibi ıslak kararlılık deneyi sonuçlarının yanlış yorumlanmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ıslak kararlılık deneyinde agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indisine etkisini ortaya koymaktır. Bu kapsamda kaya indis özelliklerinden yoğunluk ve nokta yükü direncini birincil etkenler; kayacın mineralojik, yapısal ve dokusal özelliklerini de ikincil etkenler olarak göz önüne almak suretiyle, bu amaç için seçilmiş olan bazı kaya gruplarında ıslak kararlılık indisi ile bu özellikler arasında ampirik ilişkiler geliştirmektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaya İndeks Deneyleri

Kayalar, sahip oldukları yapısal-dokusal özelliklerinin ve mineralojik bileşimlerinin etkisiyle oldukça anizotrop bir davranış sergilemektedir. Belirli bir petrografik isme sahip olan kaya (örneğin bazalt), aynı isme sahip, mineralojik bileşim yüzdeleri ve yapısal-dokusal özellikleri farklı olan diğer kayadan oldukça farklı bir mühendislik davranışı sergileyebilmektedir. Bunun yanında, kayaların petrografik olarak adları birbirinden farklı da olsa (granit ve kumtaşı gibi), mühendislik davranışları ve özellikleri açısından birbirlerine benzer davranışlar gösterebilmektedirler. Bu yüzden, mühendislik uygulamalarında kayaları kantitatif olarak sınıflandırmak gerekmektedir. Bu amaçla çok sayıda ölçümler ve deneyler yapılmaktadır. Yapılan deneyler ve ölçümlerin kolayca uygulanabilir olmasının önemi büyüktür.

Kayaların bazı özelliklerini (gözeneklilik, yoğunluk, dayanım, kararlılık gibi) kolay ve nispeten ucuz olarak belirlenmesine yarayan bu tip özelliklere indeks özellikler ve bu özellikleri belirlemek için yapılan deneylere de indeks deneyler adı verilmektedir. Bu özellikler daha çok kayaları sınıflandırmak, farklı koşullardaki davranışlarını tahmin etmek ve dolaylı olarak bazı özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Son yıllarda indeks deney sonuçları tasarım çalışmalarına da girmiştir (Ünal 1996). Bir indeks özelliği, nerede yapılırsa yapılsın aynı sonucu veriyorsa ve düşük maliyetli ise, faydalı kabul edilmektedir (Goodman 1989).

Tek eksenli basınç deneyi, nokta yük deneyi, Schmidt sertlik deneyi, ses hız deneyi, arazide kesme (direkt-rezidüel) deneyi ve bu çalışmaya konu olan ıslak kararlılık deneyi kaya mekaniği uygulamalarında sık sık kullanılan indeks deneylerdendir.

2.1.1. Islak kararlılık deneyi (Slake durability test)

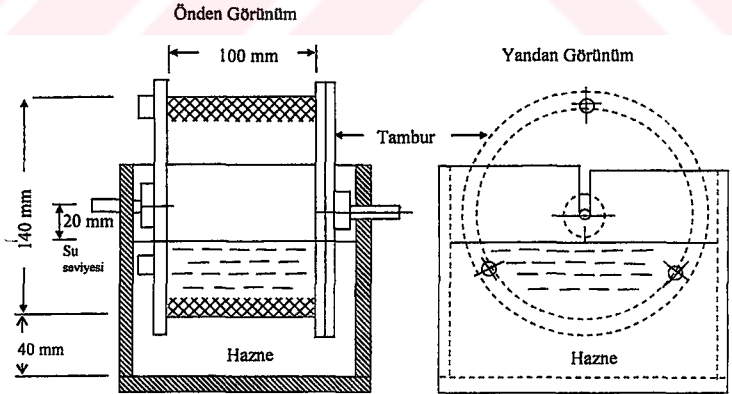
İlk olarak Chandra (1970) ve Franklin ve Chandra (1972) tarafından ortaya atılan ıslak kararlılık deneyi, ISRM (1981) ve ASTM (1990)' ye göre aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır.

2.1.1.1. Kapsam

Bu deney, şeyl ve benzer kayaların iki döngülü ıslanma-kuruma ve aşınma evresi sonucunda parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği direnci belirlemek amacıyla yapılır. Islak kararlılık indeksi, iki döngü sonucunda tamburda kalan kuru örnek ağırlığının deney başlangıcındaki kuru örnek ağırlığına oranı ile belirlenir.

2.1.1.2. Araçlar

- Deneyde kullanılan tambur; 140 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda, kare şekilli standart 2 mm elek açıklığına sahip ve silindirik şekillidir (şekil 2.1). Tamburun bir tarafı sert-dayanıklı sabit bir tabanla kapatılmıştır. Tamburun diğer tarafı ise, aynı malzemeden yapılmış portatif bir kapakla kapatılmaktadır. Tambur 110 ± 5 °C sıcaklığa dayanıklıdır.



Şekil 2.1. Islak kararlılık deney tamburunun şematik görünümü (ISRM 1981)

- Deney tamburu, ekseninin 20 mm alt seviyesine kadar su alabilecek serbestçe dönebilecek bir yatay mille desteklenmiştir. Tamburun içine konulduğu saydam fiber haznenin tabanı ile tamburun arasında, tamburun yerleştirme işleminden sonra 40 mm' lik bir açıklık kalmaktadır.

- Yarısı su içine batmış tamburu, dakikada 20 devirle döndürecek motor 10 dakikalık çevrim süresince dönme hızını $\% \pm 5$ ' lik sınırlar içerisinde sabit tutabilmelidir.

- Deneyde kullanılan fırın 110 ± 5 °C kapasiteli olmalıdır.

- Hassas terazi (1 gram duyarlılıkta en az 2000 gram kapasiteli olmalıdır).

- Çeşitli ekipmanlar; kronometre, fırça ve tepsi gibi .

- Damıtılmış su.

2.1.1.3. Deney Örnekleri

Deney örnekleri; sağlam (intact), köşeleri yuvarlaklaştırılmış, eş boyutlu ve her birinin ağırlığı 40 –60 gram olan agregalardan (parçalardan) oluşmaktadır. Örnekler kaya bloklarından veya karotlardan hazırlanır. Mümkünse köşeler kırılr ve kırıntılar tartmadan önce fırça yardımıyla uzaklaştırılır. Tamburun içindeki toplam örnek ağırlığı 450 – 550 gram olmalıdır.

Örneklerin taşınması ve depolanması doğal su içeriği şartlarında olmalıdır.

2.1.1.4. Deneyin Yapılış Şekli

- Toplam ağırlığı 450 – 550 gram gelen örnekler tambura yerleştirilir ve tartılır. Sonra tambur etüvde 16 saat veya ağırlığı sabit kalıncaya kadar kurutulur. Fırından çıkarılan tambur oda sıcaklığında 20 dakika soğutulur ve tartılır. Doğal su içeriği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w = (A-B)/(B-C) * 100$$

Formülde;

w= Su içeriği, %

A= Tambur ve doğal su içeriğindeki örneklerin kütlesi, g,

B= İlk döngüden önce tambur ve fırında kurutulmuş örneklerin kütlesi, g,

C= Tamburun kütlesi, g,

- Tambur hazne içerisine yerleştirilir ve hazne içerisine oda sıcaklığındaki artıtmış su, tambur ekseninin 20 mm altına kadar doldurulur. Sonra su haznesindeki tamburu dakikada 20 devir döndüren motor 10 dakika çalıştırılır. Deney başlangıcındaki ve sonundaki sıcaklık kaydedilir.

- 10 dakika sonunda motor durdurulur ve tambur hazneden alınarak fırına konulur. Fırında 16 saat veya sabit kütleye ulaşıncaya kadar bekletilir.

- Fırından çıkarılan tambur ve içindeki örneklerin kütlesi tartılarak kaydedilir. Yukarıdaki işlem bir kez daha tekrarlanarak ikinci döngü tamamlanmış olur. Tekrar tambur ve kurutulmuş örneklerin ağırlıkları tartılarak kaydedilir.

- İkinci döngü sonunda tamburda kalan örneklerin fotoğrafları çekilerek şekil 2.2' de gösterilen standart tanımlamalara uygun olarak sınıflandırılır.

2.1.1.5. Hesaplamalar

Islak-kararlılık indeksi (iki döngülü) aşağıdaki gibi hesaplanır:

...

$$I_{d2} = [(M_2 - M_T) / (M_B - M_T)] * 100$$

Agrega Durumu	Tanımlama
	Tip 1: Parçalar neredeyse deney sonunda hiç değişmemiş
	Tip 2: Kalan malzeme büyük ve küçük parçalardan oluşmakta
	Tip 3: Kalan malzeme oldukça küçük parçalardan oluşmakta

Şekil 2.2. İkinci döngü sonunda tamburda arta kalan örneklerin tanımlanması (ASTM 1990)

Burada,

I_{d2} = Islak kararlılık indeksi (iki döngü),

M_2 = İkinci çevrim sonunda tambur ve kuru örnek kütlesi, g,

M_B = Deney başlangıcında tambur ve kuru örnek kütlesi, g,

M_T = Tamburun kütlesi, g,

2.1.1.6. Rapor-Sunum

- Deneyde kullanılan kaya malzemesi tanımlanır ve nereden alındığı belirtilir.
- İkinci döngü sonunda hesaplanan I_{d2} değeri % 0,1 yakınlıkla belirtilir.

- Deneyler sırasında suyun sıcaklık değişim aralığı ve ortalama sıcaklık belirtilir.
- Örneklerin doğal su içeriği belirtilir.
- Deney sonucunda tamburda kalan agregaların tanımlanması yapılır.

ISRM (1981)' nin önerdięi yöntemde ise, ařaęıda belirtilen notlar dūřūlmūřtır;

- Eęer 20°C' lik musluk suyu kullanılarak hesaplanan I_{d2} deęeri %0- %10 arasında ise, kayalar ařaęıda formūlū verilen birinci dōngū ıslak kararlılık indeksi (I_{d1}) ile daha iyi karakterize edilirler:

$$I_{d1} = [(M_1 - M_T) / (M_B - M_T)] * 100$$

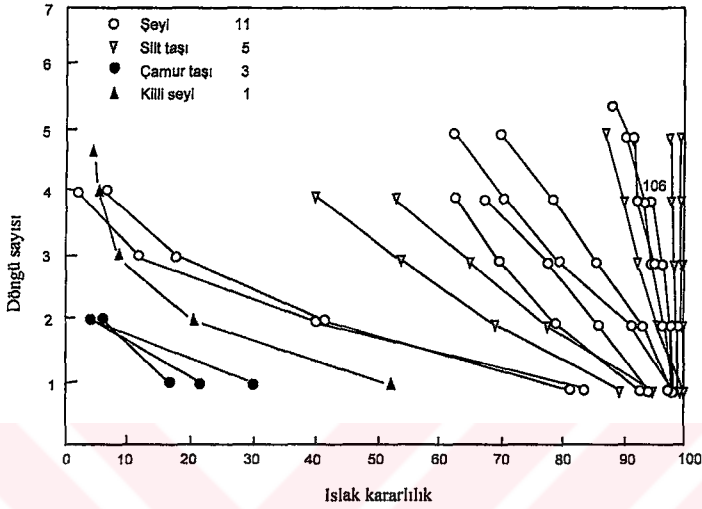
Burada,

I_{d1} = Islak kararlılık indeksi (birinci dōngū),

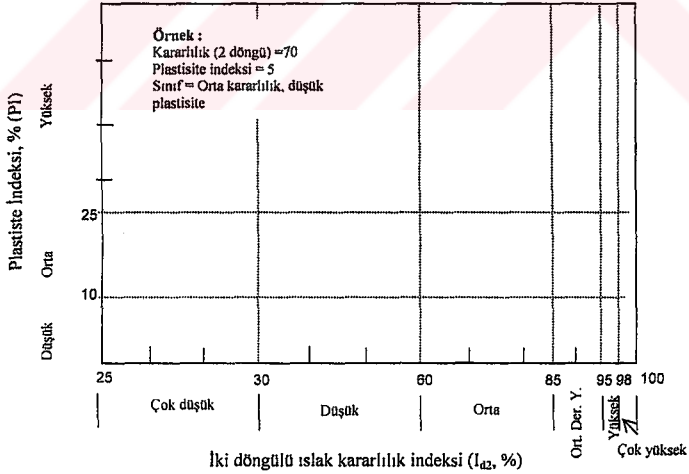
W_1 = Birinci dōngū sonunda tambur ve kuru örnek kütlesi, g,

- Yüksek ıslak kararlılıktaki kayaların tanımlanmasında, üç veya daha yüksek sayıda dōngūyle elde edilen ıslak kararlılık indeksinin kullanılması daha yararlı olabilir (şekil 2.3).

- Dūřūk ıslak kararlılığa sahip killi kayaları sınıflandırmak için, Atterberg limitleri ve tane boyu analizleri yapılmalıdır. Sınıflandırmada ıslak kararlılık indeksi ve plastisite indeksi birlikte kullanılmalıdır (şekil 2.4)



Şekil 2.3. Döngü sayısının ıslak kararlılık indeksine etkisi (Gamble 1971)



Şekil 2.4. Düşük ıslak kararlılığa sahip killi kayaların ıslak kararlılık indeksi ve plastisite indeksine göre sınıflandırılması (Gamble 1971)

2.1.1.7. Islak Kararlılık Deneyi ile İlgili Önceki Çalışmalar

Franklin ve Chandra (1972), kayaların ıslak kararlılık indekslerinin aşağıdaki özelliklere bağlı olduklarını belirtmektedir:

1. Gözeneklilik ve geçirgenlik: Sıvıların kayaca girişini, sıvıların içerilmesini ve hareketini etkiler.
2. Kaya içerisine nüfuz eden absorbe sıvılar; yüzey enerji değişimlerine, çimentonun çözülmesine veya bağların kopmasına, veya boşluk suyu basıncından dolayı yıkıcı kuvvetlerin oluşmasına neden olurlar.
3. Kayaların yıkıcı kuvvetlere karşı koyma kuvvetlerinin kapasitesi, kayada oluşacak zayıflama, şişme veya komple dağılma olaylarını belirlemektedir.

Bu tip deneylerin sonuçlarını etkileyen önemli faktörler ise aynı araştırmacılar tarafından:

1. Deney aleti: Elek açıklığı, tambur boyutu ve dönme hızı
2. Numune: Boyut, şekil, kütle ve numune sayısı
3. Numune davranışı: Saklanma ve kuruma sırasında
4. Islanmaya mazur kalma (slaking) süresi
5. Deney sıvısının özelliği: Kimyası ve sıcaklığı

olarak belirtilmektedir.

Gerek ıslak kararlılık indeksi deneyinin standartlaştırılması sırasında ve gerekse son yıllarda araştırmacılar deneyin yapılışında değişiklikler yaparak, zayıf ve killi kayaları daha iyi tanımlama yoluna gitmişlerdir:

Franklin ve Chandra (1972), ıslak kararlılık deneyinde herbiri yaklaşık 40-60 g ağırlığında olan 10 adet örneğin kullanılmasının en uygun olduğunu belirtmektedirler.

Yine aynı araştırmacılar tarafından kayaların ıslak kararlılık indeksi değerlerini, başlangıçtaki nem içeriklerine göre, fırında kurutulduktan sonraki duruma göre ve saklanma durumlarına göre de değerlendirmişlerdir. Fırında kurutulduktan sonra deneye

tabi tutulan örneklerin ıslak kararlılık indisi genel olarak daha yüksek çıkmaktadır. Ayrıca deneyden önceki saklanma süresi artan örneklerin ıslak kararlılık indisi de artmaktadır.

Deney süresinin uzamasıyla ve deney sıvısının sıcaklığının artmasıyla da ıslak kararlılık indeksinin düştüğü gözlenmektedir. Bunun yanında deney sırasında farklı sıvılar kullanıldığında, en yüksek ıslak kararlılık indisi Sodyum hexametafosfat (20°C) ile, en düşük ıslak kararlılık indisi ise Hidroklorik asit (20°C) ile elde edilmektedir (Franklin ve Chandra 1972).

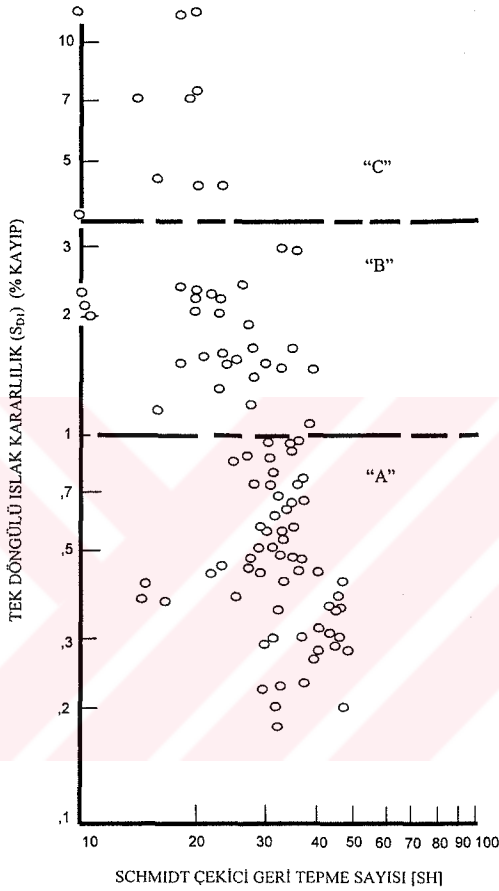
Gamble (1971) kayalar ıslak kararlılık indisi değerlerine (I_{d1} ve I_{d2}) göre şekil 2.4 ve çizelge 2.1’ deki gibi sınıflandırmaktadır.

Çizelge 2.1. Gamble tarafından geliştirilen ıslak kararlılık sınıflaması

Grup Adı	10 dakikalık bir döngülü deneyden sonra % kalan (Kuru kütle olarak)	10 dakikalık iki döngülü deneyden sonra % kalan (Kuru kütle olarak)
Çok yüksek kararlılık	> 99	> 98
Yüksek kararlılık	98 – 99	95 – 98
Orta yüksek kararlılık	95 – 98	85 – 95
Orta kararlılık	85 – 95	60 – 85
Düşük kararlılık	60 – 85	30 – 60
Çok düşük kararlılık	< 60	< 30

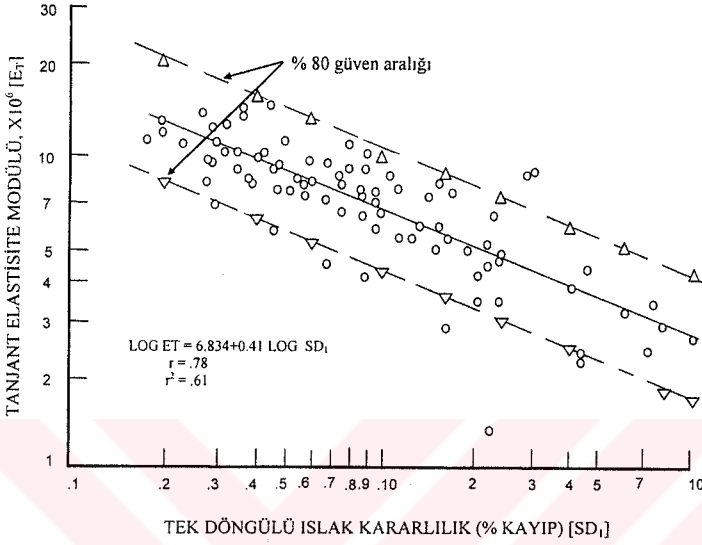
Aufmuth (1974), kayaların Schmidt sertlik değerleri ile tek döngülü ıslak kararlılık deneyindeki malzeme kayıp miktarlarını kullanarak bir mühendislik tanımlaması önermektedir (şekil 2.5)

Aufmuth (1974), ayrıca kayaların tek döngülü ıslak kararlılık indisi (I_{d1}) değerleri ile tanjant modülleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve şekil 2.6’ daki bağıntıyı belirlemiştir.



- A: Yüksek ıslak kararlılık (malzeme kaybı % 1' den az)
 B: Orta ıslak kararlılık (malzeme kaybı % 1 ile % 3.5 arasında)
 C: Düşük ıslak kararlılık (malzeme kaybı % 3.5' ten fazla)

Şekil 2.5. Kayaların Schmidt sertlik değerleri ve tek döngülü ıslak kararlılık deneyindeki malzeme kaybına göre mühendislik tanımlamaları (Aufmuth 1974)



Şekil 2.6. Kayaların tek döngülü ıslak kararlılık indeksi (I_{d1}) ile tanjant modülü arasındaki ilişki (Aufmuth 1974)

Martin (1986) ve Ulusay ve diğerleri (1995a) tarafından ıslak kararlılık indeksi deneyinin iki döngülünden ziyade daha yüksek sayıda döngüyle yapıldığında kullanımının daha faydalı olacağı belirtilmektedir (Gökçeoğlu ve Aksoy 2000).

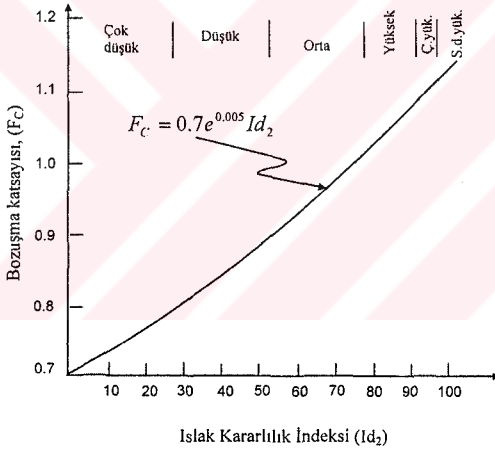
Islak kararlılık indeksi deneyinin standart prosedüründe deneye tabi tutulan numunelerin profilinde meydana gelen değişikliklerin ölçülmesine gerek yoktur. Bununla birlikte Vallejo (1994), siltli kayalarda, deney öncesinde ve sonrasında numunelerin profillerini belirleyerek (fraktal analiz ile), fraktal boyutlarının (D) deney öncesi ve sonrası durumlarını karşılaştırmıştır.

Ünal ve Özkan (1990), I_{d2} ile RMR ve Q değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi çizelge 2.2' deki gibi belirlemişlerdir. Ayrıca, M-RMR kaya kütleli sınıflama sisteminde düzeltme faktörü olarak kullanılan bozuşma katsayısı (F_c) ile I_{d2} arasındaki ilişkiyi de şekil 2.7' deki gibi bulmuşlardır. Böylece ıslak kararlılık deneyini kaya kütleli sınıflama

sistemine dahil etmişlerdir (M-RMR). Bu yolla ıslak kararlılık deneyi tasarımı çalışmalarında da kullanılabilir olmuştur.

Çizelge 2.2. I_{d2} ile RMR ve Q değerleri arasındaki istatistiksel ilişki (Ünal ve Özkan 1990)

Regresyon eşitliği	Orijinal RMR ile Q değerleri arasındaki korelasyon katsayısı	Regresyon eşitliği	Değiştirilmiş RMR ile Q değerleri arasındaki korelasyon katsayısı
$RMR = 16.77e^{0.0092} Id_2$	$r = 0.67$	$RMR = 6.06e^{0.0223} Id_2$	$r = 0.87$
$Q = 0.0086e^{0.564} Id_2$	$r = 0.81$	$Q = 0.00113e^{0.0679} Id_2$	$r = 0.86$



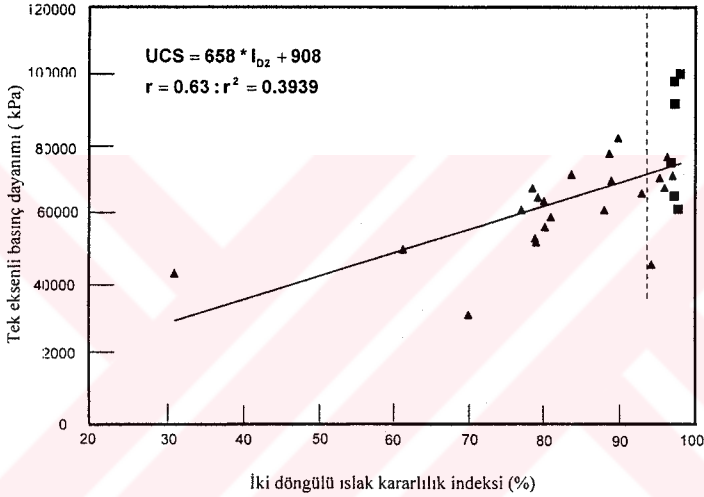
Şekil 2.7. M-RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde düzeltme faktörü olarak kullanılan bozuşma katsayısı (F_c) ile I_{d2} arasındaki ilişki (Ünal ve Özkan 1990)

Bazı araştırmacılar, killi kayaların diğer indeks özelliklerini (tek eksenli basınç dayanımı, tanjant modülü gibi) dolaylı yolla belirlemek için ıslak kararlılık deneyinden faydalanmaktadırlar.

Koncagül ve Santi (1998), Breathitt şeylerinde ıslak kararlılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımları (q_u) arasında,

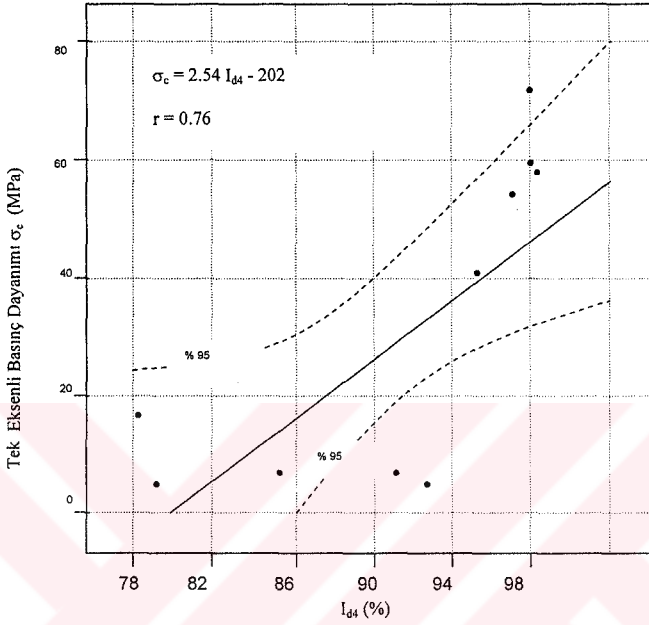
$$q_u = 658 * I_{d2} + 908 \quad r = 0,63$$

gibi bir ilişki bulmuştur (şekil 2.8).



Şekil 2.8. Breathitt şeylerinde ıslak kararlılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki lineer ilişki (Koncagül ve Santi 1998)

Gökçeoğlu vd (2000), benzer bir çalışmayı 10 farklı lokasyondan alınan marn örnekleriyle yapmışlar ve ıslak kararlılık indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki en kuvvetli ilişkiyi dört döngülü ıslak kararlılık indeksi ile yakalamışlardır (şekil 2.9)



Şekil 2.9. Marlarda, I₄₄ ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Gökçeoğlu vd 2000)

Gökçeoğlu vd (2000), deneye tabi tutulacak kayaların mineralojik içeriklerini belirlemişler ve deneyin döngü sayısını artırarak, her döngü sonucunda tamburdan geçen mineralleri incelemişlerdir. Düşük sayılı döngülerde kil ve karbonat mineralleri tamburdan yaklaşık aynı oranlarda geçerken, döngü sayısı arttıkça kil minerallerinin geçme yüzdesinde karbonatlara göre belirgin bir artış gözlemlendiğini, ayrıca deneye tabi tutulan tüm kaya gruplarında, döngü sayısı arttığında ıslak kararlılık indeksi değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı ile ıslak kararlılık indeksi arasında korelasyon katsayısının, döngü sayısı ile değişim gösterdiği, en yüksek korelasyonun (r=0.76) dört döngülü deneyde yakalandığı görülmüştür (Gökçeoğlu vd 2000).

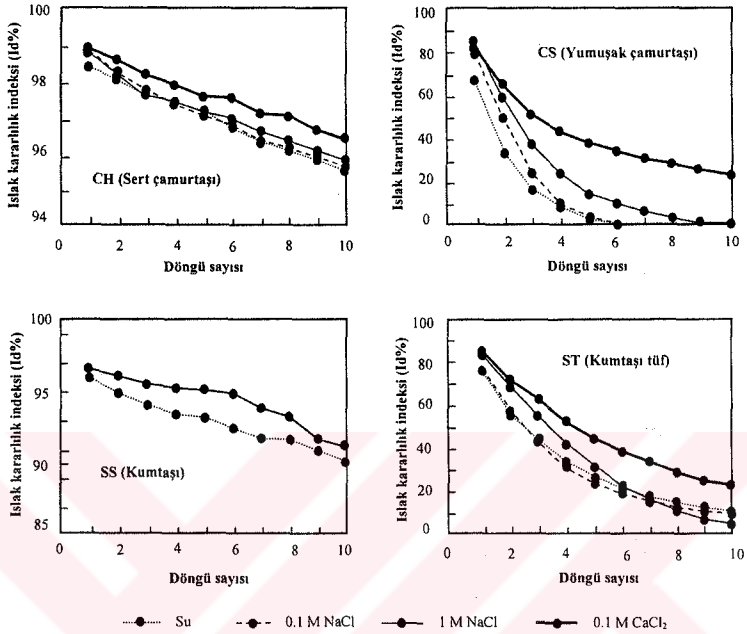
Gökçeoğlu vd (2000), ayrıca ıslak kararlılık deneyine tabi tutulan kayalardaki kil fraksiyonu (simektit, illit, kaolinit) ile ıslak kararlılık indeksi (I_{d1} , I_{d2} , I_{d3} , I_{d4}) arasında regresyon analizi yapmışlar ve çizelge 2.3' deki ilişkileri bulmuşlardır.

Çizelge 2.3. Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayalardaki kil fraksiyonu (simektit, illit, kaolinit) ile ıslak kararlılık indeksi (I_{d1} , I_{d2} , I_{d3} , I_{d4}) arasındaki istatistiksel ilişki (Gökçeoğlu vd 2000)

Eşitlikler	Katsayı	S.D	T Oranı	Olasılık	
(1) I_{d1}					
Sabit	96.8	2.93	33.1	0.0	$R^2(\text{adj}) = 0.50$
Simektit	-0.46	0.06	-7.62	0.0	
İllit	-0.15	0.17	-0.87	0.39	
Kaolinit	0.58	0.26	2.26	0.03	
$(I_{d1}=96.8-0.46SM-0.15I+0.58K)$					
(2) I_{d2}					
Sabit	95.9	2.85	33.6	0.0	$R^2(\text{adj}) = 0.66$
Simektit	-0.63	0.06	-10.7	0.0	
İllit	-0.20	0.16	-1.2	0.24	
Kaolinit	0.57	0.25	2.3	0.02	
$(I_{d2}=95.9-0.68SM-0.20I+0.57K)$					
(3) I_{d3}					
Sabit	95.8	2.80	34.3	0.0	$R^2(\text{adj}) = 0.75$
Simektit	-0.77	0.06	-13.4	0.0	
İllit	-0.32	0.16	-1.96	0.06	
Kaolinit	0.54	0.24	2.22	0.03	
$(I_{d3}=95.8-0.77SM-0.32I+0.54K)$					
(4) I_{d4}					
Sabit	96.3	2.62	36.8	0.0	$R^2(\text{adj}) = 0.83$
Simektit	-0.92	0.05	-17.0	0.0	
İllit	-0.45	0.15	-2.99	0.0	
Kaolinit	0.39	0.23	1.72	0.09	
$(I_{d4}=96.3-0.92SM-0.45I+0.39K)$					
SM	: Simektit,				
I	: İllit,				
K	: Kaolinit				

Çetin vd (2000), Atatürk Barajının dolgusundaki bazaltların mühendislik özelliklerini belirlerken ıslak kararlılık deneyinden de faydalanmışlardır.

Dhakal vd (2002), çamurtaşı, kumtaşı ve kumlu tüfler ile yaptıkları ıslak kararlılık deneylerinde, deney sıvısı olarak saf su, NaCl ve $CaCl_2$ kullanmışlardır. Deneyler sonucunda en yüksek ıslak kararlılık dayanımların 1M $CaCl_2$ ile, en düşük ıslak kararlılık dayanımlarının da saf su ile elde edildiğini belirlemişlerdir (şekil 2.10)

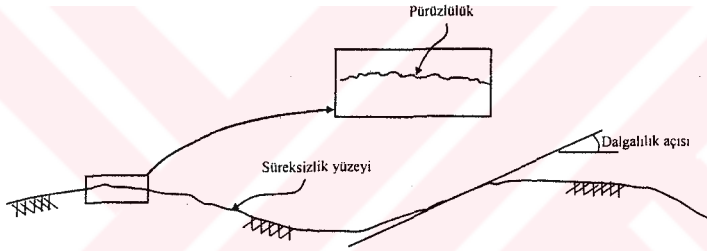


Şekil 2.10. Islak kararlılık deneyinde kullanılan deney sıvısının ıslak kararlılık indeksine etkisi (Dhakal vd 2002)

2.2. Kayalarda Düzlemsel Yüzey (süreksizlik) Profillerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Kaya mekaniği uygulamalarında *yüzey pürüzlülüğü*, en çok süreksizliklerin dayanımlarının belirlenmesi konusunda ele alınmaktadır (Hoek ve Bray 1981, Barton 1973, Barton ve Choubey 1977, ISRM 1978, Brown 1990, Aydan vd 1996, Ünal 2000). Pürüzlülük ve dalgalılık sırasıyla (şekil 2.11), bir süreksizlik yüzeyinin küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsüdür (Ulusay ve Sönmez 2002). Literatürde birbirini tamamlayan birçok pürüzlülük tanımı vardır. Genel bir tanımlama yapılsa pürüzlülük; düşük frekanslı dalgalanmalar (dalga boyu 10 cm' den büyük) ve yüksek frekanslı düzensizlikler (dalga boyu 10 cm' den küçük) aralığında değişen, rastlantı ve süreklilik gösteren çok farklı ölçeklerdeki yükseklik değişimlerinin bileşkesi olarak

adlandırılabilir (Ünal 2000). Bu çalışmada ise, cm boyutunda çalışılacağı için (agrega çapı yaklaşık 4 cm) pürüzlülük teriminden bahsedilmiş ve pürüzlülük, agreganın dairesel profilinden sapmalar (farklı ölçeklerdeki girintiler ve çıkıntılar) olarak ele alınmaktadır. Pürüzlülük, taneler arasındaki ve kayma yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar gibi ufak çapta, ya da süreksizliklerdeki kıvrımlar ve eğilmeler gibi büyük çapta olmaktadır. Çok yüksek frekansta çok küçük ölçekli değişimler; muhtemelen mineral tanesi ya da ikiz kristallerin oluşumu (twinning) ve yapraklanmalar (cleavages) gibi kristal yapısına ait özellikler sebebiyle kristal yüzeyi düzensizliklerinden kaynaklanabilmektedir (Reeves 1985, ISRM 1978, Priest 1993).



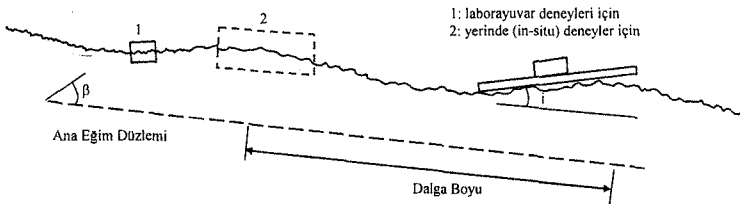
Şekil 2.11. Süreksizlik yüzeylerinin dalgalık ve pürüzlülüğü (Ulusay ve Sönmez 2002)

Kaya yüzey profilleri 1970' li yıllardan itibaren ölçülmektedir. Buna rağmen elde edilen verilerin istatistiki analizi hala sınırlı durumdadır. Literatürde, yüzey pürüzlülüğünün önemi, ölçülmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir çok yöntem ve tekniğin, bilim ve teknolojiadaki gelişmelere bağlı olarak basitten karmaşık yöntemlere doğru sıralandığı gözlenmektedir. Bu çalışmalar, konu başlıkları ya da içerikleri itibariyle beş başlık altında toplanmakta ve maddeler halinde aşağıda sıralanmaktadır (Ünal 2000):

- Pürüzlülüklerin modellenenebilmesi için çeşitli ölçüm ve değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi (ISRM 1978, Swan 1981, Carr 1989, Yoshinaka vd 1990, Aydan vd 1996)

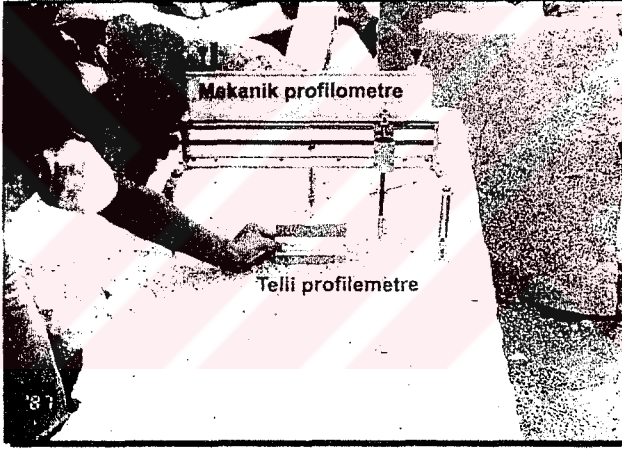
- Ölçümler sonucunda yüzey pürüzlülük profillerini tanımlayan standartların ve ampirik eşitlikler yardımıyla pürüzlülüklerin değerlendirilmesi (Patton 1966, Ladanyi ve Archambault 1970, Barton 1973, Barton ve Choubey 1977).
- Süreksizlik yüzey pürüzlülüklerinin istatistik, jeostatistik, kırışık parçalı boyut (fraktal boyut) yöntemleri ile incelenmesi (Wu ve Ali 1978, Tse ve Cruden 1979, Reeves 1985, Turk vd 1987, Aydan vd 1996, Roko vd 1997).
- Süreksizlik yüzey pürüzlülüklerinin makaslama dayanımı, kabarma, katılık ve ölçek etkisi gibi makaslama dayanımı bileşenleri üzerindeki etkilerinin farklı yöntemlerden yararlanılarak incelenmesi ve ayrıca pürüzlülüğün süreksizlik açıklığı ve dolgu kalınlığı gibi süreksizlik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması (Barton ve Bandis 1982, Zhao 1997).
- Süreksizlik yüzey pürüzlülüklerinin, süreksizlik boyunca su sızıntısı koşulları üzerindeki etkisinin belirlenmesi (Elsworth ve Goodman 1986) olarak özetlenebilir.

Yüzey pürüzlülüğünün arazi ve laboratuvar ölçeğinde ölçülmesi ve modellenmesine yönelik birçok yöntem ve teknik kullanılmaktadır. Küçük ölçekli ölçümler (laboratuvar ölçümleri), birkaç santimetrelik numune büyüklüğüne denk ölçümler iken, orta ölçekli ölçümler (arazi ölçümleri) birkaç metreye karşılık gelmektedir. Şekil 2.12' de küçük ve orta ölçekli ölçümler şematik olarak gösterilmektedir (Ünal 2000). Bu çalışma kapsamında küçük ölçekli pürüzlülüklerin ölçülmesi üzerinde durulmuştur. Aşağıda bazı yüzey pürüzlülüğü belirleme teknikleri hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 2.12. Pürüzlü yüzeyde boyut faktörü (ISRM 1978)

Mekanik profilometreler: Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir. Bu gereçler iki tiptir. Birinci tip profilometreler, bir pim üzerine yerleştirilmiş küçük bir rulmanın (bilyalı tekerlek) mekanik bir kolla pürüzlü eklem yüzeyi üzerinde hareket ettirilerek, tekerleğin düşey ve yatay yöndeki hareketini bir kalem yardımıyla aletin tamburuna takılan kağıda aktaran bir düzenden oluşmaktadır (şekil 2.13). Tambura takılan kağıda kaydedilen pürüzlülük profilleri sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmakta ve buradan yüzey morfolojisi parametreleri elde edilmektedir (Ulusay ve Sönmez 2002).



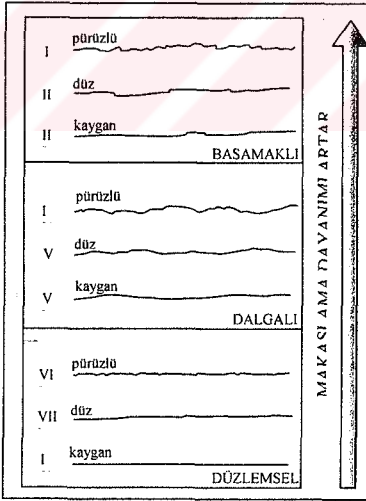
Şekil 2.13. Kalemli ve metal telli profilometreler (Ulusay ve Sönmez 2002)

Daha basit bir profilometre ise, ahşap bir mengenenin arasına yerleştirilmiş 0,9 mm çapındaki tellerden oluşmaktadır (şekil 2.13). Hem arazide hem de laboratuvar da kullanılan bu mekanik gereçle, süreksizlik yüzeyinin üstüne elle bastırılarak tellerin süreksizlik yüzeyinin şekli alması sağlanır ve ahşap kısım üzerindeki vidalar sıkıştırılarak teller sabitlenir. Daha sonra süreksizlik yüzeyinin şekline göre dizilen tellerin konumundan ortaya çıkan profil kalemle bir kağıda çizilerek ve gerekirse sayısallaştırılarak bilgisayar ortamında değerlendirilebilir (Ulusay ve Sönmez 2002).

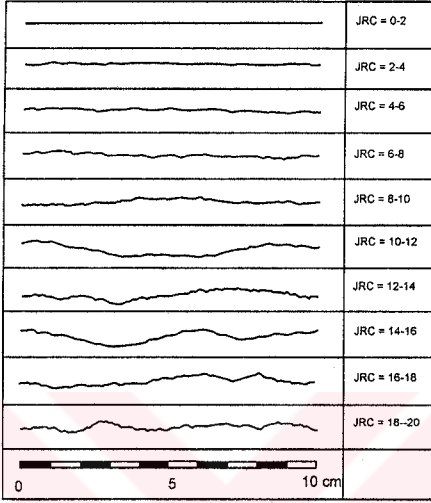
Kaya yüzeyinin pürüzlülüğünün belirlenmesinde, profilometrelerin yanında, fotoğraflama tekniği, lazer tekniği, sayısal fotogrametrik yöntem gibi yöntemler de kullanılabilmektedir. Ancak çoğu kez yukarıda belirtilen gereç ve yöntemlerin kullanılması, proje bütçesinin ve zamanın sınırlı olması nedeniyle mümkün olmayabilir. Bu durumda pürüzlülük, kalitatif tanımlama ölçütleri esas alınarak tanımlanmaktadır.

2.3. Kalitatif yüzey pürüzlülük tanımlamaları

ISRM (1981) tarafından önerilen ölçüte göre, süreksizlik yüzeyi üzerinde gözlem yapılarak, küçük (birkaç santimetre) ve orta ölçekte (birkaç metre) olmak üzere, şekil 2.14’ de verilen tipik pürüzlülük profilleri incelenen süreksizlik yüzeyi ile karşılaştırılmak suretiyle pürüzlülük tanımlanır veya sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre profiller; basamaklı, dalgalı (ondüveli) ve düzlemsel şeklinde üç orta ölçek grubuna ayrılmakta ve ayrıca her grupta küçük ölçek bazında pürüzlü, düz ve kaygan şeklinde bir sınıflandırma yapılmaktadır (Ulusay ve Sönmez 2002). Ayrıca Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen bir diğer süreksizlik değerlendirme tablosu şekil 2.15’ de görülmektedir.



Şekil 2.14. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM 1981, Ulusay ve Sönmez 2002’ den)

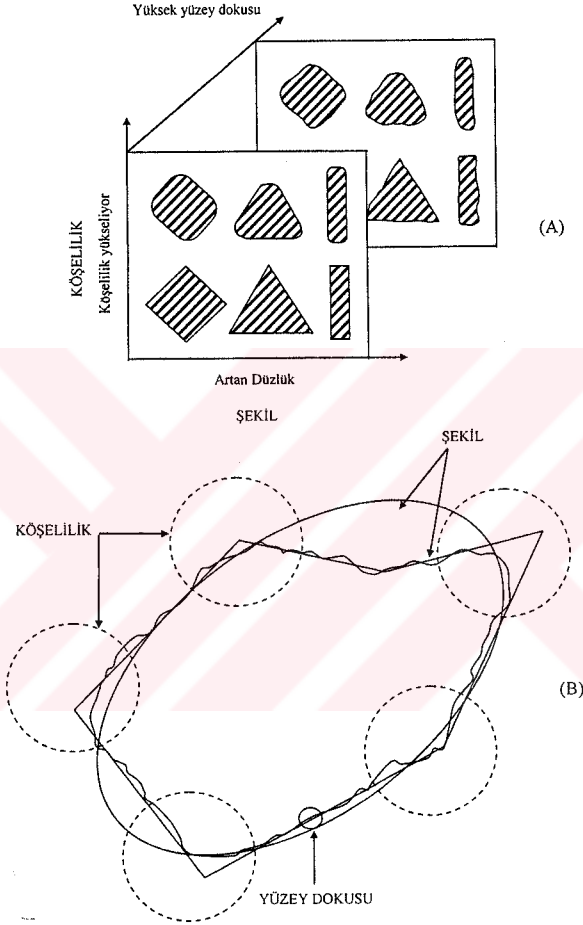


Şekil 2.15. Pürüzlü yüzeyler ve JRC değerleri (Barton ve Choubey 1977)
(JRC: Eklem pürüzlülük katsayısı)

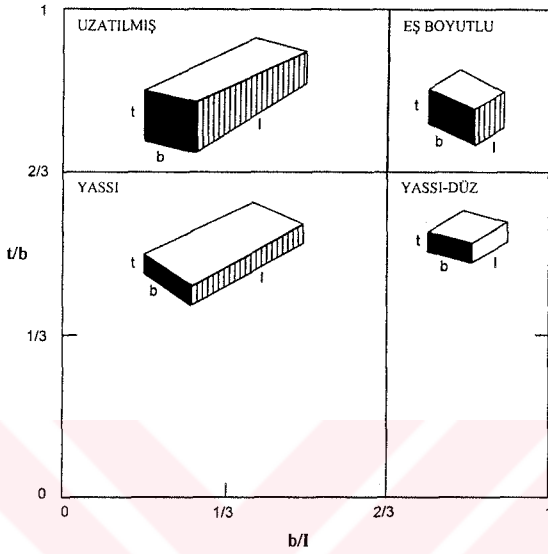
2.4. Kaya Agregalarında Şekil ve Pürüzlülük Tanımlamaları

Bir agreganın profili; şekli, köşeliliği ve yüzey dokusundan oluşmaktadır (şekil 2.16). Pettijohn (1957)' a göre, agreganın şekli; farklı doğrultularda ölçülen çapların göreceli farklılığını, köşelilik; profildeki kenar ve köşelerin göreceli keskinliğini ve yüzey dokusu ise; agrega yüzeyinin çizilebilirliğini ve yüzeydeki girinti-çıkıntıları ifade etmektedir. Agreganın şekli, şekil 2.17' dekine benzer kartlar yardımıyla belirlenmektedir. Agreganın köşeliliği (ρ), agreganın tüm köşelerinin ortalama yarıçapı ($r_{0.01}$) ile agreganın içine çizilen en büyük çemberin (şekil 2.18) çapı arasındaki orandan bulunmakta ve sınıflandırılmaktadır (Pettijohn 1957). Jeoteknik mühendisleri, şekil 2.17' yi ve çizelge 2.4' ü, kaya profillerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanmışlardır (MacIver 1967).

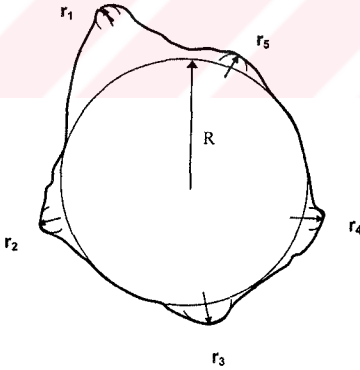
Çakılların köşeliliği BS 812 ve ASTM 2488’ de ele alınmakta ve tanımlamalar şekil 2.19’ da görülmektedir.



Şekil 2.16. Tane şeklinin (şekil, yuvarlaklık ve yüzey dokusu) basitleştirilmiş grafik gösterimi. (Barret 1980, Boggs 1995’ ten). Şeklin A kısmı bu parametreler arasındaki bağımsız ilişkiyi, B kısmı parametreler arasındaki hiyerarşik ilişkiyi göstermektedir



Şekil 2.17. Tane (granular) şekillerinin sınıflandırılması (Vallejo 1994)



Şekil 2.18. Köşelilik sınıflandırması için gerekli çapların belirlenmesi (Vallejo 1994)

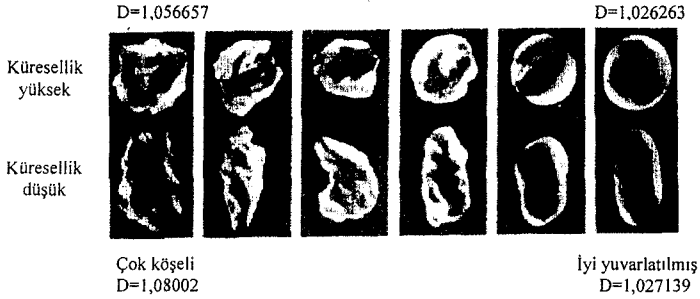
Çizelge 2.4. Köşelilik sınıflandırması (Vallejo 1994)

Sınıf	$p = (r_{ave}) / R$
Köşeli	0 – 0.15
Yarı köşeli	0.15 – 0.25
Yarı yuvarlak	0.25 – 0.40
Yuvarlak	0.40 – 0.60
Son derece yuvarlak	0.60 – 1.00

	YUVARLAK
	YARI YUVARLAK
	YARI KÖŞELİ
	KÖŞELİ

Şekil 2.19. İri zemin tanelerinin köşeliliği (Clayton vd 1995' ten)

Powers (1953)' in sedimenter taneler için, tanelerin görünümüne göre geliştirdiği yuvarlaklık skalası şekil 2.20' de görülmektedir.



Şekil 2.20. Sedimenter tanelerin yuvarlaklığı (Powers 1953, Boggs 1995' ten)

Günümüzdeki profil analizlerinde ise yeni bir model olan fraktal analiz kullanılmaktadır (Vallejo 1994).

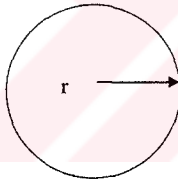
Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kaya agregalarının şekli ve yüzey pürüzlülüğü, iki sebepten dolayı deney sonuçları üzerinde etkili olmaktadır. Bunlardan birincisi, deneyde tamburun dönmesi sırasında agregaların birbirlerine ve tambura çarpmasıyla oluşan aşındırma gerilmelerinin, yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak agregaları daha fazla etkilemesi ve daha fazla parçalamasıdır.

Kaya parçası birikintileri (moloz) taşınırken, aşındırma güçleri kaya agregalarının profillerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Agregaların profilleri, moloz akmasının başlangıcında köşeli ve pürüzlü olabilmekte, taşınmayla birlikte yuvarlaştırılmış ve düzleştirilmiş hale gelmektedir (Gerber ve Schidegger 1974). Agregaların profillerinin şeklinde meydana gelen bu değişim, moloz kütesinin içsel direncine ve taşınabileceği mesafeye etki etmektedir (Scheidegger 1973). Morris (1959), yaptığı bir çalışmada kaya birikintisi içindeki agregaların profili ne kadar pürüzlü ise içsel sürtünmesinin de o kadar fazla olduğunu belirlemiştir (çizelge 2.5). Ayrıca pürüzlülüğünden dolayı oluşan köşeler ve kenarlar, deney sırasında agregaların birbirleriyle ve tamburla çarpışması sebebiyle daha fazla kaybın oluşmasına yol açmaktadır.

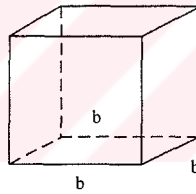
Agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık deneyi üzerindeki ikinci etkisi ise, pürüzlülük artışına bağlı olarak agreganın yüzey alanının artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Agregalar küresellikten uzaklaştıkça ve yüzeyleri pürüzlü hale geldikçe, deney sırasında suyla temas eden yüzey alanları artmakta, böylece deneyde kullanılan suyun agregayla etkileşimi de artmaktadır. Ağırlığın sabit olması sebebiyle aynı hacme sahip küre, üçgen prizma ve küp şeklinli numunelerin yüzey alanlarının birbirine göre durumları aşağıda matematiksel olarak incelenmektedir (şekil 2.21).

Çizelge 2.5. Agreg a profili ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki (Vallejo 1994)

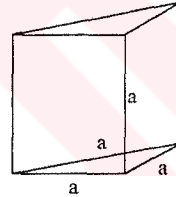
Kaya türü	Şekil	Köşelilik	Yüzey dokusu	İçsel sürtünme açısı (°)
Bazalt	Eş boyutlu değil	Yarı Yuvarlatılmış	Pürüzlü	51
Bazalt	Eş boyutlu değil	Yarı köseli	Pürüzlü	52
Bazalt	Eş boyutlu değil	Köseli	Çok pürüzlü	54
Pümis	Eş boyutlu değil	Yarı Yuvarlatılmış	Düz	49
Pümis	Eş boyutlu değil	Köseli	Pürüzlü	55



a. Küre



b. Küp



c. Üçgen prizma

Şekil 2.21. Yüzey alanı hesaplanan geometrik şekiller

Önce şekil 5.1' deki cisimleri hacimleri eşitlenir (aynı yoğunluğa sahip agreganın eşit hacimde eşit ağırlığa sahip olması için),

$$V_{\text{küre}} = 4,19r^3 \quad = \quad V_{\text{küp}} = b^3 \quad = \quad V_{\text{üçgen prizma}} = 0,43a^3$$

Her tarafın (2/3) kuvveti alınırsa (alanlar kare ifadesi olduğu için),

$2.6r^2 = b^2 = 0,57a^2$ olur. Tamamını b^2 cinsinden yazarsak:

$$r^2 = 0,38b^2 \text{ ve } a^2 = 1,75b^2 \text{ olur.}$$

Şekillerin yüzey alanları (A_y) aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır:

$$(A_y)_{\text{küre}} = 4\pi r^2, (A_y)_{\text{küp}} = 6b^2 \text{ ve } (A_y)_{\text{üçgen prizma}} = 3,87a^2$$

r^2 ve a^2 , yi, b^2 cinsinden yerine yazarsak, yüzey alanlarının;

$$(A_y)_{\text{küre}} = 4,83b^2 < (A_y)_{\text{küp}} = 6b^2 < (A_y)_{\text{üçgen prizma}} = 6,78b^2$$

değerlerini aldığı görülür.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı agrega yüzey pürüzlülüğü, ıslak kararlılık deneyi sonuçlarını bazen önemli ölçüde etkilemektedir.

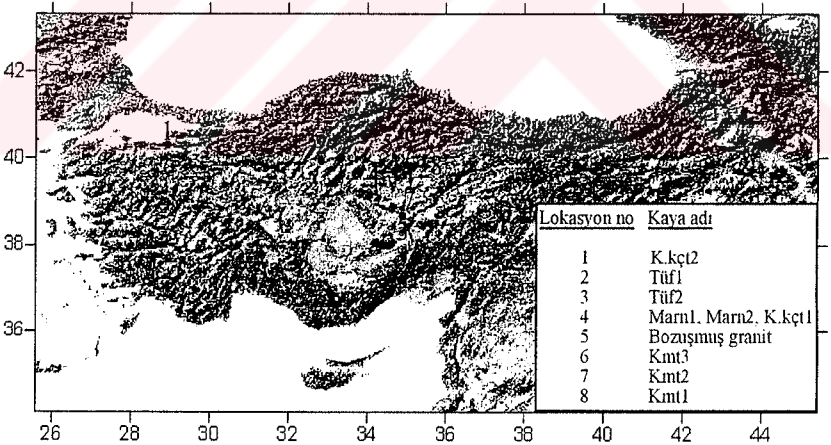
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyal

Bu çalışmada kullanılan materyal, kaya malzemeler ve deney gereçleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

3.1.1. Kaya malzemeler

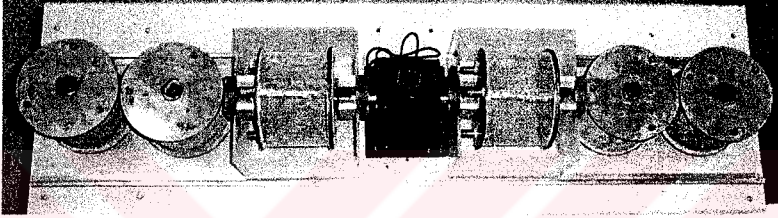
Bu çalışmada kullanılan kaya materyal, herhangi bir lokasyona bağlı olmaksızın seçilen, belirli miktarlarda kil içeren; killi kireçtaşı (k.kçt1, k.kçt2), marn (marn1, marn2), kumtaşı (kmt1, kmt2, kmt3), tuf (tüf1, tüf2) ve bozuşmuş granit türünden kayalardan oluşmaktadır. Örnek alımları sırasında hacmin bol ve kayacın da homojen olmasına özen gösterilmiştir. Kaya örnekleri, Türkiye' nin farklı bölgelerindeki, farklı amaçlar için oluşturulmuş şev yüzeylerinden alınmıştır (şekil 3.1).



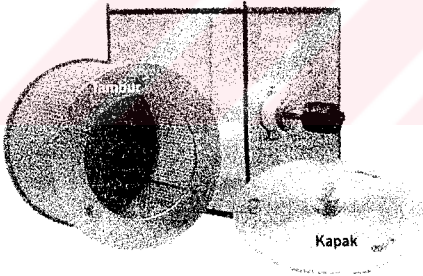
Şekil 3.1. Örnek lokasyon haritası

3.1.2. Deney gereçleri

Araştırmada kullanılacak deney gereçlerinin başında ıslak kararlılık deney düzeneği (şekil 3.2-3.3), 105 ± 5 °C sabit sıcaklık ayarlı fırın ve 0,01 g duyarlılığa sahip hassas terazi (şekil 3.4) gelmektedir.



Şekil 3.2. Islak kararlılık deney setinin üstten görünüşü

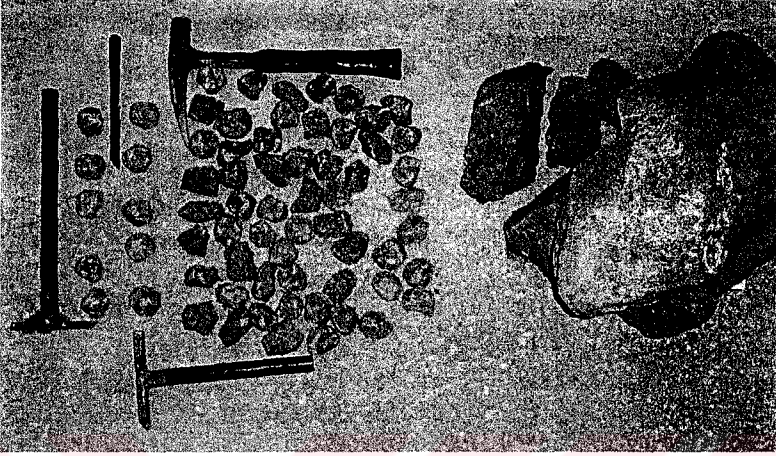


Şekil 3.3. Islak kararlılık deney tamburu ve fiber hazne



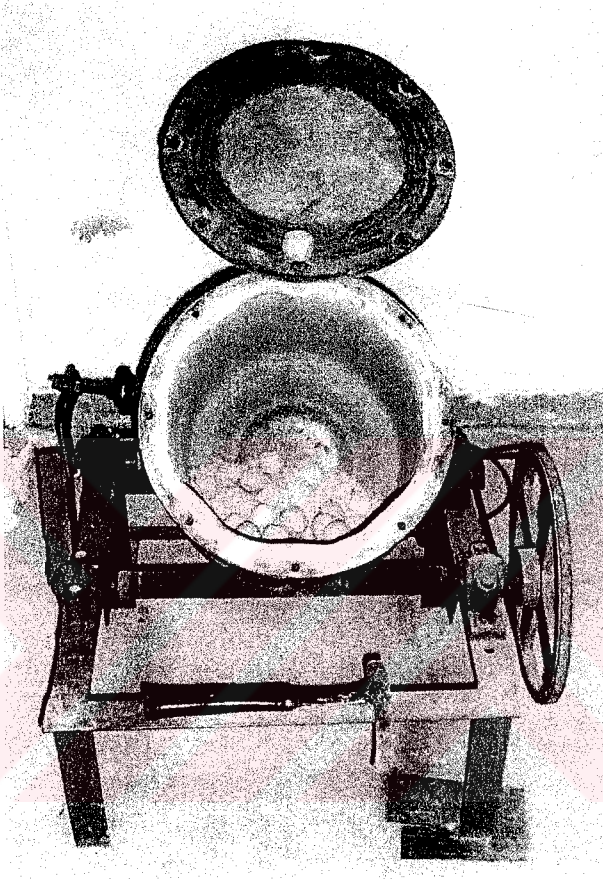
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan fırın ve elektronik terazi

Çalışmalarda kullanılan diğer cihazlar ise, deneye tabi tutulacak agregaların hazırlanmasında kullanılan aletler ve hazırlanan agregaların yüzey pürüzlülük özelliklerinin ortaya konulması sırasında kullanılan cihazlar olarak gruplandırılabilir. Deneye tabi tutulacak farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip agregalar laboratuvara getirilen blok numunelerden, jeolog çekici, ucu keskinleştirilmiş özel çekiçler, bıçak, zımpara (şekil 3.5) ve yüzey pürüzlülüğünü gidermeye yarayan aşındırma tamburu (şekil 3.6) ile hazırlanmaktadır.

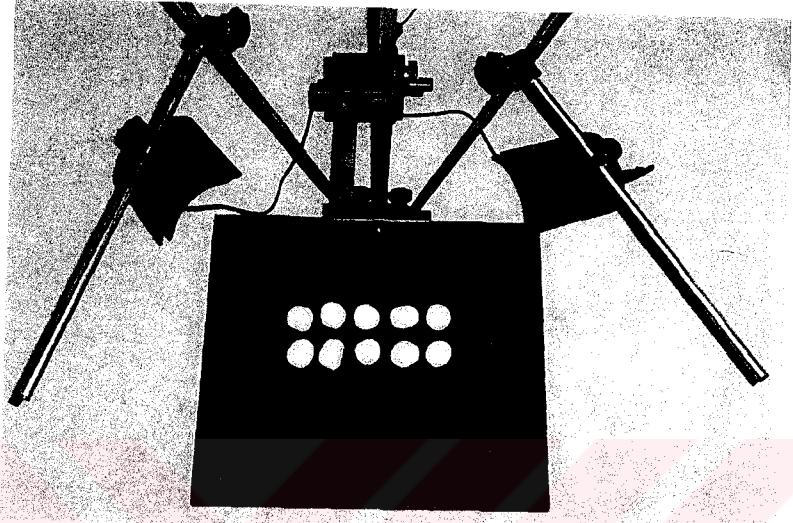


Şekil 3.5. Deneye tabi tutulacak agregaların hazırlanmasında kullanılan gereçler

Hazırlanan agregaların yüzey profilleri dijital fotoğraf makinesi ve fotoğraf çekme sehpası (şekil 3.7) ve tarayıcı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır (şekil 3.8).



Şekil 3.6. Deney agregalarının yüzey pürüzlülüğünü gidermek için kullanılan tambur



Şekil 3.7. Agregaların profillerini belirlemede kullanılan dijital fotoğraf makinesi ve fotoğraf çekme sehpası



Şekil 3.8. Agregaların profillerini belirlemede kullanılan tarayıcı ve bilgisayar

3.2. Yöntem

Kaya malzemelerin petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, MTA laboratuvarlarında ince kesitler ve XRD analizleri (PW-3710 model, Cu tüp) yapılmıştır. Deney örneklerinin jeolojik ve petrografik özellikleri altıncı bölümde sırasıyla anlatılmıştır. Ayrıca her gruptan dikdörtgen prizması şeklinde örnekler hazırlanmış ve bunlar üzerinde kuru yoğunluk ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır.

Agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksine etkisini belirleyebilmek için, marn, killi kireçtaşı, kumtaşı, tuf, bozuşmuş granitlerden, köşeli, az köşeli, yuvarlak yüzey pürüzlülüğüne sahip agregalar hazırlanmıştır.

Çalışmanın başlangıcında, Yozgat-Sarayköy marn sahasından getirilen bloklardan, farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip agregaların hazırlanması işlemi aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

- 1) Herbiri 40-60 gram ağırlığında, köşeli-yarı köşeli-yuvarlak yüzey pürüzlülüğüne sahip olacak şekilde jeolog çekici, ucu keskinleştirilmiş özel çekiçler ve bıçak yardımıyla hazırlanan numuneler (A grubu numuneler)
- 2) Herbiri 70-80 gram ağırlığında, yaklaşık küresel şekilli numuneler (B grubu numuneler)

Mamlardan hazırlanan A grubu numunelerin önce dijital fotoğraf makinesi ile resmi çekilerek ve tarayıcı ile taranarak kenar profilleri (çevreleri) elde edilmektedir. Dijital fotoğraf makinesi ile yapılan çekimlerde gölgelenme, flaş etkisi ve çözünürlük azlığı gibi olumsuz etkiler sonucu fotoğrafların kalitesinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca agregaların kenar profillerini belirlemek için dijital fotoğraf makinesi ile fotoğraf çekmek ve bilgisayar ortamına aktarmak, tarayıcıya göre daha zahmetli ve uzun süreli olmaktadır. Bu sebeple agregaların profillerinin belirlenmesinde ve bilgisayar ortamına aktarılmasında tarayıcının kullanılması tercih edilmiştir.

Bilgisayar ortamına tarayıcı yardımıyla aktarılan agrega fotoğrafları Adobe 6.01 programı yardımıyla süzgeçten geçirilerek agregaların kenar profilleri çizgisel olarak belirlenmektedir. Elde edilen bu profiller, Didger 2 (Golden Software 2000) programı yardımıyla, iki boyutlu olarak sayısallaştırılmakta ve her bir profil için bir dosya adı verilerek DAT uzantılı olarak kaydedilmektedir. Daha sonra her bir numunenin profiline ait fraktal boyut (Vallejo 1994, Turcotte 1992, Mandelbrot 1977), o numuneye ait DAT uzantılı veri dosyası kullanılarak Fraktal programı (Kayabalı 2002) ile belirlenmektedir. Çalışılan kaya grubuna ait köşeli, yarı köşeli ve yuvarlak gruplardaki agregaların fraktal boyut değerleri her agregaya bir etiket numarası verilerek fraktal boyutu kaydedilmektedir. Bir sonraki aşamada bu işlem çalışmada kullanılan diğer kaya türleri için de yapılmaktadır.

A grubu numunelerin fraktal boyutlandırma ve gruplandırması tamamlandıktan sonra herbir gruptan 10 adet numune ıslak kararlılık deneyine tabi tutulmaktadır. Daha sonra, o grup numune için ıslak kararlılık indisi % cinsinden tayin edilmektedir. Bu işlem önce aynı litolojiye sahip tüm pürüzlülük grupları için yapılmakta; sonrasında ise diğer bütün kaya grupları için bu işlemler tekrarlanmaktadır. Araştırmanın bu bölümünün son aşamasında kaya türlerinin farklı yüzey pürüzlülükleri (ve dolayısıyla fraktal boyutlarının) ile ıslanma-kuruma süreci sırasındaki ilişki ortaya konulmaktadır.

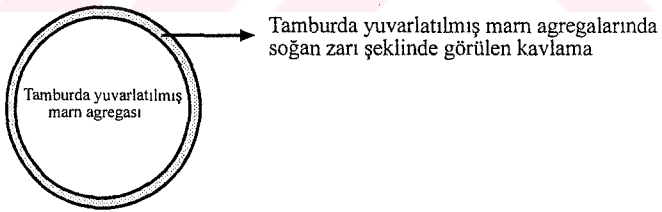
B grubu numuneler önce içinde silisyum karbür ve kuvars parçacıkları bulunan aşınma tamburu içinde yüzey aşınmasına tabi tutulmuştur. Aşındırma işlemi 60-80 gram ağırlığındaki numunelerin ağırlığını 40-60 grama indirene ve yüzey pürüzlülüğünü giderene kadar yapılmıştır (tamburun dönme süresi 2-7-24 saat olarak ayarlanmıştır). Bu aşamada tamburun dönme süresinin uzamasına bağlı olarak B grubu numunelerin yüzeyleri farklı derecelerde düzleşmiş; fraktal boyutları “1”e yaklaşmış bir şekle dönüşmüştür. Sonra her bir numunenin profilinin bilgisayar ortama aktarılması ve Fraktal boyutunun hesaplanması A grubu numunelerde anlatıldığı gibi yapılmıştır.

B grubu numunelerden 10’ar adet (fraktal boyutu birbirine yakın olan) alarak ıslak kararlılık deneyine tabi tutmak suretiyle yüzey pürüzlülüğü farklı derecelerde giderilmiş numunelerin ıslak kararlılık indeksleri tayin edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında değişik yüzey pürüzlülüğüne sahip marn agregalarından oluşan elle ve tamburla hazırlanmış deney numunelerinin ıslanma-kuruma-aşınmaya verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu ilk çalışmalar sonucunda aşındırma tamburu ile yüzey pürüzlülüğü giderilen agregaların ıslak kararlılık deneyinde kullanılmasıyla hatalı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebinin, agregaların tamburda yuvarlatılmaları sırasında yorulmaya uğramaları ve agregadan kopan özellikle kil boyu parçacıkların tekrar agrağa yüzeyine yapışarak bir yapışma zonu oluşturması olduğu anlaşılmıştır. Bu etkiyi daha iyi gözlemek için yüzeyi tamburda yuvarlatılan agregalar ile elde hazırlanan agregalar içi su dolu bir behere konulmuş ve davranışları incelenmiştir. Birkaç saatlik bir süre sonucunda tamburda yuvarlatılan agregalar neredeyse tamamen parçalanmış (ilk birkaç saniyede yüzeyleri dıştan itibaren bir soğan gibi kendiliğinden soyulmuştur) (şekil 3.9), elde hazırlanan numunelerde ise parçalanma daha az ve daha uzun sürede gerçekleşmektedir.

Bu çalışmalar sonucunda, agregaların yüzey pürüzlülüğünün öğütücü tambur yardımıyla değiştirilmesinden vazgeçilmiştir. Deney örnekleri, incelenecek kayalardan ucu keskinleştirilmiş özel çekiçler, bıçak ve zımpara yardımıyla elle hazırlanmıştır.



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü tamburla belirlenen agregada meydana gelen kil yapışma zonu

3.2.1. Fraktal analiz

Matematiğin bir kolu olan öklit geometrisi, noktaların, çizgilerin ve hacimlerin özellikleri ve ölçümleriyle ilgilidir. Örneğin topolojik boyutlar olarak da adlandırılan tam düz çizgi 1-Boyut, ideal düzlem 2-Boyut ve ideal küre 3-Boyut özellik göstermektedir. Öklit geometrisine göre, doğru çizgileri mükemmel doğru çizgileri ve eğriler de mükemmel bir dairenin yaylarıdır. Doğada bulunan dağlar, kıyıları, nehir sistemleri, bulutlar ve ağaçlar gibi obje ve şekillerin alışlagelmiş klasik öklit geometrisiyle tam olarak tanımlanamaması, fizik ve matematik alanında yeni fikir ve geometrik tanımlamaların gelişmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, fraktal geometri kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram öklit geometrisi ve rastgelelik arasındaki sınıra oturmaktadır (Haston 1996).

Fractal geometri kavramı ilk olarak Mandelbrot (1967) tarafından, doğada bulunan düzensiz şekillere sahip cisimlerin (metal yüzeyleri, ülke sınırları) geometrilerini tanımlamak amacıyla önerilmiştir. Mandelbrot (1967) tarafından latince “fractus” dan türetilen, düzensiz şekillerin geometrisini nicel olarak tanımlamak için kullanılan fraktal boyut (fractal dimension), kırılma ve parçalara ayırma anlamına gelmektedir (Mandelbrot 1983).

Benzerlik (self-similar) ve eşlenik (self-affine) yöntemler, fraktal boyutun (D) belirlenmesinde kullanılan önemli yöntemlerdir (Haston 1996). Power ve Tullis (1991), doğal süreksizlik profillerinin istatistiksel olarak benzerlik göstermesinden dolayı, fraktal boyut hesaplamalarında benzerlik yönteminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmektedir. Yaygın olarak kullanılan benzerlik yöntemleri bölme, geliştirilmiş bölme ve kutu yöntemleridir. Bu çalışmada agrega profillerinin fraktal boyutlarını belirlerken bölme yöntemini esas alan “fraktal programı” (Kayabalı 2002) kullanılmakta ve programın nasıl çalıştığı ileriki bölümde anlatılmaktadır.

Fraktal boyut ilk olarak sahil kıyısının uzunluğunun belirlenmesi çalışmalarında kullanılmıştır (Mandelbrot 1967). Sahil uzunluğu cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Uzun ve kısa olmak üzere iki tür cetvel kullanılmış, kısa cetvel ile yapılan ölçümlerin daha

sağlıklı olduğu belirlenmiştir. Bölenler bir mesafe (y = bölen aralık mesafesi) ile birbirinden ayrılmış ve kıyı şeridi boyunca tekrarlanmıştır. Kıyı şeridinin bitimine kadar olan aralık sayısı, N ile, kıyı şeridi uzunluğu ise L ile tanımlanmıştır. Aralarındaki bağıntı ise aşağıdaki eşitlik ile gösterilmiştir (Ünal 2000).

$$L = Ny$$

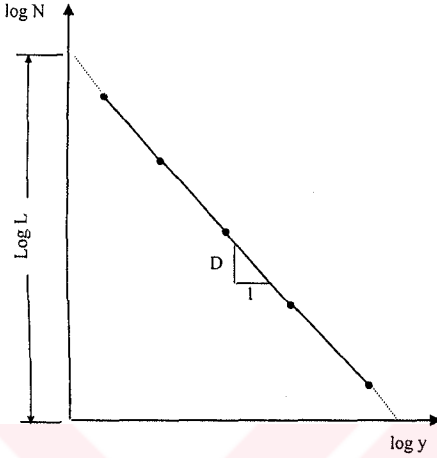
Bölen aralık uzunluğunun değişimine bağlı olarak kıyı şeridinin çevre uzunluğu da değişebilmektedir. Çünkü kıyı şeridi fraktal özellik göstermektedir. Eğer kıyı şeridi şekli bir öklit şekli yani bir kare şekli olsaydı, kıyı şeridinin çevre uzunluğu tüm bölen aralık mesafeleri (y) için sabit olacaktı. Böyle olmadığı için de kıyı şeridinin uzunluğu sabit kabul edilmemiştir. Bu konuda yapılan çalışmada (Mandelbrot 1983), bölen aralıklarının sayısının (N) logaritması ile bölen aralık mesafesinin (y) logaritması arasında çizilen grafikten sabit bir eğimin elde edilebileceği gösterilmiştir. Eğimin D (Hausdorff ve Besicovitch boyutu) olarak tanımlandığı örnek şekil 3.10' da görülmektedir. Bu grafikten geliştirilen N ve y arasındaki sabit bağıntı aşağıda gösterilmiştir (Mandelbrot 1983).

$$L = Ny^D$$

Bu eşitlik Carr ve Warrnier (1987) tarafından aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

$$\text{Log}N = \text{log}L - D\text{log}y$$

Herhangi bir öklit şeklinde, örneğin karede, D boyutu $1'$ e eşit kabul edilmiştir. Bu koşul $L = Ny^D$ eşitliğinde sağlanmaktadır. Herhangi bir doğal şekilde, kıyı şeridi örneğinde olduğu gibi, D değeri $1'$ den $2'$ ye artarak değişmektedir. Özetle, herhangi bir şeklin D boyutu, o şeklin öklit boyutu üzerinde bir değere sahip ise ($1'$ den büyük), bu şekil fraktal olarak tanımlanmaktadır (Ünal 2000).

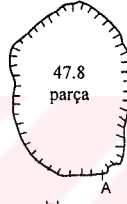


Şekil 3.10. Hausdorf ve Besicovitch grafiği (Mandelbrot 1983)

Fraktal boyut kavramı, Vallejo (1994) tarafından ıslak kararlılık deneyine tabi tutulan numunelerin deney öncesi ve 2. çevrim sonrası profil özelliklerini belirlemek, böylece aradaki değişimi ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3.11’ deki kaya azeragasına ait profilin fraktal boyutunun (D) belirlenmesi için planlı yürüyüş tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.11’ deki agreganın profiline ait çevre uzunluğunun (L) ölçmek için, kumpasın sivri uçları belirli r mesafelerinde açılmakta ve profil üzerinde poligon yaratmak üzere kumpas hareket ettirilmektedir. Çoğunlukla bu hareketi tamamlamak için küçük basamaklar gerekmektedir. Bu basamaklar (N) eklenerek toplam sayısı belirlenir. Agreganın çevre uzunluğu (L) da aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır. (Vallejo 1994).

$$L = rN$$

Çizelge 3.1, şekil 3.11’ deki profile ait, dört farklı parça uzunluğu kullanılarak elde edilen çevre uzunluklarını göstermektedir.



Şekil 3.11. Agrega profilinin fraktal boyutunun planlı yürüyüş tekniğiyle belirlenmesi (Vallejo 1994)

Mandelbrot (1977) ve Turcotte (1992)' ye göre; parçaların sayısı (N) ile, parçaların uzunlukları (r) arasında logaritmik olarak çizgisel bir ilişki varsa, agreganın bu profili fraktal profil özelliği göstermektedir. r ve N arasındaki ters eğimli doğrusal ilişkinin mutlak değeri, profilin fraktal boyutunu (D) sunar. D , profilin köşeliliğinin veya pürüzlülüğünün bir ölçüsüdür (Vallejo 1994). Çizelge 3.2' de ve şekil 3.12-3.13' de ıslak kararlılık deneyinde kullanılan bazı agregalara ait fraktal boyut değerleri görülmektedir (Vallejo 1994).

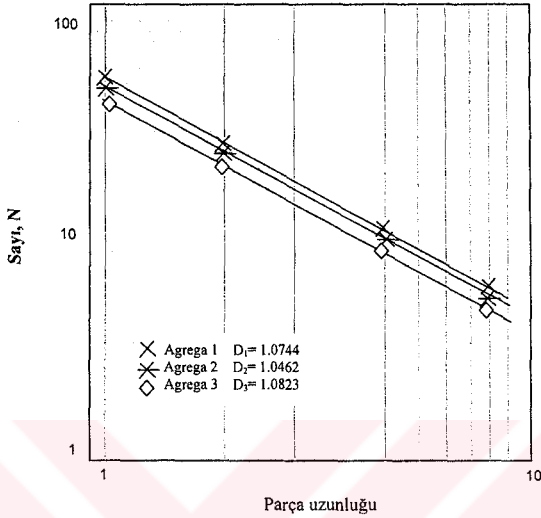
Çizelge 3.1. Şekil 3.11' deki profile ait uzunluk ve fraktal boyut değeri (Vallejo 1994)

Parça Uzunluğu, r (mm)	Parça Sayısı (N)	Profil Uzunluğu $L = N_r$ (mm)	Korelasyon Katsayısı (R)	Fraktal Boyut D
1	47.8	47.8	0.9995	1.0462
2	22.5	45.0		
3	11.2	44.8		
4	5.5	44.0		

Sonuç olarak, bir çok çalışmada fraktal boyut değerlerinin 1 ile 2 arasında değiştiği ve bu değerlerin doğal yüzeylerde genellikle 1 ile 1,5 arasında seyrettiği ifade edilmektedir (Ünal 2000).



Şekil 3.12. Islak kararlılık deneyinde kullanılan üç agregaya ait profiller (Vallejo 1994)



Şekil 3.13. Şekil 3.12' deki profillere ait fraktal boyut değerleri (Vallejo 1994)

Çizelge 3.2. Şekil 3.12' deki profillerin fraktal boyutunun hesaplanmasında kullanılan değerler (Vallejo 1994)

Agrega no	Parça Uzunluğu (mm)	Parça Sayısı (N)	Korelasyon katsayısı (R)	Fraktal boyut* (D)	Fraktal boyutlardaki standart sapma
1	1	54.3	0.9996	1.0744	0.0205
	2	24.6			
	4	12.4			
	8	5.7			
2	1	47.8	0.9995	1.0462	0.0234
	2	22.5			
	4	11.2			
	8	5.5			
3	1	42.5	0.9997	1.0823	0.0189
	2	19.1			
	4	9.5			
	8	4.4			

3.2.2. Fraktal programı (Kayabalı 2002)

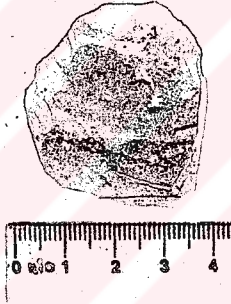
Bu çalışmada, ıslak kararlılık deneyine tabi tutulan kaya agregalarının yüzeylerine ait fraktal boyut değerleri, Kayabalı (2002) tarafından yazılan Fraktal programı kullanılarak hesaplanmaktadır. Fraktal boyutun belirlenmesi sırasında yapılan işlemlerin detayları aşağıdaki gibidir.

Çalışmanın başlangıcında, araziden getirilen kaya bloklarında kırılarak elde edilen 40-60 gr ağırlığındaki agregaya ait profiller tarayıcı (scanner) yardımıyla bilgisayar ortamına JPEG uzantılı olarak kaydedilmektedir (şekil 3.14). Tarayıcı ile elde edilen bir profil agrega yüzeyini iki boyutta ifade etmektedir. Gerçekte ise agregalar üç boyutludur. Dolayısı ile bir agregaya ait yüzeyin fraktal boyutunu üç boyutlu olarak ifade etmek için, agreganın farklı yüzeyleri (birden fazla) taranmış ve her yüzeyin fraktal boyutu hesaplanmıştır.

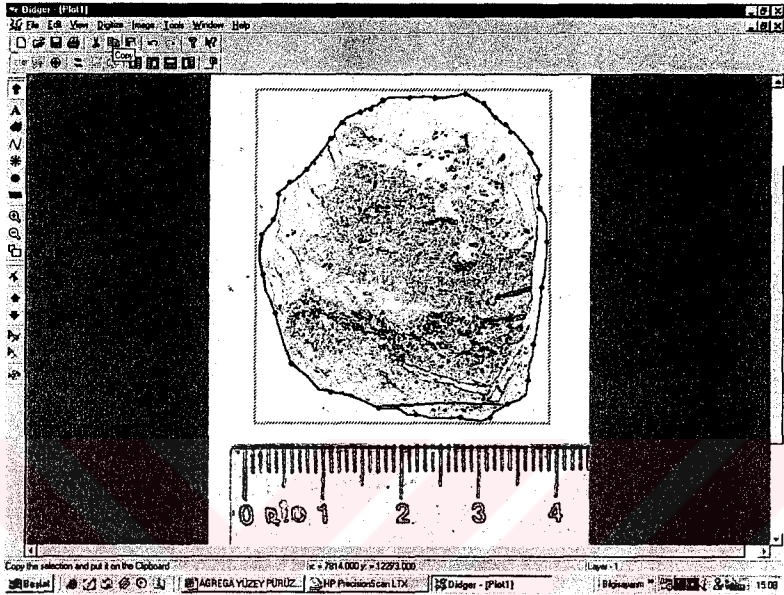
Bilgisayar ortamına JPEG dosyası olarak aktarılan agrega profilinin sınırları, Adobe Photoshop programı yardımıyla belirgin hale getirilmekte ve tekrar aynı isimle kaydedilmektedir (şekil 3.15). Sınırları belirginleştirilen agrega profiline ait JPEG dosyası Didger programıyla açılmakta ve sayısallaştırma çubuğu ile profil üzerinden gidilerek, profil poligon şeklinde sayısallaştırılmaktadır. Didger programı sayısallaştırma sırasında, profil üzerindeki noktaların koordinatlarını (x,y) otomatik olarak belirlemektedir (şekil 3.16). Daha sonra bu koordinatlar ilgili profilin rumuzu dosya adı olacak şekilde (Örneğin; M11.dat: 1 nolu marn agregasının 1. profiline ait koordinatlar gibi), DAT uzantılı olarak kaydedilmektedir (çizelge 3.3). Son olarak oluşturulan bu dosyadaki veriler kullanılarak, ilgili profile ait fraktal boyut Fraktal programı yardımıyla hesaplanmakta ve ilgili çizelgelere kaydedilmektedir.



Şekil 3.14. M1 nolu marn agregasının 1. profili (M11.jpg)



Şekil 3.15. M1 nolu marn agregasının Adobe Photoshop programı ile belirginleştirilmiş 1. profili (M11.jpg)



Şekil 3.16. Didger 2 programı ile agrega profilinin sayısallaştırılması

Fraktal programının çalışma yöntemi ise şu şekildedir:

- Program, fraktal boyutu hesaplanacak kapalı alanı oluşturan X ve Y koordinatlarını data dosyasından okumakta ve bu noktalar arasında profiller oluşturmaktadır.
- Önce bu profillerin herbirinin uzunluklarını hesaplayarak toplam profil uzunluğunu belirlemektedir.
- Sonra toplam profil uzunluğunu sırasıyla 10, 20, 30, 40 ve 50' ye bölerek planlı yürüyüş tekniğinin uygulanacağı parça (segment) uzunluklarını belirlemektedir.

- Herbir profil, program tarafından 0,1 mm uzunluğundaki parçalara bölünmekte ve bölümle oluşan noktalara koordinatlar verilmektedir.
- Bir sonraki adımda, 5 parça boyunun herbirine karşılık gelen parça sayıları ayrı ayrı hesaplanmaktadır.
- Ayrıca parçaların kapalı alanı çevreleyen profilleri kestiği noktaların koordinatları da belirlenmektedir.
- Program en son adımda ise, en küçük kareler yöntemiyle fraktal boyutu hesaplamaktadır.
- Hesaplamalardan elde edilen sayılar, kullanıcıya kontrol imkanı sunmak için çıktı dosyasına yazdırılmaktadır.
- Ekranı ise sadece toplam profil uzunluğu, parça boyları ve bunlara karşılık gelen parça sayıları ile birlikte son olarak fraktal boyut yazdırılır (çizelge 3.4).

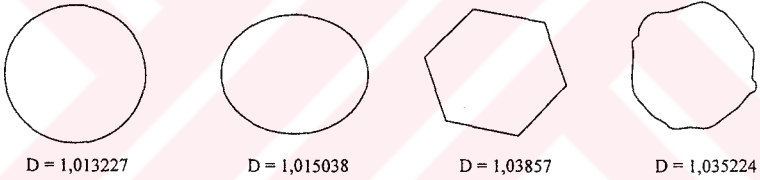
Çizelge 3.3. M1 nolu numunenin 1. profiline ait koordinat değerleri

X	Y	X	Y
4658,00	8749,00	10174,00	10687,00
4673,00	8933,00	10266,00	10587,00
4704,00	9124,00	10296,00	10465,00
4704,00	9216,00	10319,00	10327,00
4895,00	9438,00	10273,00	10082,00
4995,00	9622,00	10296,00	9829,00
5049,00	9798,00	10442,00	9553,00
5049,00	9990,00	10465,00	9346,00
5140,00	10112,00	10480,00	9139,00
5271,00	10250,00	10480,00	8887,00
5508,00	10396,00	10449,00	8672,00
5815,00	10733,00	10342,00	7868,00
5930,00	10917,00	10281,00	7523,00
6044,00	11085,00	10250,00	7240,00
6136,00	11162,00	10212,00	7025,00
6167,00	11300,00	10212,00	6826,00
6297,00	11438,00	10128,00	6558,00
6382,00	11507,00	10059,00	5998,00
6619,00	11622,00	9729,00	5707,00
6726,00	11622,00	9530,00	5577,00
6795,00	11713,00	9377,00	5478,00
6918,00	11713,00	9185,00	5478,00
6964,00	11790,00	8971,00	5501,00
7025,00	11782,00	8779,00	5539,00
7171,00	11913,00	8312,00	5539,00
7722,00	11928,00	7806,00	5562,00
8059,00	11951,00	7607,00	5654,00
8166,00	11951,00	7423,00	5746,00
8396,00	11905,00	7017,00	5815,00
8618,00	11974,00	6818,00	5930,00
8825,00	11997,00	6366,00	6044,00
9078,00	11905,00	5907,00	6136,00
9193,00	11813,00	5830,00	6198,00
9323,00	11614,00	5554,00	6458,00
9438,00	11514,00	5317,00	6642,00
9530,00	11430,00	5163,00	7079,00
9538,00	11392,00	5049,00	7454,00
9645,00	11376,00	4934,00	7783,00
9691,00	11307,00	4842,00	8021,00
9714,00	11246,00	4773,00	8136,00
9791,00	11231,00	4773,00	8335,00
9875,00	11154,00	4719,00	8565,00
10005,00	10986,00	4650,00	8687,00
10097,00	10871,00	4658,00	8749,00

Çizelge 3.4. Fraktal programıyla yapılan hesaplamalar ve fraktal boyut değeri

TOPLAM PROFİL UZUNLUĞU = 512.265100 mm			
SEG. UZ (mm)	=	51	SEG. SAYISI = 9.562486
SEG. UZ (mm)	=	25	SEG. SAYISI = 19.907280
SEG. UZ (mm)	=	17	SEG. SAYISI = 29.512620
SEG. UZ (mm)	=	12	SEG. SAYISI = 42.076540
SEG. UZ (mm)	=	10	SEG. SAYISI = 50.712300
FRAKTAL BOYUT = 1.023634			

Çalışmanın başlangıcında, çember, elips ve altıgen gibi profillerin fraktal boyutları yukarıda anlatılan yöntemler yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar $D_{(Daire)}=1,013227$, $D_{(Elips)}=1,015038$, $D_{(Altıgen)}=1,03870$; $D_{(Daire)} < D_{(Elips)} < D_{(Altıgen)}$ olarak bulunmuştur (şekil 3.17) . Bu sonuçlar “Fraktal” programının çalışma mantığının doğru olduğunu ortaya koymaktadır. Fraktal programının kod dosyası ek-1’ de verilmektedir.



Şekil 3.17. Fraktal programı ile fraktal boyutu (D) belirlenen profiller

Ayrıca şekil 2.20’ deki bazı tanelerin Fraktal programı ile hesaplanan fraktal boyut değerleri (D) yanlarında verilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayaların mineralojik ve dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, MTA laboratuvarlarında 15 adet ince kesit ve 11 adet XRD analizi (PW-3710 model, Cu tüp) yapılmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada kullanılan kayalardan prizmatik deney örnekleri hazırlanmış, ve bu prizmatik örneklerin;

- kuru yoğunluğu
- nokta yükü dayanım indeksi

ISRM (1981) ve ISRM (1985) standartlarına göre belirlenmiştir.

-Kuru yoğunluk tayini deneyi:

Amaç:

Bu deney düzenli bir geometriye sahip prizmatik kaya örneklerinin kütsel (gözenekler de dahil) yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini için yapılır.

Araç-Gereç:

- Fırın ($105\pm 3^{\circ}\text{C}$ kapasiteli)
- Desikatör
- Hassas terazi (0,01 g duyarlılıkta)
- Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)

Yöntem:

- a. Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış en az 3 adet deney örneğinin, üç yöndeki kalınlıkları kompasla ikişer kez ölçülerek ortalamaları alınır.
- b. Prizmatik örnekler için üç ayrı yönde ölçülmüş uzunluk değerleri kullanılarak örneklerin hacimleri (V) hesaplanır.
- c. Kuru yoğunluğu belirlemek için, örnekler 105°C' ye ayarlanmış fırında ve en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilir. Daha sonra hassas terazide tartılarak örneklerin kuru kütlesi (M_d) belirlenir.

Hesaplama:

Tayin edilen V ve M_d esas alınarak, her örneğin kuru yoğunluğu (ρ_d) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\text{Kuru yoğunluk (g/cm}^3\text{)}, \rho_d = M_d/V$$

-Nokta yükü dayanım indeksi deneyi:

Amaç:

Bu deney, kayaların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yükü dayanım indeksinin tayini amacıyla yapılır.

Araç-Gereç:

- a. Standart nokta yükleme aleti
- b. Kompas (0,1 mm duyarlılıkta)

Yöntem:

Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanısıra, blok ve düzensiz örnekler de kullanılabilir. Aşağıda bu çalışmada kullanılan blok ve düzensiz örneklerle ilgili yöntem anlatılmıştır.

- a. 50 ± 35 mm boyutundaki blok ve düzensiz şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0,3 ile 1 arasında, tercihen 1'e yakın, konik uçların temas noktası ile en yakın serbest uç arasındaki mesafeyi tanımlayan M mesafesi ise, en az 0,5 D olmalıdır. Bu örneklerin eş değer çaplarının yaklaşık 50 mm olması tercih edilir.
- b. Kaya örneklerinin heterojen ve anizotrop olması koşulunda en az 10 örnek kullanılarak deney yapılmalıdır.
- c. Örnek konik başlıkların arasına yerleştirilir. Yükleme yönüne dik konumdaki en küçük örnek genişliği $L \pm \%5$ duyarlılıkla, konik başlıkların örnekle olan temas noktaları arasındaki D mesafesi aletin gövdesindeki metal cetvel kullanılarak, $\pm \%2$ duyarlılıkla ölçülür. Örneğin kenarları birbirine paralel değilse, L uzunluğu, $L = (L_1 + L_2)/2$ eşitliğinden belirlenir.
- d. Örnek 10-60 saniye arasında kırılacak yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P) forma kaydedilir.

Hesaplamalar:

- a. Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa),
 $I_s = P/D_e^2$, eşitliğinden hesaplanır. Burada P yenilme yükü, De eş değer karot çapı olup, Blok ve düzensiz örneklerde $D_e^2 = 4A/\pi$, ($A = L \times D$, konik başlıkların temas noktasından geçen örneğin en küçük kesit alanı)

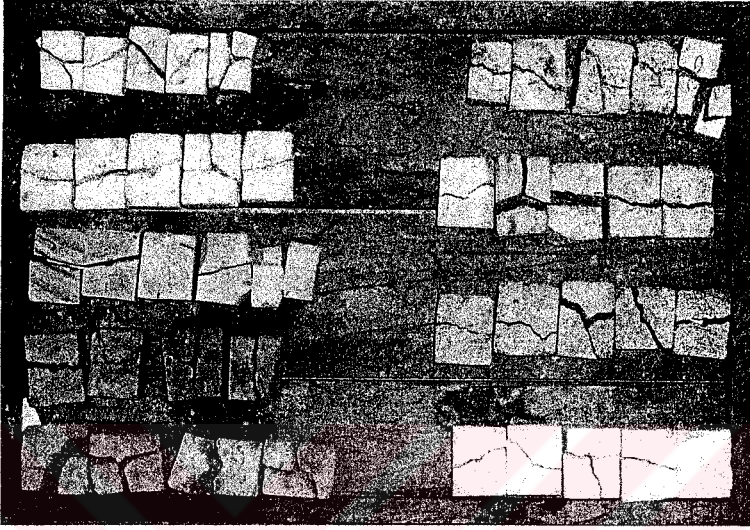
b. Boyut düzeltmesi,

Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)} = FxI_s$ eşitliğinden elde edilir. Boyut düzeltme faktörü (F), $F = (D_e/50)^{0,45}$ eşitliğinden hesaplanır. D_e ' nin birimi milimetredir.

Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayalardan kuru yoğunluk tayini için 5, nokta yükü dayanım indeksi deneyi için 10 adet prizmatik örnek hazırlanmıştır. Deney sonuçları çizelge 4.1' de verilmiştir. Şekil 4.1' de ise, prizmatik örneklerin nokta yükleme deneyinde, yenilmeden sonraki durumları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayaların kuru yoğunluk ve nokta yükü değerleri

Kaya türü	Kuru yoğunluk (ρ_d) (g/cm ³)			Nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) Mpa		
	En büyük	En küçük	Ortalama	En büyük	En küçük	Ortalama
Kmt2	2,06	1,085	2,01	3,28	1,72	2,41
Kmt1	2,72	2,47	2,6	5,43	3,75	4,54
Marn1	2,20	1,87	2,02	3,85	2,19	3,21
Tüf2 (Göreme)	1,45	1,30	1,40	1,67	1,38	1,51
Tüf1 (Ankara)	2,09	1,96	2,05	1,26	0,99	1,08
Bozuşmuş granit	2,88	2,61	2,71	4,11	1,95	3,34
Kmt3	2,64	2,21	2,37	4,43	3,16	3,57
K. kçt1 (Yozgat)	2,30	2,23	2,27	5,11	3,72	4,69
K. kçt2 (Bursa)	2,31	2,10	2,24	4,54	2,03	3,42
Marn2	2,15	1,80	1,95	3,70	1,97	2,87



Şekil 4.1. Prizmatik örneklerin nokta yükleme deneyi sonundaki durumları

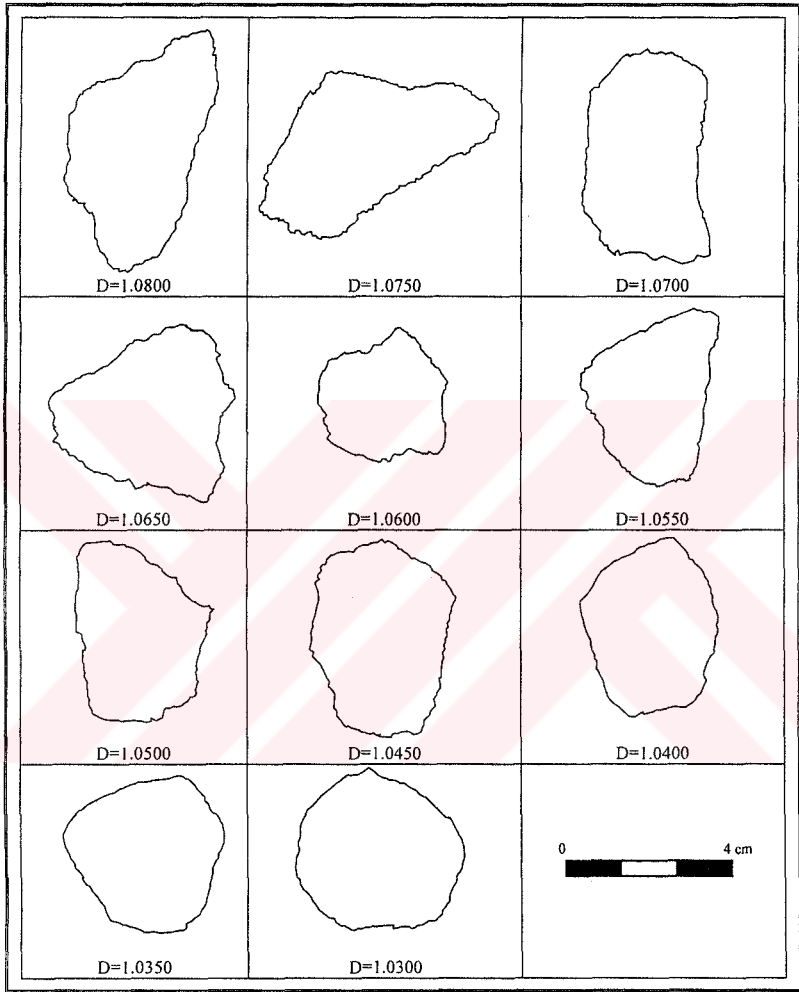
Islak kararlılık deneyinin uygulandığı her kaya türünden köşeli (K1-K2), yarı köşeli (Yk1, Yk2) ve yuvarlak (Y1, Y2) yüzey özelliklerine sahip agregaların oluşturduğu altışar grup hazırlanmıştır. Hazırlanan bu agregaların yüzey profilleri yaklaşık 400 tarama işlemiyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Agregaların yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi işlemleri, tüm kaya gruplarındaki her agregaya için (1000' e yakın agregaya, 4000' e yakın profil) aynı şekilde ve ayrı ayrı yapılmıştır. Agregaların yüzey profillerini belirlemek için yaklaşık 250 bin koordinat noktası konulmuştur. Bir kaya grubundan önce, 40-60 gram ağırlığında, köşeli, yarı köşeli ve yuvarlatılmış (her gruptan en az 30 adet) agregalar hazırlanmıştır. Bu agregalardan her köşelilik grubu için 20' şer adet seçilerek iki grup oluşturulmuştur (K1-K2, Yk1-Yk2, Y1-Y2). Oluşturulan bu her alt gruptaki 10 adet agreganın 4 profilinin fraktal boyutu belirlenmiştir.

Bu işlem oldukça zor ve zaman alıcı bir yöntemdir. Bu işlemi kolaylaştırmak için, ıslak kararlılık deneyine tabi tutulacak agregaların muhtemel profillerini ve bu profillerin planlı yürüyüş tekniğini esas alan Fraktal programı ile hesaplanan fraktal boyut

değerlerinin gösteren şekil oluşturulmuştur (şekil 4.2). Gelecekte agrega yüzey pürüzlülüğünün de dikkate alındığı ıslak kararlılık deneyi çalışmalarında, agregaların pürüzlülükleri ve fraktal boyut değerleri bu çizelgedeki profiller ve fraktal boyut değerleri ile eşlenerek daha kolay ve kısa sürede belirlenebilecektir.

Aşağıdaki şekillerde fotoğrafları ve profilleri görülen her agrega kendisine ait bir numarayla tanımlanmıştır. Örneğin K1 grubunda 11: bir numaralı agreganın birinci profilini, 12: bir numaralı agreganın ikinci profilini, 13: bir numaralı agreganın ikinci profilini, 14: bir numaralı agreganın dördüncü profilini ifade etmektedir. Yani her agreganın altındaki iki haneli numaranın ilk hanesi agreganın grup içindeki numarasını, ikinci hanesi de o agreganın profil numarasını göstermektedir.

Her kaya grubuna ait sonuçlar aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir. Çalışmada şekil sayısındaki fazlalığı azaltmak için, bir grup kayada (Kumtaş 1, Kmt1) yapılan bütün işlemler şekilleriyle birlikte verilmiş, diğer gruptaki agregaların profillerini ifade eden .DAT uzantılı dosyalar ve çalışmada kullanılan programlar ise ekteki CD' ye konmuştur. Ayrıca CD içerisinde çalışmanın nasıl yapılacağını yönlendiren bir Ms Office WORD dosyası oluşturulmuştur.

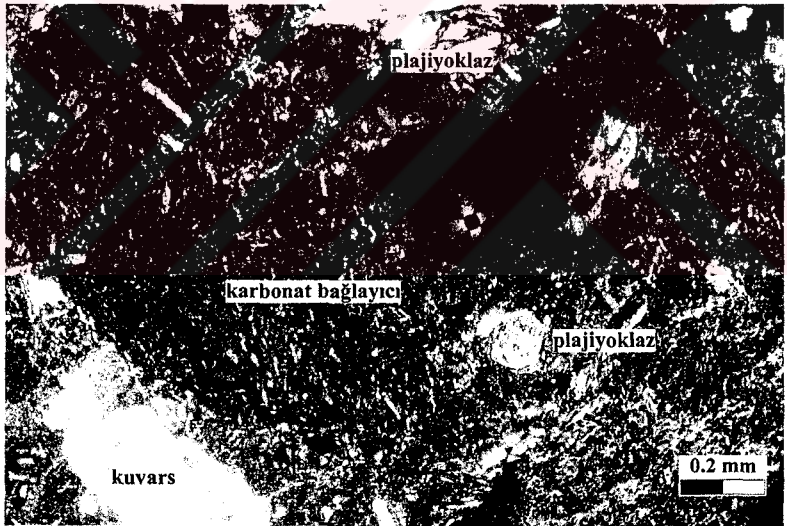


Şekil 4.2. Bazı agregaların profilleri ve fraktal boyut (D) değerleri

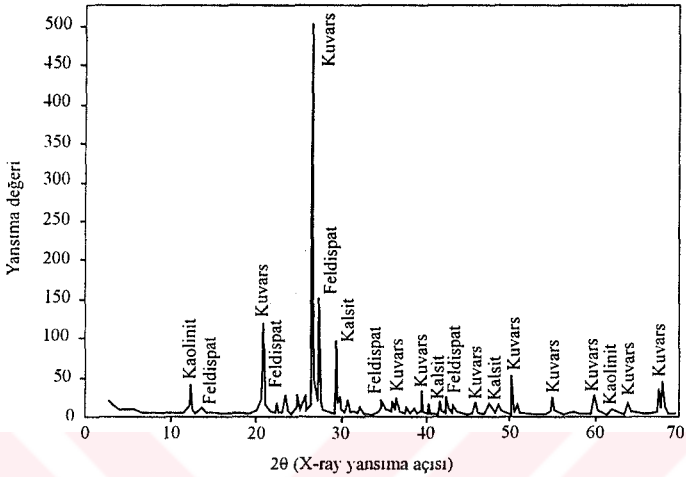
4.1. Kumtaşı 1 (Kmt1)

Marn1, marn2, k.kçt1, kmt1, kmt2 ve kmt3 grubu kayaların alındığı Yerköy-Çiçekdağı Tersiyer havzasında, kristalin masif üzerine gelen Eosen yaşlı sedimentler birimler; çakıltası, kumtaşı, marn, kıltaşı, jips türünden olup, kısmen denizel kısmen de gölsel karakterlidir (Ketin, 1955).

Kmt1, kmt2 ve kmt3 grubu kayalar Yozgat-Sorgun arasında kalan bölgeden alınmıştır. Beyaz-gri renkli, orta büyüklükte tane boyuna sahip kumtaşı 1 (kmt1) kayacının ince kesiti ve XRD difraktogramı incelendiğinde kuvars, feldispat, kalsit ve kil minerallerini içerdiği, bağlayıcısının karbonat olduğu görülmüş (şekil 4.3-4.4) ve arkoz arenit olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.3. Kumtaşı 1 (kmt1)' in çift nikol mikrofotografı



Şekil 4.4. Kumtaşı 1 (kmt1)' in XRD difraktogramı

Kumtaşı 1 grubuna ait K1 grubu agregalar şekil 4.5' te, K2 grubu agregalar şekil 4.10' da, Yk1 grubu agregalar şekil 4.15' de, Yk2 grubu agregalar şekil 4.20' de, Y1 grubu agregalar şekil 4.25' de ve Y2 grubu agregalar da şekil 4.30' da görülmektedir. Kmt1 kayacında ıslak kararlılık deneyi sonuçları çizelge 4.2' de verilmiştir (Bu bölümde ıslak kararlılık deney sonuçları çizelgeler halinde verilmiştir. Çizelgelerdeki sonuçların değerlendirilmesi ise yedinci bölümde yapılmıştır).

Çizelge 4.2. Kmt1' de gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağ. (g)		Islak Kararlılık İndeksi (%)			
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)	D	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D
Y1	1	2164,4	2142,68	2129,69	2118,95	2109,12	1634,03	95,90	93,46	91,43	89,58	1,03243
Y2	2	2162,45	2133,21	2114,18	2098,43	2084,49	1618,19	94,63	91,13	88,24	85,68	1,02985
Yk1	3	2172,12	2141,28	2123,47	2104,72	2088,21	1655,73	94,03	90,58	86,95	83,75	1,03681
Yk2	4	2162,21	2130,28	2112,01	2096,72	2083,7	1640,99	93,87	90,37	87,44	84,94	1,03651
K1	5	2149,21	2105,6	2079,64	2058,31	2039,58	1648,85	91,28	86,10	81,83	78,09	1,04374
K2	6	2167,5	2115	2080,48	2053,49	2027,08	1647,34	89,91	83,27	78,08	73,00	1,04193

K1 grubu agregaların Adobe Photoshop programıyla belirginleştirilmiş profilleri şekil 4.5-4.8' de,

K2 grubu agregalara ait profiller şekil 4.11-4.14' de,

Yk1 grubu agregalara ait profiller şekil 4.16-4.19' da,

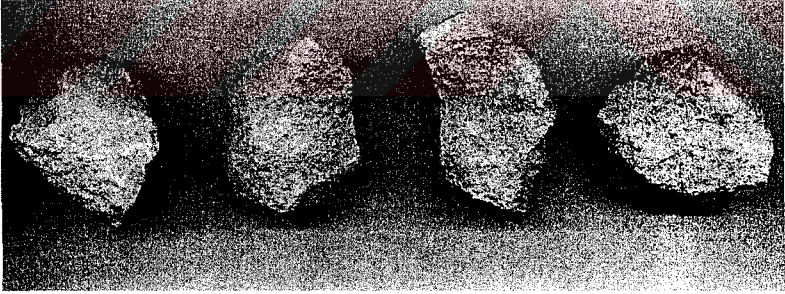
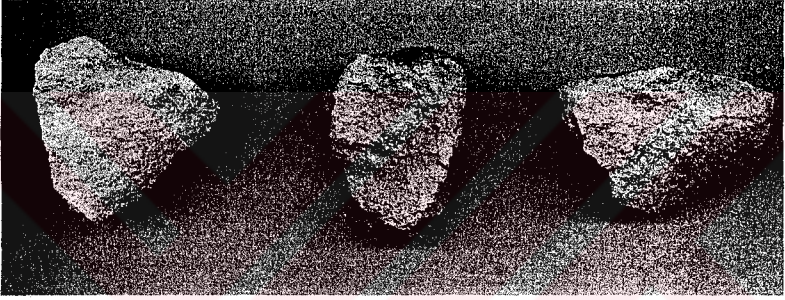
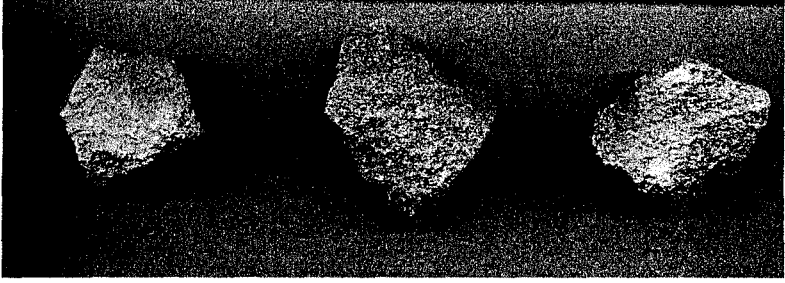
Yk2 grubu agregalara ait proiller şekil 4.21-4.24' de,

Y1 grubu agregalara ait profiller şekil 4.26-4.29' da,

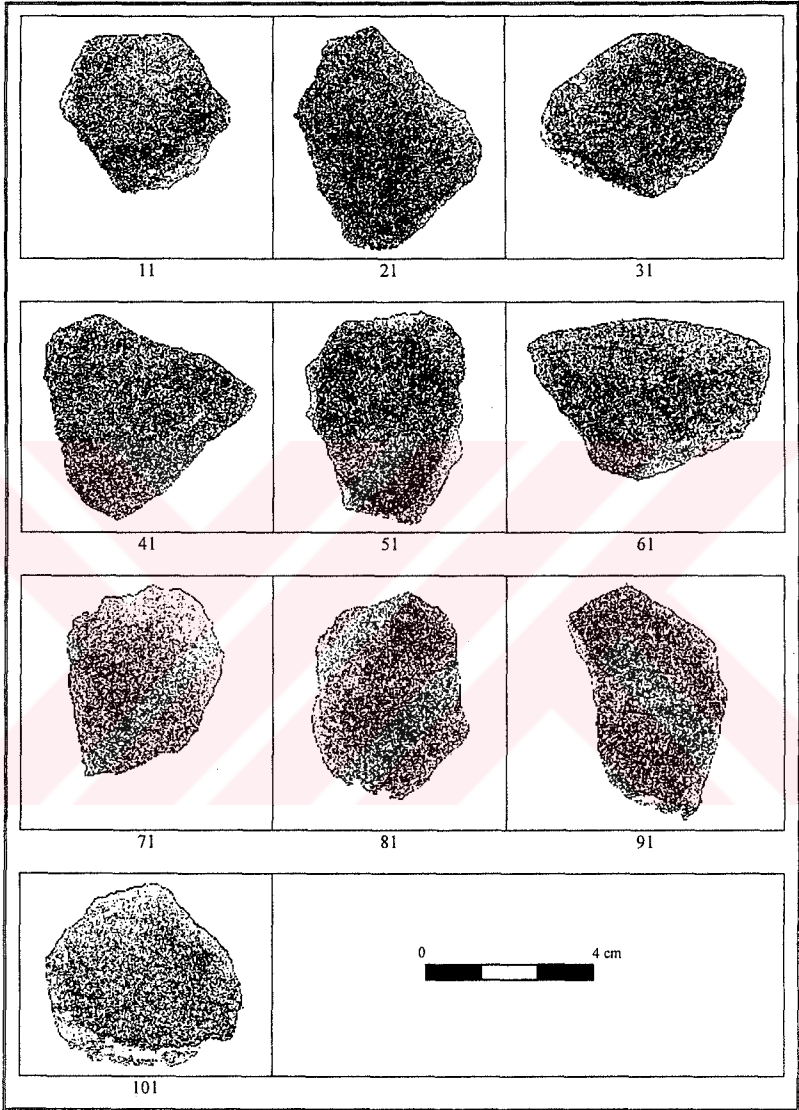
Y2 grubuna ait profiller şekil 4.31-6.34' de,

verilmiştir.

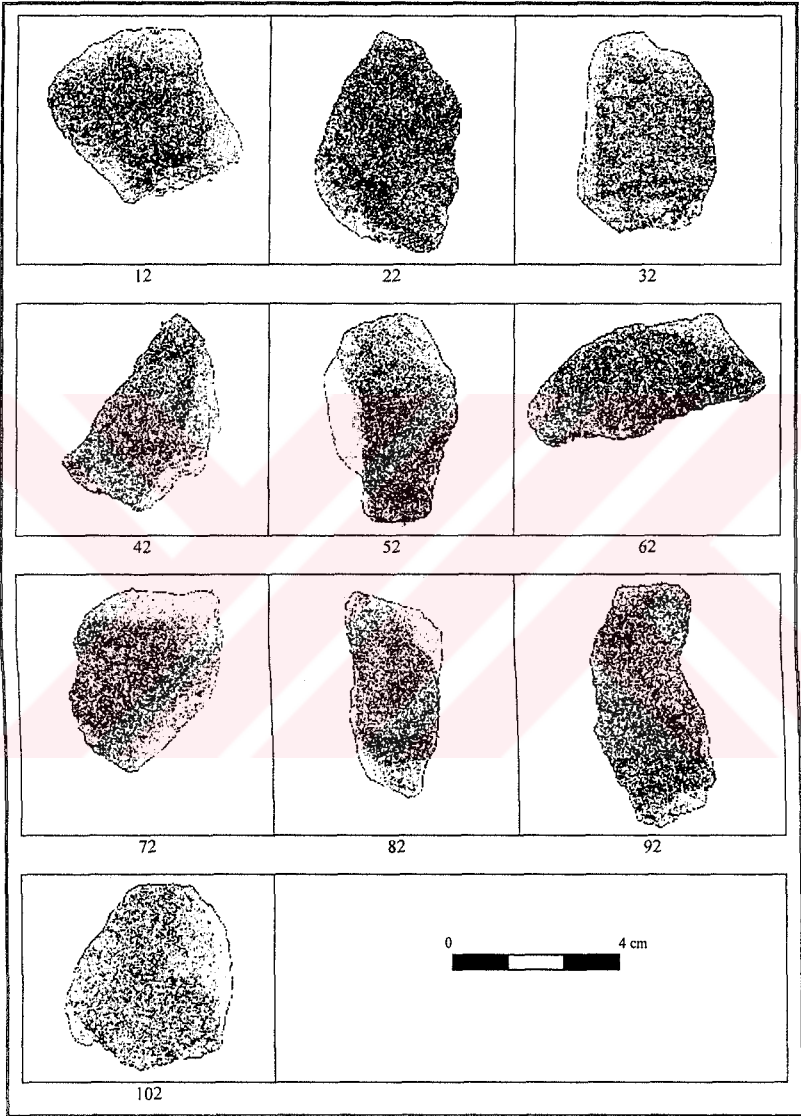
Profillere ait fraktal boyut değerleri yedinci bölümde gruplar halinde verilmiştir.



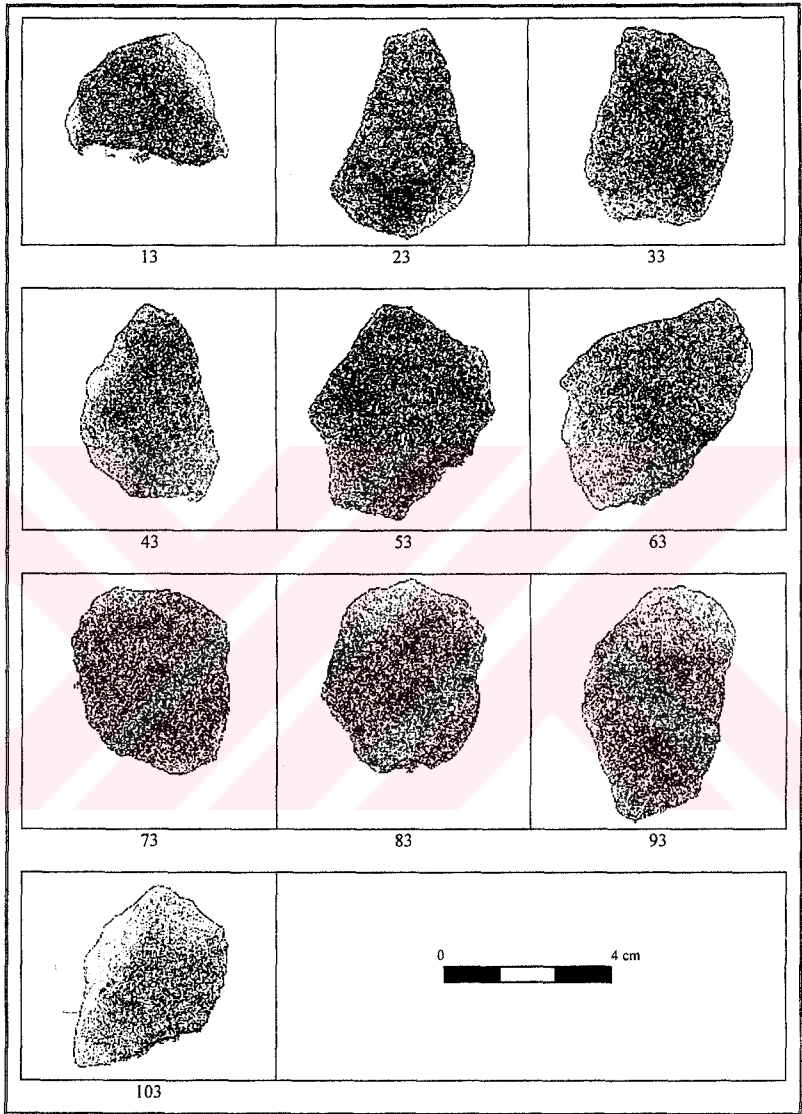
Şekil 4.5. Kmt1' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar



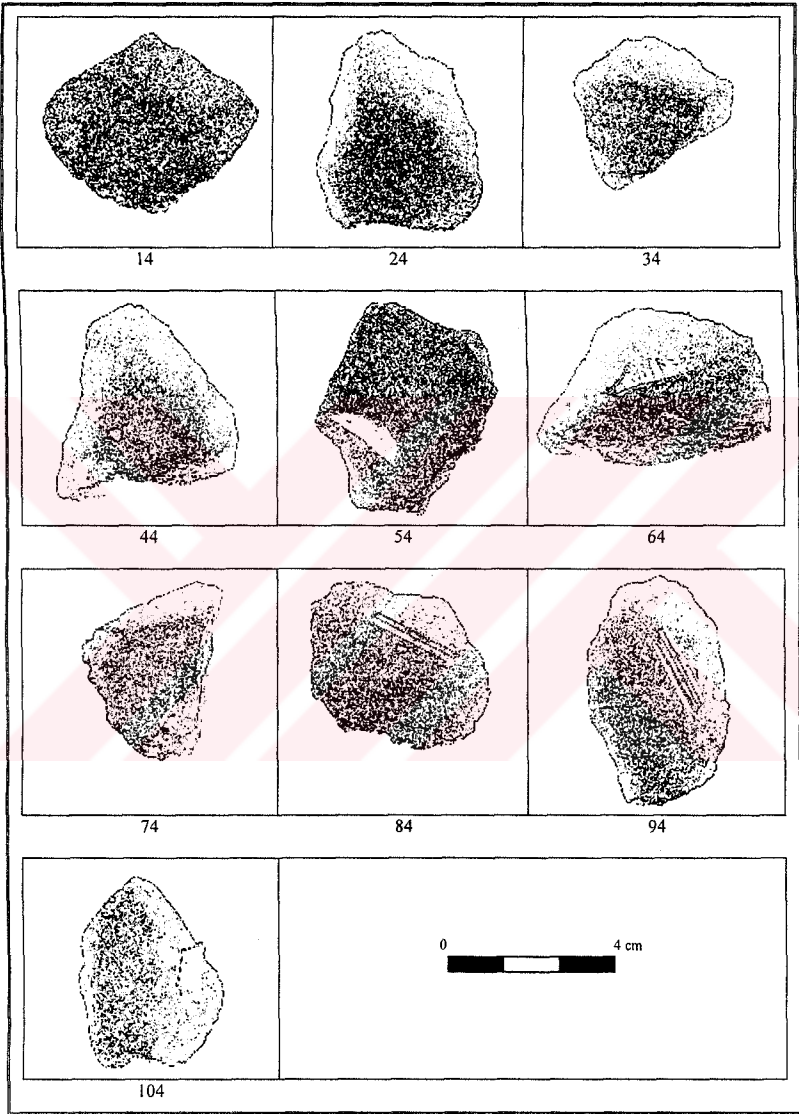
Şekil 4.6. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 1. profilleri



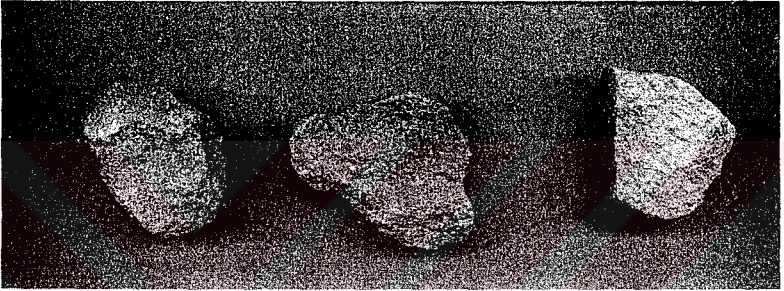
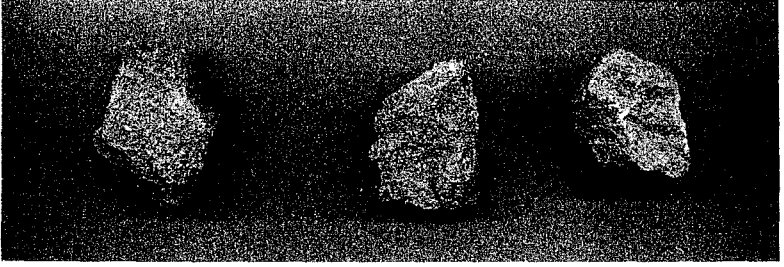
Şekil 4.7. Kmtl' e ait K1 grubu agregaların 2. profili



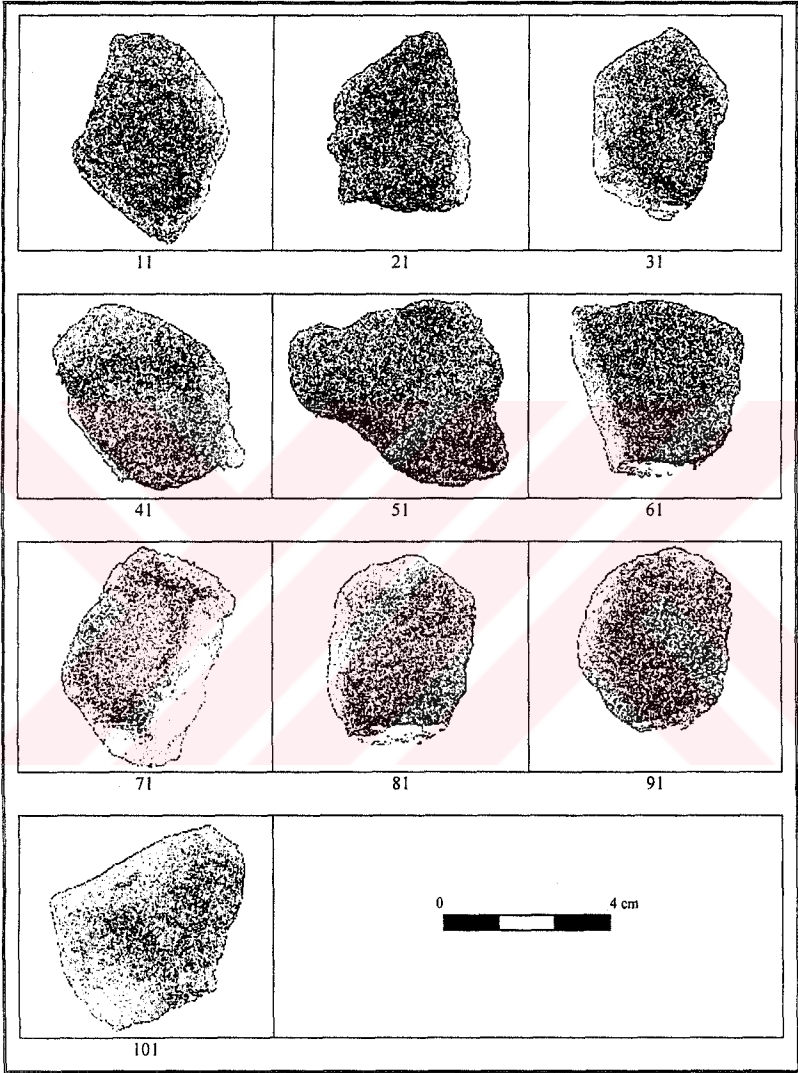
Şekil 4.8. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 3. profili



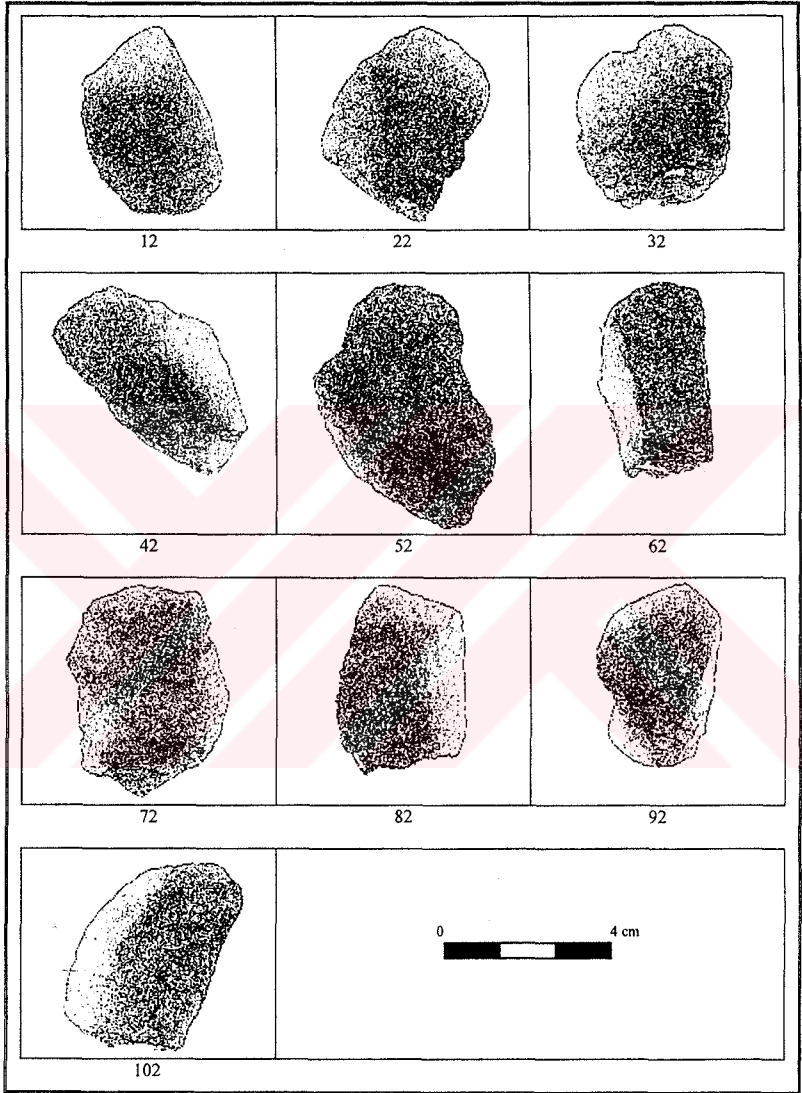
Şekil 4.9. Kmt1' e ait K1 grubu agregaların 4. profili



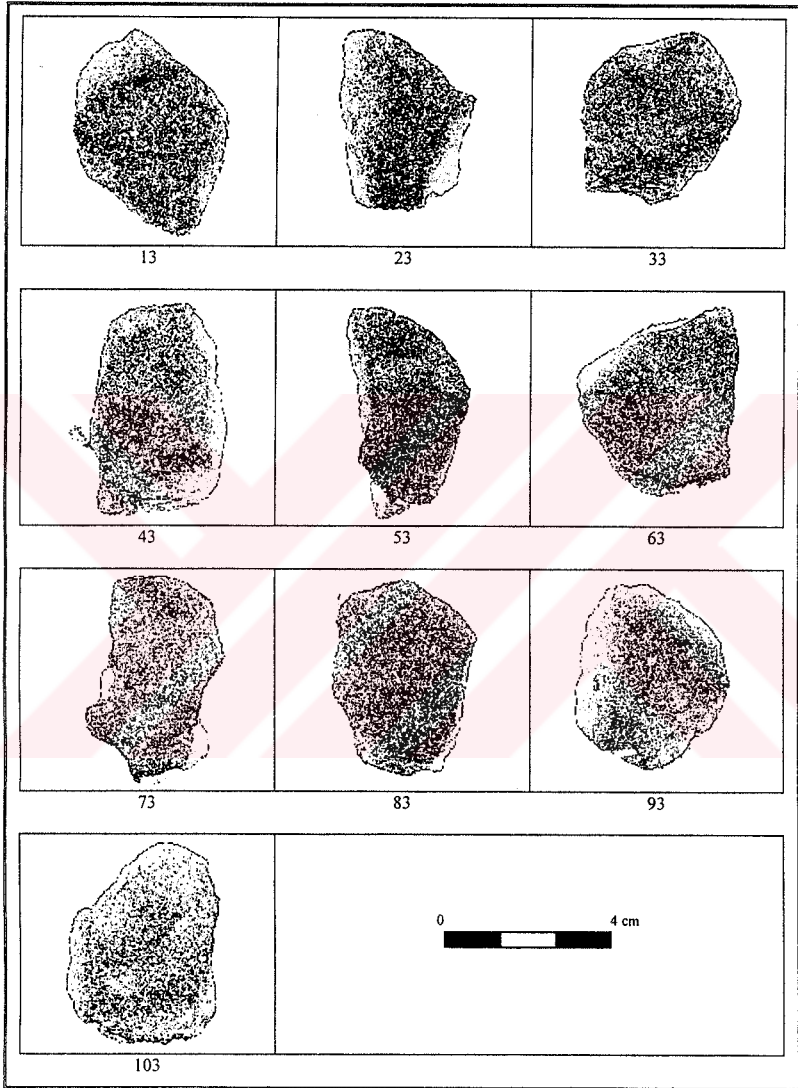
Şekil 4.10. Kmt1' e ait Köşeli 2 (K2) grubu agregalar



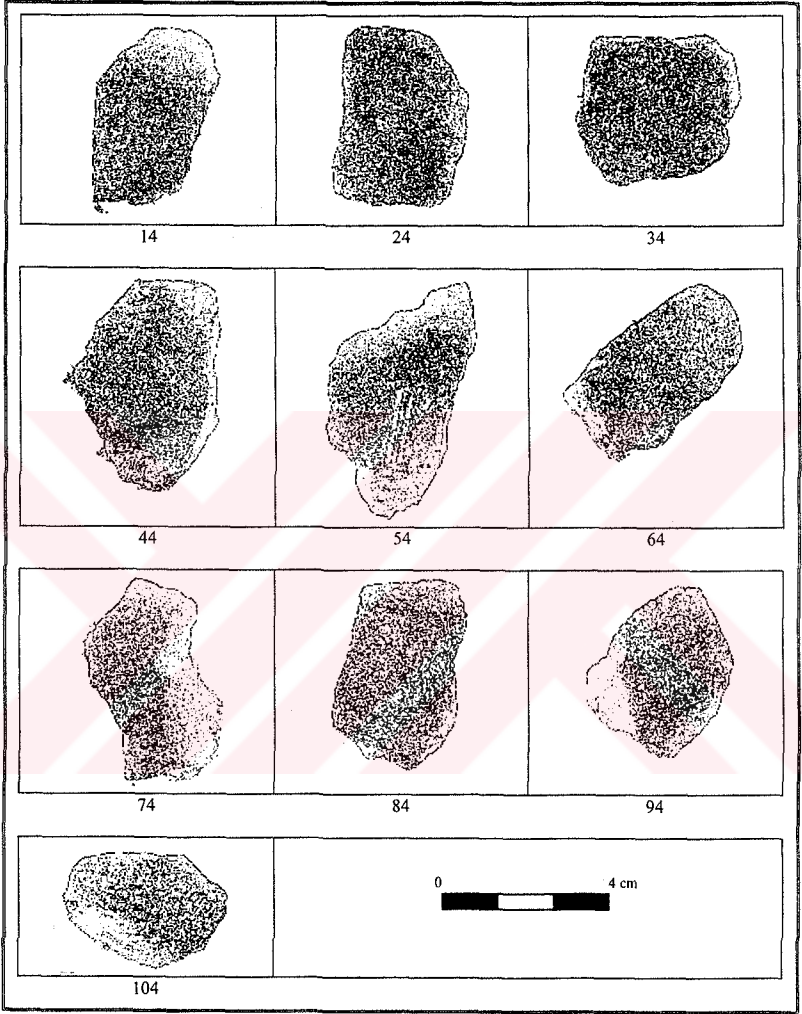
Şekil 4.11. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 1. profili



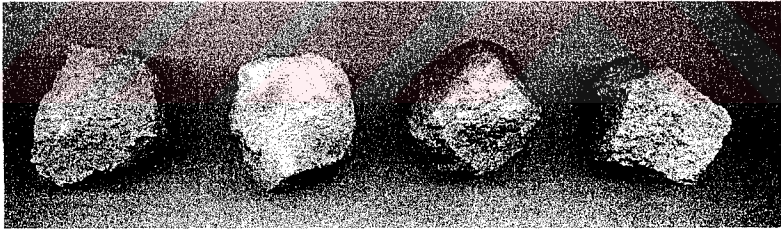
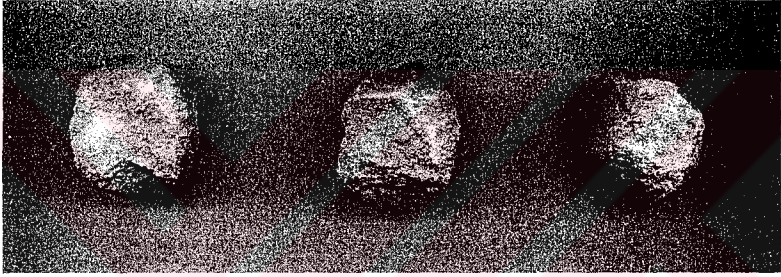
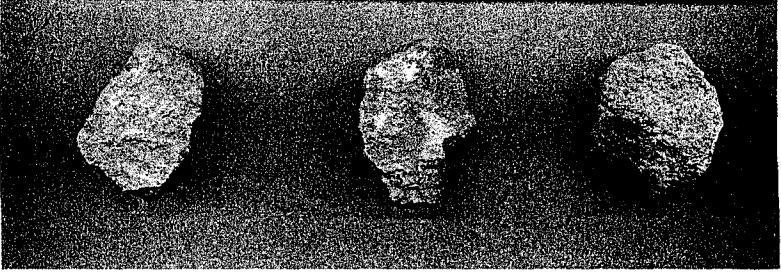
Şekil 4.12. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 2. profili



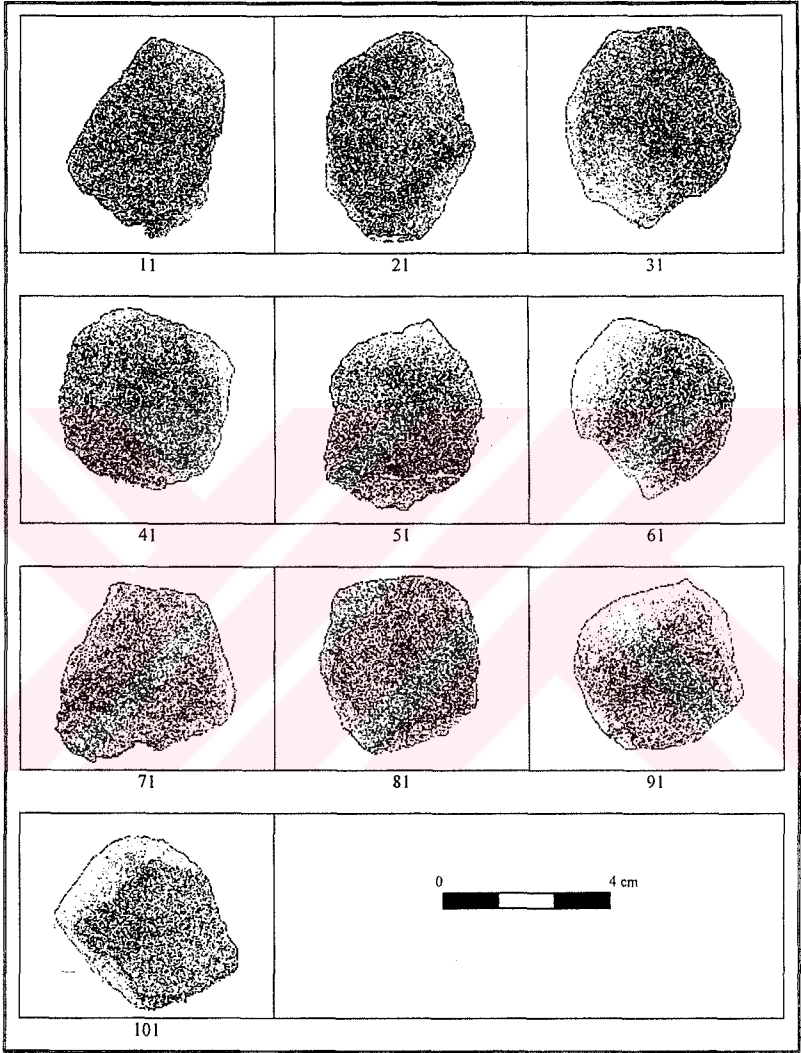
Şekil 4.13. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 3. profili



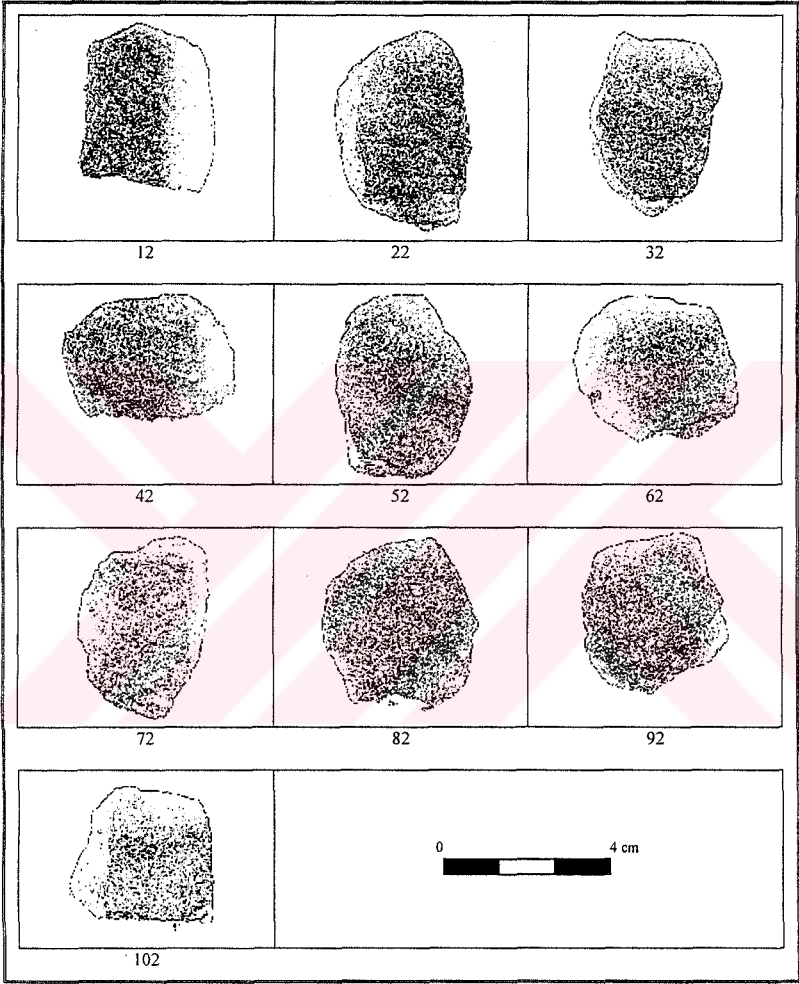
Şekil 4.14. Kmt1' e ait K2 grubu agregaların 4. profili



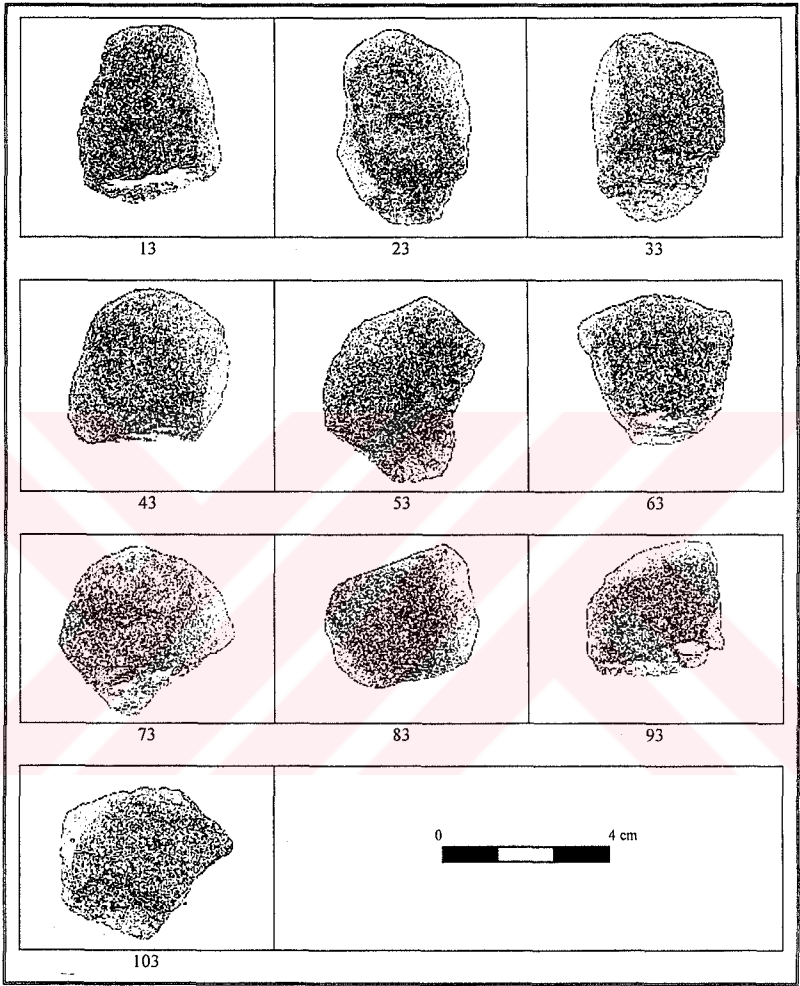
Şekil 4.15. Kmt1' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar



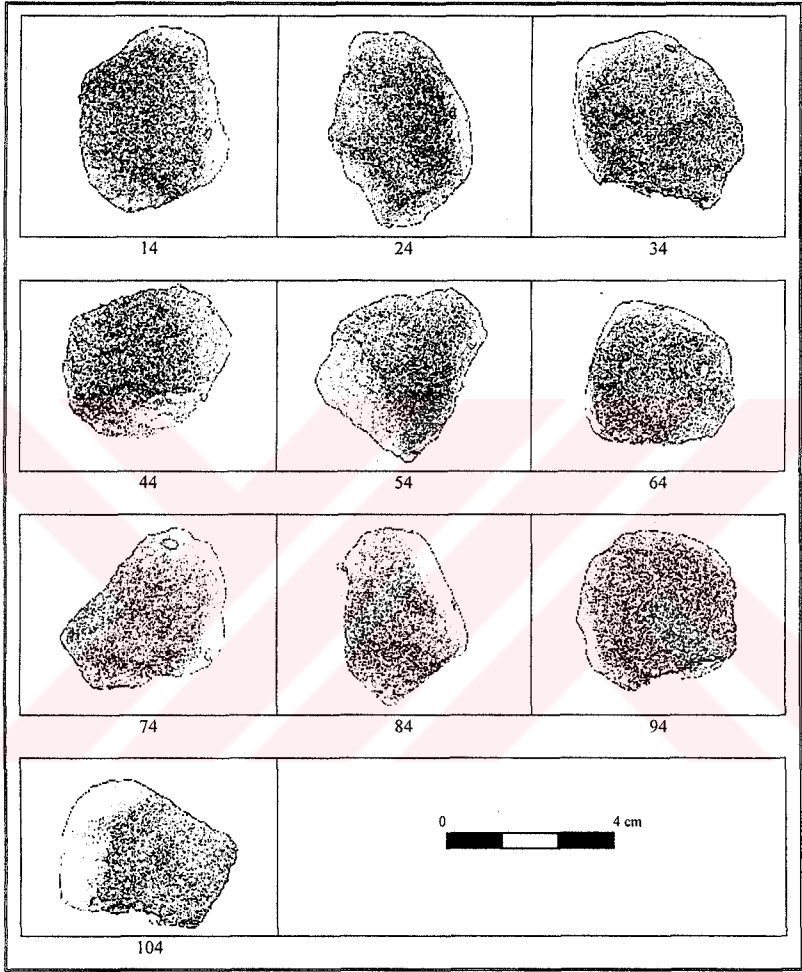
Şekil 4.16. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 1. profili



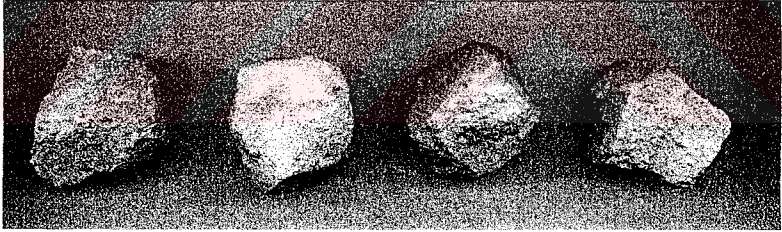
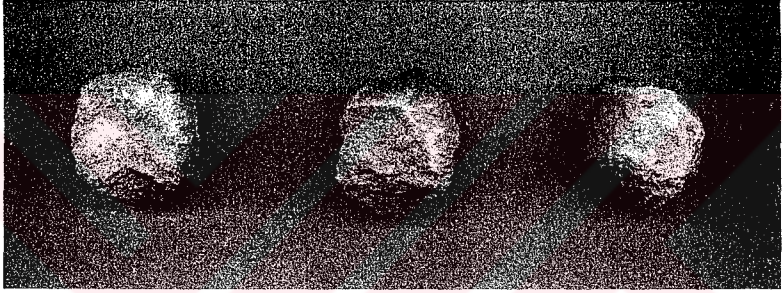
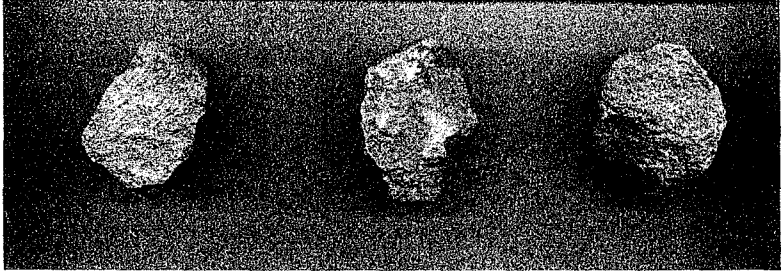
Şekil 4.17. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 2. profili



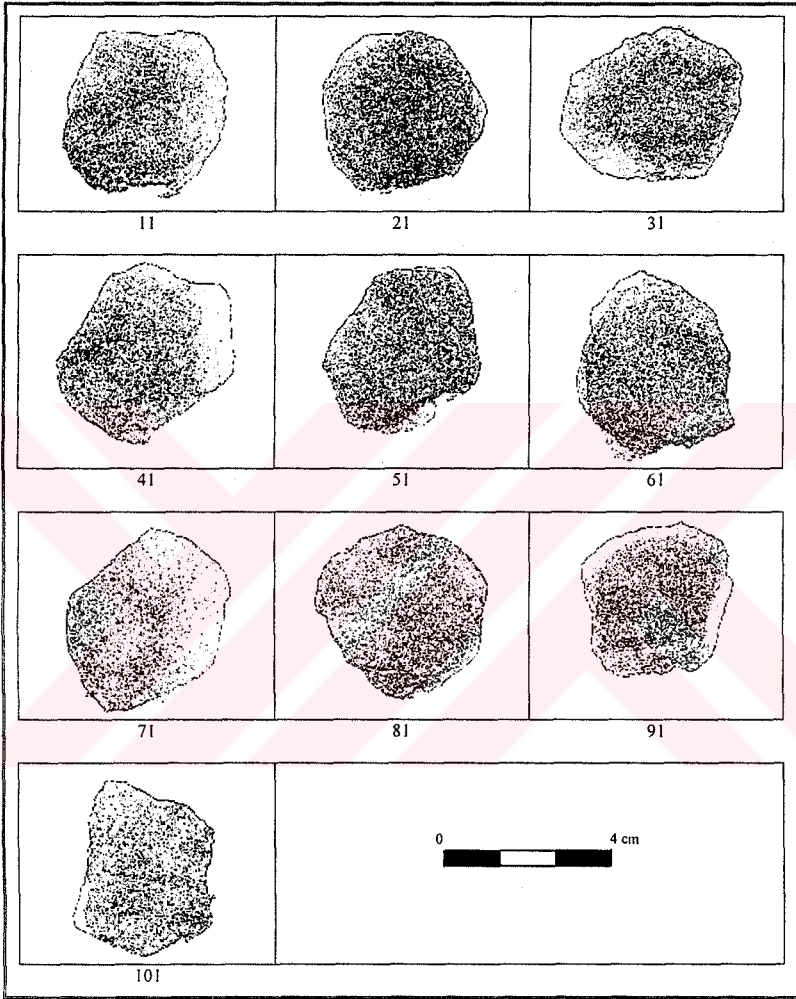
Şekil 4.18. Kmt1' e ait Yk1 grubu agregaların 3. profili



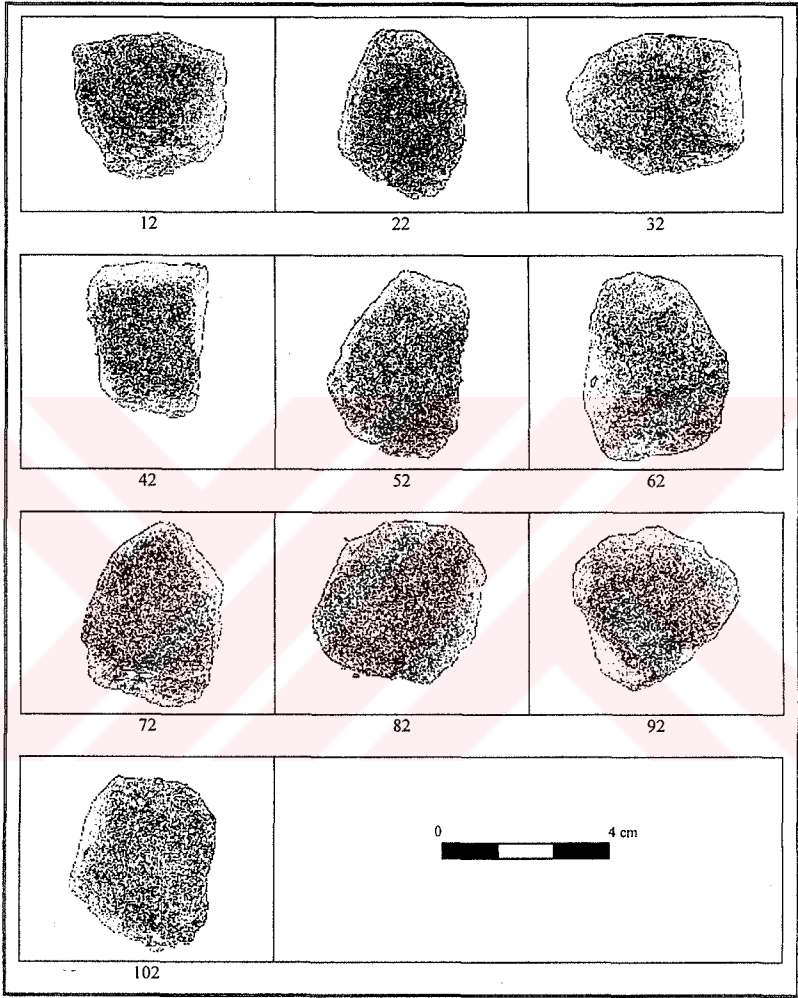
Şekil 4.19. Kmtl' e ait Yk1 grubu agregaların 4. profili



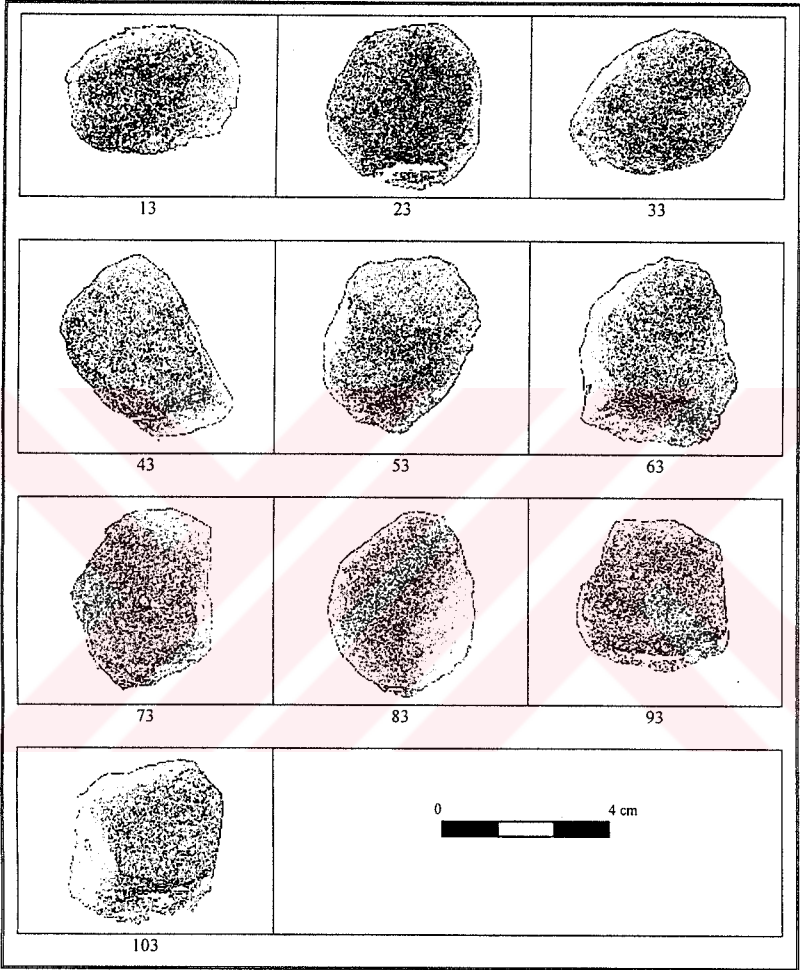
Şekil 4.20. Kmt1' e ait yarı köşeli 2 (Yk2) grubu agregalar



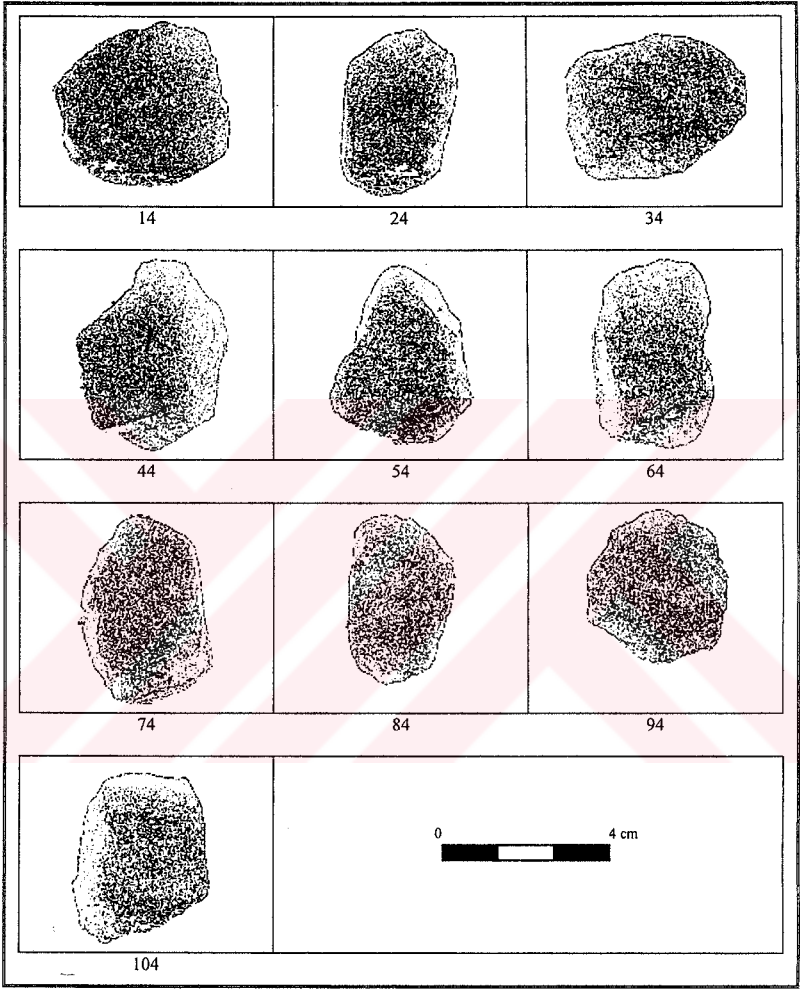
Şekil 4.21. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 1. profili



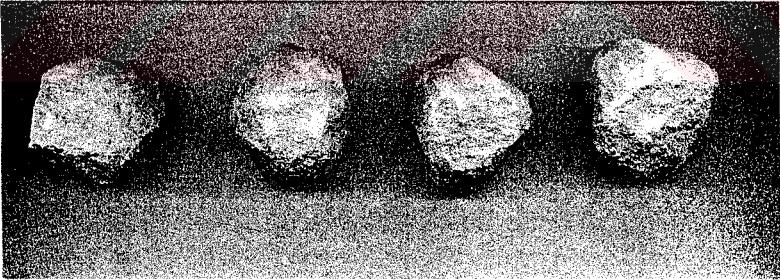
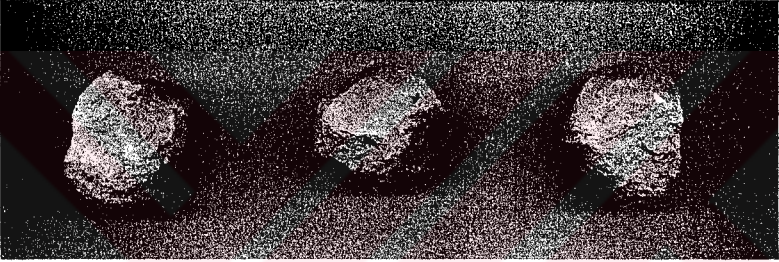
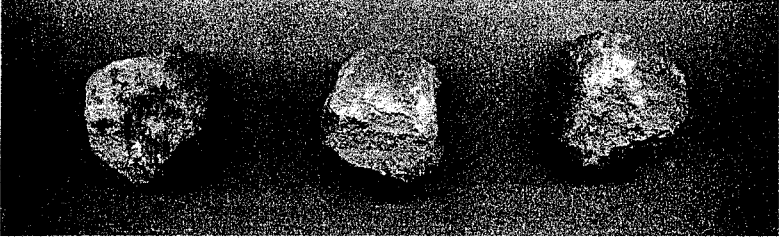
Şekil 4.22. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 1. profili



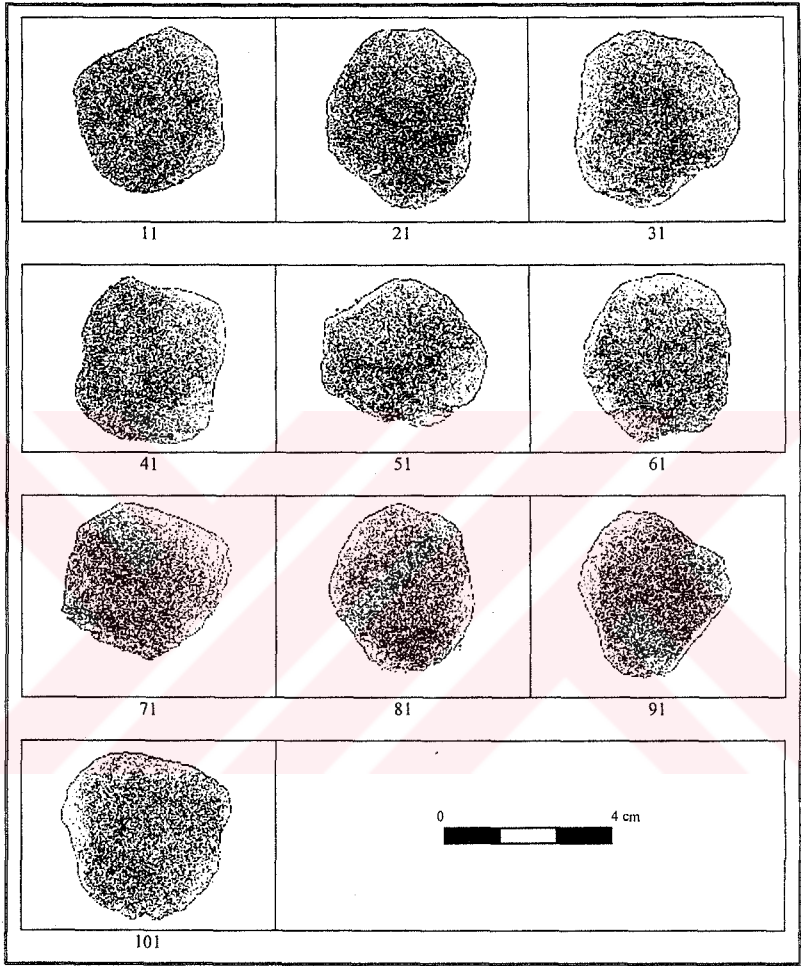
Şekil 4.23. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 3. profili



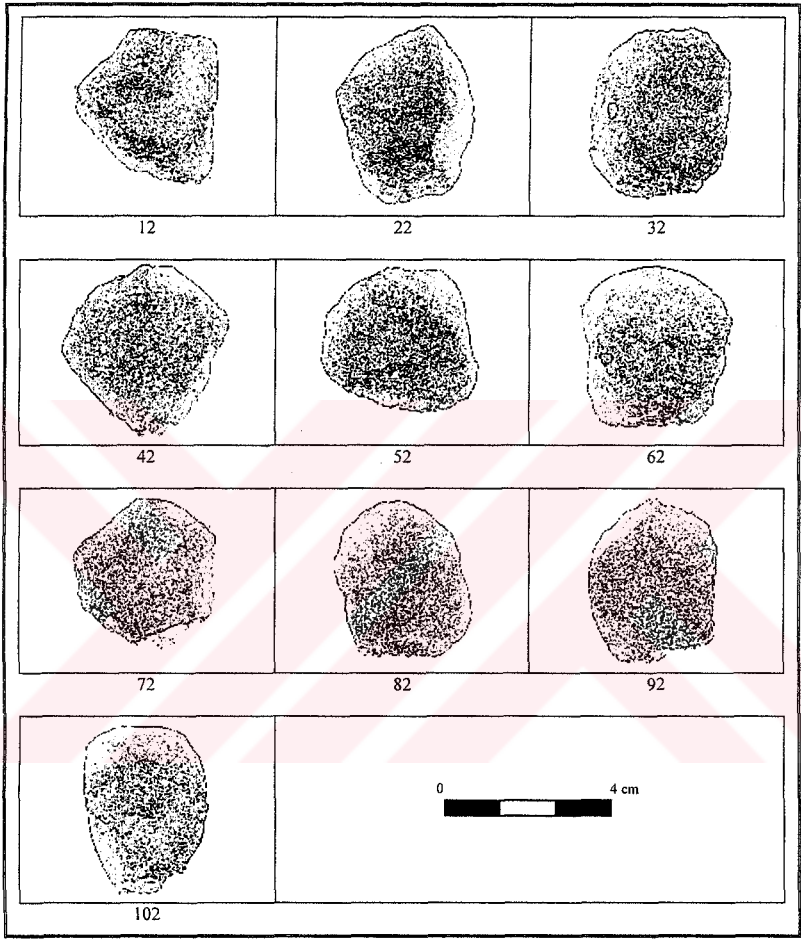
Şekil 4.24. Kmt1' e ait Yk2 grubu agregaların 4. profili



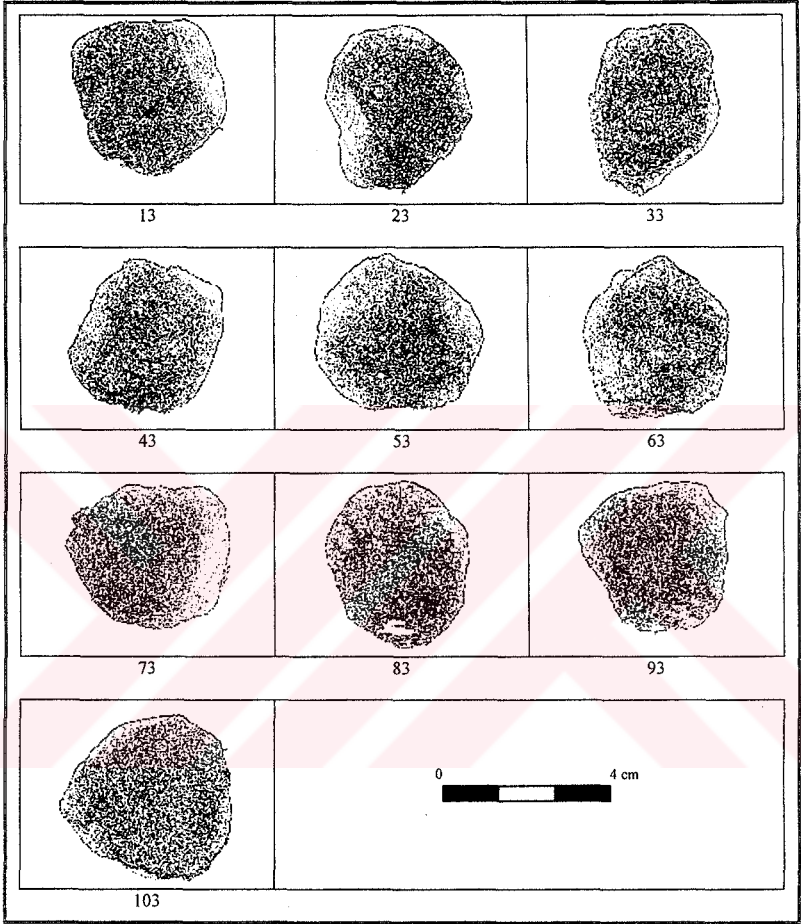
Şekil 4.25. Kmt1' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar



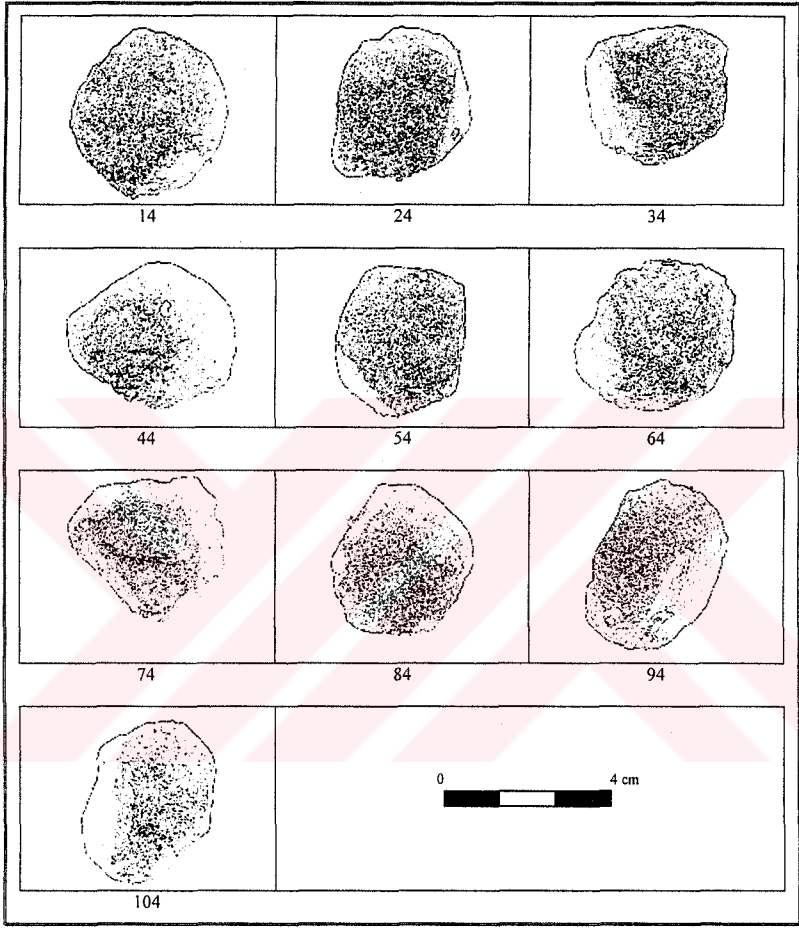
Şekil 4.26. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 1. profili



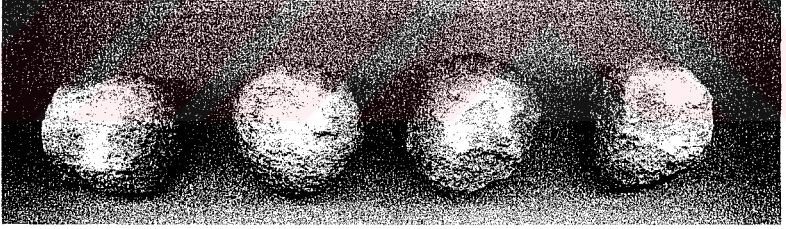
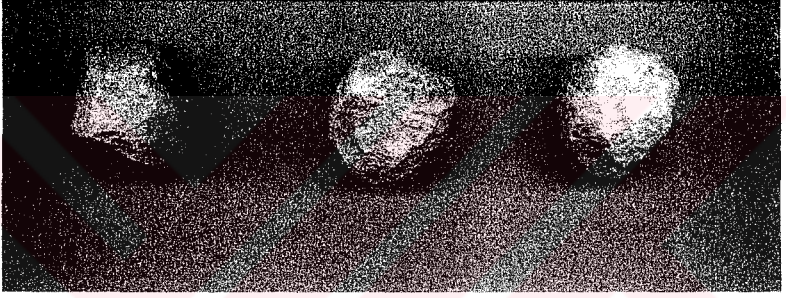
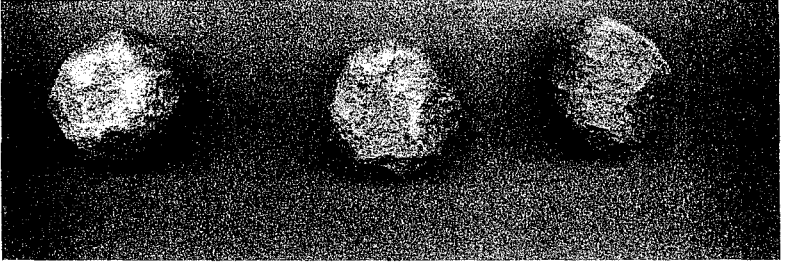
Şekil 4.27. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 2. profili



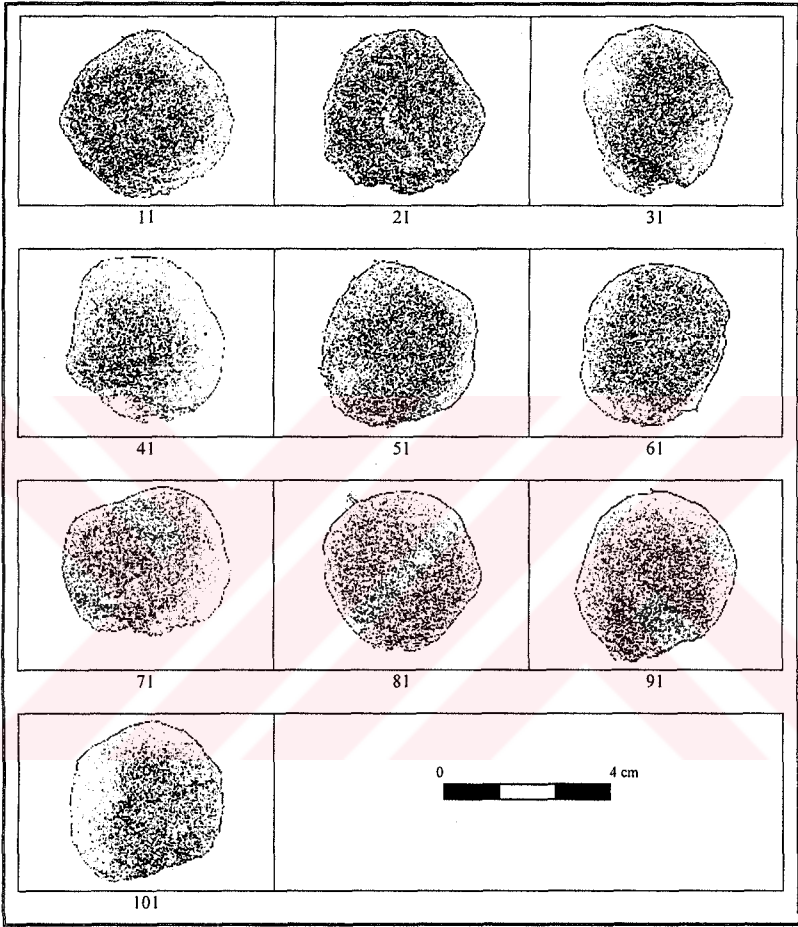
Şekil 4.28. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 3. profili



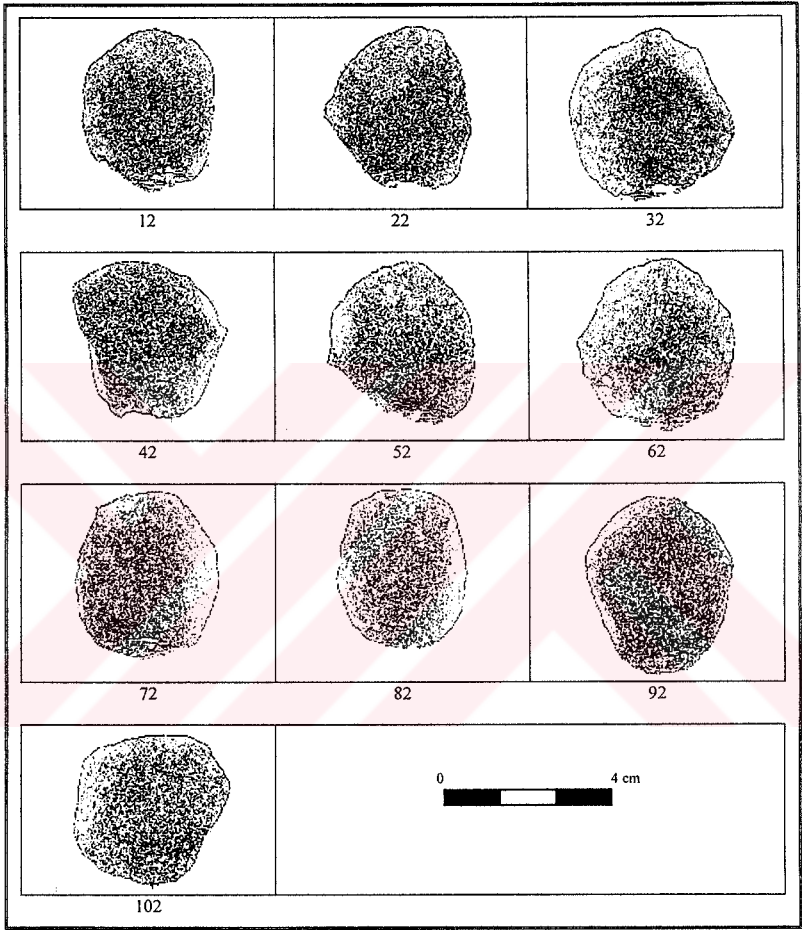
Şekil 4.29. Kmt1' e ait Y1 grubu agregaların 4. profili



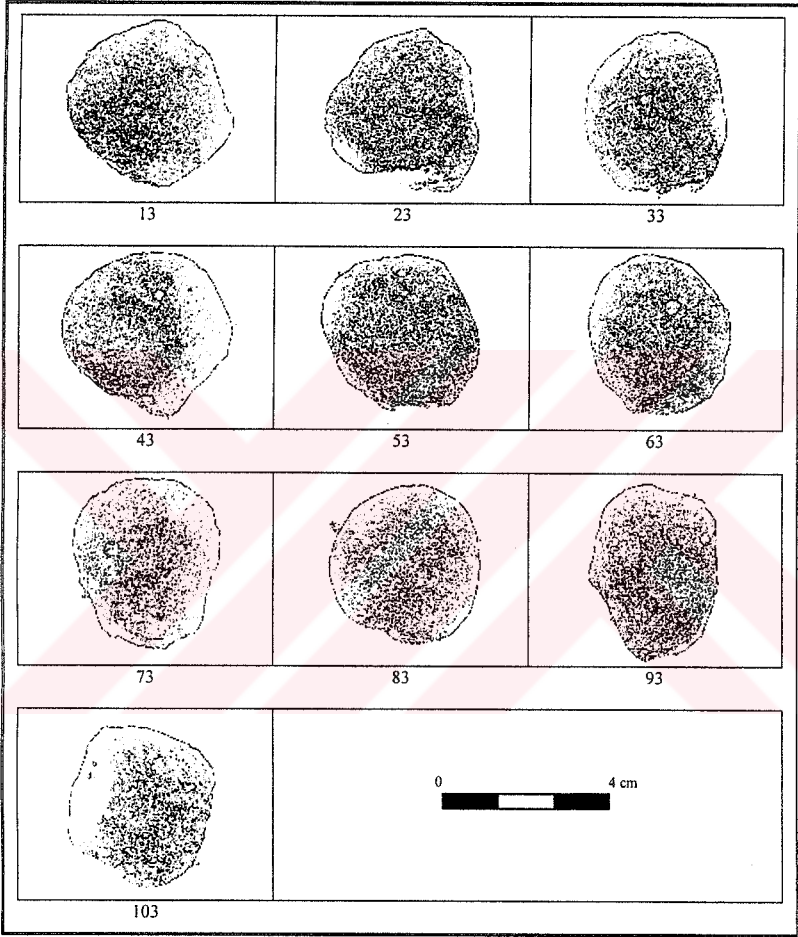
Şekil 4.30. Kmt1' e ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar



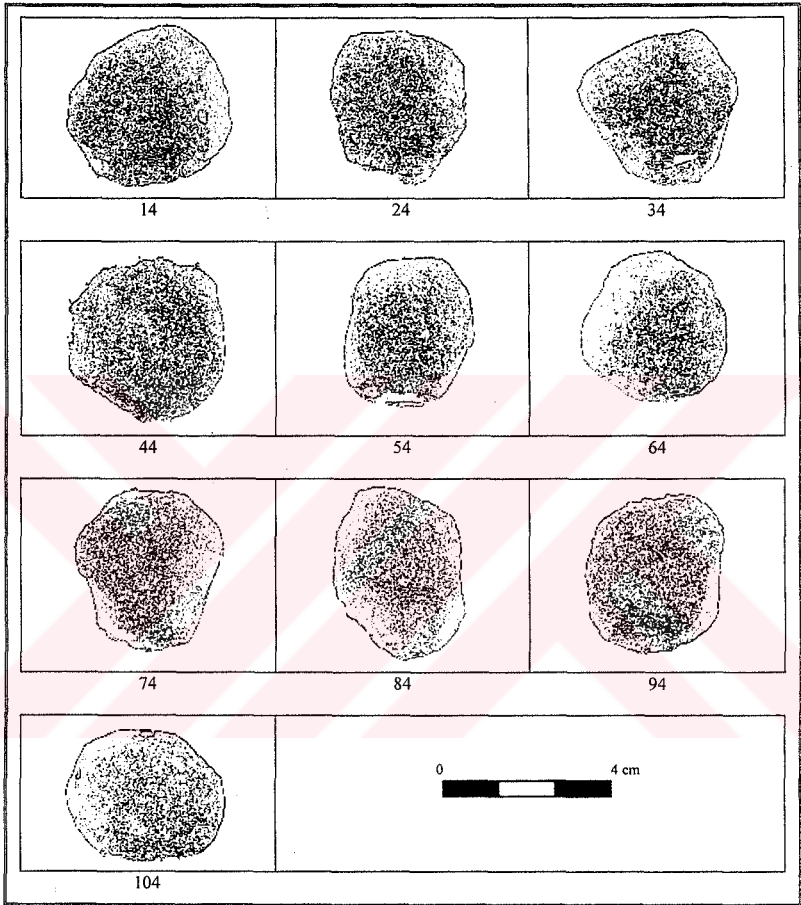
Şekil 4.31. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 1. profili



Şekil 4.32. Kmtl' e ait Y2 grubu agregaların 2. profili

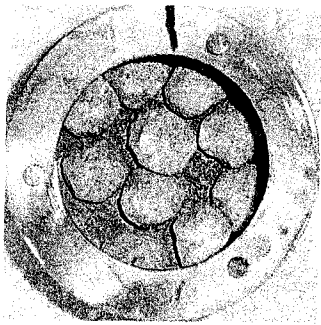


Şekil 4.33. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 3. profili

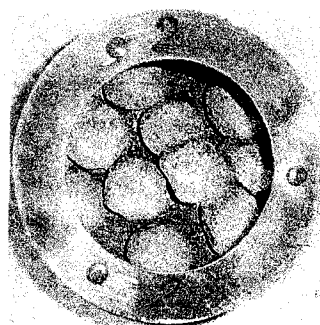


Şekil 4.34. Kmt1' e ait Y2 grubu agregaların 4. profili

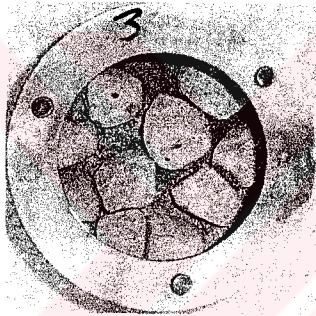
Kmt1 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.35' de görülmektedir. Tüm pürüzlülük gruplarında agregalarda parçalanma meydana gelmemiş, deney öncesindeki yüzey pürüzlülükleri silinmiştir.



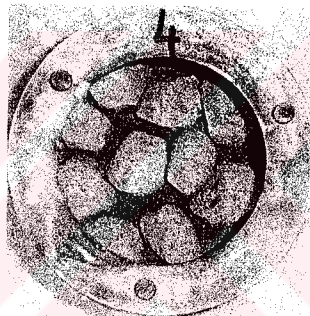
Y1



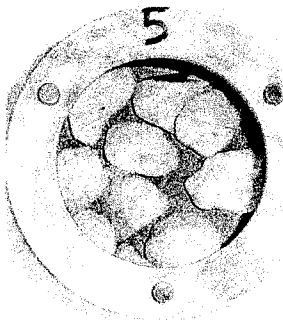
Y2



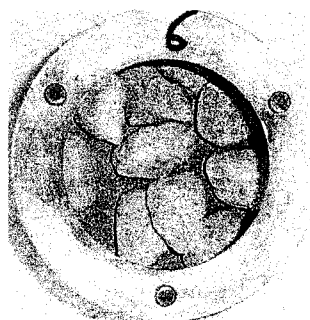
Yk1



Yk2



K1



K2

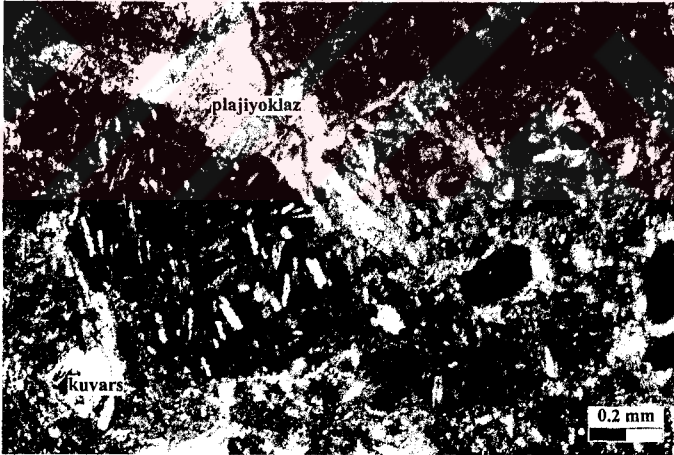
Şekil 4.35. Kmt1 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

Bundan sonraki kayalar için pürüzlülük alt gruplarından 3' nün (örneğin K1, Yk1, Y1 veya K2, Yk2, Y2 gibi) fotoğrafı verilmiştir. Diğer fotoğraflar ve profil görüntüleri yukarıda da belirtildiği gibi ekteki CD içerisine konulmuştur.

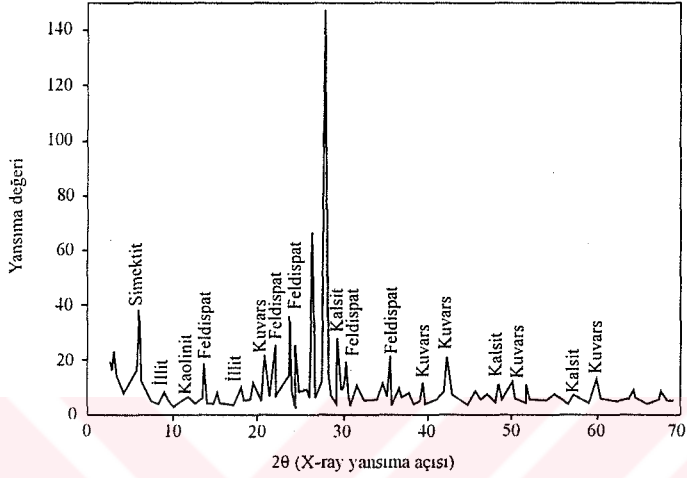
4.2. Kumtaşı 3 (Kmt3)

Yeşilimsi renkli orta tane boyuna sahip kumtaşı 3 (kmt3) kayacı, andezit-bazalt kaya parçaları, feldispat, kuvars ve kil bağlayıcı içermektedir. Kmt 3 kayacı litik arenit olarak adlandırılmıştır (şekil 4.36-4.37).

Kumtaşı 3 grubuna ait K1 grubu agregalar şekil 4.38' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.39' da, Y1 grubu agregalar şekil 4.40' da görülmektedir. Kmt3 kayacında ıslak kararlılık deneyi sonuçları da çizelge 4.3' de verilmiştir.



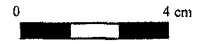
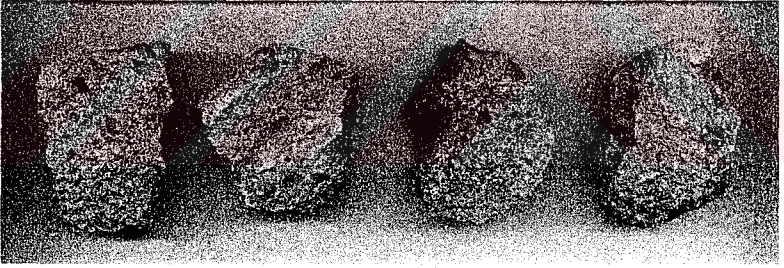
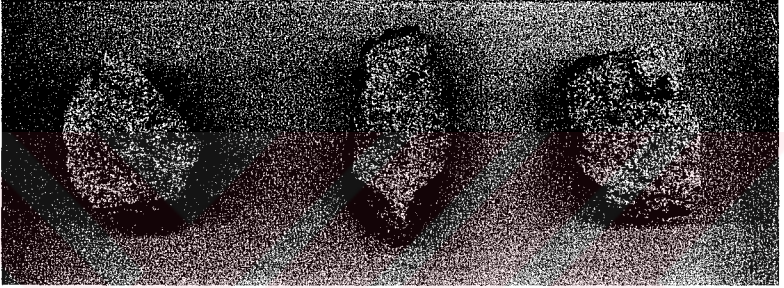
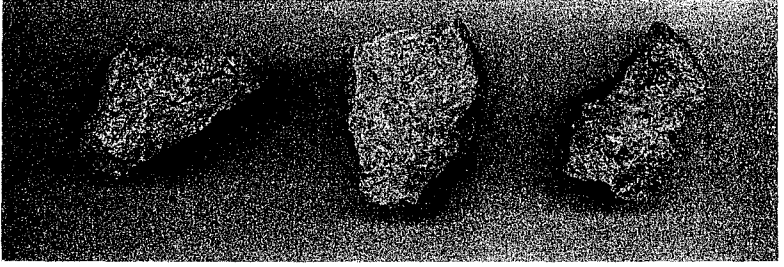
Şekil 4.36. Kumtaşı 3 (kmt3)' ün çift nikol mikrofotografı



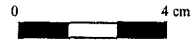
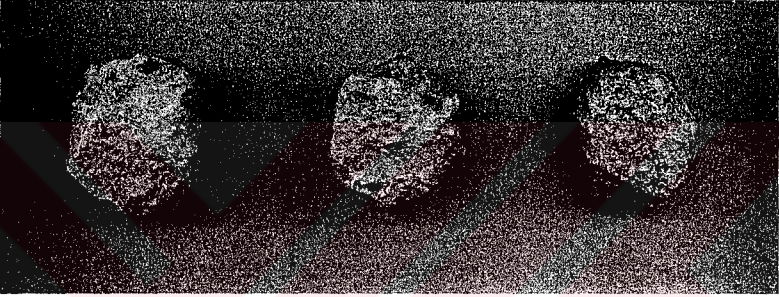
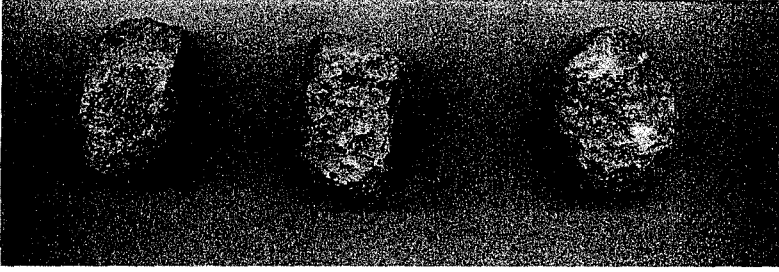
Şekil 4.37. Kumtaşı 3 (kmt3)' ün XRD difraktogramı

Çizelge 4.3. Kmt3' de gruplara göre I_d değerleri

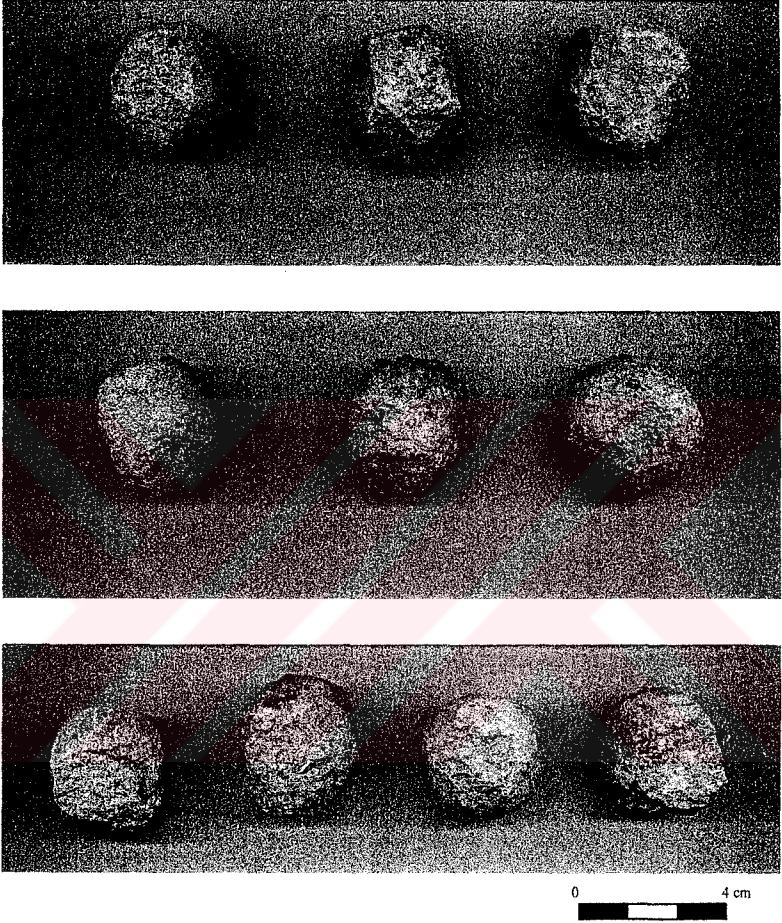
Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağ. (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)				D
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)		I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	
Y1	1	2164,37	2148,05	2135,29	2122,12	2111,89	1634,03	96,92	94,52	92,03	90,10	1,033096
Y2	2	2132,14	2112,25	2100,52	2086,65	2076,35	1618,19	96,13	93,85	91,15	89,14	1,034970
Yk1	3	2168,03	2149,21	2136,62	2122,27	2112,59	1655,73	96,33	93,87	91,07	89,18	1,036466
Yk2	4	2131,38	2110,32	2099,13	2085,74	2076,63	1640,99	95,71	93,42	90,69	88,84	1,040001
K1	5	2140,62	2108,42	2079,81	2052,2	2034,09	1648,85	93,45	87,63	82,02	78,34	1,050161
K2	6	2129,67	2103,19	2082,68	2065,44	2052,86	1647,34	94,51	90,26	86,68	84,08	1,048482



Şekil 4.38. Kmt3' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar

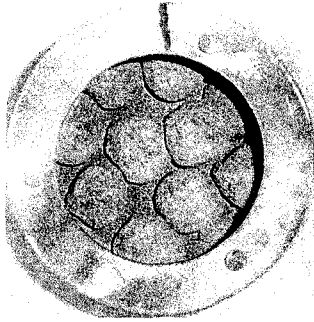


Şekil 4.39. Kmt3` e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar

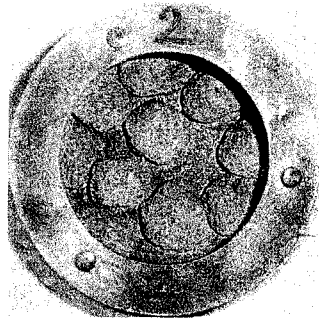


Şekil 4.40. Kmt3' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

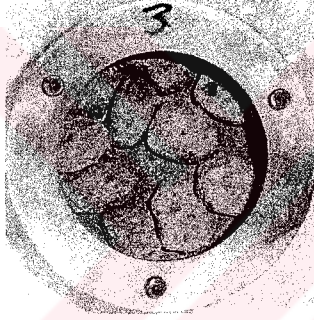
Kmt 3 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.41' de görülmektedir. Yuvarlak ve yarı köşeli gruptaki agregalarda parçalanma meydana gelmezken, köşeli gruptaki agregalarda kısmen parçalanmalar olmuştur.



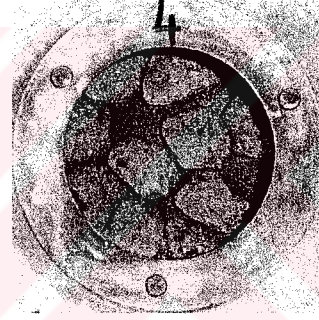
Y1



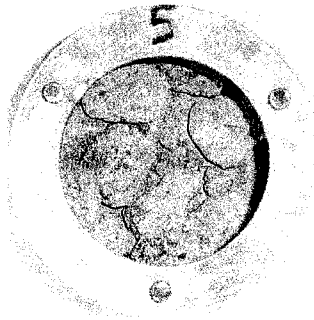
Y2



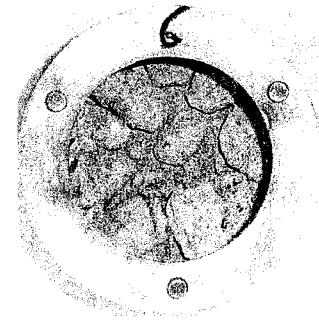
Yk1



Yk2



K1

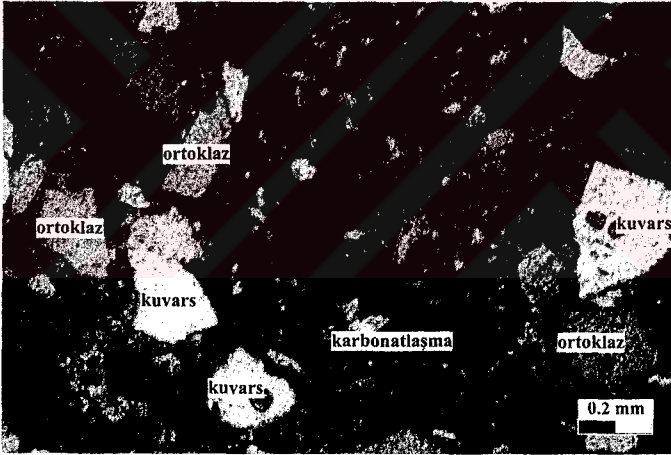


K2

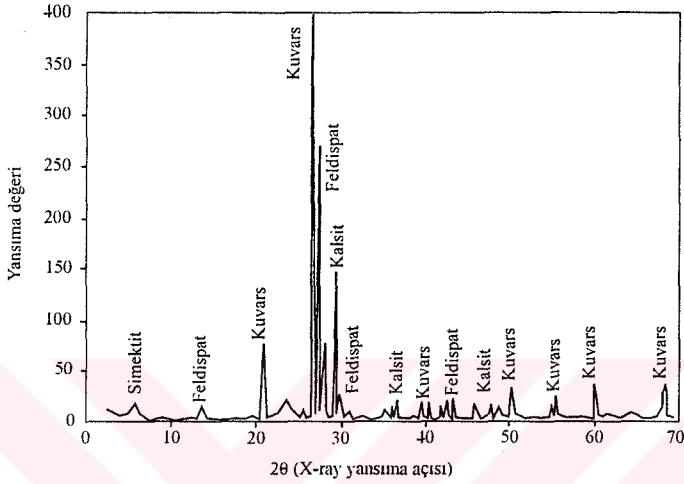
Şekil 4.41. Kmt3 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.3. Bozuşmuş granit

Örnekler, Yozgat' ın güneybatısında yüzeyleyen Sarıhacılı lökograditi içerisindeki bozuşma zonlarından alınmıştır. Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitler arazide el örneği düzeyinde açık renkli, orta-kaba taneli bileşenlerden oluşmakta olup, tanınabilen bileşenleri açık mat renkli kuvars, çubuğumsu prizmatik plajiyoklaz, levhamsı-pulsu biçimli biyotit ve muskovit minerallerinden oluşmaktadır (Ekici ve Boztuğ, 1997). Pembemsi sarı renkli kayaların ince kesitleri XRD difraktogramı incelendiğinde kayacın ileri derecede karbonatlaşmaya uğradığı, kalsit, feldispat, kuvars ve kil minerallerinden meydana geldiği görülmüştür (şekil 4.42-6.43). Granitin nokta yükü direnci ile belirlenen tek eksenli basınç dayanımı dikkate alınarak son derece ayrılmış kaya grubunda olduğu belirlenmiştir (Kılıç 1999).



Şekil 4.42. İleri derecede bozuşmuş granitin çift nikol mikrofotografı

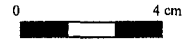
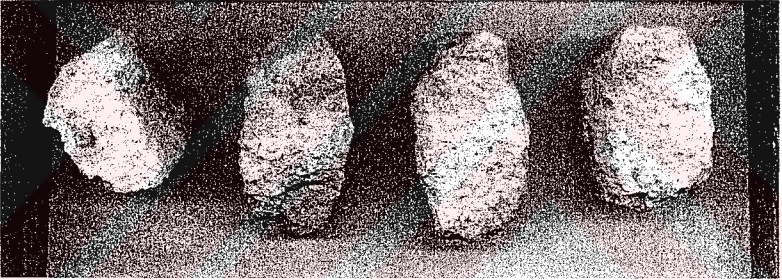
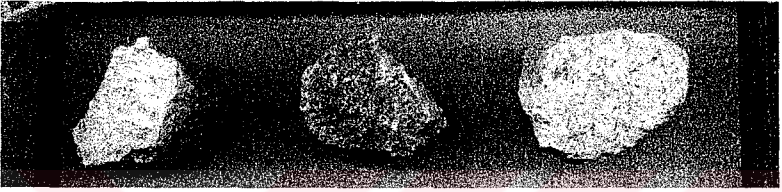
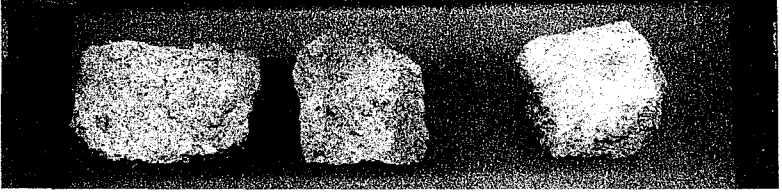


Şekil 4.43. İleri derecede bozuşmuş granitin XRD difraktogramı

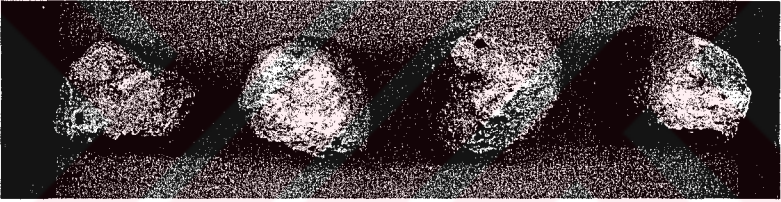
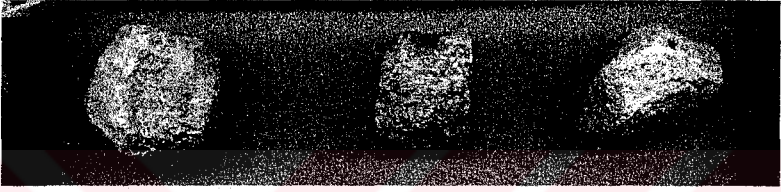
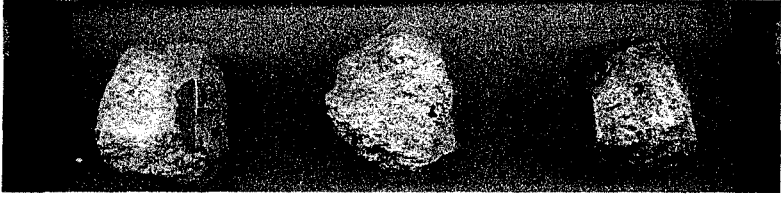
Bozuşmuş granite ait K1 grubu agregalar şekil 4.44' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.45' de, Y1 grubu agregalar şekil 4.46' da görülmektedir. Bozuşmuş granitte ıslak kararlılık deneyi sonuçları çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bozuşmuş granitte gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağ. (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)				
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)		I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D
Y1	1	2165,4	2140,04	2121,92	2106,58	2094,33	1634,03	95,2274	91,817	88,931	86,625	1,028882
Y2	2	2149,9	2117,43	2096,94	2080,1	2066,55	1618,19	93,8933	90,04	86,873	84,324	1,033112
Yk1	3	2151,07	2042,56	1982,81	1945,94	1920,97	1655,73	78,0938	66,031	58,588	53,547	1,038985
Yk2	4	2141,98	2069,23	2020,12	1975,74	1949,89	1640,99	85,4788	75,676	66,818	61,658	1,037047
K1	5	2131,17	2069,62	2033,66	2005,54	1987,5	1648,85	87,2388	79,783	73,953	70,213	1,042728
K2	6	2106,3	2028,12	1983,9	1952,26	1933,07	1647,34	82,9658	73,331	66,437	62,256	1,052327

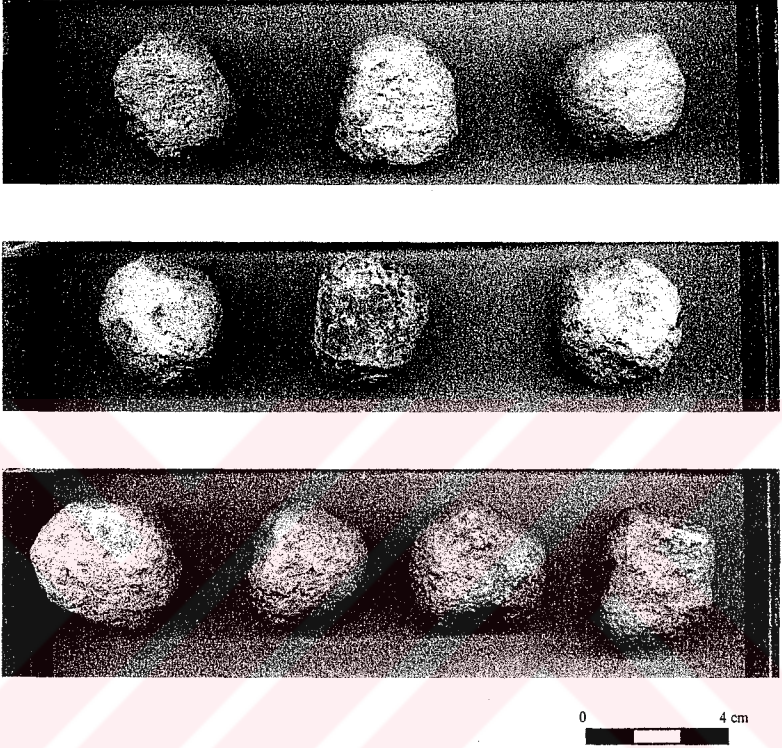


Şekil 4.44. Bozuşmuş granit' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar



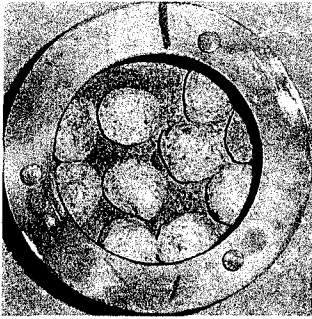
0 4 cm

Şekil 4.45. Bozuşmuş granit' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar

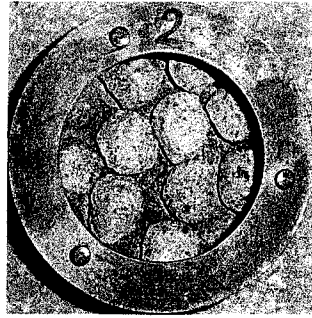


Şekil 4.46. Bozuşmuş granit' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

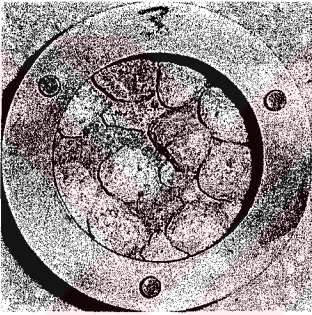
Bozuşmuş granit grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.47' de görülmektedir. Yuvarlak gruplardaki agregalarda parçalanma meydana gelmezken, yarı köşeli ve köşeli gruplardaki agregalarda kısmen parçalanmalar olmuştur. Tüm gruplardaki agregaların yüzey pürüzlülükleri silinmiş durumdadır.



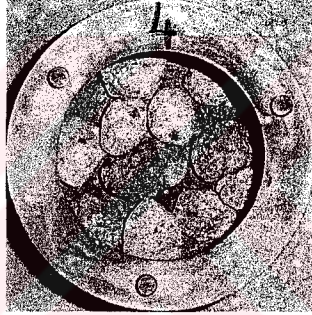
Y1



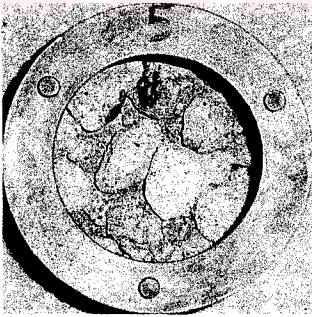
Y2



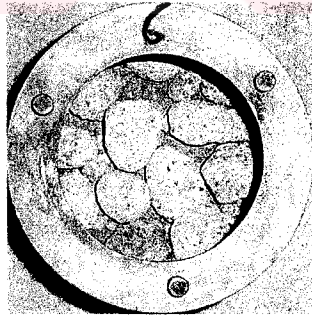
Yk1



Yk2



K1

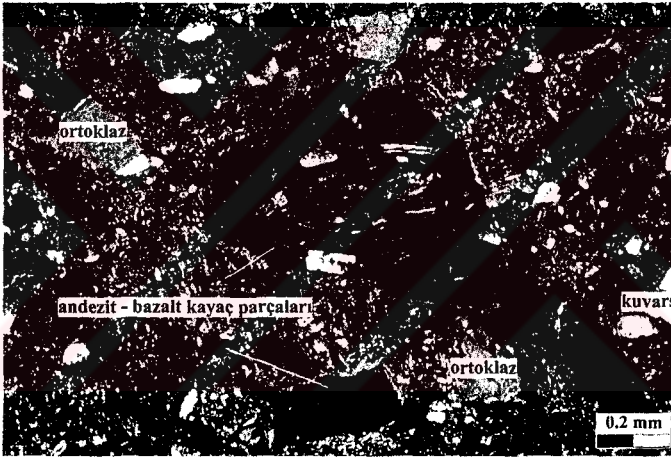


K2

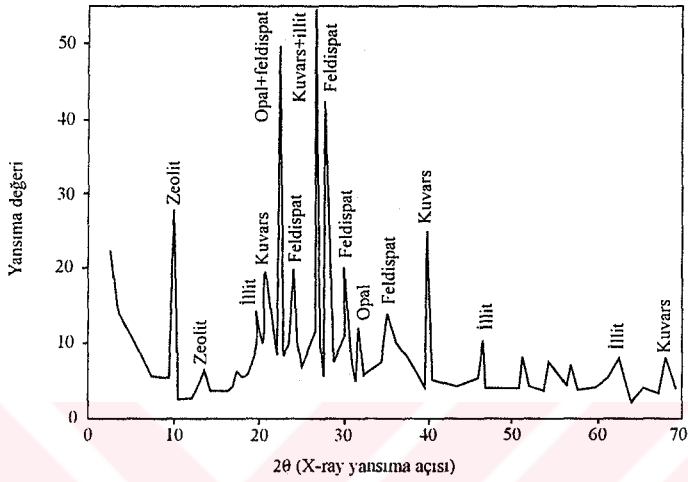
Şekil 4.47. Bozmuş granit ait agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.4. Tüf 1 (Ankara)

Örnekler Miyosen yaşlı Mamak Formasyonu içerisindeki tüf seviyelerinden alınmıştır. Mamak Formasyonu aglomera, tüf ve bazalt bileşimli lavlardan oluşmaktadır. Aglomeralar arasında izlenen tüfler değişik renklerde ve ince tabakalanmalıdır (MTA 1997). İnce kesit ve XRD çalışmalarında tüfün andezit-bazalt kaya parçaları, kuvars, opal, feldispat ve killerden oluştuğu görülmektedir (şekil 4.48-4.49). Kaya litik tüf olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.48. Tüf 1' in çift nikol mikrofotografı

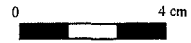
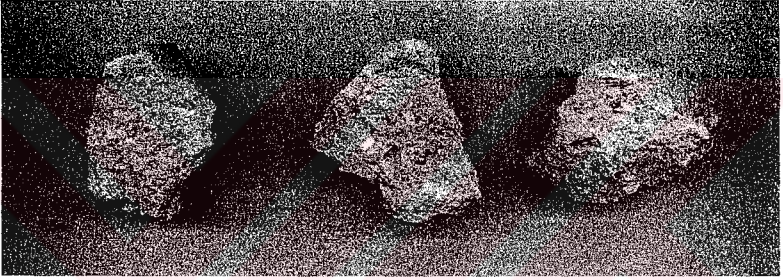
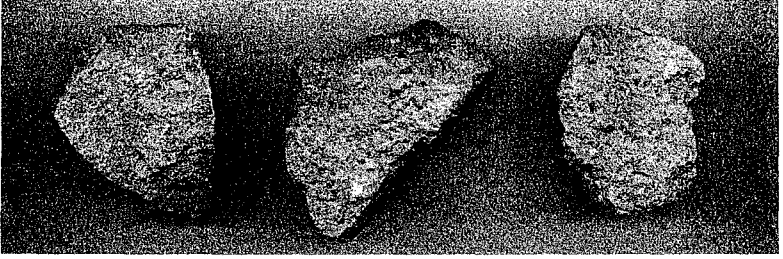


Şekil 4.49. Tüf 1' in XRD difraktogramı

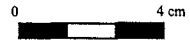
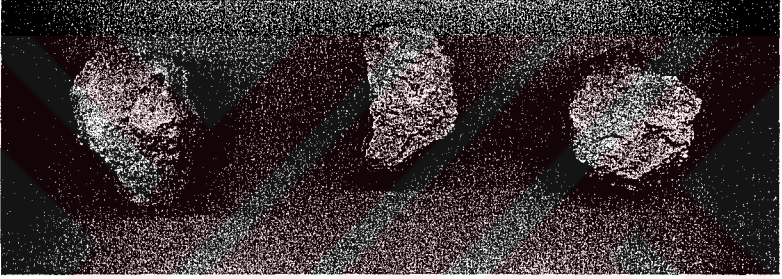
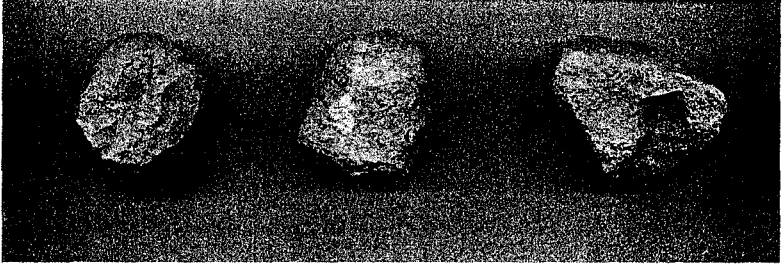
Tüf 1 grubuna ait K2 grubu agregalar şekil 4.50' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.51' de, Y1 grubu agregalar şekil 4.52' de görülmektedir. Tüf 1' e ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Tüf 1' de gruplara göre I_d değerleri

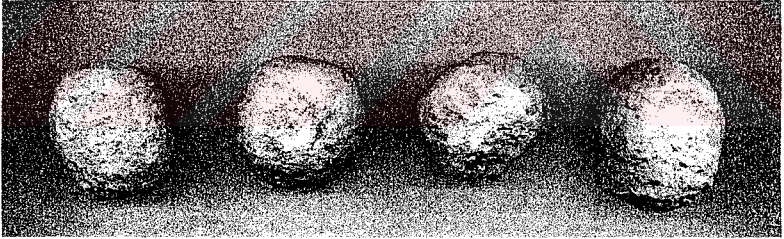
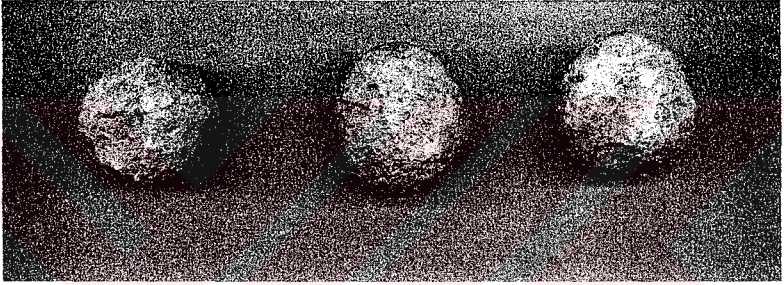
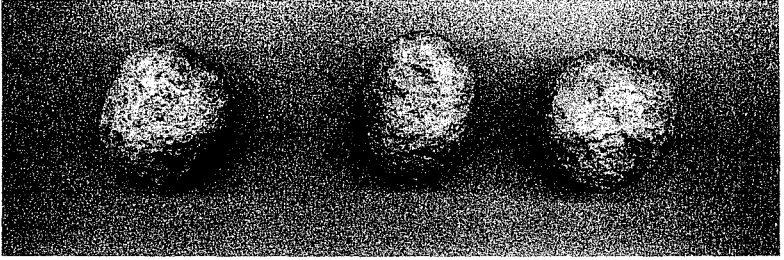
Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağ (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)				
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)		I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D
Y1	1	2122,36	2044,5	1981,47	1927,26	1887,76	1634,03	84,06	71,15	60,05	51,96	1,026967
Y2	2	2098,56	2016,08	1951,68	1893,55	1839,25	1618,19	82,83	69,42	57,32	46,02	1,027197
Ak1	3	2132,12	2053,46	1961,55	1909,29	1864,88	1655,73	83,49	64,20	53,23	43,90	1,037184
Ak2	4	2107,23	2029,73	1943,05	1891,23	1854,17	1640,99	83,38	64,79	53,67	45,72	1,037751
K1	5	2165,53	2046,4	1936,46	1862,52	1810,38	1648,85	76,94	55,67	41,35	31,26	1,050050
K2	6	2113,37	2015,36	1938,36	1869,88	1818,68	1647,34	78,97	62,45	47,75	36,77	1,049721



Şekil 4.50. Tüfl' e ait köşeli 2 (K2) grubu agregalar

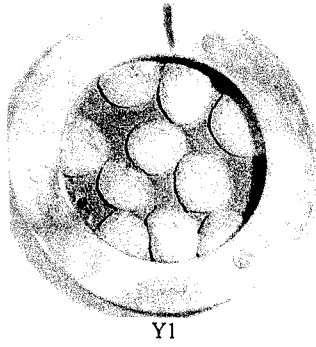


Şekil 4.51. Tüfl' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar

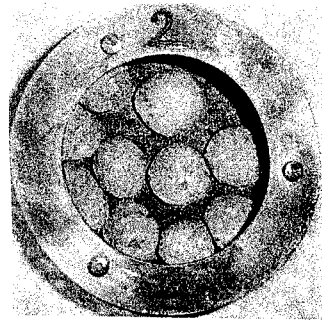


Şekil 4.52. Tüfl' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

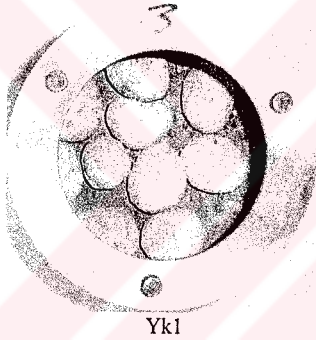
Tüfl 1' e ait agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.53' de görülmektedir. Yuvarlak ve yarı köşeli gruptaki agregalarda parçalanma meydana gelmezken, köşeli gruptaki agregalarda kısmen parçalanmalar olmuştur. Tüm gruptaki agregaların yüzey pürüzlülükleri silinmiş durumdadır.



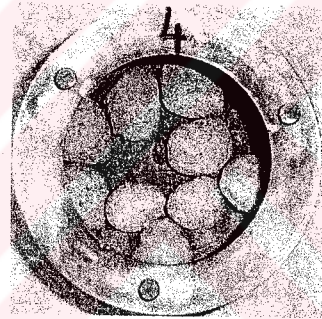
Y1



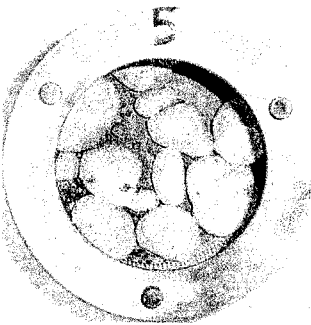
Y2



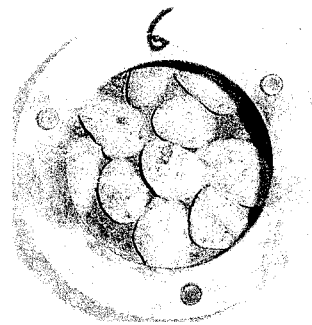
Yk1



Yk2



K1

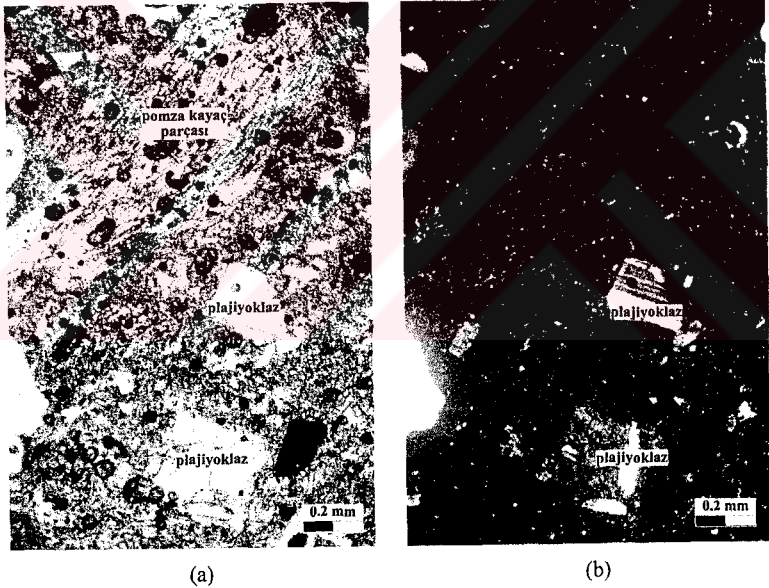


K2

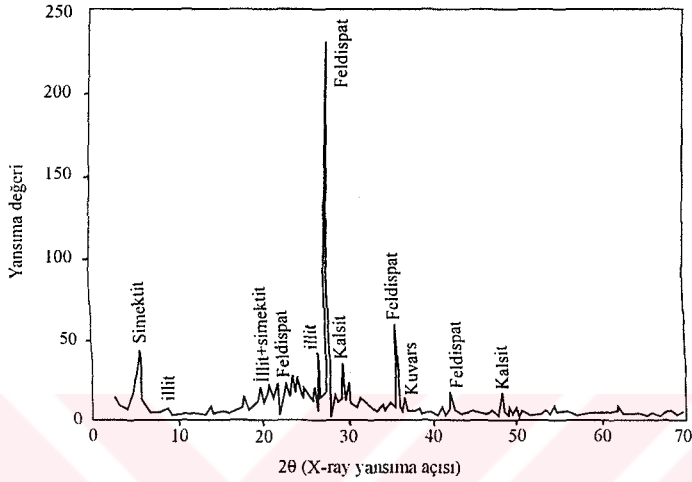
Şekil 4.53. Tüf 1' e ait agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.5. Tüf 2 (Göreme)

Kapadokya bölgesinde genel olarak, Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanik birimler yüzeylemektedir (Toprak vd 1994). Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Ürgüp volkanik formasyonu, klastik karakterli olup, büyük-küçük obsidiyen ve pümis parçaları içermekte; kirlili beyaz, gri ve pembe renkler sunmaktadır (Aydan ve Ulusay 2003). Göreme-Ürgüp yolu kenarından alınan pembe renkli tüf örneklerin ince kesitleri ve XRD analiz sonuçları incelendiğinde, kayacın pomza, andezit kaya parçaları ile feldispat, kil ve kuvars minerallerinden oluştuğu ve ignimbrit türü tüf olduğu anlaşılmaktadır (şekil 4.54-4.55).



Şekil 4.54. Tüf 2' nin tek (a) ve çift (b) nikol mikrofotografı

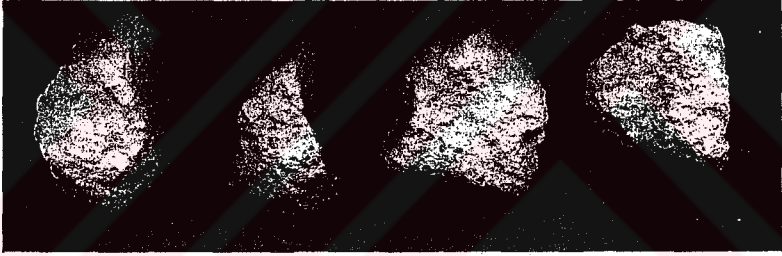
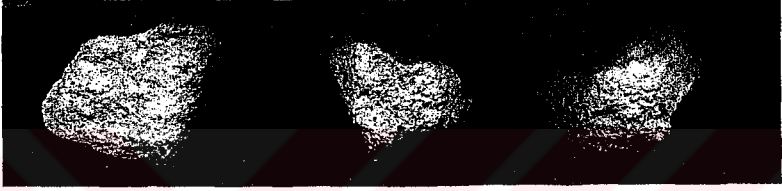


Şekil 4.55. Tuf 2' ye ait XRD difraktogramı

Tuf 2 grubuna ait K1 grubu agregalar şekil 4.56' da, Yk1 grubu agregalar şekil 4.57' de, Y1 grubu agregalar şekil 6.58' de görülmektedir. Tuf 2' ye ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları çizelge 4.6' da verilmiştir.

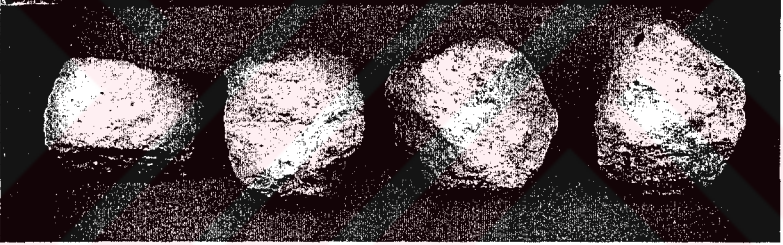
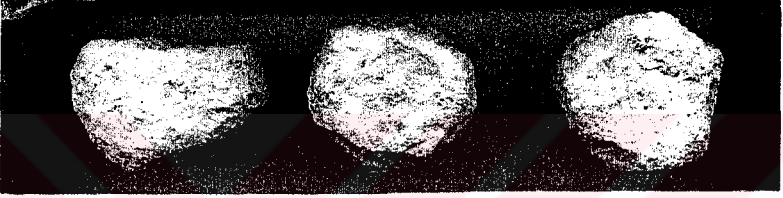
Çizelge 4.6. Tuf 2' de gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağı (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)				
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)		I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D
Y1	1	2154.68	2067.53	1982.01	1882.81	1809.02	1634.03	83.2613	66.836	47.783	33.61	1.023560
Y2	2	2150.88	2065.65	1964.75	1877.43	1808.05	1648.85	83.0229	62.925	45.531	31.711	1.027076
Yk1	3	2155.53	2048.81	1916.17	1827	1782.92	1655.73	78.6475	52.109	34.268	25.448	1.030638
Yk2	4	2118.37	2005.27	1902.41	1785.96	1734.05	1640.99	76.3082	54.761	30.368	19.494	1.032901
K1	5	2113.16	1972.53	1838.2	1759.01	1726.4	1648.85	69.712	40.781	23.726	16.702	1.046673
K2	6	2110.96	1975.89	1852.72	1789.85	1751.89	1647.34	70.8662	44.299	30.739	22.551	1.042292



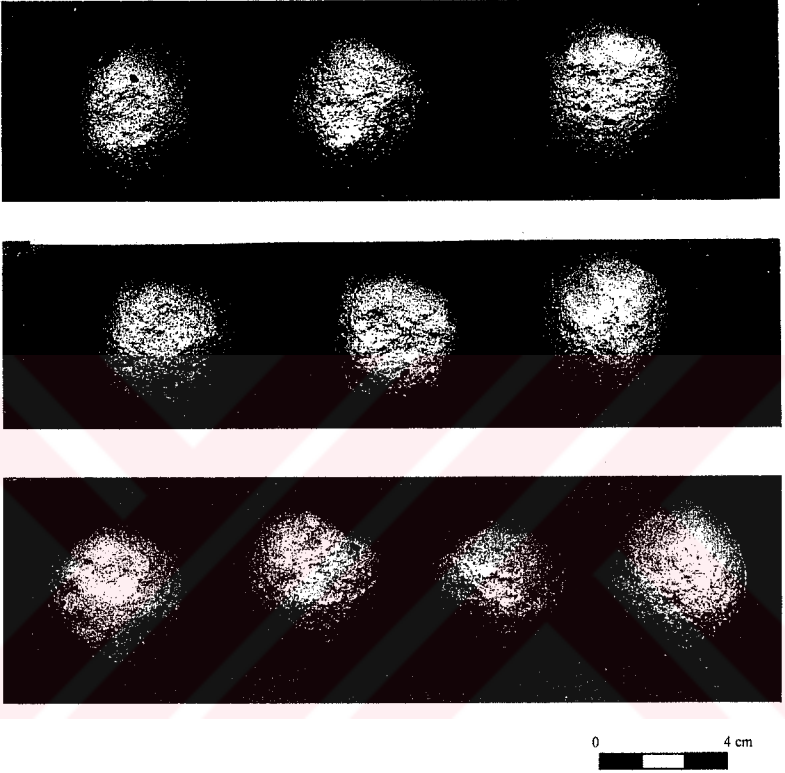
0 4 cm

Şekil 4.56. Tüf 2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar



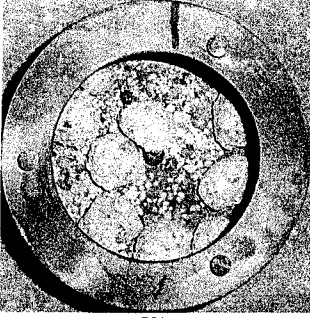
0 4 cm

Şekil 4.57. Tüf 2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar

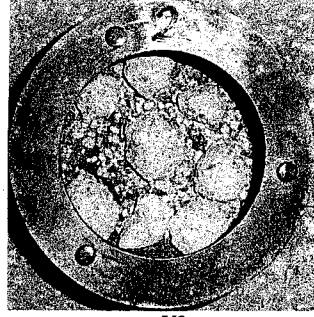


Şekil 4.58. Tüf 2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

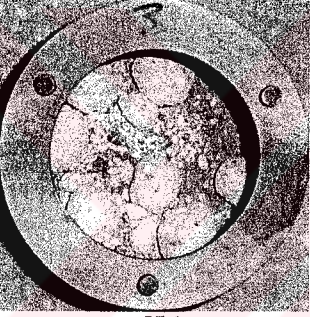
Tüf 2'' ye ait agregaların 4 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.59' da görülmektedir. Tüm gruplardaki agregalarda kısmen parçalanma meydana gelmiştir.



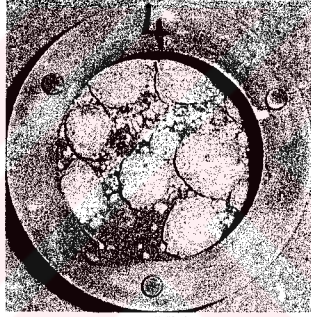
Y1



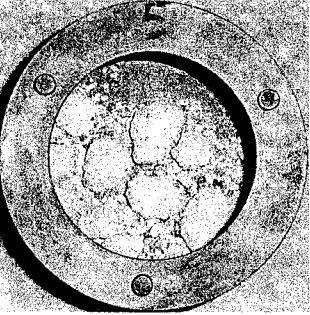
Y2



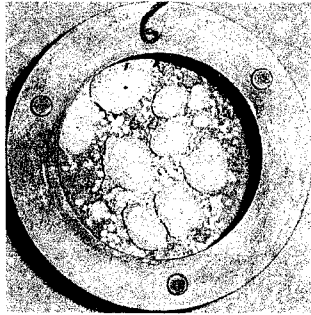
Yk1



Yk2



K1

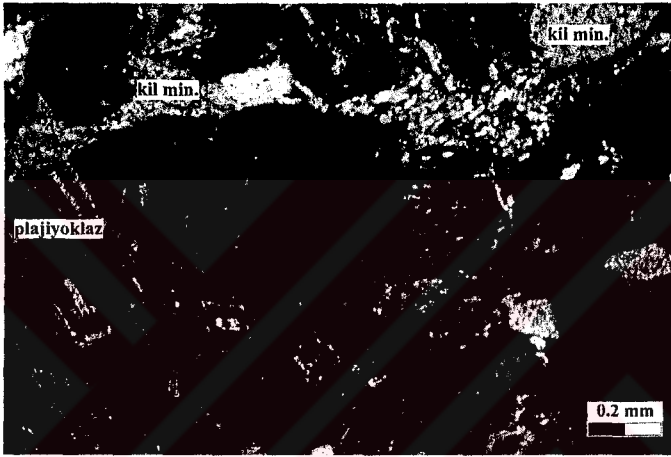


K2

Şekil 4.59. Tüf 2' ye ait agregaların dört döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

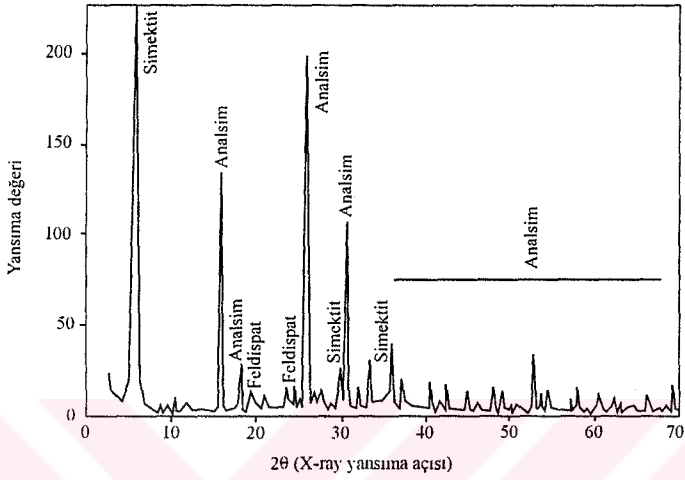
4.6. Kumtaşı 2 (Kmt2)

Kırmızımsı kahverenkli kumtaşı 2 (kmt2) kayacı çok ince laminalanma göstermekte olup çoğunlukla ince tanelidir. Feldispat ve kil minerallerinden oluşan kaya litik grovak olarak adlandırılmıştır (şekil 4.60-4.61).



Şekil 4.60. Kumtaşı 2 (kmt2)' nin çift nikol mikrofotografı

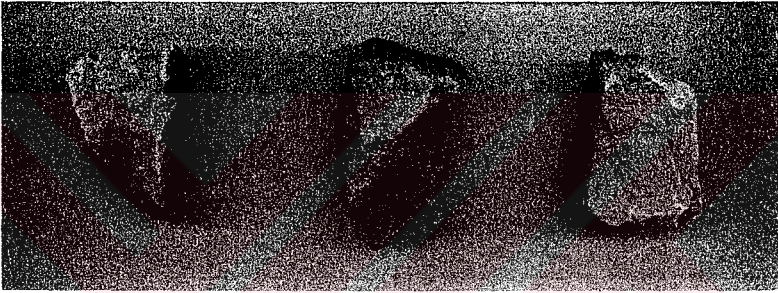
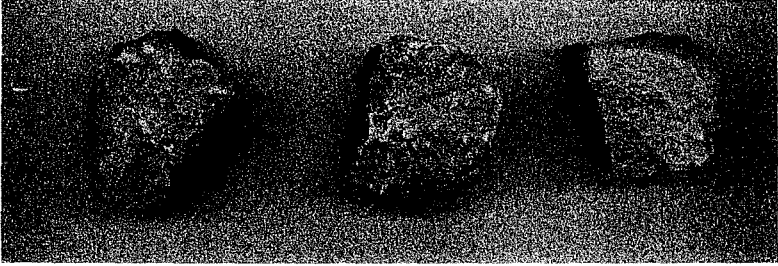
Kmt 2' ye ait K1 grubu agregalar şekil 4.62' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.63' de, Y1 grubu agregalar şekil 4.64' de görülmektedir. Kmt2' ye ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları çizelge 4.7' de verilmiştir. Kmt2 grubu agregalarda yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksi üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığı anlaşılmış ve deney 2 döngüde bitirilmiştir.



Şekil 4.61. Kumtaşı 2 (kmt2)' nin XRD difraktogramı

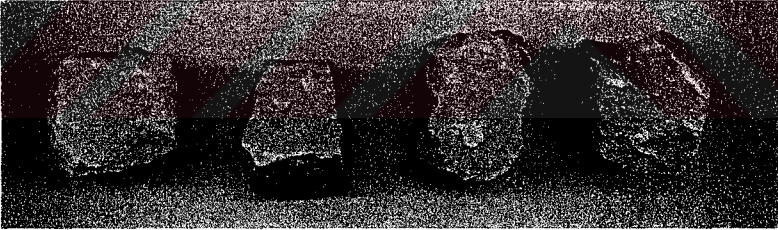
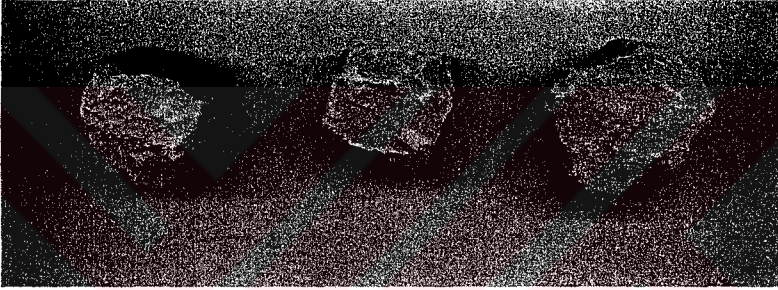
Çizelge 4.7. Kmt2' de gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T.ağı (g)					Islak Kararlılık İndeksi (%)			
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)	D	I_{d1}	I_{d2}	I_{d11}	I_{d11}	I_{d11}	I_{d11}	I_{d11}	D
Y1	1	2146,61	2070,46	1919,05			1634,03	85,1438	55,605						1,033275
Y2	2	2128,31	2062,71	1950,32			1618,19	87,1403	65,108						1,035588
Yk1	3	2164,16	2099,82	1967,1			1655,73	87,3454	61,241						1,041754
Yk2	4	2145,77	2079,71	1938,41			1640,99	86,9131	58,921						1,04136
K1	5	2142,21	2091,88	1963,72			1648,85	89,7985	63,822						1,052322
K2	6	2133,84	2095,04	1927,14			1647,34	92,0247	57,513						1,046694



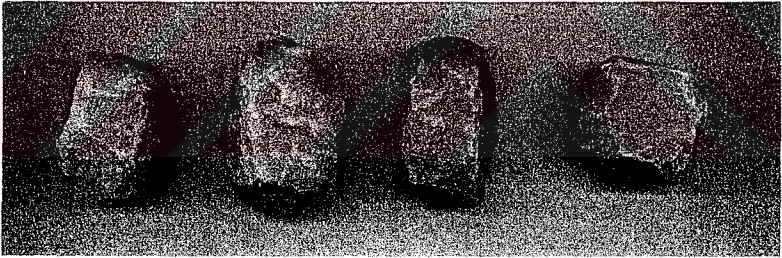
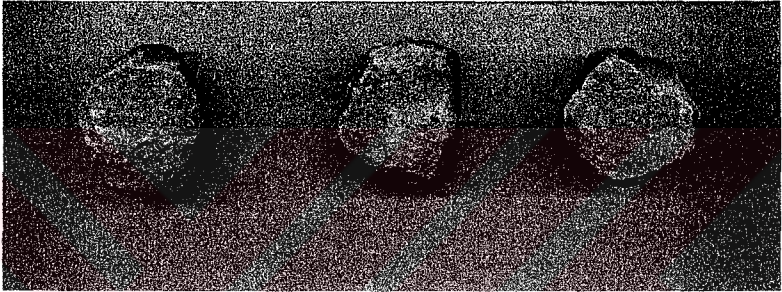
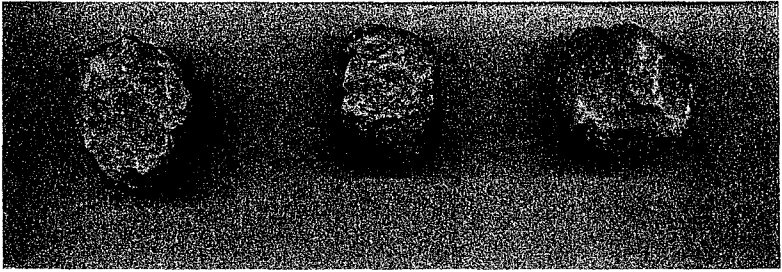
0 4 cm

Şekil 4.62. Kmt 2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar



0 4 cm

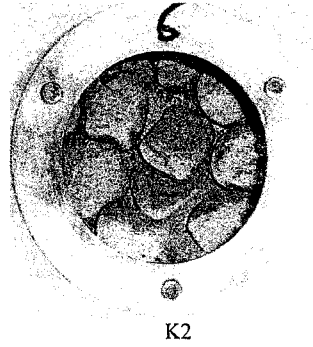
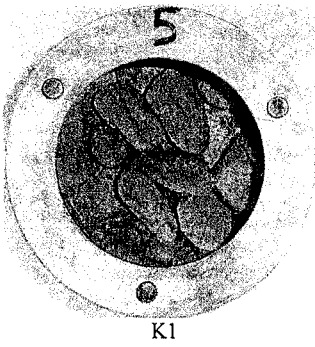
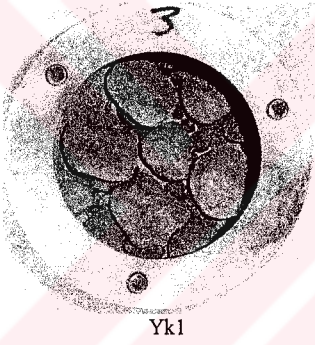
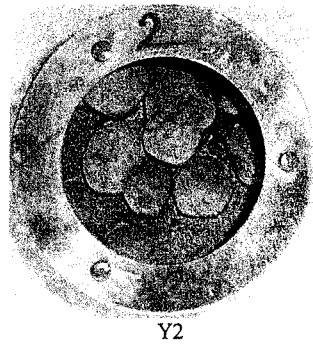
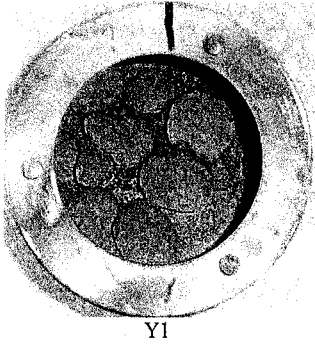
Şekil 4.63. Kmt 2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar



0 4 cm

Şekil 4.64. Kmt 2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

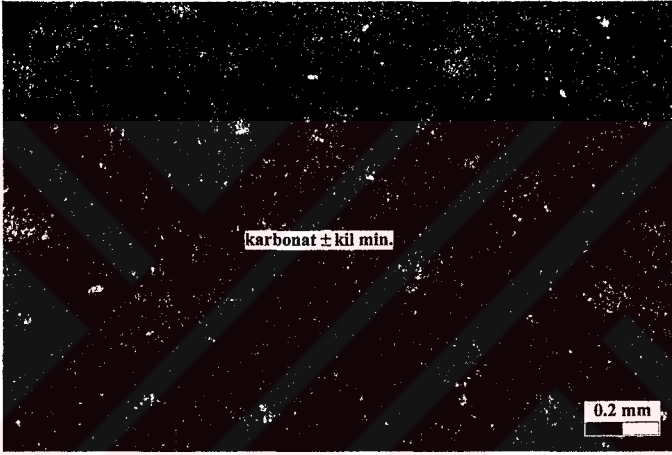
Kmt2 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.65' de görülmektedir. Tüm gruptaki agregalarda kısmen parçalanmalar meydana gelmiştir. Parçalanmalarda kayadaki ince tabakalanma-laminalanma ve fisürler etkili olmuştur.



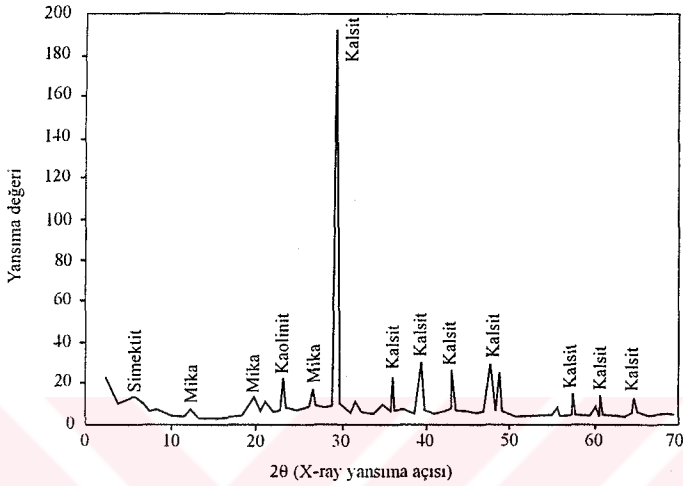
Şekil 4.65. Kmt2 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.7. Marn 1

Marn1, marn2 ve k.kçt1 (Killi kireçtaşı 1, Yozgat) grubu kayalar Yibitaş malzeme ocağındaki (Yozgat-Sarayköy) farklı seviyelerden alınmıştır. Açık yeşil renkli marnlar (marn1) ince kesitte homojen-izotrop bir mineralojik bileşim göstermekte olup (şekil 4.66), XRD analizinde kalsit ve kil mineralleri içerdiği (simektit, mika, kaolinit) belirlenmiştir (şekil 4.67).



Şekil 4.66. Marn1' in çift nikol mikrofotografı

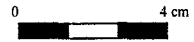
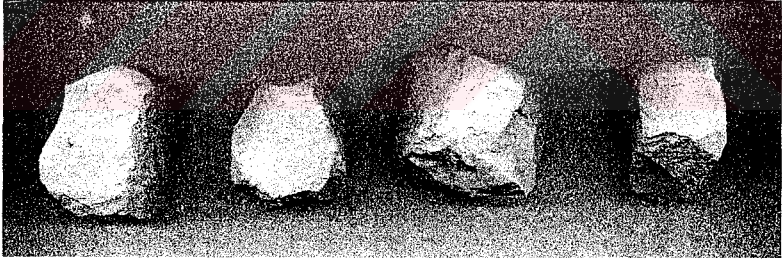
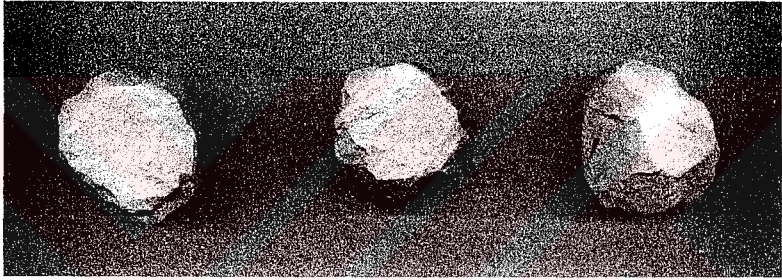
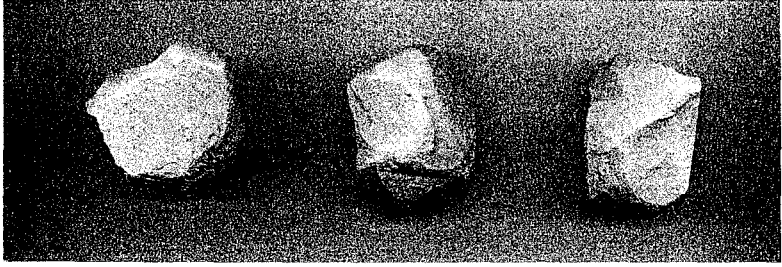


Şekil 4.67. Marn1' in XRD difraktogramı

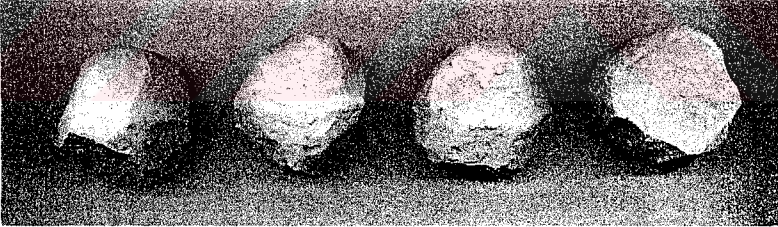
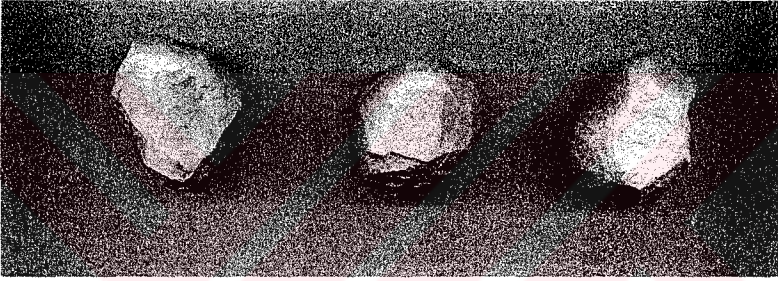
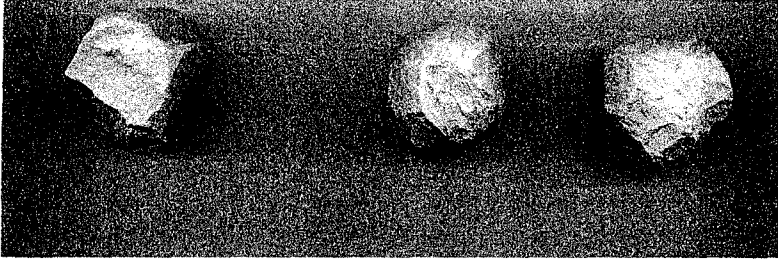
Marn1' e ait K1 grubu agregalar şekil 4.68' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.69' da, Y1 grubu agregalar şekil 4.70' de görülmektedir. Marn1' e ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları ise çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Marn1' de gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					T ağı. (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)					F boyut
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)		D	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	
Y1	1	2132.53	2102.76	2082.33	2062.62	2047.71	1634.03	94,03	89,93	85,98	82,98	1,024406	
Y2	2	2119.02	2090.18	2071.36	2052.12	2037.28	1618.19	94,24	90,48	86,64	83,68	1,024400	
Yk1	3	2153.29	2118.02	2097.47	2075.42	2057.89	1655.73	92,91	88,78	84,35	80,83	1,031356	
Yk2	4	2137.68	2103.91	2081.5	2059.68	2041.67	1640.99	93,20	88,69	84,30	80,67	1,032269	
K1	5	2130.42	2095.55	2069.62	2045.13	2026.21	1648.85	92,76	87,37	82,29	78,36	1,037739	
K2	6	2123.06	2076.9	2060.36	2034.87	2015.69	1647.34	90,30	86,82	81,46	77,43	1,038051	

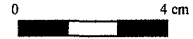
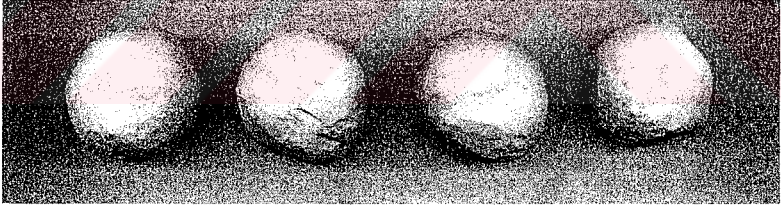
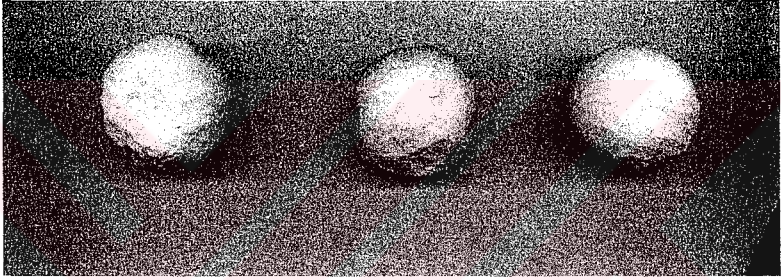
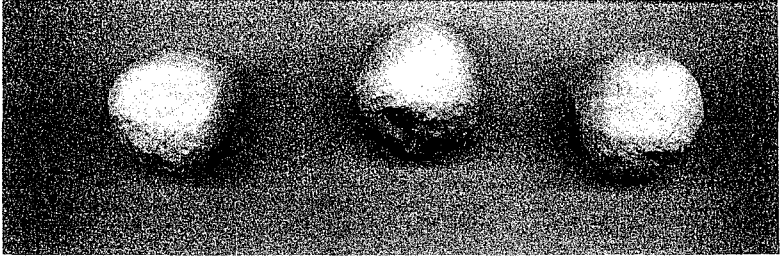


Şekil 4.68. Marnl' e ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar



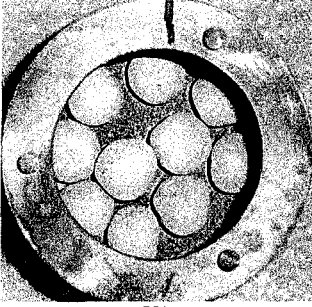
0 4 cm

Şekil 4.69. Marn1' e ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar

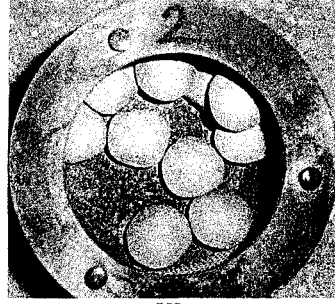


Şekil 4.70. Marn1' e ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

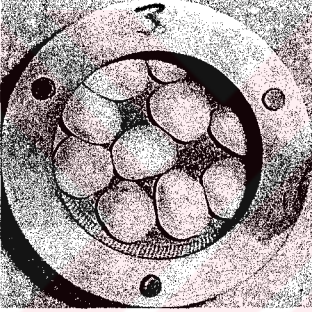
Marn1 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.71' de görülmektedir. Tüm gruptaki agregalarda parçalanma meydana gelmemiştir. Agregaların yüzey pürüzlülükleri silinmiş durumdadır.



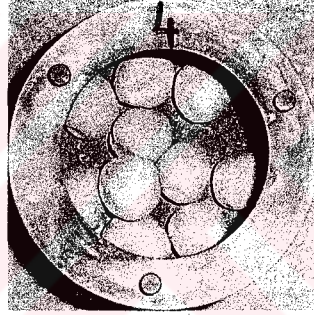
Y1



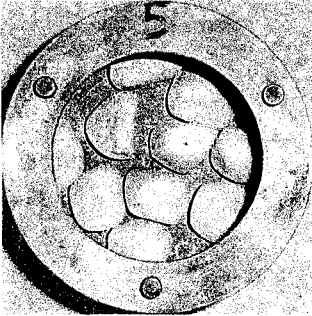
Y2



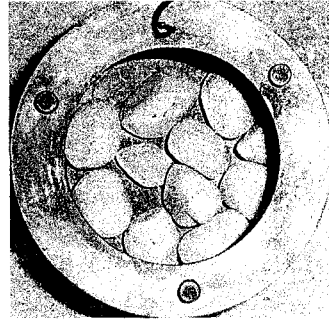
Yk1



Yk2



K1

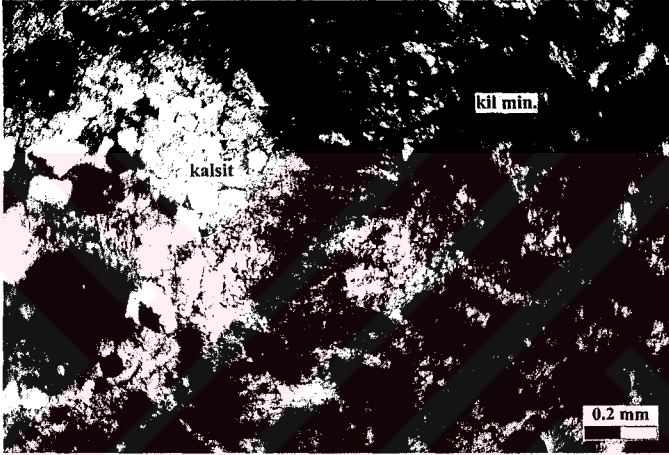


K2

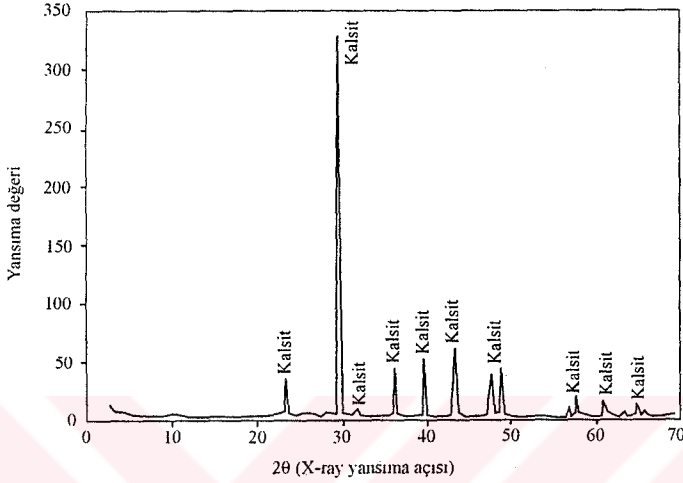
Şekil 4.71. Marn1 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.8. K.kçt1 (Killi kireçtaşı 1, Yozgat)

Yibitaş malzeme ocağından alınan killi kireçtaşı örneğinin ince kesitleri ve XRD difraktogramı incelendiğinde, biyomikritik kireçtaşı olduğu belirlenmiştir. Kaya içerisindeki boşlukların kalsitle dolması sebebiyle heterojen bir mineralojik bileşim sergilemektedir. Yer yer de kil mineralleri görülmektedir (şekil 4.72-4.73).



Şekil 4.72. K.kçt1' in çift nikol mikrofotografı

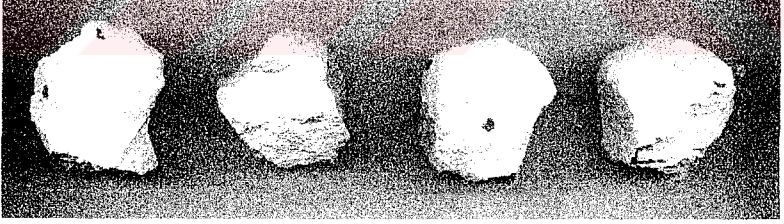
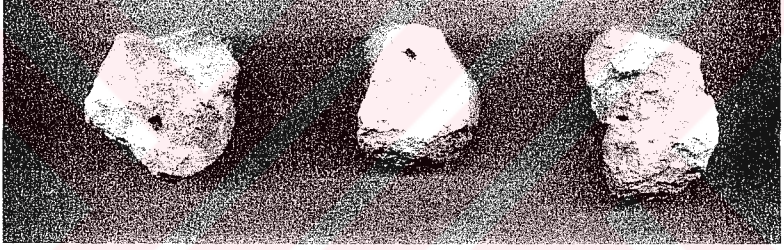
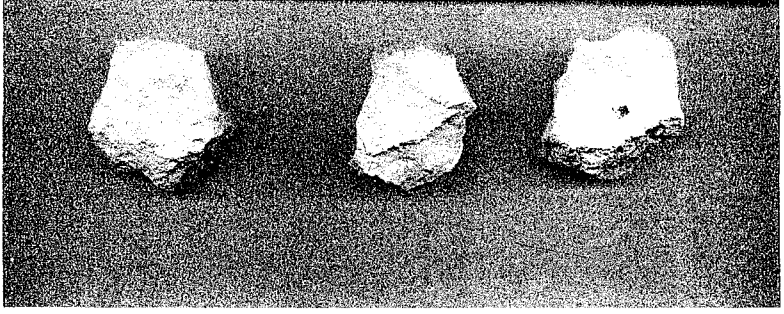


Şekil 4.73. K.kçt1' in XRD difraktogramı

K.kçt1' e ait K2 grubu agregalar şekil 4.74' de, Yk2 grubu agregalar şekil 4.75' de, Y2 grubu agregalar şekil 4.76' da görülmektedir. K.kçt 1' e ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları ise çizelge 4.9' da verilmiştir.

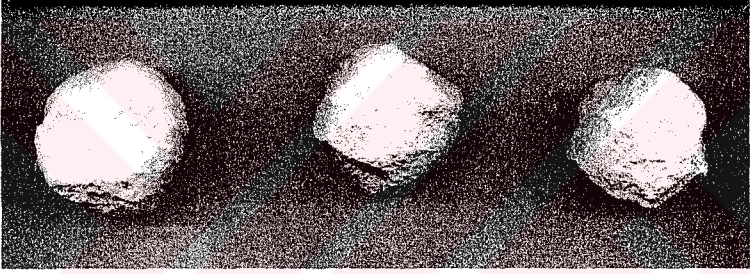
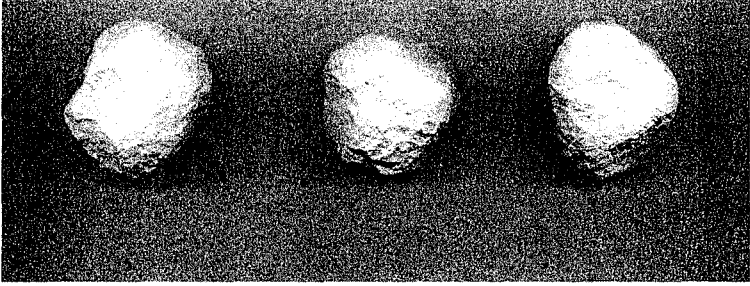
Çizelge 4.9. K.kçt 1' de (Yozgat) gruplara göre I_d değerleri

Numune	Tambur No	Tambur - Numune Ağırlığı (g)						Islak Kararlılık İndeksi (%)				
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)	D	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D
Y1	1	2169.68	2157.02	2149.3	2143.68	2137.93	1647.34	97.58	96.14	95.02	93.92	1.022808
Y2	2	2181.56	2174.84	2161.84	2158.57	2148.66	1655.73	98.72	96.25	95.63	93.74	1.026098
Yk1	3	2145.48	2122.59	2097.78	2089.46	2061.01	1648.85	95.39	90.40	88.72	82.99	1.032901
Yk2	4	2130.29	2115.99	2091.82	2086.14	2068.09	1647.34	97.04	92.03	90.86	87.12	1.029717
K1	5	2134.91	2128.04	2108.54	2106.81	2087.36	1640.99	98.61	94.66	94.31	90.37	1.038896
K2	6	2162.86	2146.15	2136.2	2128.77	2121.15	1648.85	96.75	94.81	93.37	91.89	1.040788



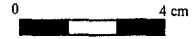
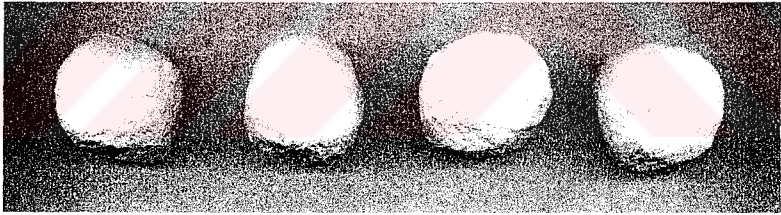
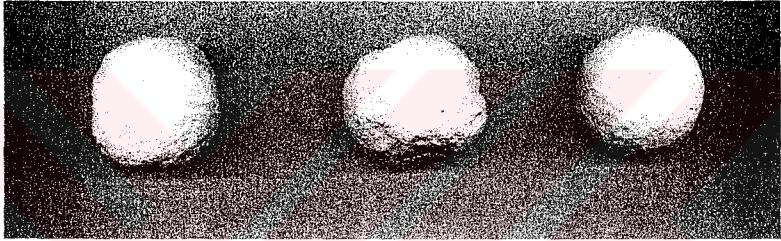
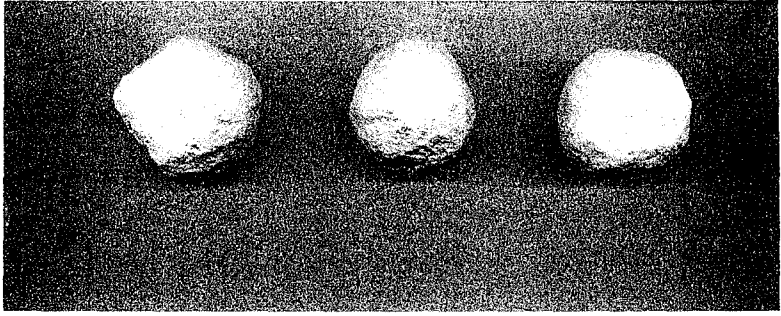
0 4 cm

Şekil 4.74. K.kçt1' e ait köşeli 2 (K2) grubu agregalar



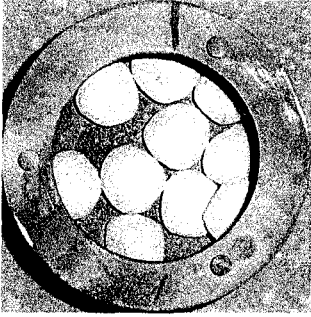
0 4 cm

Şekil 4.75. K.kçt1' e ait yarı köşeli 2 (Yk2) grubu agregalar

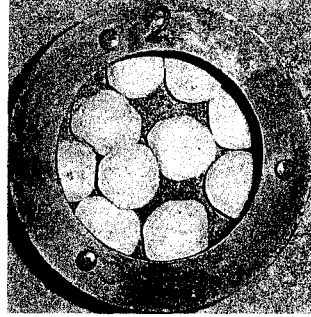


Şekil 4.76. K.kçt1' e ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar

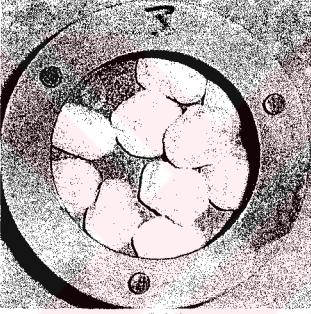
K.kçt1 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 6.76' da görülmektedir. Tüm gruplardaki agregalarda parçalanma meydana gelmemiştir. Agregaların yüzey pürürlülüğü silinmiş durumdadır.



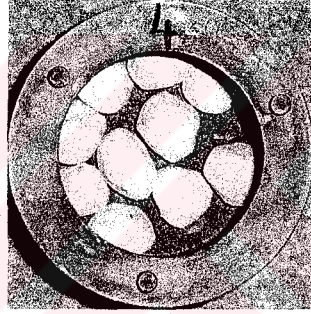
Y1



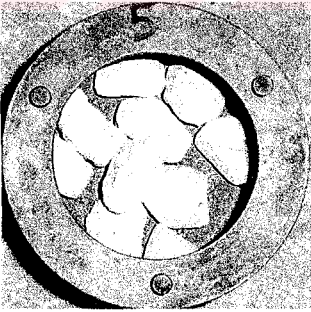
Y2



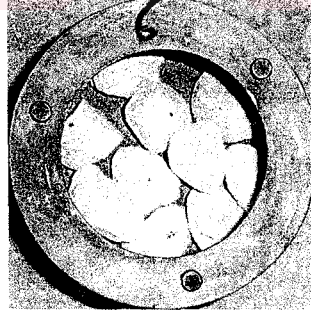
Yk1



Yk2



K1

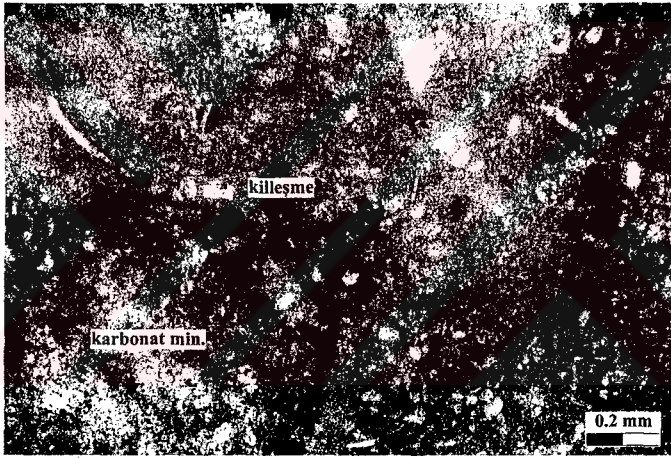


K2

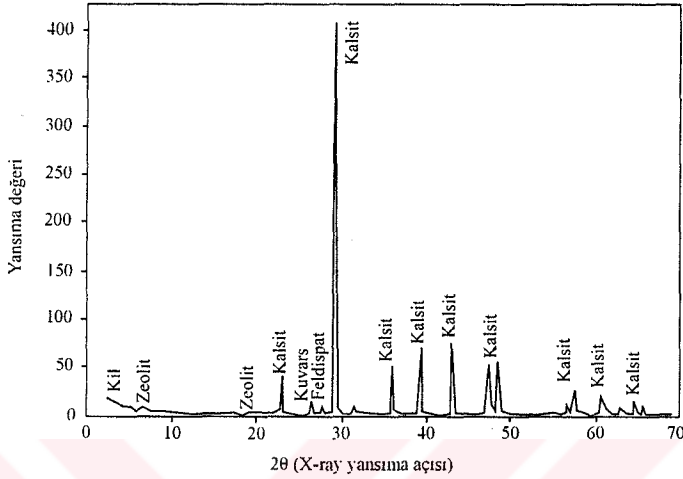
Şekil 4.77. K.kçt1 (Yozgat) grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.9. K.kçt 2 (Killi kireçtaşı 2, Bursa)

Örnekler Çeşnigir köyünün (Karacabey) batısından, Orta-Geç Miyosen yaşlı Çamlık formasyonu içerisindeki killi seviyeden alınmıştır. Çamlık formasyonu gölsel karakterli olup kiltası, killi kireçtaşı ve çoğunlukla da dolomitik kireçtaşından oluşmaktadır (Bayhan vd 1998). Yapılan incekesit ve XRD analizleri sonucunda kayacın kalsit, kil ve bol fosil içerdiği görülmektedir (şekil 4.78-4.79). Fosillerin çevresinde demir oksitleşmeler ve killeri izlenmektedir. Kayada bazı yerlerde kil bazı yerlerde de kalsit ve fosil yoğunlaşmaları mineralojik açıdan heterojenlik ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.78. K.kçt2' nin çift nikol mikrofotografı

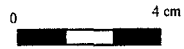
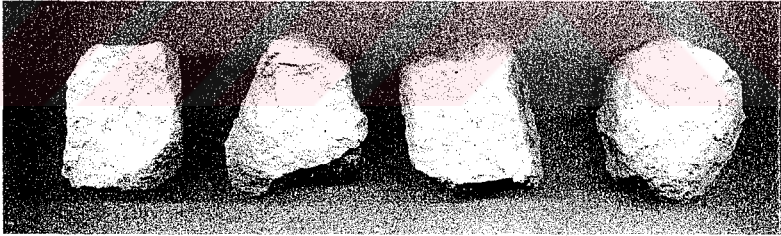
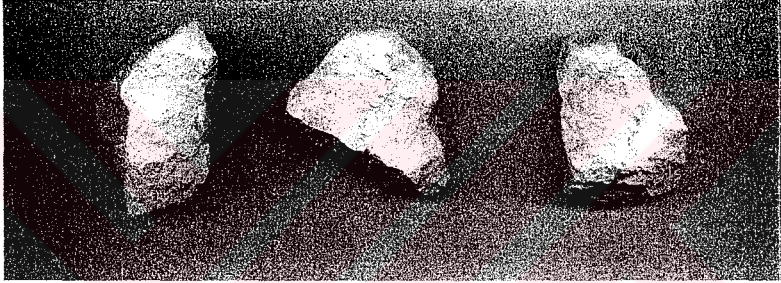
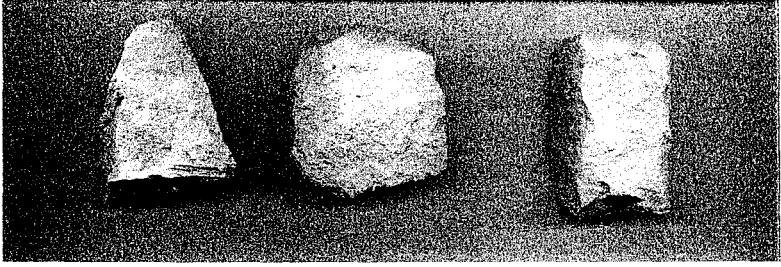


Şekil 4.79. K.kçt2' nin XRD difraktogramı

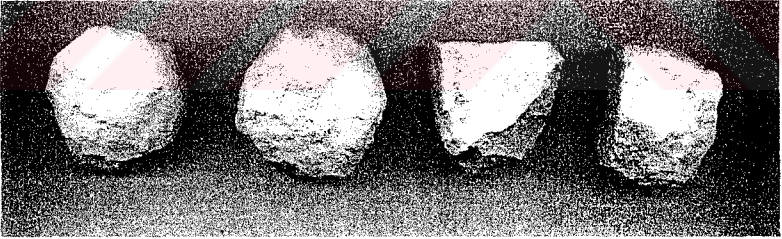
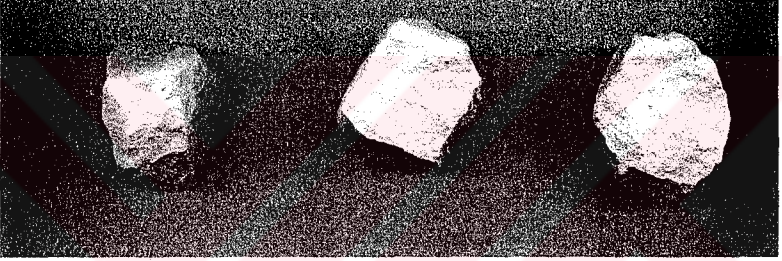
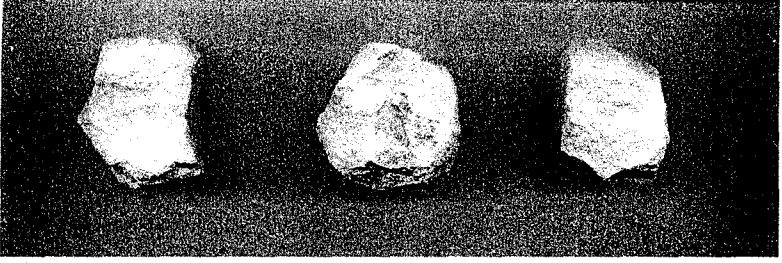
K.kçt2' ye ait K1 grubu agregalar şekil 4.80' de, Yk1 grubu agregalar şekil 4.81' de, Y1 grubu agregalar şekil 4.82' de görülmektedir. K.kçt2' ye ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları ise çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. K.kçt2' de (Bursa) gruplara göre I_d değerleri

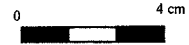
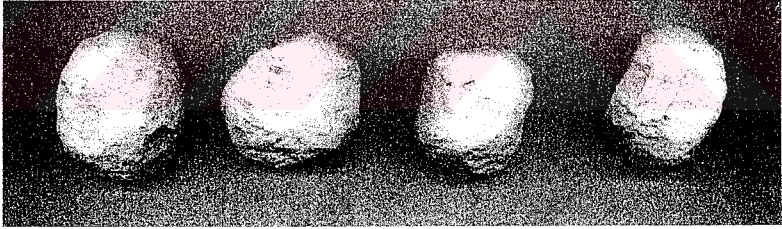
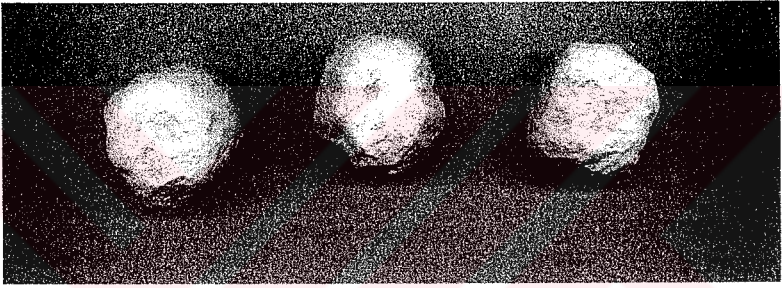
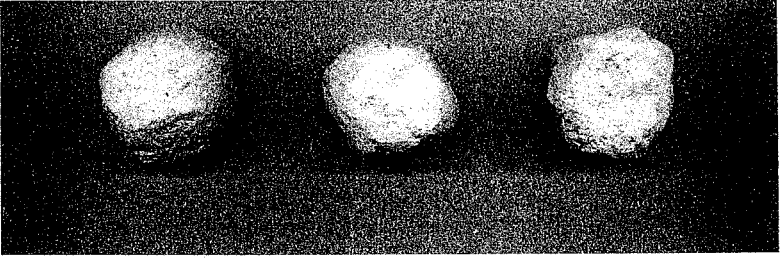
Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)					Tağ. (g)		Islak Kararlılık İndeksi (%)			
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)	4 (F)	D		I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}
Y1	1	2153,27	2135,83	2117,24	2102,44	2085,56	1634,03		96,64	93,06	90,21	86,96
Y2	2	2119,35	2105,5	2076,14	2053,7	2041,3	1618,19		97,24	91,38	86,90	84,43
Yk1	3	2151,32	2089,76	2072,86	2060,53	2050,1	1655,73		87,58	84,17	81,68	79,58
Yk2	4	2139,24	2116,88	2094,12	2075,93	2061,23	1640,99		95,51	90,94	87,29	84,34
K1	5	2154,35	2080,11	2064,51	2051,09	2041,23	1648,85		85,31	82,23	79,57	77,62
K2	6	2144,34	2108,27	2090,57	2076,08	2065,71	1647,34		92,74	89,18	86,27	84,18



Şekil 4.80. K.kçt2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar

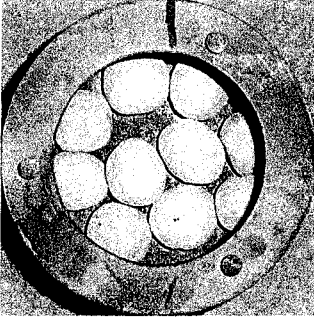


Şekil 4.81. K.kçt2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar.

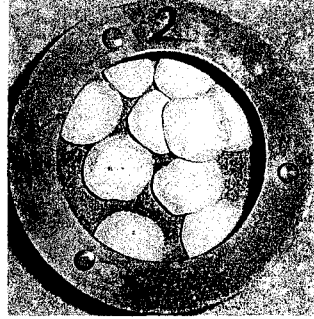


Şekil 4.82. K.kçt2' ye ait yuvarlak 2 (Y2) grubu agregalar

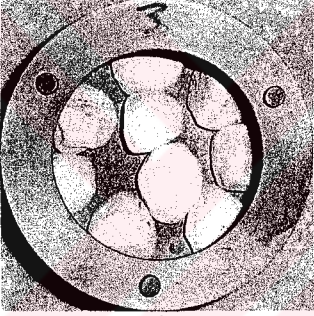
K.kçt2 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.83' de görülmektedir. Tüm gruptaki agregalarda parçalanma meydana gelmemiştir. Agregaların yüzey pürüzlülükleri silinmiş durumdadır.



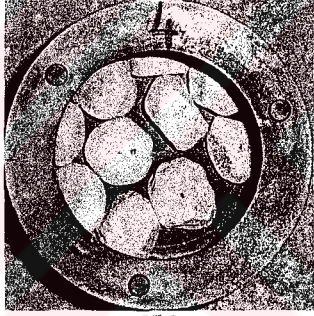
Y1



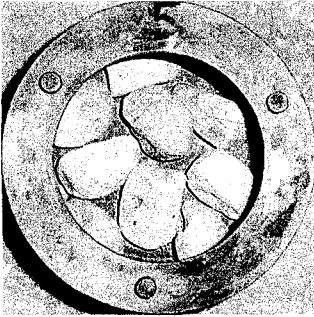
Y2



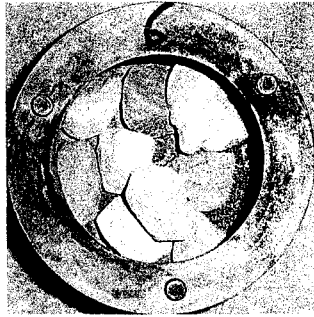
Yk1



Yk2



K1

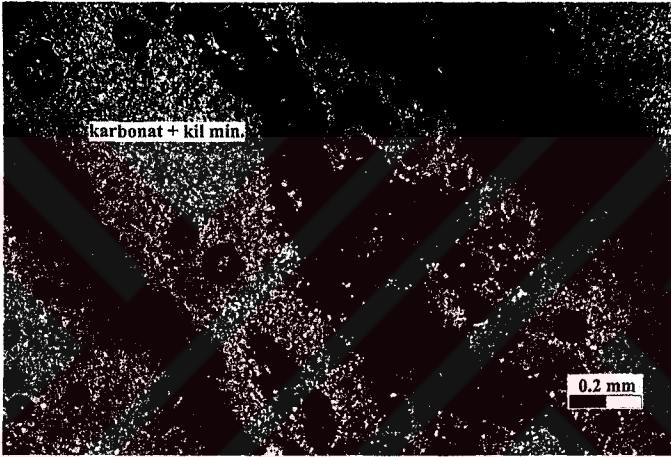


K2

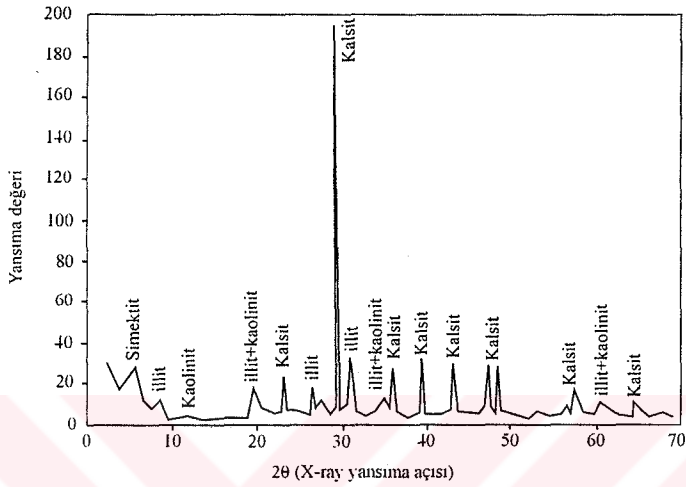
Şekil 4.83. K.kçt2 (Bursa) grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

4.10. Marn 2 (Sarı Renkli Marn)

Marn2 1-3 mm kalınlığında tabakalanma-laminalanma göstermekte olup dokusal anizotropiye sahiptir (şekil 4.84). XRD analizi sonuçlarında kalsit, simektit, illit, kaolinit ve kuvars minerallerini içerdği görülmektedir (şekil 4.85).



Şekil 4.84. Marn 2' nin çift nikol mikrofotografı

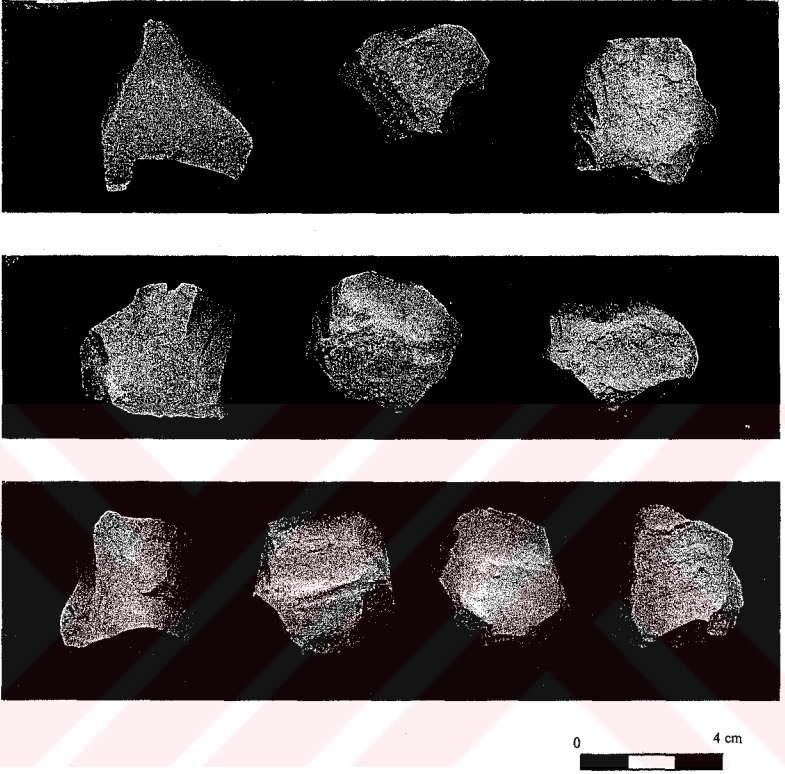


Şekil 4.85. Marn 2' nin XRD difraktogramı

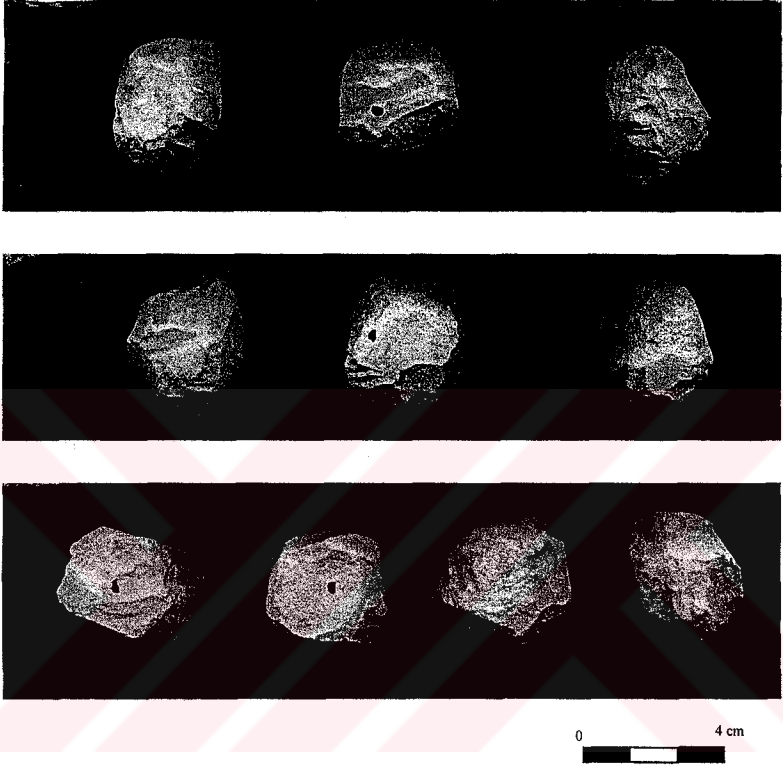
Marn2' ye ait K1 grubu agregalar şekil 6.86' da, Yk1 grubu agregalar şekil 6.87' de, Y1 grubu agregalar şekil 6.88' de görülmektedir. Marn2' ye ait ıslak kararlılık deneyi sonuçları ise çizelge 4.11' de verilmiştir. Marn2 grubu agregalarda yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksi üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığı anlaşılmış ve deney 2 döngüde bitirilmiştir.

Çizelge 4.11. Marn 2'de gruplara göre I_d değerleri

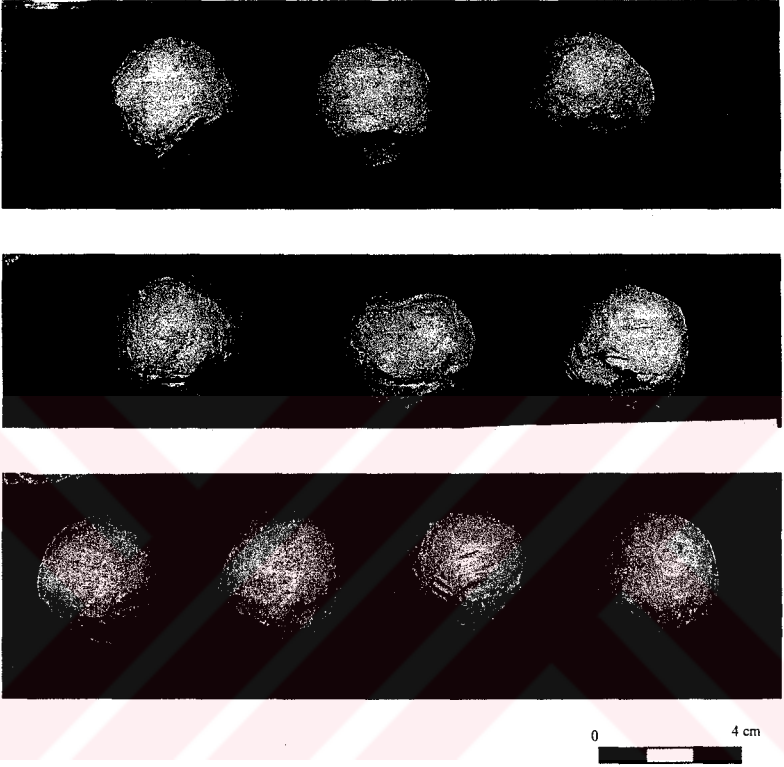
Numune	Tambur No	Tambur + Numune Ağırlığı (g)				T. Ağı (g)	Islak Kararlılık İndeksi (%)				D	
		A	1 (B)	2 (C)	3 (E)		4 (F)	D	I_{d1}	I_{d2}		I_{d1}
Y1	1	2102.70	2035.25	1971.03			1648.85	85.1383	70.988			1.022018
Y2	2	2089.36	2012.05	1917.30			1647.34	82.5098	61.074			1.023871
Yk1	3	2092.47	2041.96	2002.91			1655.73	88.4348	79.494			1.033193
Yk2	4	2064.3	2002.58	1929.05			1640.99	85.4197	68.049			1.035455
K1	5	2060.52	2007.1	1932.87			1634.03	87.4745	70.07			1.041174
K2	6	2058.96	2007.85	1930.91			1618.19	88.4044	70.949			1.044795



Şekil 4.86. Marn2' ye ait köşeli 1 (K1) grubu agregalar

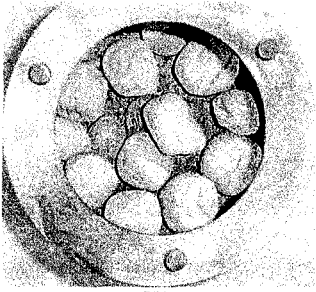


Şekil 4.87. Marn2' ye ait yarı köşeli 1 (Yk1) grubu agregalar



Şekil 4.88. Marn2' ye ait yuvarlak 1 (Y1) grubu agregalar

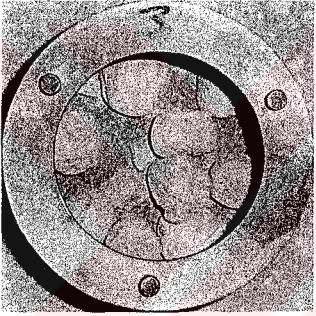
Marn2 grubu agregaların 2 döngülü ıslak kararlılık deneyi sonrasındaki durumu şekil 4.89' da görülmektedir. Tüm gruplardaki agregalarda kısmen parçalanmalar meydana gelmiştir. Parçalanmalarda kayadaki ince tabakalanma-laminalanma etkili olmuştur.



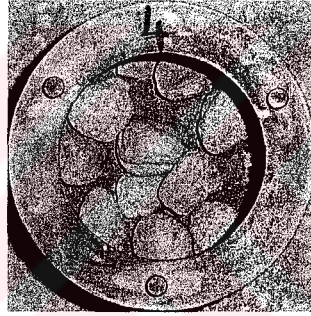
Y1



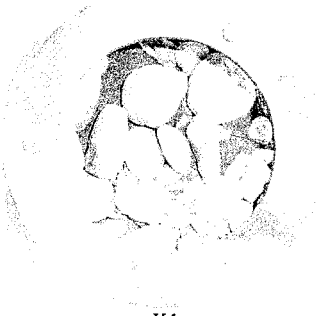
Y2



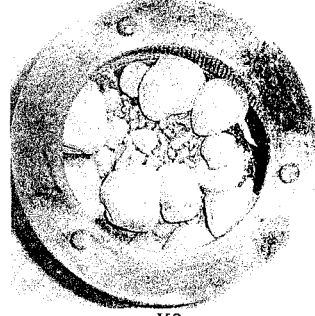
Yk1



Yk2



K1



K2

Şekil 4.89. Marn2 grubu agregaların iki döngülü ıslak kararlılık deneyi sonundaki durumu

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Genel

Tek değişkenli (grup içi) istatistiksel analizde, ölçümle belirtilen değişkenleri tek bir ölçü ile tanımlamak ve veri yapısını incelemek için bir çok istatistik yöntem vardır. Dağılımın ortalaması hakkında bilgi veren *aritmetik ortalama*, dağılımın yaygınlığı hakkında bilgi veren *standart sapma* ve standart sapmanın karesi olan *varyans* bunlar arasında en çok kullanılanlarıdır (Kutsal vd 1990).

Regresyon, değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi, korelasyon da bu ilişkinin miktarını yüzde olarak belirtir. Değişken sayısı iki olan regresyon problemine basit regresyon problemi, değişken sayısı ikiden çok olan regresyon problemine ise çoklu regresyon problemi denir. Bağımlı değişken Y, bağımsız değişkenler ise X ile gösterilir.

Biri bağımlı diğeri bağımsız, iki değişkenin birinci dereceden ilişkisi basit regresyon analizi olarak adlandırılır. X-Y koordinat sisteminde noktaların dağılımı bir doğru etrafındadır. Bu regresyon doğrusunun denklemi;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon_i$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

Y: bağımlı değişkeni,

X: bağımsız değişkeni,

β_0 : X = 0 olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değeri,

β_1 : regresyon katsayısını,

ε_i : Dağılım için hata terimini,

ifade etmektedir. β_0 ve β_1 parametreleri en küçük kareler yöntemiyle belirlenir.

Eğer koordinat sisteminde x ve y noktaları elips içinde dağılıyorsa, ilişki doğrusal olabilir. Bir çok olaylarda bu ilişki doğrusal olmaya da bilir. Bu nedenle regresyon

konusu, “Basit, Çoklu, Doğrusal, Doğrusal Olmayan” olmak üzere dört alt bölümde incelenir.

Çalışmaların çoğunda bağımlı değişkeni etkileyen birden çok bağımsız değişken söz konusudur. Bu durumda çoklu regresyon çözümlemesi gündeme gelmektedir. Çoklu regeresyon çözümlemesi yardımı ile; bir bağımlı değişken ile birden çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiler matematiksel modellerle incelenir ve bağıntılar kurulur. Çoklu regresyon kestirim denklemi;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_j X_{in} + \epsilon_i \text{ şeklindedir.}$$

Burada,

- Y : Bağımlı değişkeni,
- $X_{(1,2,\dots,n)}$: Bağımsız değişkenleri,
- $\beta_{(1,2,\dots,n)}$: Regresyon katsayılarını,
- β_0 : Sabiti
- ϵ_i : Dağılım için hata terimini,

ifade etmektedir.

Elde edilecek matematiksel modelin (regresyon denkleminin) iki önemli amacı;

- Bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkeni kestirmek,
- Bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmak ve aralarındaki karmaşık yapıyı tanımlamak,

olarak verilebilir (Alpar 2003).

Korelasyon katsayısı (r), iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin ölçüsüdür. r, incelenen değişkenlerin birimlerinden bağımsızdır ve -1 ile +1 arasında değişir.

Korelasyon katsayısı -1 ve $+1$ ' e yaklaştıkça ilişkinin kuvveti artarken, 0 ' a yaklaştıkça ilişkinin kuvveti azalır (çizelge 5.1). -1 tam negatif ilişkiyi $+1$ tam pozitif ilişkiyi tanımlar. Korelasyon katsayısı değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi tanımlamaktadır.

Çizelge 5.1. Korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki ilişki (Temur 1995)

Korelasyon katsayısı	Değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvet derecesi
-1,000 - -0,850	Çok kuvvetli negatif korelasyon
-0,849 - -0,600	Kuvvetli negatif korelasyon
-0,599 - -0,450	Zayıf negatif korelasyon
-0,449 - -0,300	Çok zayıf negatif korelasyon
-0,299 - 0,300	Korelasyon ilişkisi yok
0,301 - 0,450	Çok zayıf pozitif korelasyon
0,451 - 0,600	Zayıf pozitif korelasyon
0,601 - 0,850	Kuvvetli pozitif korelasyon
0,851 - 1,000	Çok kuvvetli pozitif korelasyon

Regresyon modeli tarafından açıklanabilen değişimin, toplam değişim içindeki payı olan belirtme katsayısı (R^2), bağımlı değişkendeki değişimin yüzde kaçının bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğini belirtir. R^2 , 0 ile 1 arasında değişir. İki değişken arasında doğrusal bir ilişki varken R^2 değerinin 1 ' e yaklaşması, bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir bölümünün bağımsız değişken(ler) tarafından açıklandığını gösterir. İki değişken arasında doğrusal ilişki olması durumunda, korelasyon katsayısının karesi (r^2) belirtme katsayısına (R^2) eşittir.

5.2. İstatistiksel Değerlendirmeler

Bu çalışmada, bir bağımlı bir bağımsız değişkenin karşılaştırıldığı basit regresyon analizlerinde, doğrusal, doğrusal olmayan, eksponansiyel ve logaritmik fonksiyonlar denenmiş (Microsoft Excel ve SPSS programlarından faydalanılarak) ve en yüksek ilişkiyi veren fonksiyonlar kullanılmıştır.

SPSS (Statistical Package for Social Science) (SPSS Inc. 1998) istatistik programı kullanılarak, kayaçların I_{d2} değerleri bağımlı, kuru yoğunluk, nokta yükü dayanım indeksi ve agregaların fraktal boyutları ise bağımsız değişkenler olmak üzere çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Elde edilen verilerin istatistiksel analiz çalışmaları, her kayaç grubunun kendi içerisinde ve genel olarak yapılmıştır. Deney sonuçları, orta-iri taneli kayaçlarda (kumtaşı, tuf, granit) agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık deneyi üzerindeki etkisinin ince taneli (marn, killi kireç taşı) kayaçlardan daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sebeple genel istatistiksel değerlendirmelerde kayaçlar, iri ve ince taneli olarak gruplandırılmışlardır. İnce tabakalanma-laminalanma gibi dokusal anizotropiye sahip kmt2 ve sarı marn kayaç gruplarında I_d ile D değerleri arasında ise anlamlı bir istatistiksel ilişki gözlenmemiştir. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğüne bağlı istatistiksel değerlendirmelerde bu iki grup kayaca ait veriler kullanılmamıştır.

İstatistiksel değerlendirmeler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

5.2.1. Kayaç Gruplarındaki İstatistiksel Değerlendirmeler

5.2.1.1. Kumtaşı 1 (Kmt1)

Kmt1 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.2-5.7' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.1' de verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0437, en küçük fraktal boyut değeri 1.0272 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0799' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0093' tür (çizelge 5.2).

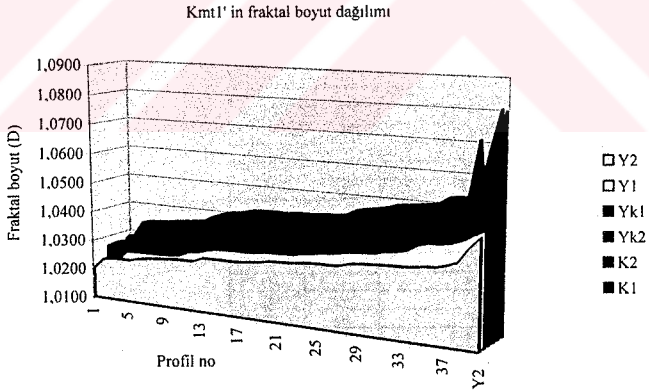
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0419, en küçük fraktal boyut değeri 1.0242 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0810' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0103' tür (çizelge 5.3).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0368, en küçük fraktal boyut değeri 1.0266 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0724' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0085' dir (çizelge 5.4).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0365, en küçük fraktal boyut değeri 1.0240 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0517' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0071' dir (çizelge 5.5).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0324, en küçük fraktal boyut değeri 1.0214 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0461' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0059' dur (çizelge 5.6).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0299, en küçük fraktal boyut değeri 1.0204 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0446' dır. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0047' dir (çizelge 5.7).



Şekil 5.1. Kmt1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.2. Kmt1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.042707		61	1.039441
	12	1.042108		62	1.041956
1	13	1.047149	6	63	1.04316
	14	1.042551		64	1.027246
	21	1.040605		71	1.052722
	22	1.049502		72	1.036126
2	23	1.048311	7	73	1.035468
	24	1.048668		74	1.054523
	31	1.036461		81	1.040355
	32	1.034442		82	1.042114
3	33	1.043119	8	83	1.038212
	34	1.045273		84	1.041524
	41	1.046544		91	1.052223
	42	1.052841		92	1.079877
4	43	1.050074	9	93	1.043483
	44	1.028908		94	1.034916
	51	1.063071		101	1.035732
	52	1.042511		102	1.03368
5	53	1.034578	10	103	1.049086
	54	1.042117		104	1.046079
Dağılım genişliği		0.01649	Grup ortalaması (Dört) 1.043736		
En küçük değer		1.027246			
En büyük değer		1.079877			
Aritmetik ortalama		1.043736			
Standart sapma		0.009312			

Çizelge 5.3. Kmt1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.046091		61	1.046588
	12	1.031949		62	1.033902
1	13	1.03668	6	63	1.024155
	14	1.03439		64	1.044006
	21	1.052451		71	1.037197
	22	1.048676		72	1.035157
2	23	1.050547	7	73	1.067639
	24	1.043542		74	1.03476
	31	1.030885		81	1.03795
	32	1.041982		82	1.049614
3	33	1.043237	8	83	1.045357
	34	1.046362		84	1.045465
	41	1.036384		91	1.029724
	42	1.029181		92	1.042678
4	43	1.042197	9	93	1.033405
	44	1.036606		94	1.050759
	51	1.037521		101	1.039142
	52	1.042602		102	1.044458
5	53	1.051567	10	103	1.035607
	54	1.080997		104	1.035607
Dağılım genişliği		0.056842	Grup ortalaması (Dört) 1.041925		
En küçük değer		1.024155			
En büyük değer		1.080997			
Aritmetik ortalama		1.041925			
Standart sapma		0.010277			

Çizelge 5.4. Kmt1' e ait Yk1 grubu agreg a profillerinin fraktal boyut (D) değ erleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,041936		61	1,042704
	12	1,072387		62	1,038123
1	13	1,035567	6	63	1,038099
	14	1,034752		64	1,031430
	21	1,026563		71	1,037125
	22	1,032885		72	1,034303
2	23	1,028305	7	73	1,034945
	24	1,038772		74	1,038828
	31	1,036229		81	1,034656
	32	1,036512		82	1,033522
3	33	1,029592	8	83	1,029406
	34	1,029471		84	1,031934
	41	1,030735		91	1,031905
	42	1,035804		92	1,043924
4	43	1,029808	9	93	1,053925
	44	1,032848		94	1,028969
	51	1,046185		101	1,030536
	52	1,030192		102	1,051097
5	53	1,043481	10	103	1,038581
	54	1,043714		104	1,032564
Dağı lım geniş liğ i		0,045824	Grup ortalaması (Dort) 1,036808		
En küçük değ er		1,026563			
En büyük değ er		1,072387			
Aritmetik ortalama		1,036808			
Standart sapma		0,008467			

Çizelge 5.5. Kmt1' e ait Yk2 grubu agreg a profillerinin fraktal boyut (D) değ erleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,03298		61	1,043028
	12	1,028164		62	1,042154
1	13	1,029794	6	63	1,038833
	14	1,026834		64	1,032909
	21	1,026717		71	1,038799
	22	1,02806		72	1,038151
2	23	1,025185	7	73	1,032044
	24	1,037481		74	1,037045
	31	1,037794		81	1,034049
	32	1,034013		82	1,033317
3	33	1,02403	8	83	1,031694
	34	1,029257		84	1,036668
	41	1,038732		91	1,044443
	42	1,049388		92	1,037367
4	43	1,034793	9	93	1,046901
	44	1,048101		94	1,047499
	51	1,036515		101	1,05169
	52	1,034939		102	1,035822
5	53	1,039583	10	103	1,046901
	54	1,027209		104	1,041586
Dağı lım geniş liğ i		0,02766	Grup ortalaması (Dort) 1,036512		
En küçük değ er		1,02403			
En büyük değ er		1,05169			
Aritmetik ortalama		1,036512			
Standart sapma		0,007085			

Çizelge 5.6. Kmt1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

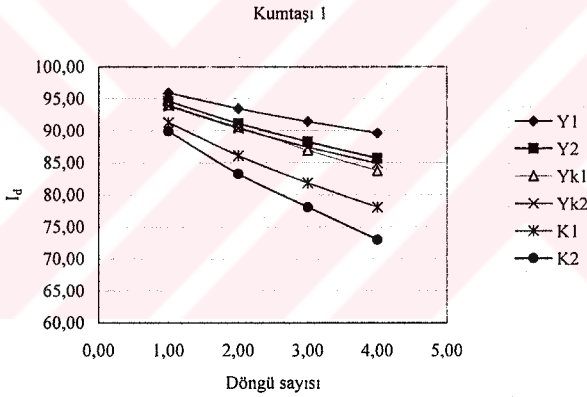
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.021446		61	1.03168
1	12	1.044297	6	62	1.04108
	13	1.031461		63	1.037351
	14	1.028822		64	1.036578
	21	1.032587		71	1.03631
2	22	1.040448	7	72	1.034879
	23	1.030535		73	1.030826
	24	1.039452		74	1.046088
	31	1.026451		81	1.026495
3	32	1.031818	8	82	1.034462
	33	1.040431		83	1.026648
	34	1.033521		84	1.031716
	41	1.03529		91	1.026378
4	42	1.035135	9	92	1.028582
	43	1.042312		93	1.030693
	44	1.026085		94	1.032946
	51	1.029916		101	1.033772
5	52	1.022792	10	102	1.027178
	53	1.030946		103	1.022688
	54	1.026325		104	1.030802
Dağılım genişliği			Grup ortalaması (Dört) 1,032431		
En küçük değer		1.021446			
En büyük değer		1.046088			
Aritmetik ortalama		1.032431			
Standart sapma		0.005923			

Çizelge 5.7. Kmt1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

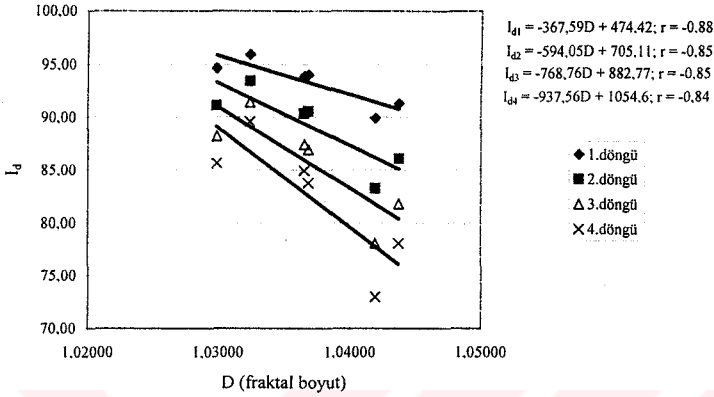
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.02404		61	1.026516
	12	1.030799		62	1.030767
1	13	1.028126	6	63	1.023597
	14	1.030355		64	1.028692
	21	1.044646		71	1.03334
	22	1.032988		72	1.026572
2	23	1.029907	7	73	1.034059
	24	1.033919		74	1.029704
	31	1.028188		81	1.024207
	32	1.031023		82	1.028036
3	33	1.025092	8	83	1.020426
	34	1.034977		84	1.025552
	41	1.029851		91	1.028966
	42	1.04099		92	1.030655
4	43	1.032559	9	93	1.036297
	44	1.032465		94	1.024196
	51	1.026444		101	1.02801
	52	1.033084		102	1.028119
5	53	1.032017	10	103	1.025881
	54	1.026129		104	1.032875
Dağılım genişliği		0.02422	Grup ortalaması (Dört) 1,029832		
En küçük değer		1.020426			
En büyük değer		1.044646			
Aritmetik ortalama		1.029832			
Standart sapma		0.004687			

Kmt1' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agregat grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 6.76, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 10.19, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 13.35, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 16.58 olmuştur (Şekil 5.2, Çizelge 6.3). Çalışmada kullanılan tüm kayaç gruplarında döngü sayısı arttıkça ıslak kararlılık indeksleri azalmaktadır.

Şekil 5.3' te ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında kuvvetli-çok kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin deneydeki döngü sayısının artmasıyla bir miktar azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.2. Kmt 1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.3. Kmt1' de D- I_d ilişkisi

5.2.1.2. Kumtaşı 3 (Kmt3)

Kmt3 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.8-5.13' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.4' te verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0501, en küçük fraktal boyut değeri 1.0280 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0781' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0119' dur (çizelge 5.8).

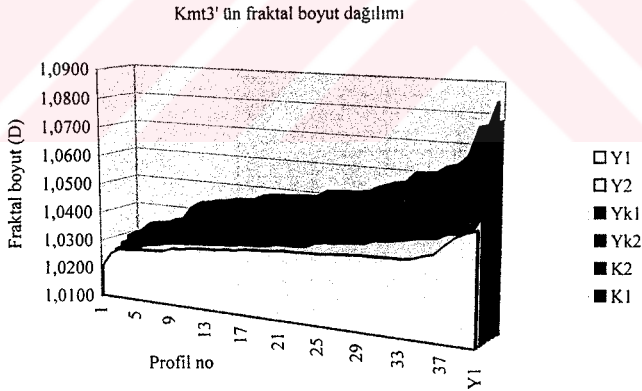
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0485, en küçük fraktal boyut değeri 1.0289 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0843' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0123' tür (çizelge 5.9).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0365, en küçük fraktal boyut değeri 1.0253 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0531' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0060' tır (çizelge 5.10).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0400, en küçük fraktal boyut değeri 1.0272 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0624' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0073' tür (çizelge 5.11).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0331, en küçük fraktal boyut değeri 1.0208 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0468' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0051' dir (çizelge 5.12).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0350, en küçük fraktal boyut değeri 1.0223 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0503' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0062' dir (çizelge 5.13).



Şekil 5.4. Kumtaşı 3 (Kmt3)' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.8. Kmt3' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No:	Profil No	D
	11	1.075918		61	1.063421
	12	1.054984		62	1.055963
1	13	1.051422	6	63	1.060369
	14	1.04823		64	1.078064
	21	1.053713		71	1.042839
	22	1.048075		72	1.048285
2	23	1.045395	7	73	1.051228
	24	1.05172		74	1.051652
	31	1.043333		81	1.034057
	32	1.051814		82	1.076581
3	33	1.059829	8	83	1.044557
	34	1.060021		84	1.062627
	41	1.036505		91	1.033572
	42	1.03073		92	1.047257
4	43	1.040788	9	93	1.045757
	44	1.056508		94	1.048926
	51	1.04557		101	1.035834
	52	1.028022		102	1.048744
5	53	1.066499	10	103	1.044166
	54	1.049055		104	1.034412
Dağılım genişliği		0.050042	Grup ortalaması (Dört) 1.050161		
En küçük değer		1.028022			
En büyük değer		1.078064			
Aritmetik ortalama		1.050161			
Standart sapma		0.011917			

Çizelge 5.9. Kmt3' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.034915		61	1.031375
	12	1.055617		62	1.043346
1	13	1.033033	6	63	1.057472
	14	1.037418		64	1.04898
	21	1.05274		71	1.048936
	22	1.052323		72	1.055889
2	23	1.051063	7	73	1.074608
	24	1.06461		74	1.040892
	31	1.033652		81	1.039093
	32	1.039726		82	1.049147
3	33	1.040989	8	83	1.065412
	34	1.044426		84	1.062671
	41	1.047435		91	1.038428
	42	1.030671		92	1.032663
4	43	1.044738	9	93	1.060344
	44	1.039797		94	1.054178
	51	1.08434		101	1.059617
	52	1.042901		102	1.028881
5	53	1.053148	10	103	1.050784
	54	1.060204		104	1.050821
Dağılım genişliği		0.055459	Grup ortalaması (Dört) 1.048482		
En küçük değer		1.028881			
En büyük değer		1.08434			
Aritmetik ortalama		1.048482			
Standart sapma		0.012309			

Çizelge 5.10. Kmt3' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.030174		61	1.050549
	12	1.028927		62	1.043367
1	13	1.031553	6	63	1.043727
	14	1.04095		64	1.048735
	21	1.03808		71	1.032549
	22	1.041416		72	1.037953
2	23	1.053121	7	73	1.032857
	24	1.031388		74	1.031518
	31	1.036277		81	1.036866
	32	1.033227		82	1.031567
3	33	1.029466	8	83	1.031939
	34	1.034422		84	1.038816
	41	1.03827		91	1.041281
	42	1.042222		92	1.030014
4	43	1.037815	9	93	1.040052
	44	1.033324		94	1.027307
	51	1.038083		101	1.025341
	52	1.035854		102	1.035805
5	53	1.037136	10	103	1.0353
	54	1.032798		104	1.038607
Dağılım genişliği			Grup ortalaması (Dort) 1.036466		
En küçük değer		1.025341			
En büyük değer		1.053121			
Aritmetik ortalama		1.036466			
Standart sapma		0.006089			

Çizelge 5.11. Kmt3' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.041856		61	1.034905
	12	1.047272		62	1.036133
1	13	1.050397	6	63	1.027201
	14	1.048139		64	1.028248
	21	1.034635		71	1.038859
	22	1.037556		72	1.037944
2	23	1.038325	7	73	1.041183
	24	1.044225		74	1.033802
	31	1.032121		81	1.04608
	32	1.037667		82	1.051107
3	33	1.039853	8	83	1.046992
	34	1.037717		84	1.043925
	41	1.042171		91	1.038227
	42	1.028445		92	1.028315
4	43	1.033148	9	93	1.04627
	44	1.042987		94	1.03192
	51	1.062424		101	1.040403
	52	1.036961		102	1.044082
5	53	1.037644	10	103	1.035743
	54	1.048824		104	1.046348
Dağılım genişliği		0.035223	Grup ortalaması (Dort) 1.040001		
En küçük değer		1.027201			
En büyük değer		1.062424			
Aritmetik ortalama		1.040001			
Standart sapma		0.007304			

Çizelge 5.12. Kmt3' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

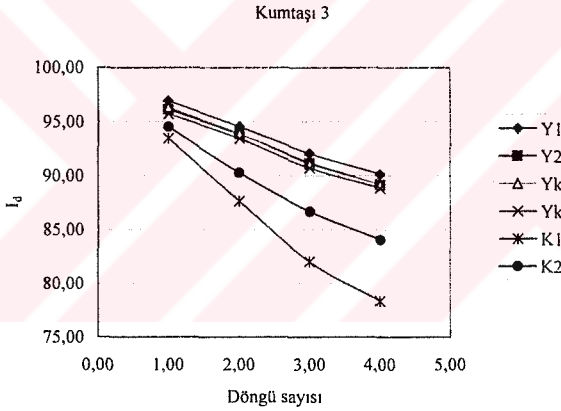
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.033385		61	1.03252
	12	1.027234		62	1.030465
1	13	1.03099	6	63	1.034229
	14	1.03374		64	1.02837
	21	1.033553		71	1.033373
	22	1.035257		72	1.031568
2	23	1.046754	7	73	1.03497
	24	1.035028		74	1.027897
	31	1.034485		81	1.033801
	32	1.034722		82	1.031568
3	33	1.0327	8	83	1.029677
	34	1.035804		84	1.020759
	41	1.03783		91	1.025566
	42	1.037004		92	1.028121
4	43	1.029685	9	93	1.027244
	44	1.030694		94	1.027648
	51	1.032357		101	1.035098
	52	1.03295		102	1.043944
5	53	1.030945	10	103	1.041076
	54	1.035251		104	1.045591
Dağılım genişliği		0.012337	Grup ortalaması (Dört) 1.033096		
En küçük değer		1.020759			
En büyük değer		1.046754			
Aritmetik ortalama		1.033096			
Standart sapma		0.005136			

Çizelge 5.13. Kmt3' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

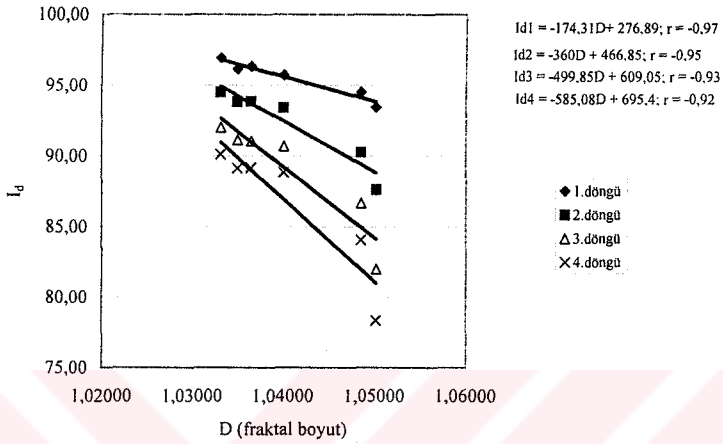
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.033248		61	1.036398
	12	1.03228		62	1.034542
1	13	1.042373	6	63	1.022029
	14	1.040186		64	1.04156
	21	1.037059		71	1.032994
	22	1.031628		72	1.031846
2	23	1.039507	7	73	1.037813
	24	1.03454		74	1.032235
	31	1.034568		81	1.044456
	32	1.029698		82	1.037623
3	33	1.031104	8	83	1.037076
	34	1.050337		84	1.042044
	41	1.02212		91	1.038149
	42	1.024976		92	1.044177
4	43	1.031421	9	93	1.033165
	44	1.025479		94	1.040867
	51	1.03087		101	1.033633
	52	1.028523		102	1.034824
5	53	1.030561	10	103	1.029187
	54	1.044123		104	1.0396
Dağılım genişliği		0.028308	Grup ortalaması (Dört) 1.034970		
En küçük değer		1.022029			
En büyük değer		1.050337			
Aritmetik ortalama		1.034970			
Standart sapma		0.006244			

Kmt3' te yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 3.47, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 6.89, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 10.01, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 11.76 olmuştur (şekil 5.5, çizelge 6.4).

Şekil 5.6' da ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında çok kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin deneydeki döngü sayısının artmasıyla bir miktar azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.5. Kmt 3' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.6. Kmt3' de D-Id ilişkisi

5.2.1.3. Bozuşmuş granit

Bozuşmuş granit grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.14-5.19' da görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.7' de verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0428, en küçük fraktal boyut değeri 1.0248 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0668' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0089' dur (çizelge 5.14).

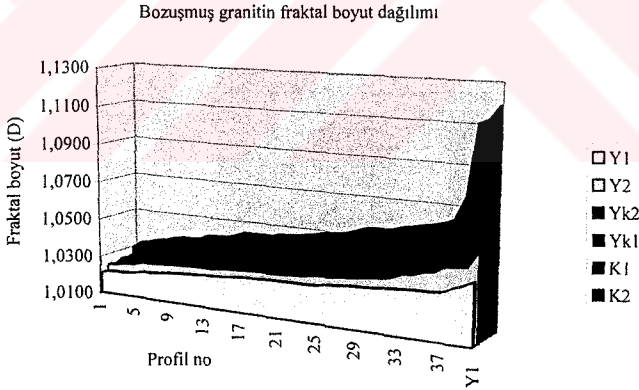
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0523, en küçük fraktal boyut değeri 1.0295 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.1105' tir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0202' dir (çizelge 5.15).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0390, en küçük fraktal boyut değeri 1.0254 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0619' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0085' tir (çizelge 5.16).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0370, en küçük fraktal boyut değeri 1.0234 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0589' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0085' tir (çizelge 5.17).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0289, en küçük fraktal boyut değeri 1.0212 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0409' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0045' tir (çizelge 5.18).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0331, en küçük fraktal boyut değeri 1.0242 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0545' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0066' dır (çizelge 5.19).



Şekil 5.7. Bozuşmuş granitte gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.14. Granite ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.056109		61	1.044623
	12	1.040375		62	1.040053
1	13	1.042081	6	63	1.043801
	14	1.044263		64	1.048102
	21	1.049732		71	1.042376
	22	1.040689		72	1.041894
2	23	1.043674	7	73	1.028111
	24	1.047866		74	1.03608
	31	1.033479		81	1.052704
	32	1.02823		82	1.054588
3	33	1.024754	8	83	1.043314
	34	1.034935		84	1.050447
	41	1.032149		91	1.038082
	42	1.041973		92	1.056833
4	43	1.047264	9	93	1.030863
	44	1.066838		94	1.045527
	51	1.042664		101	1.045467
	52	1.033317		102	1.059237
5	53	1.039557	10	103	1.04325
	54	1.034417		104	1.039416
Dağılım genişliği		0.042084	Grup ortalaması (Dört) 1.042728		
En küçük değer		1.024754			
En büyük değer		1.066838			
Aritmetik ortalama		1.042728			
Standart sapma		0.0089			

Çizelge 5.15. Granite ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.055437		61	1.040805
	12	1.061126		62	1.053975
1	13	1.05218	6	63	1.04586
	14	1.119265		64	1.06372
	21	1.044622		71	1.059689
	22	1.074474		72	1.038109
2	23	1.044549	7	73	1.050561
	24	1.049479		74	1.038368
	31	1.04125		81	1.04657
	32	1.056932		82	1.044569
3	33	1.042422	8	83	1.050093
	34	1.044806		84	1.047378
	41	1.04812		91	1.038083
	42	1.112583		92	1.029514
4	43	1.041054	9	93	1.058817
	44	1.1105116		94	1.032783
	51	1.03528		101	1.035857
	52	1.034379		102	1.033793
5	53	1.057818	10	103	1.037233
	54	1.054749		104	1.046068
Dağılım genişliği		0.089751	Grup ortalaması (Dört) 1.052327		
En küçük değer		1.029514			
En büyük değer		1.119265			
Aritmetik ortalama		1.052327			
Standart sapma		0.020186			

Çizelge 5.16. Granite ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,048624		61	1,032223
	12	1,050588		62	1,036175
1	13	1,044305	6	63	1,045785
	14	1,036202		64	1,032795
	21	1,036667		71	1,047716
	22	1,036658		72	1,051945
2	23	1,038548	7	73	1,051149
	24	1,032567		74	1,025989
	31	1,031773		81	1,028803
	32	1,034130		82	1,061949
3	33	1,029137	8	83	1,030129
	34	1,034482		84	1,025417
	41	1,034059		91	1,035035
	42	1,037628		92	1,037028
4	43	1,042636	9	93	1,039483
	44	1,046975		94	1,039545
	51	1,047234		101	1,028739
	52	1,045856		102	1,048885
5	53	1,051163	10	103	1,028547
	54	1,038586		104	1,034229
Dağılım genişliği		0,036532	Grup ortalaması (Dort) 1,038985		
En küçük değer		1,025417			
En büyük değer		1,061949			
Aritmetik ortalama		1,038985			
Standart sapma		0,008508			

Çizelge 5.17. Granite ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,031619		61	1,029572
	12	1,036938		62	1,031312
1	13	1,031765	6	63	1,031030
	14	1,033971		64	1,029153
	21	1,052946		71	1,047757
	22	1,046456		72	1,047103
2	23	1,041615	7	73	1,047805
	24	1,039059		74	1,042989
	31	1,036882		81	1,030765
	32	1,029963		82	1,023412
3	33	1,027196	8	83	1,031922
	34	1,040122		84	1,029579
	41	1,028395		91	1,038625
	42	1,034986		92	1,034369
4	43	1,032824	9	93	1,035699
	44	1,029495		94	1,034533
	51	1,034791		101	1,048503
	52	1,037691		102	1,054404
5	53	1,049485	10	103	1,029028
	54	1,058924		104	1,029210
Dağılım genişliği		0,035512	Grup ortalaması (Dort) 1,037047		
En küçük değer		1,023412			
En büyük değer		1,058924			
Aritmetik ortalama		1,037047			
Standart sapma		0,008504			

Çizelge 5.18. Granite ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

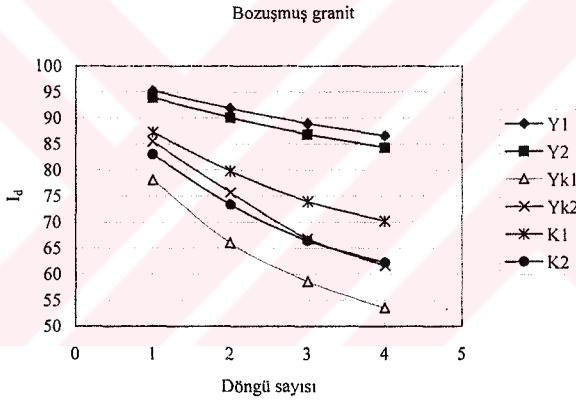
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.028784		61	1.02685
1	12	1.03056	6	62	1.02711
	13	1.032666		63	1.023018
	14	1.024331		64	1.033228
	21	1.030303		71	1.02569
2	22	1.033333	7	72	1.026107
	23	1.022196		73	1.021185
	24	1.038392		74	1.026888
	31	1.025993		81	1.031784
3	32	1.02209	8	82	1.036479
	33	1.031197		83	1.033341
	34	1.023951		84	1.028237
	41	1.025263		91	1.03284
4	42	1.024757	9	92	1.0314
	43	1.022314		93	1.028121
	44	1.027733		94	1.028889
	51	1.031491		101	1.028929
5	52	1.029137	10	102	1.028807
	53	1.02893		103	1.033821
	54	1.040909		104	1.028211
Dağılım genişliği		0.019724	Grup ortalaması (Dort) 1.028882		
En küçük değer		1.021185			
En büyük değer		1.040909			
Aritmetik ortalama		1.028882			
Standart sapma		0.004474			

Çizelge 5.19. Granite ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

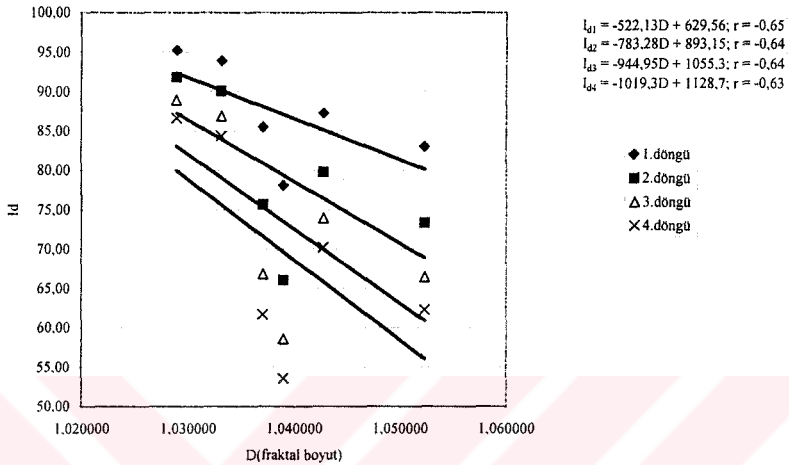
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.03295		61	1.054456
	12	1.028532		62	1.025738
1	13	1.027868	6	63	1.039601
	14	1.042136		64	1.046174
	21	1.034498		71	1.024597
	22	1.030272		72	1.030028
2	23	1.035178	7	73	1.03054
	24	1.024206		74	1.029104
	31	1.031458		81	1.039255
	32	1.030904		82	1.02871
3	33	1.045756	8	83	1.027542
	34	1.035419		84	1.025419
	41	1.032821		91	1.029721
	42	1.032536		92	1.031644
4	43	1.028971	9	93	1.041384
	44	1.030904		94	1.030878
	51	1.045142		101	1.033796
	52	1.028106		102	1.028879
5	53	1.033747	10	103	1.027361
	54	1.037047		104	1.031217
Dağılım genişliği		0.03025	Grup ortalaması (Dort) 1.033112		
En küçük değer		1.024206			
En büyük değer		1.054456			
Aritmetik ortalama		1.033112			
Standart sapma		0.006643			

Bozuşmuş granitte' te yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 12.26, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 18.49, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 22.49, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 24.37 olmuştur (şekil 5.8, çizelge 6.5).

Şekil 5.9' da ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin deneydeki döngü sayısının artmasıyla bir miktar azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.8. Bozuşmuş granitte döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.9. Bozuşmuş granitte D-I_d ilişkisi

5.2.1.4. Tüfl (Ankara)

Tüfl grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.20-5.25' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.10' da verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0501, en küçük fraktal boyut değeri 1.0287 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.1039' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0188' dir (çizelge 5.20).

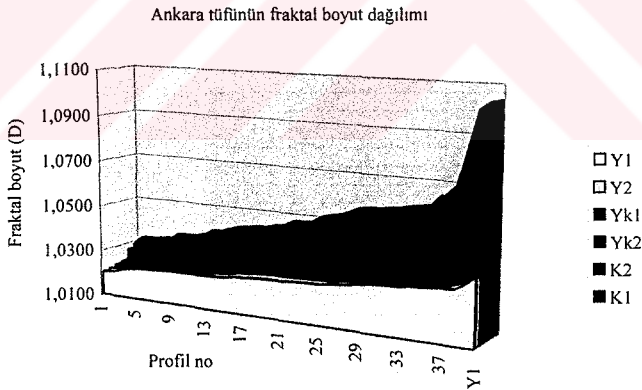
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0497, en küçük fraktal boyut değeri 1.0270 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0921' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0148' dir (çizelge 5.21).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0372, en küçük fraktal boyut değeri 1.0217 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0538' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0066' dır (çizelge 5.22).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0376, en küçük fraktal boyut değeri 1.0224 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0550' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0076' dır (çizelge 5.23).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0270, en küçük fraktal boyut değeri 1.0202 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0381' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0039' dur (çizelge 5.24).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0272, en küçük fraktal boyut değeri 1.0207 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0381' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0038' dir (çizelge 5.8).



Şekil 5.10. Tüfl' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.20. Tüfl' e ait K1 grubu agreg a profillerinin fraktal boyut (D) değ erleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.032668		61	1.032375
	12	1.058961		62	1.037441
1	13	1.038298	6	63	1.045558
	14	1.028783		64	1.033322
	21	1.058191		71	1.041448
	22	1.05144		72	1.032419
2	23	1.084514	7	73	1.044062
	24	1.064897		74	1.046032
	31	1.100006		81	1.049587
	32	1.103051		82	1.035497
3	33	1.069019	8	83	1.048648
	34	1.103907		84	1.039705
	41	1.050765		91	1.046517
	42	1.04078		92	1.05429
4	43	1.050076	9	93	1.048387
	44	1.036788		94	1.047918
	51	1.033413		101	1.054919
	52	1.040949		102	1.045522
5	53	1.057717	10	103	1.040803
	54	1.035365		104	1.037947
Dağı lım geniş liğı		0.075174	Grup ortalaması (Dort) 1.05005		
En küçük değ er		1.028733			
En büyük değ er		1.103907			
Aritmetik ortalama		1.050005			
Standart sapma		0.018779			

Çizelge 5.21. Tüfl' e ait K2 grubu agreg a profillerinin fraktal boyut (D) değ erleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.036778		61	1.027209
	12	1.05823		62	1.03017
1	13	1.04889	6	63	1.053185
	14	1.057507		64	1.028333
	21	1.087119		71	1.044296
	22	1.059659		72	1.051554
2	23	1.043105	7	73	1.027454
	24	1.092146		74	1.036574
	31	1.036697		81	1.045483
	32	1.056938		82	1.041796
3	33	1.065144	8	83	1.048393
	34	1.043472		84	1.067763
	41	1.033086		91	1.04421
	42	1.040442		92	1.037048
4	43	1.057549	9	93	1.058649
	44	1.033343		94	1.054914
	51	1.065248		101	1.048456
	52	1.060278		102	1.040223
5	53	1.046112	10	103	1.068188
	54	1.060724		104	1.052481
Dağı lım geniş liğı		0.065117	Grup ortalaması (Dort) 1.049721		
En küçük değ er		1.027029			
En büyük değ er		1.092146			
Aritmetik ortalama		1.049721			
Standart sapma		0.014786			

Çizelge 5.22. Tüfl' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,023198		61	1,038696
	12	1,033721		62	1,049749
1	13	1,036537	6	63	1,030657
	14	1,034980		64	1,033763
	21	1,021692		71	1,038479
	22	1,039019		72	1,048205
2	23	1,039295	7	73	1,036842
	24	1,033904		74	1,027946
	31	1,040030		81	1,029111
	32	1,040025		82	1,041334
3	33	1,039158	8	83	1,035667
	34	1,034262		84	1,036917
	41	1,033497		91	1,043992
	42	1,031741		92	1,041325
4	43	1,027274	9	93	1,037617
	44	1,035313		94	1,035842
	51	1,039837		101	1,053843
	52	1,038292		102	1,040739
5	53	1,046305	10	103	1,036456
	54	1,035759		104	1,046354
Dağılım genişliği		0,032151	Grup ortalaması (Dört) 1,037184		
En küçük değer		1,021692			
En büyük değer		1,053843			
Aritmetik ortalama		1,037184			
Standart sapma		0,006576			

Çizelge 5.23. Tüfl' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,038722		61	1,042042
	12	1,032759		62	1,036197
1	13	1,040295	6	63	1,024281
	14	1,050813		64	1,033514
	21	1,033060		71	1,042106
	22	1,026845		72	1,042826
2	23	1,031366	7	73	1,043932
	24	1,030402		74	1,042446
	31	1,046929		81	1,043084
	32	1,033986		82	1,051780
3	33	1,029718	8	83	1,033739
	34	1,041967		84	1,037596
	41	1,029726		91	1,037123
	42	1,034952		92	1,022397
4	43	1,032251	9	93	1,035702
	44	1,037830		94	1,037710
	51	1,051503		101	1,035521
	52	1,035516		102	1,032478
5	53	1,030617	10	103	1,055007
	54	1,044018		104	1,047296
Dağılım genişliği		0,032610	Grup ortalaması (Dört) 1,037751		
En küçük değer		1,022397			
En büyük değer		1,055007			
Aritmetik ortalama		1,037751			
Standart sapma		0,007570			

Çizelge 5.24. Tüfl' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

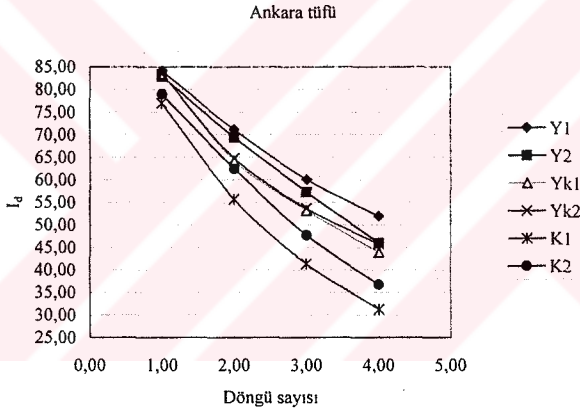
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,024039		61	1,026071
	12	1,026332		62	1,024187
1	13	1,023574	6	63	1,023922
	14	1,025374		64	1,030229
	21	1,026204		71	1,030554
	22	1,031267		72	1,024417
2	23	1,024652	7	73	1,032315
	24	1,024283		74	1,027046
	31	1,020192		81	1,02703
	32	1,023274		82	1,02175
3	33	1,030485	8	83	1,024114
	34	1,02043		84	1,024087
	41	1,03168		91	1,03131
	42	1,027799		92	1,028523
4	43	1,022695	9	93	1,032212
	44	1,034809		94	1,03805
	51	1,025439		101	1,023581
	52	1,029949		102	1,029223
5	53	1,028048	10	103	1,026653
	54	1,025966		104	1,026922
Dağılım genişliği		0,006775	Grup ortalaması (Dort) 1,026967		
En küçük değer		1,020192			
En büyük değer		1,03805			
Aritmetik ortalama		1,026967			
Standart sapma		0,003902			

Çizelge 5.25. Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

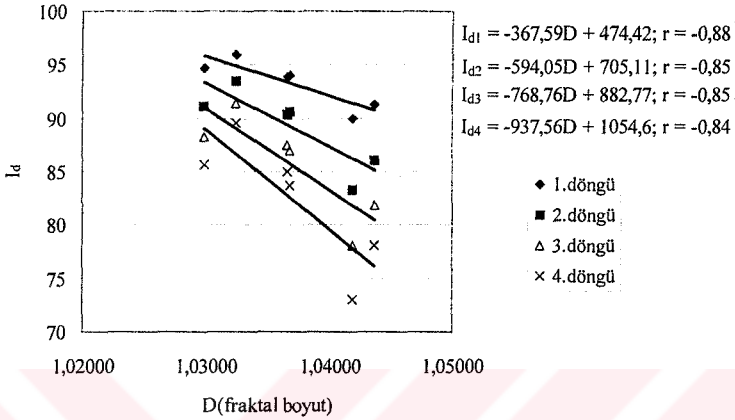
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,029201		61	1,038052
	12	1,02782		62	1,027325
1	13	1,028784	6	63	1,03062
	14	1,027894		64	1,032021
	21	1,025167		71	1,021275
	22	1,026262		72	1,023915
2	23	1,026885	7	73	1,026409
	24	1,023001		74	1,027396
	31	1,025273		81	1,027448
	32	1,022341		82	1,031549
3	33	1,029765	8	83	1,023855
	34	1,024425		84	1,0242
	41	1,028987		91	1,027566
	42	1,027627		92	1,030683
4	43	1,034786	9	93	1,028693
	44	1,02301		94	1,033649
	51	1,029135		101	1,024384
	52	1,021696		102	1,020677
5	53	1,023317	10	103	1,031098
	54	1,024535		104	1,027158
Dağılım genişliği		0,017375	Grup ortalaması (Dort) 1,027197		
En küçük değer		1,020677			
En büyük değer		1,038052			
Aritmetik ortalama		1,027197			
Standart sapma		0,003812			

Tüfl' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 7.12, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 15.48, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 18.7, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 20.7 olmuştur (şekil 5.11, çizelge 6.6).

Şekil 5.12' de ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında çok kuvvetli-kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin deneydeki döngü sayısının artmasıyla bir miktar azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.11. Tüfl' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.12. Tüf1' de $D-I_d$ ilişkisi

5.2.1.5. Tüf2 (Göreme)

Tüf2 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.26-5.31' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.13' te verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0467, en küçük fraktal boyut değeri 1.0237 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0800' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0136' dır (çizelge 5.26).

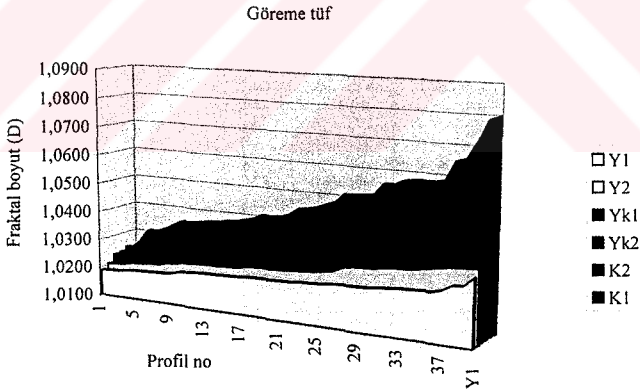
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0423, en küçük fraktal boyut değeri 1.0247 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0671' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0109' dur (çizelge 5.27).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0306, en küçük fraktal boyut değeri 1.0233 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0391' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0035' dir (çizelge 5.28).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0329, en küçük fraktal boyut değeri 1.0236 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0549' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0066' dır (çizelge 5.29).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0236, en küçük fraktal boyut değeri 1.0186 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0326' dır. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0030' dur (çizelge 5.30).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0271, en küçük fraktal boyut değeri 1.0206 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0345' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0042' dir (çizelge 5.31).



Şekil 5.13. Tuf2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.26. Tüf2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,0442		61	1,046779
	12	1,078747		62	1,036477
1	13	1,031954	6	63	1,037231
	14	1,057657		64	1,051653
	21	1,040603		71	1,023718
	22	1,050862		72	1,041897
2	23	1,04473	7	73	1,080035
	24	1,071495		74	1,047779
	31	1,026208		81	1,037394
	32	1,045465		82	1,038223
3	33	1,040658	8	83	1,035357
	34	1,030716		84	1,035862
	41	1,030722		91	1,05717
	42	1,065946		92	1,05845
4	43	1,033561	9	93	1,051307
	44	1,038783		94	1,0556423
	51	1,036332		101	1,035289
	52	1,064934		102	1,057591
5	53	1,040958	10	103	1,050983
	54	1,057846		104	1,05572
Dağılım genişliği		0,056317	Grup ortalaması (Dort) 1,046673		
En küçük değer		1,023718			
En büyük değer		1,080035			
Aritmetik ortalama		1,046673			
Standart sapma		0,013587			

Çizelge 5.27. Tüf2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,043022		61	1,050743
	12	1,035182		62	1,043496
1	13	1,038985	6	63	1,045892
	14	1,024933		64	1,064453
	21	1,037859		71	1,055584
	22	1,037301		72	1,05612
2	23	1,031634	7	73	1,063757
	24	1,026371		74	1,053935
	31	1,030283		81	1,038872
	32	1,040429		82	1,038052
3	33	1,033155	8	83	1,026947
	34	1,041659		84	1,045747
	41	1,047651		91	1,034102
	42	1,030261		92	1,041799
4	43	1,036501	9	93	1,033796
	44	1,024656		94	1,03707
	51	1,046871		101	1,056371
	52	1,044644		102	1,050208
5	53	1,047161	10	103	1,035251
	54	1,067144		104	1,053777
Dağılım genişliği		0,042488	Grup ortalaması (Dort) 1,042292		
En küçük değer		1,024656			
En büyük değer		1,067144			
Aritmetik ortalama		1,042292			
Standart sapma		0,010884			

Çizelge 5.28. Tüf2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,028087		61	1,029055
	12	1,028780		62	1,032535
1	13	1,039139	6	63	1,028419
	14	1,033416		64	1,034646
	21	1,027407		71	1,033666
	22	1,031152		72	1,034774
2	23	1,031480	7	73	1,023258
	24	1,031096		74	1,035697
	31	1,027523		81	1,035884
	32	1,030492		82	1,032314
3	33	1,027976	8	83	1,035598
	34	1,025850		84	1,035680
	41	1,023877		91	1,027351
	42	1,032420		92	1,031772
4	43	1,028781	9	93	1,028310
	44	1,031626		94	1,028908
	51	1,028566		101	1,027274
	52	1,033671		102	1,028305
5	53	1,028752	10	103	1,032948
	54	1,031865		104	1,027151
Dağılım genişliği		0,015881	Grup ortalaması (Dort) 1,030638		
En küçük değer		1,023258			
En büyük değer		1,039139			
Aritmetik ortalama		1,030638			
Standart sapma		0,003514			

Çizelge 5.29. Tüf2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,028436		61	1,031948
	12	1,054918		62	1,029954
1	13	1,047747	6	63	1,023552
	14	1,037914		64	1,044946
	21	1,03221		71	1,042595
	22	1,029713		72	1,037908
2	23	1,031749	7	73	1,025646
	24	1,035775		74	1,039571
	31	1,024234		81	1,031828
	32	1,026331		82	1,032738
3	33	1,03427	8	83	1,029751
	34	1,033588		84	1,031067
	41	1,026148		91	1,033043
	42	1,029043		92	1,030111
4	43	1,028133	9	93	1,027163
	44	1,037115		94	1,034145
	51	1,033039		101	1,029817
	52	1,034656		102	1,036668
5	53	1,037987	10	103	1,028148
	54	1,028417		104	1,024005
Dağılım genişliği		0,031366	Grup ortalaması (Dort) 1,032901		
En küçük değer		1,023552			
En büyük değer		1,054918			
Aritmetik ortalama		1,032901			
Standart sapma		0,006566			

Çizelge 5.30. Tüf2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

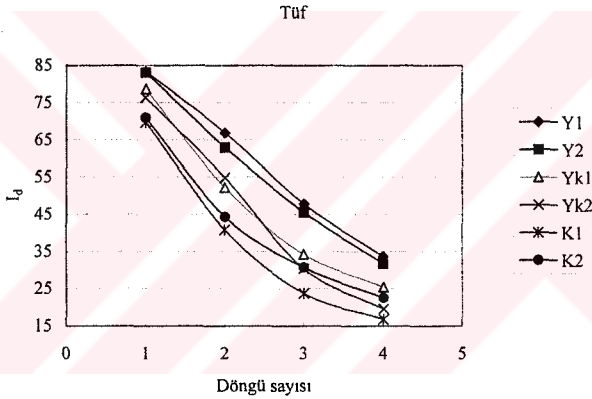
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.019191		61	1.021859
1	12	1.025002	6	62	1.023387
	13	1.02038		63	1.022523
	14	1.025675		64	1.029265
	21	1.020551		71	1.021456
2	22	1.020102	7	72	1.024037
	23	1.019187		73	1.02339
	24	1.02607		74	1.0197
	31	1.0186		81	1.023844
3	32	1.023208	8	82	1.026089
	33	1.022815		83	1.023088
	34	1.022384		84	1.032621
	41	1.026298		91	1.02442
4	42	1.02485	9	92	1.019992
	43	1.02542		93	1.023784
	44	1.024635		94	1.020265
	51	1.023203		101	1.022219
5	52	1.024776	10	102	1.022325
	53	1.026416		103	1.022611
	54	1.027306		104	1.02947
Dağılım genişliği		0,014021	Grup ortalaması (Dort) 1,02356		
En küçük değer		1.0186			
En büyük değer		1.032621			
Aritmetik ortalama		1.02356			
Standart sapma		0,003017			

Çizelge 5.31. Tüf2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

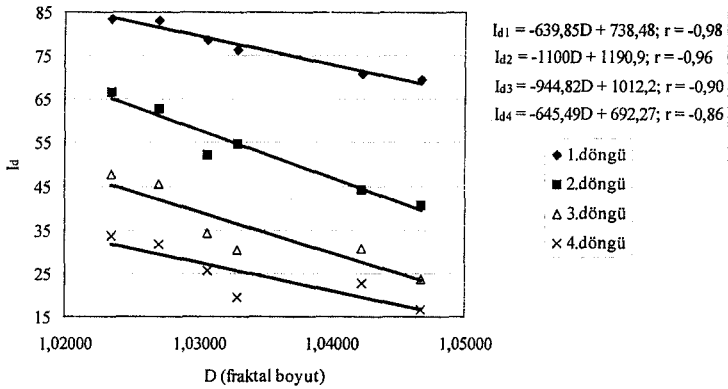
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.026104		61	1.034488
	12	1.025652		62	1.03172
1	13	1.030483	6	63	1.033869
	14	1.021816		64	1.031524
	21	1.031464		71	1.022345
	22	1.030458		72	1.025897
2	23	1.024608	7	73	1.026652
	24	1.030379		74	1.0223244
	31	1.033216		81	1.025982
	32	1.024682		82	1.023156
3	33	1.0208	8	83	1.026897
	34	1.03244		84	1.021903
	41	1.024874		91	1.024372
	42	1.031116		92	1.03426
4	43	1.034194	9	93	1.026382
	44	1.023454		94	1.029375
	51	1.027349		101	1.025819
	52	1.027834		102	1.021015
5	53	1.024655	10	103	1.024141
	54	1.024735		104	1.020615
Dağılım genişliği		0.013873	Grup ortalaması (Dort) 1,027076		
En küçük değer		1.020615			
En büyük değer		1.034488			
Aritmetik ortalama		1.027076			
Standart sapma		0,004188			

Tüf2' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 13.55, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 26.05, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 24.05, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 16.91 olmuştur (şekil 5.14, çizelge 6.7).

Şekil 5.15' te ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında çok kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin deneydeki döngü sayısının artmasıyla bir miktar azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.14. Tüf2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.15. Tüf2' de D- I_d ilişkisi

5.2.1.6. Kumtaşı 2 (Kmt2)

Kmt2 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.32-5.37' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.16' da verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0523, en küçük fraktal boyut değeri 1.0289 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0848' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0152' dir (çizelge 5.32).

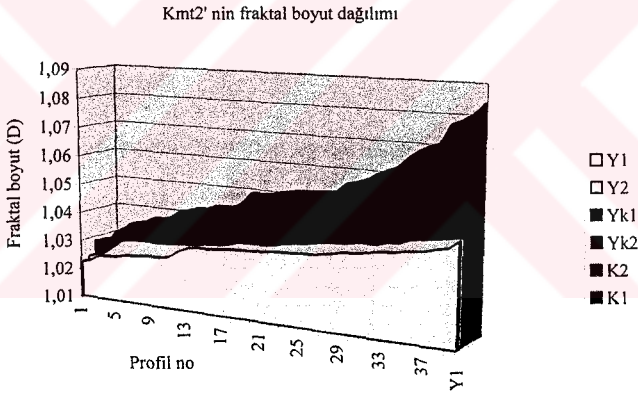
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0467, en küçük fraktal boyut değeri 1.0264 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0843' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0133' tür (çizelge 5.33).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0416, en küçük fraktal boyut değeri 1.0284 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0654' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0089' dur (çizelge 5.34).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0414, en küçük fraktal boyut değeri 1.0223 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0719' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0113' tür (çizelge 5.35).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0333, en küçük fraktal boyut değeri 1.0224 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0456' dır. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0057' dir (çizelge 5.36).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0356, en küçük fraktal boyut değeri 1.0238 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0472' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0055' tir (çizelge 5.37).



Şekil 5.16. Kmt2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.32. Kmt2' ye ait K1 grubu agregre profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,030112		61	1,069546
	12	1,03757		62	1,070588
1	13	1,041953	6	63	1,045092
	14	1,050211		64	1,039937
	21	1,034184		71	1,043381
	22	1,055974		72	1,08029
2	23	1,0492187	7	73	1,051249
	24	1,084814		74	1,062018
	31	1,033228		81	1,043448
	32	1,059361		82	1,049079
3	33	1,067617	8	83	1,078248
	34	1,06512		84	1,055226
	41	1,05114		91	1,05169
	42	1,060771		92	1,05727
4	43	1,036667	9	93	1,0840125
	44	1,036692		94	1,043222
	51	1,034623		101	1,076844
	52	1,040616		102	1,041586
5	53	1,028847	10	103	1,051853
	54	1,050612		104	1,048985
Dağılım genişliği		0,055967	Grup ortalaması: 1,052322		
En küçük değer		1,028847			
En büyük değer		1,084814			
Aritmetik ortalama		1,052322			
Standart sapma		0,015201			

Çizelge 5.33. Kmt2' ye ait K2 grubu agregre profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,0264		61	1,033071
	12	1,050004		62	1,052125
1	13	1,030586	6	63	1,038328
	14	1,046803		64	1,043984
	21	1,035179		71	1,069272
	22	1,03888		72	1,043364
2	23	1,035033	7	73	1,036679
	24	1,049227		74	1,03562
	31	1,074579		81	1,032952
	32	1,052203		82	1,055138
3	33	1,048769	8	83	1,032282
	34	1,077252		84	1,040595
	41	1,04821		91	1,039249
	42	1,048102		92	1,048831
4	43	1,07395	9	93	1,051336
	44	1,037529		94	1,044956
	51	1,055258		101	1,04373
	52	1,084332		102	1,043812
5	53	1,036602	10	103	1,045622
	54	1,048371		104	1,039559
Dağılım genişliği		0,057932	Grup ortalaması 1,046694		
En küçük değer		1,0264			
En büyük değer		1,084332			
Aritmetik ortalama		1,046694			
Standart sapma		0,013287			

Çizelge 5.34. Kmt2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,053002		61	1,049924
	12	1,03267		62	1,044849
1	13	1,044715	6	63	1,04204
	14	1,029734		64	1,053236
	21	1,03159		71	1,042835
	22	1,033195		72	1,059816
2	23	1,032463	7	73	1,029847
	24	1,036779		74	1,047064
	31	1,03082		81	1,065369
	32	1,050277		82	1,044143
3	33	1,046441	8	83	1,043819
	34	1,032477		84	1,029691
	41	1,035479		91	1,040077
	42	1,046081		92	1,044549
4	43	1,028441	9	93	1,037875
	44	1,036223		94	1,038059
	51	1,041691		101	1,037179
	52	1,033699		102	1,038499
5	53	1,043771	10	103	1,049366
	54	1,057694		104	1,047483
Dağılım genişliği		0,036928	Grup ortalaması 1,041574		
En küçük değer		1,028441			
En büyük değer		1,065369			
Aritmetik ortalama		1,041574			
Standart sapma		0,008942			

Çizelge 5.35. Kmt2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,034665		61	1,041444
	12	1,039614		62	1,047109
1	13	1,061841	6	63	1,038333
	14	1,071873		64	1,031103
	21	1,034425		71	1,041586
	22	1,032531		72	1,035418
2	23	1,037096	7	73	1,062723
	24	1,044567		74	1,033082
	31	1,029113		81	1,022254
	32	1,065245		82	1,053774
3	33	1,046731	8	83	1,05611
	34	1,031021		84	1,049368
	41	1,04383		91	1,058383
	42	1,03365		92	1,033785
4	43	1,038354	9	93	1,034673
	44	1,036069		94	1,047669
	51	1,031228		101	1,032063
	52	1,061231		102	1,041523
5	53	1,03189	10	103	1,037494
	54	1,035606		104	1,035927
Dağılım genişliği		0,049619	Grup ortalaması 1,04136		
En küçük değer		1,022254			
En büyük değer		1,071873			
Aritmetik ortalama		1,04136			
Standart sapma		0,011338			

Çizelge 5.36. Kmt2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

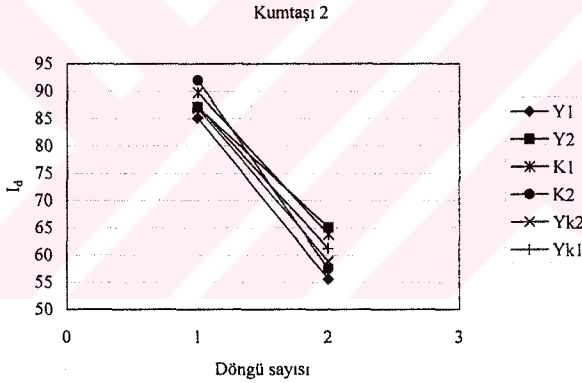
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.038966		61	1.027863
	12	1.038175		62	1.033606
1	13	1.031657	6	63	1.027251
	14	1.034154		64	1.027179
	21	1.032103		71	1.033055
	22	1.036787		72	1.025304
2	23	1.026481	7	73	1.035123
	24	1.036458		74	1.022439
	31	1.035541		81	1.026424
	32	1.039233		82	1.041499
3	33	1.025581	8	83	1.036501
	34	1.034471		84	1.037795
	41	1.026912		91	1.025407
	42	1.02326		92	1.032454
4	43	1.038129	9	93	1.043981
	44	1.034471		94	1.040834
	51	1.030179		101	1.03284
	52	1.034021		102	1.03987
5	53	1.034192	10	103	1.033133
	54	1.045588		104	1.032083
Dağılım genişliği		0.023149	Grup ortalaması 1.033275		
En küçük değer		1.022439			
En büyük değer		1.045588			
Aritmetik ortalama		1.033275			
Standart sapma		0.00571			

Çizelge 5.37. Kmt2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

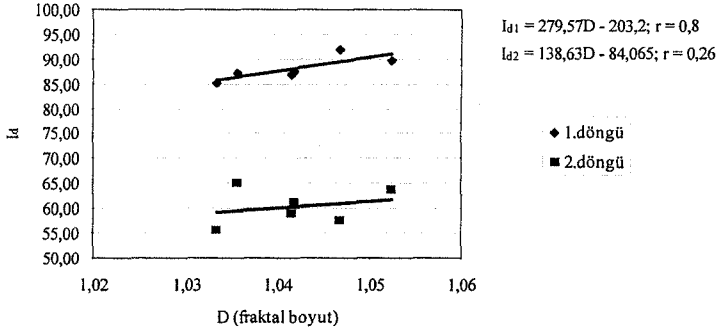
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.033763		61	1.034828
	12	1.032117		62	1.038234
1	13	1.031213	6	63	1.040441
	14	1.031238		64	1.043373
	21	1.03504		71	1.031435
	22	1.023753		72	1.045801
2	23	1.034908	7	73	1.032459
	24	1.031231		74	1.039411
	31	1.044369		81	1.028337
	32	1.038562		82	1.03099
3	33	1.036313	8	83	1.031652
	34	1.031935		84	1.024706
	41	1.033167		91	1.040452
	42	1.025851		92	1.034789
4	43	1.033272	9	93	1.043849
	44	1.039219		94	1.036702
	51	1.03688		101	1.039353
	52	1.042924		102	1.030541
5	53	1.037776	10	103	1.042366
	54	1.041827		104	1.038436
Dağılım genişliği		0.023401	Grup ortalaması 1.035588		
En küçük değer		1.023753			
En büyük değer		1.047154			
Aritmetik ortalama		1.035588			
Standart sapma		0.005464			

Kmt2' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 6.89, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 9.5 olmuştur (şekil 5.17, çizelge 6.8).

Şekil 5.18' de ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında birinci döngü sonunda kuvvetli pozitif korelasyon gerçekleşirken, ikinci döngü sonunda korelasyon ilişkisi gözlenmemektedir. İkinci döngü sonunda deneye tabi tutulan agregalar incelendiğinde, kmt2 grubu kayaçta birkaç mm kalınlığında tabakalanma düzlemlerinin ve fisürlerin varlığı gözlenmiştir. Dolayısıyla deney sonuçlarında agrega yüzey pürüzlülüğünden çok bu süreksizliklerin belirleyici olduğu söylenebilir. Bu sebeple bu grupta deneyler ikinci döngü sonunda kesilmiştir.



Şekil 5.17. Kmt 2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.18. Kmt2’ de D-I_d ilişkisi

7.2.1.7. Marn1

Marn1 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.38-5.43’ de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.19’ da verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0377, en küçük fraktal boyut değeri 1.0251 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.05450’ dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0067’ dir (çizelge 5.38).

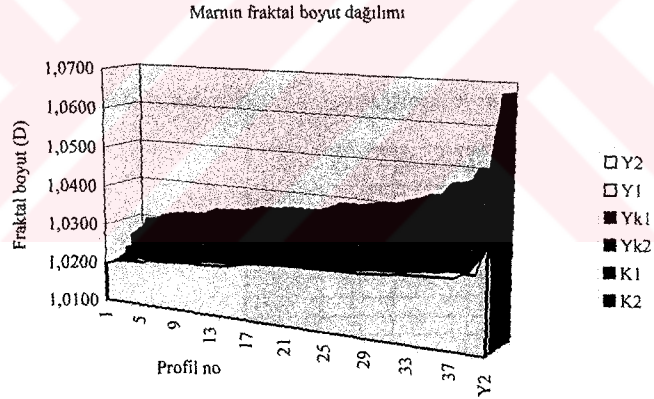
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0381, en küçük fraktal boyut değeri 1.0233 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0677’ dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0086’ tür (çizelge 5.39).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0314, en küçük fraktal boyut değeri 1.0201 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0474’ tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0055’ tir (çizelge 5.40).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0323, en küçük fraktal boyut değeri 1.0228 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0461' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0060' tır (çizelge 5.41).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0244, en küçük fraktal boyut değeri 1.0192 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0325' tir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0029' dur (çizelge 5.42).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0244, en küçük fraktal boyut değeri 1.0195 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0357' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0028' dir (çizelge 5.43).



Şekil 5.19. Marn1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.38. Marn1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,039234		61	1,031865
	12	1,035058		62	1,037969
1	13	1,041581	6	63	1,046527
	14	1,031501		64	1,040697
	21	1,036613		71	1,039156
	22	1,035991		72	1,043421
2	23	1,03061	7	73	1,032486
	24	1,033813		74	1,034868
	31	1,042369		81	1,039709
	32	1,046824		82	1,030674
3	33	1,033613	8	83	1,037056
	34	1,049043		84	1,034677
	41	1,025127		91	1,052397
	42	1,048048		92	1,029892
4	43	1,040324	9	93	1,036115
	44	1,040443		94	1,054498
	51	1,034021		101	1,034704
	52	1,039138		102	1,032122
5	53	1,027187	10	103	1,043412
	54	1,030156		104	1,036629
Dağılım genişliği		0,029371	Grup ortalaması (Dort) 1,037739		
En küçük değer		1,025127			
En büyük değer		1,054498			
Aritmetik ortalama		1,037739			
Standart sapma		0,006669			

Çizelge 5.39. Marn1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,035607		61	1,06738
	12	1,036118		62	1,035568
1	13	1,033783	6	63	1,032089
	14	1,031955		64	1,037436
	21	1,029353		71	1,036346
	22	1,041269		72	1,042244
2	23	1,050037	7	73	1,037957
	24	1,037245		74	1,036953
	31	1,035642		81	1,039106
	32	1,031329		82	1,036747
3	33	1,036126	8	83	1,043105
	34	1,037287		84	1,044095
	41	1,03403		91	1,033986
	42	1,033726		92	1,050122
4	43	1,034705	9	93	1,06772
	44	1,030689		94	1,032359
	51	1,029417		101	1,040789
	52	1,031642		102	1,036621
5	53	1,043431	10	103	1,036256
	54	1,02325		104	1,038523
Dağılım genişliği		0,04447	Grup ortalaması (Dort) 1,038051		
En küçük değer		1,02325			
En büyük değer		1,06772			
Aritmetik ortalama		1,038051			
Standart sapma		0,00861			

Çizelge 5.40. Marn1' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,041913		61	1,026777
	12	1,033883		62	1,032401
1	13	1,047410	6	63	1,020118
	14	1,042420		64	1,027021
	21	1,036274		71	1,035089
	22	1,021957		72	1,034587
2	23	1,028443	7	73	1,030587
	24	1,024721		74	1,029952
	31	1,038696		81	1,031040
	32	1,025859		82	1,033419
3	33	1,031292	8	83	1,027848
	34	1,037407		84	1,023847
	41	1,028685		91	1,030282
	42	1,034064		92	1,032326
4	43	1,033600	9	93	1,032048
	44	1,030646		94	1,032324
	51	1,029344		101	1,029664
	52	1,022071		102	1,028931
5	53	1,032933	10	103	1,031056
	54	1,032348		104	1,030941
Dağılım genişliği		0,027292	Grup ortalaması (Dort) 1,031356		
En küçük değer		1,020118			
En büyük değer		1,047410			
Aritmetik ortalama		1,031356			
Standart sapma		0,005494			

Çizelge 5.41. Marn1' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,02464		61	1,030981
	12	1,025693		62	1,030602
1	13	1,024284	6	63	1,026059
	14	1,027381		64	1,033414
	21	1,022269		71	1,037862
	22	1,037322		72	1,034692
2	23	1,026919	7	73	1,027628
	24	1,028877		74	1,035724
	31	1,030011		81	1,029004
	32	1,032807		82	1,039981
3	33	1,027217	8	83	1,032616
	34	1,025462		84	1,046104
	41	1,031039		91	1,042944
	42	1,022763		92	1,045317
4	43	1,037771	9	93	1,032387
	44	1,029306		94	1,030782
	51	1,025338		101	1,03635
	52	1,029835		102	1,039289
5	53	1,036213	10	103	1,02417
	54	1,024476		104	1,027845
Dağılım genişliği		0,023341	Grup ortalaması (Dort) 1,032269		
En küçük değer		1,022763			
En büyük değer		1,046104			
Aritmetik ortalama		1,032269			
Standart sapma		0,006031			

Çizelge 5.42. Marn1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

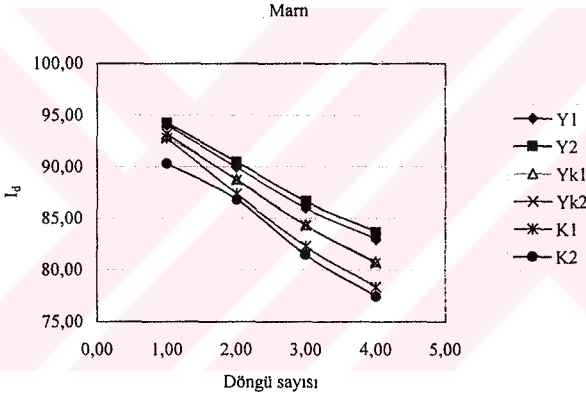
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,022824		61	1,022836
1	12	1,021388	6	62	1,019825
	13	1,028112		63	1,019154
	14	1,024878		64	1,021465
	21	1,024552		71	1,024727
2	22	1,025257	7	72	1,023804
	23	1,025937		73	1,031776
	24	1,019421		74	1,024091
	31	1,027093		81	1,023399
3	32	1,022435	8	82	1,022916
	33	1,021315		83	1,022278
	34	1,025132		84	1,026686
	41	1,024684		91	1,025488
4	42	1,024817	9	92	1,021321
	43	1,02143		93	1,027104
	44	1,032492		94	1,025933
	51	1,023206		101	1,027681
5	52	1,025183	10	102	1,02607
	53	1,024081		103	1,027776
	54	1,021445		104	1,026222
Dağılım genişliği		0,013338	Grup ortalaması (Dort) 1,024406		
En küçük değer		1,019154			
En büyük değer		1,032492			
Aritmetik ortalama		1,024406			
Standart sapma		0,002936			

Çizelge 5.43. Marn1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

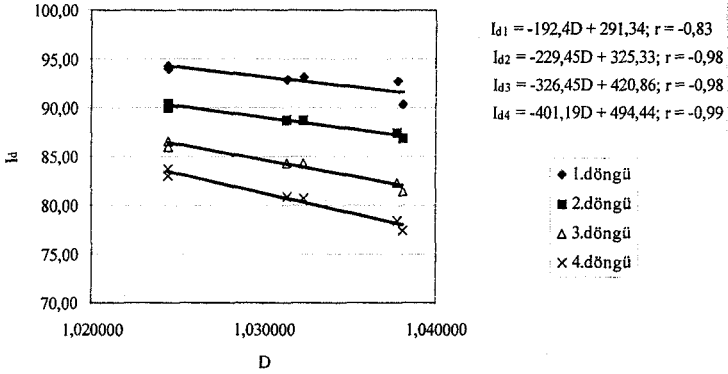
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,021778		61	1,022322
	12	1,02189		62	1,020784
1	13	1,024781	6	63	1,026202
	14	1,025113		64	1,024552
	21	1,022061		71	1,022648
	22	1,021751		72	1,022946
2	23	1,028239	7	73	1,024881
	24	1,02226		74	1,022579
	31	1,025201		81	1,035653
	32	1,025782		82	1,02451
3	33	1,02549	8	83	1,025229
	34	1,022441		84	1,028236
	41	1,026538		91	1,026802
	42	1,026556		92	1,026808
4	43	1,025657	9	93	1,025067
	44	1,024167		94	1,026305
	51	1,024955		101	1,025221
	52	1,021009		102	1,024987
5	53	1,023576	10	103	1,019517
	54	1,02093		104	1,020572
Dağılım genişliği		0,016136	Grup ortalaması (Dort) 1,0244		
En küçük değer		1,019517			
En büyük değer		1,035653			
Aritmetik ortalama		1,0244			
Standart sapma		0,002843			

Marn1' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 3.94, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 3.66, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 5.18, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 6.25 olmuştur (şekil 5.20, çizelge 6.9).

Şekil 5.21' de ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında çok kuvvetli-kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20. Marn1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.21. Marn1’ de D- I_d ilişkisi

5.2.1.8. K.kçt1 (Yozgat)

K.kçt1 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.44-5.49’ da görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.22’ de verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0390, en küçük fraktal boyut değeri 1.0264 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0755’ tir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0099’ dır (çizelge 5.44).

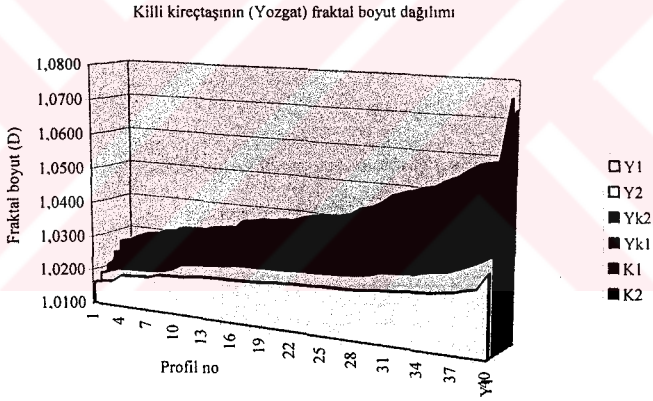
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0408, en küçük fraktal boyut değeri 1.0237 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0723’ tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0109’ dur (çizelge 5.45).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0329, en küçük fraktal boyut değeri 1.0236 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0549’ dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0066’ dır (çizelge 5.46).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0297, en küçük fraktal boyut değeri 1.0202 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0388' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0043' tür (çizelge 5.47).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0228, en küçük fraktal boyut değeri 1.0161 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0326' dır. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0032' dir (çizelge 5.48).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0261, en küçük fraktal boyut değeri 1.0184 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0365' tir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0042' dir (çizelge 5.49).



Şekil 5.22. K.kçt1' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.44. K.kçt1' e ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,038335		61	1,026377
	12	1,035189		62	1,045988
1	13	1,029661	6	63	1,034364
	14	1,048425		64	1,034544
	21	1,028399		71	1,031795
	22	1,03081		72	1,043818
2	23	1,036701	7	73	1,035452
	24	1,075498		74	1,040474
	31	1,05016		81	1,033283
	32	1,058089		82	1,031331
3	33	1,045843	8	83	1,043051
	34	1,036576		84	1,036671
	41	1,04695		91	1,043187
	42	1,057243		92	1,032218
4	43	1,038845	9	93	1,035498
	44	1,034261		94	1,029472
	51	1,02697		101	1,045114
	52	1,031147		102	1,042011
5	53	1,038008	10	103	1,036075
	54	1,034202		104	1,033792
Dağılım genişliği		0,049121	Grup ortalaması (Dört) 1,038896		
En küçük değer		1,026377			
En büyük değer		1,075498			
Aritmetik ortalama		1,038896			
Standart sapma		0,009907			

Çizelge 5.45. K.kçt1' e ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,050241		61	1,028742
	12	1,042771		62	1,032953
1	13	1,03186	6	63	1,037178
	14	1,03266		64	1,036693
	21	1,02503		71	1,031286
	22	1,028512		72	1,044937
2	23	1,028699	7	73	1,028658
	24	1,040247		74	1,04921
	31	1,039708		81	1,050847
	32	1,031655		82	1,072291
3	33	1,023704	8	83	1,036656
	34	1,0322		84	1,057662
	41	1,035998		91	1,039785
	42	1,0409		92	1,03926
4	43	1,058389	9	93	1,043539
	44	1,038283		94	1,055905
	51	1,052653		101	1,053888
	52	1,035698		102	1,047257
5	53	1,031754	10	103	1,048203
	54	1,03723		104	1,058396
Dağılım genişliği		0,048588	Grup ortalaması (Dört) 1,040788		
En küçük değer		1,023704			
En büyük değer		1,072292			
Aritmetik ortalama		1,040788			
Standart sapma		0,010872			

Çizelge 5.46 K.kçt1' e ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.028436		61	1.031948
	12	1.054918		62	1.029954
1	13	1.047747	6	63	1.023552
	14	1.037914		64	1.044946
	21	1.03221		71	1.042595
	22	1.029713		72	1.037908
2	23	1.031749	7	73	1.025646
	24	1.035775		74	1.039571
	31	1.024234		81	1.031828
	32	1.026331		82	1.032738
3	33	1.03427	8	83	1.029751
	34	1.033588		84	1.031067
	41	1.026148		91	1.033043
	42	1.029043		92	1.030111
4	43	1.028133	9	93	1.027163
	44	1.037115		94	1.034145
	51	1.033039		101	1.029817
	52	1.034656		102	1.036688
5	53	1.037987	10	103	1.028148
	54	1.028417		104	1.024005
Dağılım genişliği		0.031366	Grup ortalaması (Dort) 1,032901		
En küçük değer		1.023552			
En büyük değer		1.054918			
Aritmetik ortalama		1.032901			
Standart sapma		0.006566			

Çizelge 5.47. K.kçt1' e ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.029529		61	1.034422
	12	1.026302		62	1.030460
1	13	1.028832	6	63	1.024961
	14	1.031709		64	1.028362
	21	1.035362		71	1.035832
	22	1.032241		72	1.036623
2	23	1.031237	7	73	1.031090
	24	1.034151		74	1.033869
	31	1.025649		81	1.028650
	32	1.030026		82	1.026128
3	33	1.025800	8	83	1.025075
	34	1.029190		84	1.022463
	41	1.027755		91	1.026268
	42	1.020211		92	1.036967
4	43	1.024113	9	93	1.027165
	44	1.027821		94	1.029504
	51	1.036462		101	1.033317
	52	1.024213		102	1.038756
5	53	1.028727	10	103	1.032811
	54	1.029410		104	1.027225
Dağılım genişliği		0.018545	Grup ortalaması (Dort) 1,029717		
En küçük değer		1.020211			
En büyük değer		1.038756			
Aritmetik ortalama		1.029717			
Standart sapma		0.004344			

Çizelge 5.48. K.kçt1' e ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

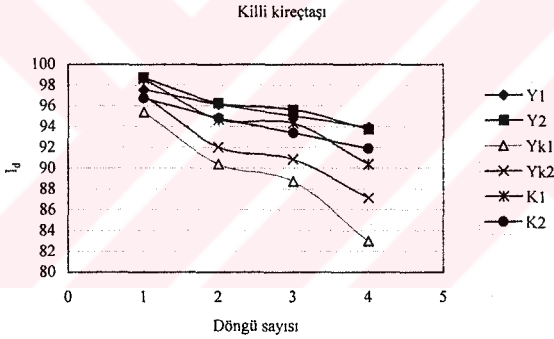
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.022846		61	1.020604
1	12	1.021446	6	62	1.022436
	13	1.025664		63	1.022041
	14	1.02613		64	1.027436
	21	1.019546		71	1.023443
2	22	1.021014	7	72	1.022286
	23	1.022861		73	1.025411
	24	1.019262		74	1.02523
	31	1.024827		81	1.017089
3	32	1.024622	8	82	1.020881
	33	1.024463		83	1.019574
	34	1.023724		84	1.020734
	41	1.019186		91	1.016827
4	42	1.0231362	9	92	1.023614
	43	1.022182		93	1.016096
	44	1.021873		94	1.023111
	51	1.022042		101	1.024106
5	52	1.021982	10	102	1.028046
	53	1.023755		103	1.032612
	54	1.026535		104	1.023648
Dağılım genişliği		0.016516	Grup ortalaması (Dort) 1,022808		
En küçük değer		1.016096			
En büyük değer		1.032612			
Aritmetik ortalama		1.022808			
Standart sapma		0.003154			

Çizelge 5.49. K.kçt1' e ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

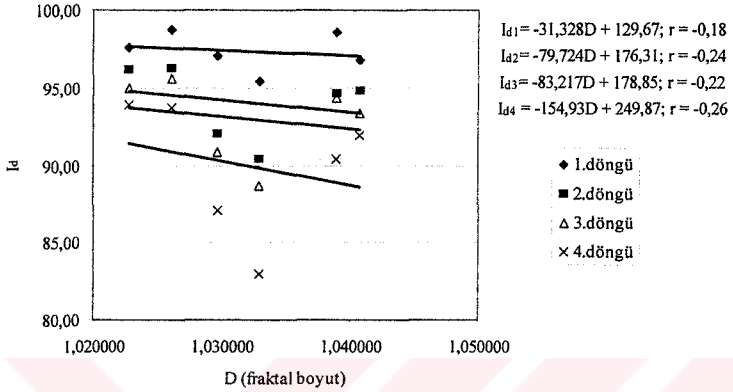
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.022059		61	1.024285
1	12	1.020413	6	62	1.02086
	13	1.024952		63	1.025671
	14	1.020698		64	1.026495
	21	1.023618		71	1.026376
2	22	1.025331	7	72	1.027616
	23	1.01933		73	1.025748
	24	1.020249		74	1.026935
	31	1.026185		81	1.027151
3	32	1.030732	8	82	1.032067
	33	1.029288		83	1.033297
	34	1.021278		84	1.02057
	41	1.028625		91	1.0365
4	42	1.025922	9	92	1.02587
	43	1.034756		93	1.029043
	44	1.026637		94	1.018396
	51	1.024738		101	1.026701
5	52	1.025695	10	102	1.028824
	53	1.030126		103	1.030967
	54	1.023996		104	1.025932
Dağılım genişliği		0.018104	Grup ortalaması (Dort) 1.026098		
En küçük değer		1.018396			
En büyük değer		1.0365			
Aritmetik ortalama		1.026098			
Standart sapma		0.004195			

K.kçt1' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agreg grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 3.33, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 5.85, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 6.91, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 10.93 olmuştur (şekil 5.23, çizelge 6.10).

Şekil 5.24' te ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında çok zayıf negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu gruptaki sonuçlar incelendiğinde deney sonuçları üzerinde D değerleri ile birlikte kayacın litolojisindeki heterojenliğin de ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple D-I_d arasındaki korelasyon katsayıları da oldukça küçük değerlerde çıkmıştır.



Şekil 5.23. K.kçt1' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.24. K.kçt1' de D-I_d ilişkisi

5.2.1.9. K.kçt2 (Bursa)

K.kçt2 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.50-5.55' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.25' de verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0414, en küçük fraktal boyut değeri 1.0263 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0933' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0114' tür (çizelge 5.50).

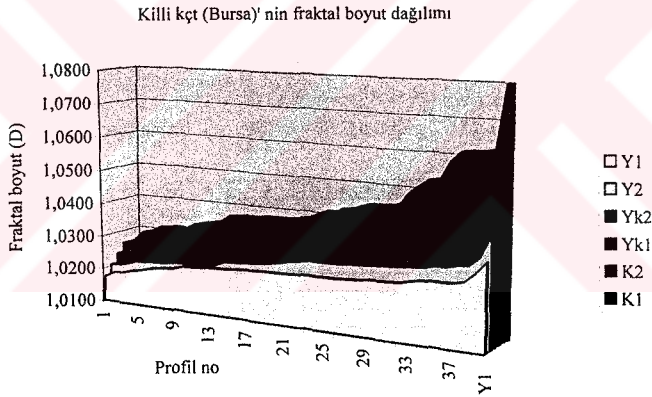
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0413, en küçük fraktal boyut değeri 1.0224 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0819' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0129' dur (çizelge 5.51).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0359, en küçük fraktal boyut değeri 1.0262 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0594' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0061' dir (çizelge 5.52).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0343, en küçük fraktal boyut değeri 1.0232 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0532' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0062' dir (çizelge 5.53).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0248, en küçük fraktal boyut değeri 1.0173 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0348' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0033' tür (çizelge 5.54).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0273, en küçük fraktal boyut değeri 1.0204 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0413' tür. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0043' tür (çizelge 5.55).



Şekil 5.25. K.kçt2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.50. K.kçt2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,047716		61	1,049168
	12	1,046571		62	1,043377
1	13	1,055431	6	63	1,037534
	14	1,093308		64	1,037853
	21	1,04231		71	1,031281
	22	1,038716		72	1,037101
2	23	1,039782	7	73	1,036563
	24	1,05724		74	1,026253
	31	1,036726		81	1,052492
	32	1,033953		82	1,044395
3	33	1,038099	8	83	1,034433
	34	1,04424		84	1,045261
	41	1,054425		91	1,047176
	42	1,037526		92	1,033397
4	43	1,049806	9	93	1,037113
	44	1,038997		94	1,037534
	51	1,031302		101	1,03122
	52	1,029297		102	1,042029
5	53	1,032801	10	103	1,028791
	54	1,044633		104	1,030918
Dağılım genişliği		0,067055	Grup ortalaması (Dort) 1,041422		
En küçük değer		1,026253			
En büyük değer		1,093308			
Aritmetik ortalama		1,041422			
Standart sapma		0,011408			

Çizelge 5.51. K.kçt2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,05342		61	1,038927
	12	1,044061		62	1,031126
1	13	1,033129	6	63	1,041699
	14	1,022415		64	1,038169
	21	1,061876		71	1,02745
	22	1,035374		72	1,04257
2	23	1,062574	7	73	1,033133
	24	1,038035		74	1,033618
	31	1,023009		81	1,048734
	32	1,044602		82	1,043203
3	33	1,058677	8	83	1,061814
	34	1,035836		84	1,061452
	41	1,031418		91	1,025087
	42	1,043719		92	1,034296
4	43	1,036898	9	93	1,040464
	44	1,041696		94	1,032804
	51	1,024732		101	1,043934
	52	1,029619		102	1,081921
5	53	1,053059	10	103	1,030537
	54	1,037544		104	1,05128
Dağılım genişliği		0,059506	Grup ortalaması (Dort) 1,041348		
En küçük değer		1,022415			
En büyük değer		1,081921			
Aritmetik ortalama		1,041348			
Standart sapma		0,012855			

Çizelge 5.52. K.kçt2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,039419		61	1,035611
	12	1,027207		62	1,040629
1	13	1,031956	6	63	1,029350
	14	1,032851		64	1,037492
	21	1,036592		71	1,032957
	22	1,038906		72	1,038303
2	23	1,035825	7	73	1,031572
	24	1,026219		74	1,028160
	31	1,027258		81	1,036928
	32	1,037315		82	1,035712
3	33	1,045312	8	83	1,035331
	34	1,036259		84	1,030443
	41	1,037567		91	1,042414
	42	1,043493		92	1,035061
4	43	1,042822	9	93	1,030619
	44	1,039352		94	1,032197
	51	1,033625		101	1,037716
	52	1,031331		102	1,038315
5	53	1,059440	10	103	1,036998
	54	1,039866		104	1,028515
Dağılım genişliği		0,033221	Grup ortalaması (Dort) 1,035923		
En küçük değer		1,026219			
En büyük değer		1,059440			
Aritmetik ortalama		1,035923			
Standart sapma		0,006075			

Çizelge 5.53. K.kçt2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,035668		61	1,039016
	12	1,032989		62	1,035487
1	13	1,033149	6	63	1,053238
	14	1,050312		64	1,033384
	21	1,028268		71	1,032497
	22	1,030478		72	1,030203
2	23	1,027321	7	73	1,042696
	24	1,023211		74	1,029098
	31	1,029932		81	1,040392
	32	1,030989		82	1,033145
3	33	1,042477	8	83	1,033650
	34	1,039251		84	1,032744
	41	1,037844		91	1,033086
	42	1,027215		92	1,037881
4	43	1,031476	9	93	1,038372
	44	1,032889		94	1,037157
	51	1,036529		101	1,029963
	52	1,024760		102	1,027218
5	53	1,031650	10	103	1,041123
	54	1,037346		104	1,029382
Dağılım genişliği		0,030027	Grup ortalaması (Dort) 1,034337		
En küçük değer		1,023211			
En büyük değer		1,053238			
Aritmetik ortalama		1,034337			
Standart sapma		0,006225			

Çizelge 5.54. K.kçt2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

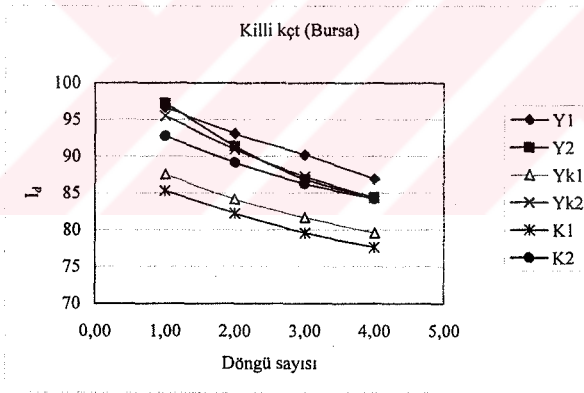
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,023497		61	1,022212
	12	1,028121		62	1,02556
1	13	1,027751	6	63	1,026279
	14	1,024997		64	1,025697
	21	1,023955		71	1,025182
	22	1,02416		72	1,022397
2	23	1,027175	7	73	1,024833
	24	1,021279		74	1,023278
	31	1,034773		81	1,0249
	32	1,026132		82	1,027873
3	33	1,025087	8	83	1,024623
	34	1,028723		84	1,023974
	41	1,020037		91	1,019159
	42	1,025294		92	1,020444
4	43	1,025291	9	93	1,021834
	44	1,027851		94	1,017251
	51	1,023645		101	1,024458
	52	1,026488		102	1,024942
5	53	1,025333	10	103	1,0264
	54	1,03129		104	1,018767
Dağılım genişliği		0,017522	Grup ortalaması (Dort) 1,024774		
En küçük değer		1,017251			
En büyük değer		1,034773			
Aritmetik ortalama		1,024774			
Standart sapma		0,003284			

Çizelge 5.55. K.kçt2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

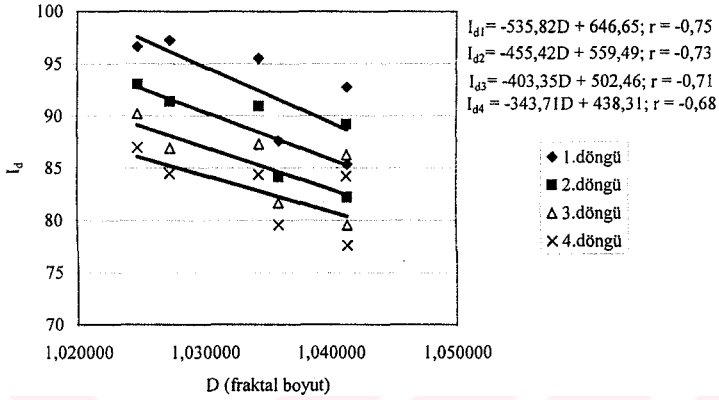
Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,02548		61	1,03229
	12	1,028276		62	1,029512
1	13	1,023512	6	63	1,022772
	14	1,030025		64	1,031511
	21	1,023588		71	1,021414
	22	1,030785		72	1,020408
2	23	1,02928	7	73	1,028758
	24	1,020736		74	1,023469
	31	1,041324		81	1,030558
	32	1,031271		82	1,02426
3	33	1,035048	8	83	1,023311
	34	1,02884		84	1,027355
	41	1,026164		91	1,022809
	42	1,025573		92	1,022404
4	43	1,026858	9	93	1,029994
	44	1,028789		94	1,025745
	51	1,030254		101	1,022504
	52	1,026499		102	1,023239
5	53	1,028903	10	103	1,028062
	54	1,032586		104	1,029229
Dağılım genişliği		0,020916	Grup ortalaması (Dort) 1,027335		
En küçük değer		1,020408			
En büyük değer		1,041324			
Aritmetik ortalama		1,027335			
Standart sapma		0,004299			

K.kçt2' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 11.33, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 10.83, üç döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 10.64, dört döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark da % 9.34 olmuştur (şekil 5.26, çizelge 6.11).

Şekil 5.27' de ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında kuvvetli negatif korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu negatif korelasyon döngü sayısının artmasıyla bir miktar azalmaktadır. K.kçt2 grubundaki ıslak kararlılık deneyi sonuçları incelendiğinde (şekil 5.26) deney sonuçları üzerinde D değerleri ile birlikte kayacın litolojisindeki heterojenliğin de ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Agregaların mineralojik bileşimindeki heterojenlik I_d ve D arasında daha kuvvetli bir korelasyonun oluşmasını engellemiştir.



Şekil 5.26. K.kçt2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



Şekil 5.27. K.kçt2' de D-I_d ilişkisi

5.2.1.10. Marn2 (Sarı renkli marn)

Marn2 grubu agregaların profillerine ait fraktal boyut değerleri çizelge 5.56-5.61' de görülmektedir. Gruplardaki profillerin fraktal boyutlarının grafiksel gösterimi ise şekil 5.28' de verilmiştir.

K1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0412, en küçük fraktal boyut değeri 1.0265 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0772' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0132' dr (çizelgie 7.56).

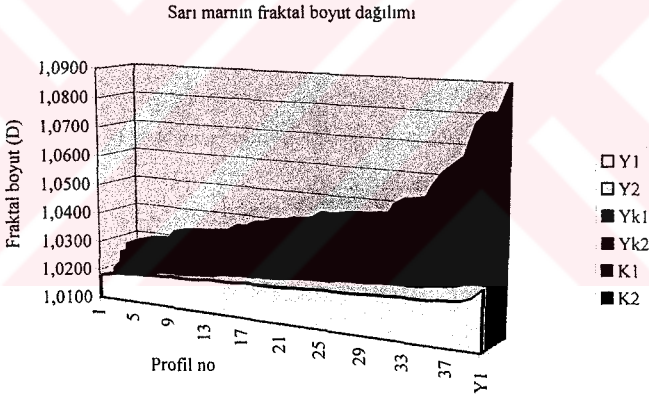
K2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0448, en küçük fraktal boyut değeri 1.0207 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0897' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0162' dir (çizelge 5.57).

Yk1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0332, en küçük fraktal boyut değeri 1.0188 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0469' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0071' dir (çizelge 5.58).

Yk2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0355, en küçük fraktal boyut değeri 1.0242 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0617' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0091' dir (çizelge 5.59).

Y1 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0220, en küçük fraktal boyut değeri 1.0180 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0300' dur. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0023' tür (çizelge 5.60).

Y2 grubu profillerin ortalama fraktal boyut değeri (Dort) 1.0239, en küçük fraktal boyut değeri 1.0176 ve en büyük fraktal boyut değeri 1.0302' dir. Fraktal boyut değerlerinin standart sapması 0.0035' tir (çizelge 5.61).



Şekil 5.28. Marn2' de gruplara göre fraktal boyut dağılımı

Çizelge 5.56. Marn2' ye ait K1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,075922		61	1,035635
	12	1,069206		62	1,028809
1	13	1,040543	6	63	1,034196
	14	1,058915		64	1,030558
	21	1,033347		71	1,035893
	22	1,029699		72	1,054687
2	23	1,029938	7	73	1,05839
	24	1,027864		74	1,077158
	31	1,036652		81	1,032625
	32	1,026507		82	1,030087
3	33	1,034895	8	83	1,052272
	34	1,033344		84	1,044716
	41	1,052768		91	1,030542
	42	1,050166		92	1,037255
4	43	1,043887	9	93	1,031121
	44	1,05348		94	1,036908
	51	1,033267		101	1,03069
	52	1,037116		102	1,03057
5	53	1,038044	10	103	1,053821
	54	1,041576		104	1,033908
Dağılım genişliği		0,050651	Grup ortalaması (Dort) 1,041174		
En küçük değer		1,026507			
En büyük değer		1,077158			
Aritmetik ortalama		1,041174			
Standart sapma		0,013171			

Çizelge 5.57. Marn2' ye ait K2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,045467		61	1,039006
	12	1,034294		62	1,021243
1	13	1,046713	6	63	1,040378
	14	1,044026		64	1,024161
	21	1,033397		71	1,066664
	22	1,032983		72	1,077122
2	23	1,034481	7	73	1,027885
	24	1,044061		74	1,033874
	31	1,0562		81	1,036574
	32	1,036573		82	1,04189
3	33	1,041201	8	83	1,048853
	34	1,020675		84	1,027319
	41	1,038628		91	1,080786
	42	1,046082		92	1,063926
4	43	1,033506	9	93	1,047374
	44	1,045202		94	1,089735
	51	1,046143		101	1,041408
	52	1,080966		102	1,032143
5	53	1,039976	10	103	1,060784
	54	1,045535		104	1,044579
Dağılım genişliği		0,06906	Grup ortalaması (Dort) 1,044795		
En küçük değer		1,020675			
En büyük değer		1,089735			
Aritmetik ortalama		1,044795			
Standart sapma		0,016219			

Çizelge 5.58. Marn2' ye ait Yk1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,039143		61	1,025046
	12	1,030391		62	1,031149
1	13	1,033496	6	63	1,030349
	14	1,024528		64	1,024968
	21	1,033092		71	1,034680
	22	1,031269		72	1,027971
2	23	1,033082	7	73	1,022446
	24	1,029478		74	1,045893
	31	1,026769		81	1,044496
	32	1,027757		82	1,033956
3	33	1,037718	8	83	1,044817
	34	1,027426		84	1,027643
	41	1,043340		91	1,036530
	42	1,033156		92	1,032492
4	43	1,029083	9	93	1,030594
	44	1,030070		94	1,042217
	51	1,046033		101	1,018824
	52	1,039741		102	1,033603
5	53	1,046845	10	103	1,027243
	54	1,041610		104	1,028754
Dağılım genişliği		0,028021	Grup ortalaması (Dort) 1,033193		
En küçük değer		1,018824			
En büyük değer		1,046845			
Aritmetik ortalama		1,033193			
Standart sapma		0,007069			

Çizelge 5.59. Marn2' ye ait Yk2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1,035548		61	1,037672
	12	1,034518		62	1,042208
1	13	1,029231	6	63	1,033573
	14	1,026653		64	1,030999
	21	1,039647		71	1,029224
	22	1,05053		72	1,039681
2	23	1,035174	7	73	1,033865
	24	1,036245		74	1,026564
	31	1,046313		81	1,03305
	32	1,031394		82	1,02613
3	33	1,029321	8	83	1,027419
	34	1,051183		84	1,032209
	41	1,029886		91	1,031317
	42	1,025385		92	1,025549
4	43	1,024227	9	93	1,035148
	44	1,034154		94	1,033313
	51	1,03844		101	1,061661
	52	1,025385		102	1,05209
5	53	1,031369	10	103	1,059157
	54	1,030891		104	1,041887
Dağılım genişliği		0,037434	Grup ortalaması (Dort) 1,035455		
En küçük değer		1,024227			
En büyük değer		1,061661			
Aritmetik ortalama		1,035455			
Standart sapma		0,009138			

Çizelge 5.60. Marn2' ye ait Y1 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.023473		61	1.023878
	12	1.020953		62	1.021596
1	13	1.019449	6	63	1.024507
	14	1.025002		64	1.022723
	21	1.020245		71	1.023456
	22	1.018409		72	1.026322
2	23	1.020477	7	73	1.022533
	24	1.019124		74	1.021689
	31	1.023969		81	1.022839
	32	1.02959		82	1.021833
3	33	1.021576	8	83	1.017945
	34	1.020971		84	1.023154
	41	1.022839		91	1.019759
	42	1.021623		92	1.022981
4	43	1.022188	9	93	1.020297
	44	1.022264		94	1.024615
	51	1.019814		101	1.019071
	52	1.023897		102	1.023765
5	53	1.019547	10	103	1.02026
	54	1.020975		104	1.021116
Dağılım genişliği		0.011645	Grup ortalaması (Dort) 1,022018		
En küçük değer		1.017945			
En büyük değer		1.02959			
Aritmetik ortalama		1.022018			
Standart sapma		0.0022839			

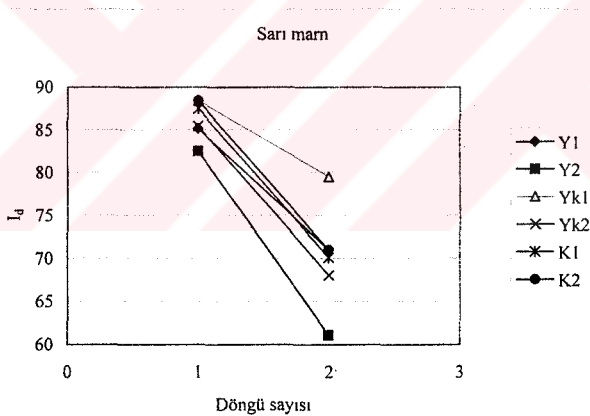
Çizelge 5.61. Marn2' ye ait Y2 grubu agrega profillerinin fraktal boyut (D) değerleri

Örnek No	Profil No	D	Örnek No	Profil No	D
	11	1.022995		61	1.018354
	12	1.026008		62	1.026913
1	13	1.02991	6	63	1.017803
	14	1.02352		64	1.020792
	21	1.028507		71	1.023727
	22	1.029603		72	1.026956
2	23	1.026121	7	73	1.024543
	24	1.025697		74	1.027254
	31	1.024088		81	1.020529
	32	1.022593		82	1.024711
3	33	1.021112	8	83	1.022966
	34	1.021565		84	1.019707
	41	1.021475		91	1.028125
	42	1.026542		92	1.020657
4	43	1.024928	9	93	1.022557
	44	1.020178		94	1.023472
	51	1.02683		101	1.017584
	52	1.025946		102	1.030201
5	53	1.019234	10	103	1.02791
	54	1.024929		104	1.018301
Dağılım genişliği		0.012617	Grup ortalaması (Dort) 1,023871		
En küçük değer		1.017584			
En büyük değer		1.030201			
Aritmetik ortalama		1.023871			
Standart sapma		0.003498			

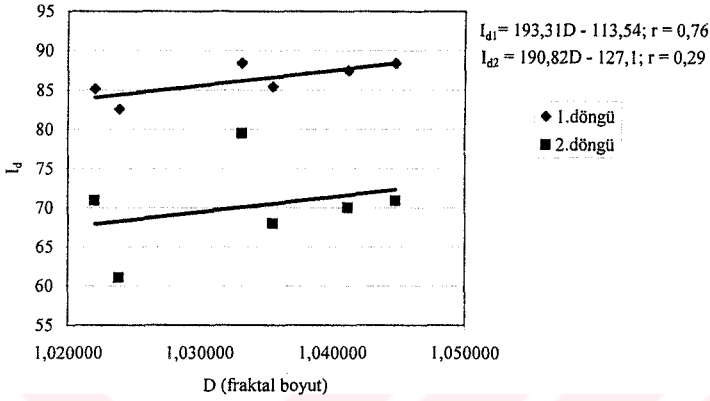
Marn2' de yuvarlatılmış ve köşeli yüzeye sahip agrega grupları arasında, bir döngülü ıslak kararlılık indeksi değerleri arasındaki fark % 5.93, iki döngülü ıslak kararlılık indeksleri arasındaki fark % 18.42 olmuştur (şekil 5.29, çizelge 6.12).

Şekil 5.30' da ise, ıslak kararlılık indeksi ile fraktal boyut arasında birinci döngü sonunda kuvvetli pozitif korelasyonun, ikinci döngü sonunda çok zayıf pozitif korelasyonun olduğu görülmektedir. Yani, bu grupta agregaların pürüzlülüğü arttıkça ıslak kararlılık indeksleri de artmıştır. Elde edilen farklı değerlerdeki ıslak kararlılık indeksi sonuçların, agrega yüzey pürüzlülüğünden değil, kayaç yapısındaki 2-5 mm' lik laminalanmalar sonucu oluşan dokusal anizotropiden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Sonuçlar, bu tip laminalanmalı kayaçlarda (kmt2, marn2) agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksi üzerinde belirleyici bir etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.29. Marn2' de döngü sayısına göre I_d değişimleri



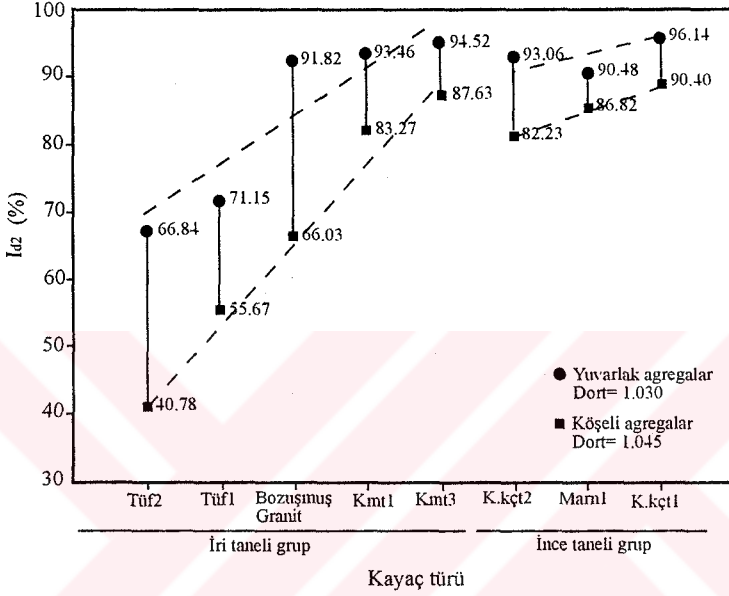
Şekil 5.30. Marn2' de D-I_d ilişkisi

Tüm kayaç gruplarına ait fraktal boyut çizelgelerine bakıldığında, yuvarlak agregaların profillerine ait D değerlerinin dağılım genişliklerinin ve standart sapmalarının oldukça küçük, yarı köşeli ve köşeli gruplarda ise bu değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, yuvarlak agregaların birbirine oldukça benzer yüzeylerden-profillerden oluştuğunu, diğer grupların (K, Yk) ise birbirinden oldukça farklılık gösteren profillere-yüzeylere sahip olduklarını göstermektedir.

Şekil 5.31 incelendiğinde, özellikle iri taneli kayaçlar grubunda kayaçların ıslak kararlılık dayanımı azaldıkça, agregaların yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indisi üzerindeki etkisinin arttığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, kayaçların ıslak kararlılık dayanımı azaldıkça köşeli ve yuvarlak agregalarla bulunan ıslak kararlılık indisi değerleri arasındaki fark artmaktadır. Özellikle ıslak kararlılık dayanımı %40-%80 arasında olan kayaçlarda bu etkinin oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Islak kararlılık deneyi ile çalışan araştırmacılar, deneyde kullandıkları agregaların fraktal boyut değerlerini şekil 4.2' den belirleyerek ve elde ettikleri I_{d2} değerlerine

bakarak şekil 5.31 yardımıyla agregaların pürüzlülüğünden kaynaklanacak hataları tahmin edebilirler.



Şekil 5.31. İri ve ince taneli kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün I_{d2} değerlerine etkisi

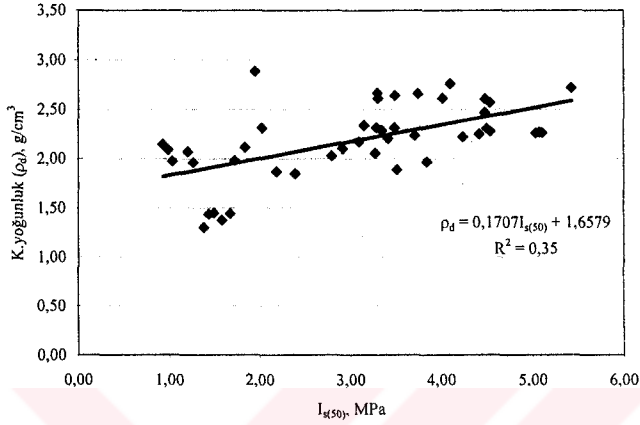
Tüm kayalarda yuvarlak (Y1-Y2) profile sahip grupların I_d sonuçları arasındaki farklar oldukça az (birbirine yakın) çıkarken, yarı köşeli (Yk1-Yk2) ve köşeli (K1-K2) gruplarda I_d değerleri daha geniş aralıklara yayılmaktadır. Bu sonuçlar, aynı kayaç grubunda hep yuvarlak agregalarla ıslak kararlılık deneyi tekrarlandığında elde edilecek ıslak kararlılık indeksi değerlerinin birbirine oldukça yakın olacağını, aksi durumda (köşeli-yarı köşeli agregalarla deneyin tekrarlanması durumunda) ise elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinde önemli miktarlarda sapmaların olacağını göstermektedir. Bir indeks özelliği, deneyin tekrarlanması durumunda aynı veya yakın sonucu veriyorsa faydalı kabul edilmektedir. Yuvarlak agregalarla elde edilen ıslak kararlılık indeksi

değerlerinin bu şarta, köşeli ve yarı köşeli gruplarda elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinden daha fazla uyduğu görülmektedir.

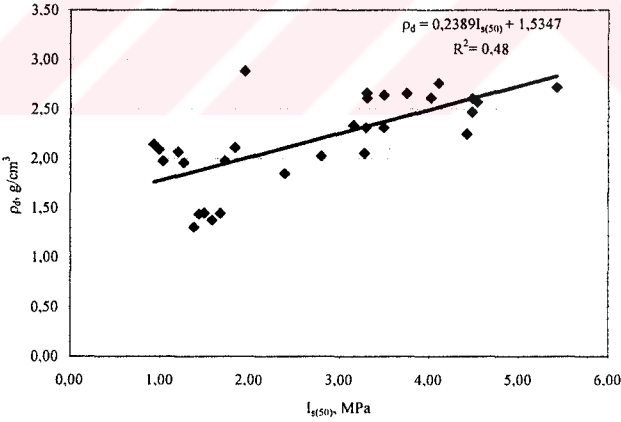
Genel olarak döngü sayısı arttıkça I_d -D arasındaki korelasyon katsayısı (r) değerinde azalma olmaktadır. Bu da döngü sayısı arttıkça agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksi üzerindeki etkisinin bir miktar azaldığını göstermektedir. Birinci ve ikinci döngülerin sonunda, özellikle köşeli ve yarı köşeli gruplardaki agregaların köşeleri ve kenarları silinmekte ve böylece yuvarlak agregalara benzemektedir. Yani her döngü sonunda agregalar gittikçe yuvarlaklaşmakta (birbirine benzemekte) ve döngü sayısı arttıkça da pürüzlülükten kaynaklanan malzeme kaybı azalmaktadır. Ancak ilk döngülerde agregaların pürüzlülüğünün etkisiyle oluşan önemli miktarlardaki kayıplar diğer döngülere kümülatif olarak taşınmaktadır.

5.2.2. Genel İstatiksel Değerlendirmeler

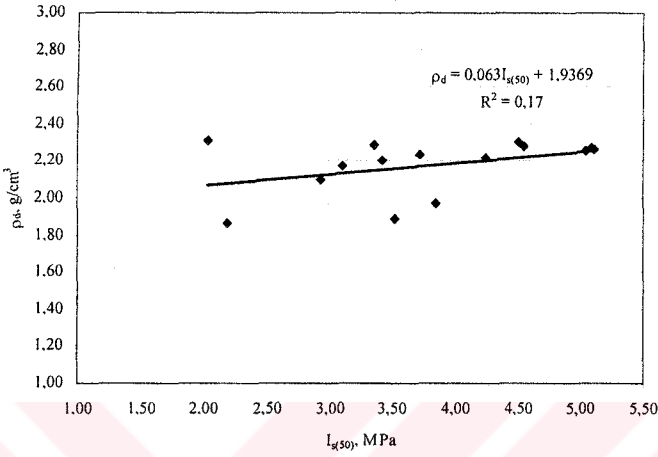
Kayaçların dayanımları, sahip oldukları mineralojik bileşim ve yapısal-dokusal özelliklerle yakından ilişkilidir. Kayaçların yoğunlukları ile mineralojik bileşimleri arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak kayaçların kil içeriği arttıkça yoğunlukları, dayanımları ve ıslak kararlılıkları azalmaktadır. Çalışmada kullanılan kayaçların kuru yoğunlukları (ρ_d) ve nokta yükü dayanımları ($I_{s(50)}$) da hesaplanarak bir birbirleriyle olan istatistiksel ilişkileri incelenmiştir. Bu incelemelerde kayaçlar önce tümü bir grup olarak değerlendirilmiş (şekil 5.32), sonra iri taneliler grubu (kmt, granit ve tüf) (şekil 5.33) ve ince taneliler grubu (marn, killi kireçtaşı) (şekil 5.34) ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.32. Çalışmada kullanılan tüm kayalarda kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi



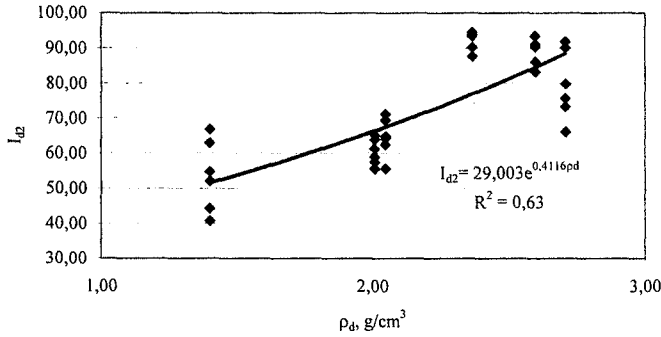
Şekil 5.33. Çalışmada kullanılan iri taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi



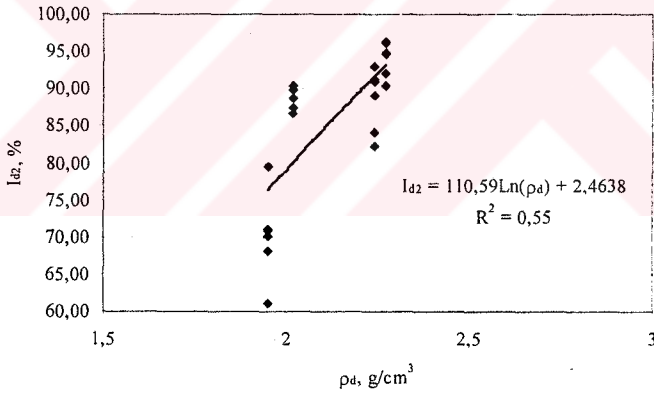
Şekil 5.34. Çalışmada kullanılan ince taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi

İri taneli kayalarda kuru yoğunluk ve nokta yükü dayanımı arasında ince taneli kayalara göre daha yüksek bir pozitif korelasyon olduğu görülmektedir (şekil 5.33-5.34).

İri ve ince taneli kayaların ıslak kararlılık indeksi değerleri (I_{d2}) ile kuru yoğunlukları (ρ_d) arasındaki ilişki şekil 5.35 ve şekil 5.36' da görülmektedir.

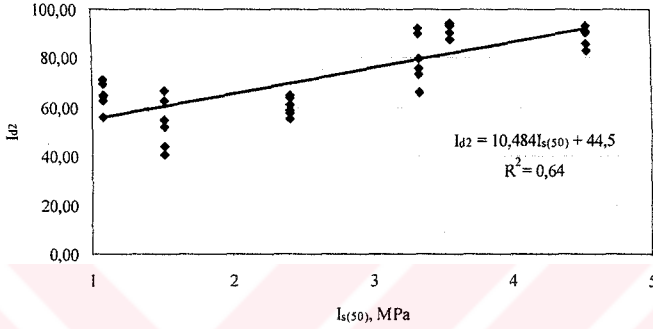


Şekil 5.35. Çalışmada kullanılan iri taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) arasındaki ilişkisi

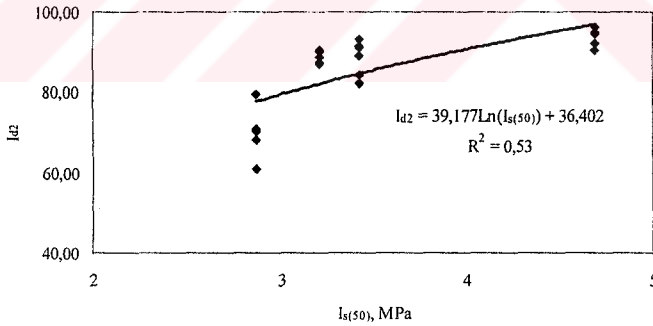


Şekil 5.36. Çalışmada kullanılan ince taneli kayalarda, kuru yoğunluk (ρ_d) ve ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) arasındaki ilişkisi

İri ve ince taneli kayaçların ıslak kararlılık indeksi değerleri (I_{d2}) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) arasındaki ilişki şekil 5.37 ve şekil 5.38’ de görülmektedir.



Şekil 5.37. Çalışmada kullanılan iri taneli kayaçlarda, ıslak kararlılık indeksi ($I_{s(50)}$) ve nokta yükü dayanımı (I_{d2}) ilişkisi



Şekil 5.38. Çalışmada kullanılan ince taneli kayaçlarda, ıslak kararlılık indeksi (I_{d2}) ve nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) ilişkisi

Deney agregalarının yüzey pürüzlülüğünün değiştirilmesiyle oluşturulan grupların (Y, Ak, K) I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar çizelge 5.62-5.67' de sunulmuştur.

Çizelge 5.62. İri taneli kayalarda yuvarlak (Y) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
kmt1	95,90	93,46	91,43	89,58	1,032431	2,60	4,54
	94,63	91,13	88,24	85,68	1,029852	2,60	4,54
kmt3	96,92	94,52	92,03	90,10	1,033096	2,37	3,57
	96,13	93,85	91,15	89,14	1,03497	2,37	3,57
B.granit	95,23	91,82	88,93	86,63	1,028882	2,71	3,34
	93,89	90,04	86,87	84,32	1,033112	2,71	3,34
Ank.tüf	84,06	71,15	60,05	51,96	1,026967	2,05	1,08
	82,83	69,42	57,32	46,02	1,027197	2,05	1,08
Gör.tüf	83,26	66,84	47,78	33,61	1,02356	1,40	1,51
	83,02	62,92	45,53	31,71	1,027076	1,40	1,51
Korelasyon katsayısı, r						Yuvarlak agregalar	
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,94						
$r(\rho_d-I_d)$	0,84	0,92					
		0,89	0,90				
			0,92	0,90			
				0,93			

Çizelge 5.63. İri taneli kayalarda yarı köşeli (Yk) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
kmt1	94,03	90,58	86,95	83,75	1,032431	2,60	4,54
	93,87	90,37	87,44	84,94	1,029852	2,60	4,54
kmt3	96,33	93,87	91,07	89,18	1,033096	2,37	3,57
	95,71	93,42	90,69	88,84	1,03497	2,37	3,57
B.granit	78,09	66,03	58,59	53,55	1,028882	2,71	3,34
	85,48	75,68	66,82	61,66	1,033112	2,71	3,34
Ank.tüf	83,49	64,20	53,23	43,90	1,026967	2,05	1,08
	83,38	64,79	53,67	45,72	1,027197	2,05	1,08
Gör.tüf	78,65	52,11	34,27	25,45	1,02356	1,40	1,51
	76,31	54,76	30,37	19,49	1,027076	1,40	1,51
Korelasyon katsayısı, r						Yarı köşeli agregalar	
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,72						
$r(\rho_d-I_d)$	0,57	0,84					
		0,72	0,84				
			0,78	0,85			
				0,78			

Çizelge 5.64. İri taneli kayalarda köşeli (K) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
kmt1	91,28	86,10	81,83	78,09	1,032431	2,60	4,54
	89,91	83,27	78,08	73,00	1,029852	2,60	4,54
kmt3	93,45	87,63	82,02	78,34	1,033096	2,37	3,57
	94,51	90,26	86,68	84,08	1,03497	2,37	3,57
B.granit	87,24	79,78	73,95	70,21	1,028882	2,71	3,34
	82,97	73,33	66,44	62,26	1,033112	2,71	3,34
Ank.tüf	76,94	55,67	41,35	31,26	1,026967	2,05	1,08
	78,97	62,45	47,75	36,77	1,027197	2,05	1,08
Gör.tüf	69,71	40,78	23,73	16,70	1,02356	1,40	1,51
	70,87	44,30	30,74	22,55	1,027076	1,40	1,51
Korelasyon katsayısı, r						Köşeli agregalar	
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,85						
$r(\rho_d-I_d)$	0,83	0,86					
		0,88	0,88				
			0,88	0,90			
				0,87			

Çizelge 5.65. İnce taneli kayalarda yuvarlak (Y) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
mam	94,03	89,93	85,98	82,98	1,024406	2,02	3,21
	94,24	90,48	86,64	83,68	1,0244	2,02	3,21
yoz.kçt	97,58	96,14	95,02	93,92	1,022808	2,27	4,69
	98,72	96,25	95,63	93,74	1,026098	2,27	4,69
bur.kçt	96,64	93,06	90,21	86,96	1,024774	2,24	3,42
	97,24	91,38	86,90	84,43	1,027335	2,24	3,42
sarı mam	85,14	70,99			1,022018	1,95	2,87
	82,51	61,07			1,023871	1,95	2,87
Korelasyon katsayısı, r						Yuvarlak agregalar	
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,72						
$r(\rho_d-I_d)$	0,86	0,69					
		0,79	0,96				
			0,74	0,98			
				0,74			

Çizelge 5.66. İnce taneli kayalarda yarı köşeli (Yk) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
marn	92,91	88,78	84,35	80,83	1,031356	2,02	3,21
	93,20	88,69	84,30	80,67	1,032269	2,02	3,21
yoz.kçt	95,39	90,40	88,72	82,99	1,032901	2,27	4,69
	97,04	92,03	90,86	87,12	1,029717	2,27	4,69
bur.kçt	87,58	84,17	81,68	79,58	1,035923	2,24	3,42
	95,51	90,94	87,29	84,34	1,034337	2,24	3,42
sarı marn	88,43	79,49			1,033193	1,95	2,87
	85,42	68,05			1,035455	1,95	2,87
Korelasyon katsayısı, r					Yarı köşeli agregalar		
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,73						
$r(\rho_d-I_d)$	0,61	0,63					
		0,66	0,82				
			0,51	0,70			
				0,56			

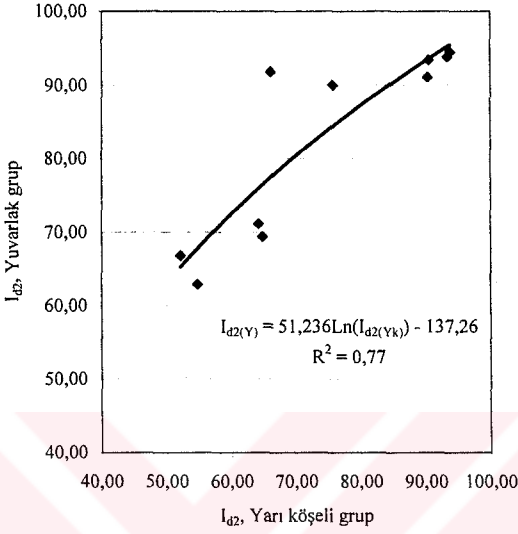
Çizelge 5.67. İnce taneli kayalarda köşeli (K) gruplarda I_d değerleri ile ρ_d ve $I_{s(50)}$ arasındaki korelasyon katsayıları

Kayaç	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	D	ρ_d , g/cm ³	$I_{s(50)}$, MPa
marn	92,76	87,37	82,29	78,36	1,037739	2,02	3,21
	90,30	86,82	81,46	77,43	1,038051	2,02	3,21
yoz.kçt	98,61	94,66	94,31	90,37	1,038896	2,27	4,69
	96,75	94,81	93,37	91,89	1,040788	2,27	4,69
bur.kçt	85,31	82,23	79,57	77,62	1,041422	2,24	3,42
	92,74	89,18	86,27	84,18	1,041348	2,24	3,42
sarı marn	87,47	70,07			1,041174	1,95	2,87
	88,40	70,95			1,044795	1,95	2,87
Korelasyon katsayısı, r					Köşeli agregalar		
$r(I_{s(50)}-I_d)$	0,83						
$r(\rho_d-I_d)$	0,52	0,82					
		0,77	0,94				
			0,61	0,94			
				0,71			

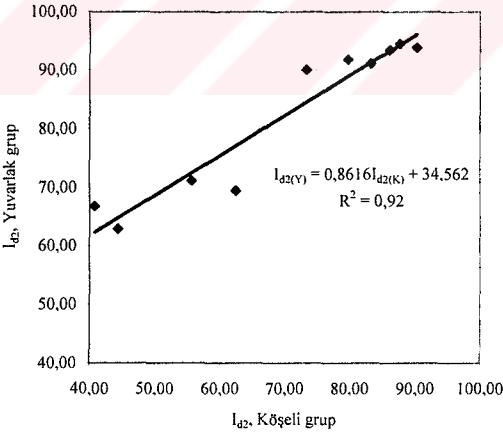
Islak kararlılık deneyine tabi tutulan kayaç gruplarının nokta yükleme dayanımları ve kuru yoğunlukları, pürüzlülük gruplarına göre ayrı ayrı ıslak kararlılık indeksi (I_d) ile karşılaştırıldığında, özellikle iri taneli kayaçlar grubunda yuvarlak agregaların deney sonuçlarıyla daha yüksek korelasyon değerleri vermektedir. Pürüzlülük arttığında ise (köşeli ve yarı köşeli gruplarda), korelasyon değerleri düşmekte ya da dalgalanmalar göstermektedir. Bu durum agrega yüzey pürüzlülüğünün I_d değerleri üzerindeki belirsizlikleri arttırdığını göstermektedir. Islak kararlılık deneyini yuvarlak agregalarla yapmak bu belirsizliği önemli ölçüde ortadan kaldıracaktır.

Tüm kayaç gruplarındaki yuvarlak agregaların, planlı yürüyüş tekniğini esas alan Fraktal programı ile belirlenen fraktal boyutlarının aritmetik ortalaması hesaplandığında, yaklaşık olarak 1,030 değeri elde edilmektedir. Bu durumda ıslak kararlılık deneyine tabi tutulacak agregalar fraktal boyutları 1,030 olacak şekilde (yuvarlatılmış) hazırlandığında, agregaların pürüzlülüğünden kaynaklanacak hatalar büyük ölçüde ortadan kaldırılmış olacaktır.

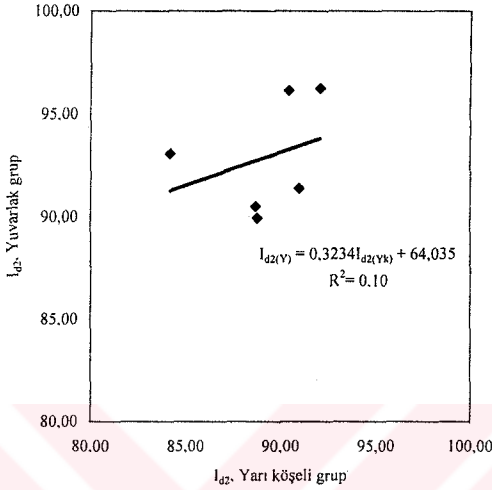
Önceki bölümlerde, ıslak kararlılık deneyinin prosedüründe deneye tabi tutulacak agregaların yuvarlatılmış olması gerektiği, ama uygulamalarda yuvarlatma işleminin güç ve zaman alıcı olması sebebiyle çoğunlukla uygulanmadığı ve köşeli agregalarla deneyin yapıldığı belirtilmişti. Bu çalışmada, aynı kayaç türlerinden farklı yüzey pürüzlülük derecelerinde hazırlanan agregalarla yapılan ıslak kararlılık deneyleri sonucunda belirlenen indekslerde önemli ölçüde sapmaların olduğu ortaya konulmuştur. Bu sebeple, köşeli ve yarı köşeli agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen I_{d2} değerleri ile, yuvarlak agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki ilişki, iri ve ince taneli kayaç gruplarında ayrı ayrı olmak üzere, şekil 5.39-5.42’ de incelenmiştir. İri taneli grupta agregaların ortalama fraktal boyutu yuvarlaklarda 1,030, yarı köşelilerde 1,035 ve köşelilerde ise 1,045’ dir. İnce taneli grupta ise kayaçların yapısı gereği köşeler ve kenarlar daha yumuşak olduğu için gruplardaki fraktal boyut değerleri iri taneli gruba göre daha küçüktür ($D_V=1,0250$, $D_K=1,033$, $D_K=1,040$).



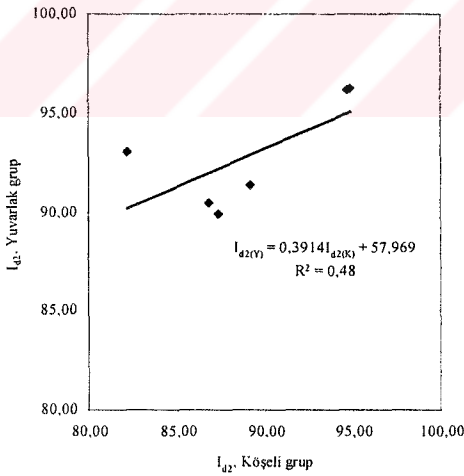
Şekil 5.39. İri taneli kayalar grubunda, yarı köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.40. İri taneli kayalar grubunda, köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.41. İnce taneli kayaçlar grubunda, yarı köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki ilişki

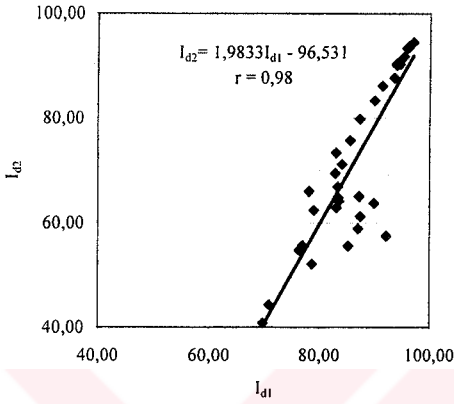


Şekil 5.42. İnce taneli kaçlar grubunda, köşeli ve yuvarlak agregalarla elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki ilişki

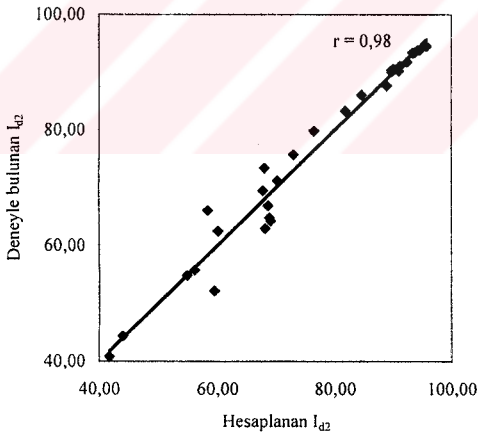
Yukarıdaki şekillerde, iri taneli kayaç grubunda köşeli ve yarı köşeli agregaların I_{d2} değerleri ile yuvarlak agregaların I_{d2} değerleri arasında oldukça kuvvetli bir istatistiksel ilişki gözlenirken (şekil 5.39-5.40), ince tanelilerde bu ilişki zayıflamaktadır (şekil 5.41-5.42). Zayıflamanın başlıca nedeni özellikle killi kireçtaşlarındaki mineralojik bileşimdeki heterojenliktir (örnek hazırlama sırasında dikkat edilmesine rağmen agregalardaki kil, kalsit, dolomit, fosil bileşenlerinin oranlarının değişmesi).

Özellikle iri taneli kayaçlar grubunda, agregaların pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indisi üzerindeki etkisi daha fazla olmasına rağmen bu grupta yuvarlak agregaların hazırlanması güçtür. Bu sebeple ıslak kararlılık deneyi çoğunlukla köşeli olarak hazırlanan agregalarla yapılmaktadır. Ancak ıslak kararlılık deneyinin köşeli agregalarla yapılması durumunda ıslak kararlılık indeksi değerlerinin yuvarlak agregalarla yapılan deney sonuçlarından oldukça farklı ve küçük çıktığı belirlenmiştir. İslak kararlılık deneyine tabi tutulan agregaların köşeliliğinden kaynaklanan bu hata, şekil 5.39 ve şekil 5.40' daki dönüşüm fonksiyonları yardımıyla ($I_{d2(K)}$ ve $I_{d2(YK)}$ ' yi $I_{d2(Y)}$ ' ye dönüştüren fonksiyonlar) belirli ölçülerde giderilebilir. Köşeli ve yarı köşeli agregalarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinin formüllerdeki yerlerine konulmasıyla, deneyin yuvarlatılmış agregalarla yapılması durumunda elde edilebilecek I_d değerleri belirlenebilir.

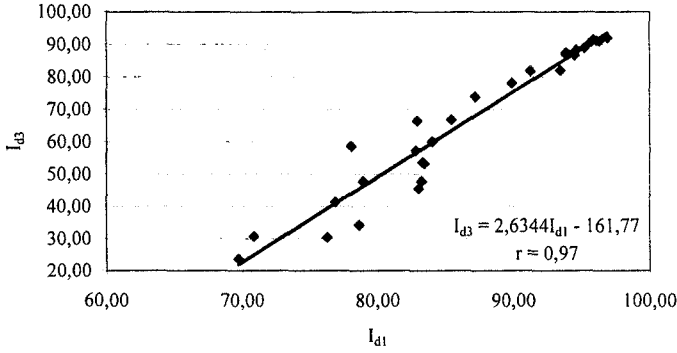
Islak kararlılık deneyinin prosedüründe her döngüde 12 saat kuruma süresi önerilmektedir. Dolayısı ile dört döngülü bir deneyde yaklaşık 60 saatlik deney süresi olmaktadır. Böylece indeks deneylerin pratik ve kolay uygulanabilir olması özelliğinden uzaklaşmaktadır. Bu süreyi kısaltmak ve sonuçları daha kolay elde edebilmek için, yani I_{d2} , I_{d3} ve I_{d4} değerlerini I_{d1} yardımıyla belirleyebilmek için, I_{d1} ile I_{d2} , I_{d3} ve I_{d4} arasındaki fonksiyonel ilişkiler incelenmiş sonuçlar aşağıda verilmiştir (şekil 5.43-5.52).



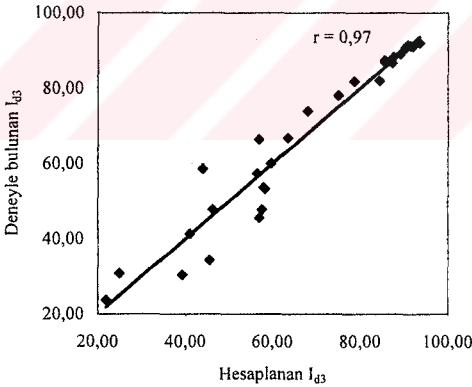
Şekil 5.43. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d2} ilişkisi



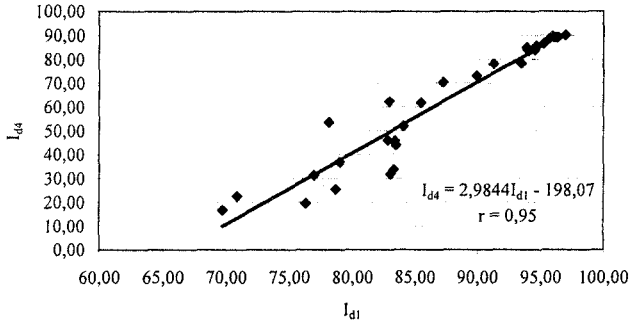
Şekil 5.44. İri taneli kayalarda şekil 5.42' deki denklemle hesaplanan I_{d2} ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri



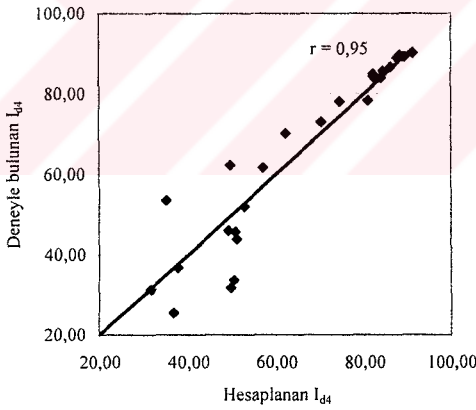
Şekil 5.45. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d3} ilişkisi



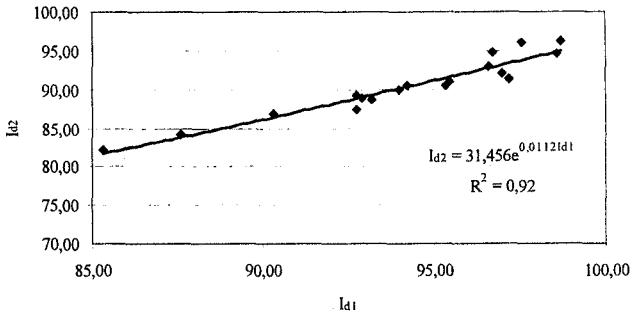
Şekil 5.46. İri taneli kayalarda hesaplanan şekil 5.44' teki denklemle hesaplanan I_{d3} ve deneyle bulunan I_{d3} değerleri



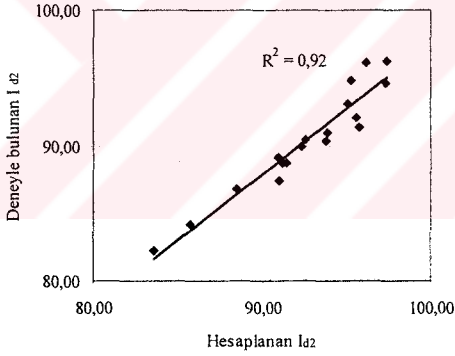
Şekil 5.47. İri taneli kayalarda I_{d1} - I_{d4} ilişkisi



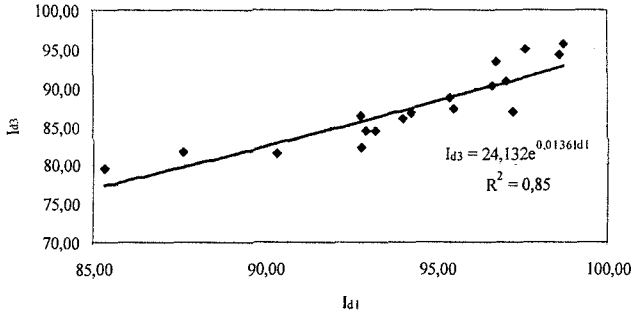
Şekil 5.48. İri taneli kayalarda şekil 5.46' daki denklemle hesaplanan I_{d4} ve deneyle bulunan I_{d4} değerleri



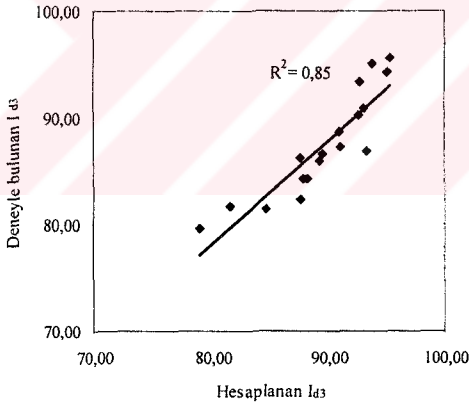
Şekil 5.49. İnce taneli kayalarda I_{d1} - I_{d2} ilişkisi



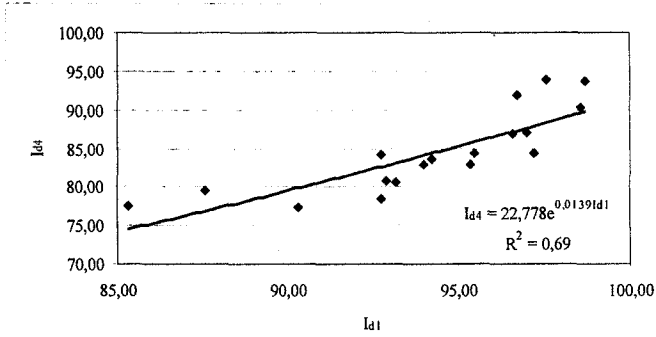
Şekil 5.50. İnce taneli kayalarda çizelge 5.48' deki denklemle hesaplanan I_{d2} ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri



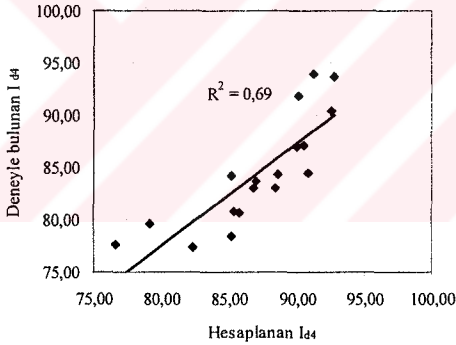
Şekil 5.51. İnce taneli kayaçlarda I_{d1} - I_{d3} ilişkisi



Şekil 5.52 İnce taneli kayaçlarda şekil 5.50' deki denklemle hesaplanan I_{d3} ve deneyle bulunan I_{d3} değerleri



Şekil 5.53. İnce taneli kayalarda I_{d1} - I_{d4} ilişkisi



Şekil 5.54. İnce taneli kayalarda şekil 5.52' deki denklemle hesaplanan I_{d4} ve deneyle bulunan I_{d4} değerleri

Yukarıdaki şekillerdeki, $I_{d2-d3-d4}$ değerlerini I_{d1} ' e bağlı bulan fonksiyonlar incelendiğinde, iri taneli kayalar için belirlenen fonksiyonlarda istatistiksel ilişkinin daha kuvvetli olduğu, bununla birlikte tüm fonksiyonların kuvvetli-çok kuvvetli korelasyon (r) ve belirtme katsayısına (R^2) sahip olduğu görülmektedir.

Regresyon model çalışmalarında kayaçların I_{d2} değerleri bağımlı, D , $I_{s(50)}$ ve ρ_d değerleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Ayrıca bağımsız değişkenlerin arasındaki etkileşimlerin ($D \cdot I_{s(50)}$, $D \cdot \rho_d$, $\rho_d \cdot I_{s(50)}$) oluşturulacak modele etkisi araştırılmıştır.

SPSS istatistik programıyla modelin anlamlılığı, R^2 değeri ve modelde kullanılan parametrelerin etki dereceleri belirlenebilmektedir. Testler sonucu elde edilen önem faktörünün 0,05' ten küçük olması (%95 güven aralığı kabul edildiği için) modelin anlamlı veya parametrelerin model üzerinde etkili olduğunu ifade etmektedir. Doğrusal regresyon analizinde, bir faktör veya etkileşimin modele etkisi incelenirken, diğer faktörler veya etkileşimler modelden çıkarılmaktadır. Yani, incelenen faktör veya etkileşimin modele etkisi ve kurulan modelin anlamlılığı belirlenmektedir.

İri ve ince taneli kayaçlar için bağımsız değişkenler ve tüm etkileşimler kullanılarak en anlamlı modeller araştırılmıştır.

İri taneli kayaçlarda, I_{d2} ' nin bağımlı, D , $I_{s(50)}$ ve ρ_d değerlerinin bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı, ayrıca bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimlerin ($D \cdot I_{s(50)}$, $D \cdot \rho_d$, $\rho_d \cdot I_{s(50)}$) oluşturulacak regresyon modeline etkisinin de incelendiği regresyon denklemi aşağıda sunulmuştur (A modeli).

$$I_{d2} = I_{s(50)} \cdot 191,627 - \rho_d \cdot 357,126 - D \cdot 1326,5 - \rho_d \cdot I_{s(50)} \cdot 31,409 + D \cdot \rho_d \cdot 417,699 - I_{s(50)} \cdot D \cdot 105,886 + 1264,04$$

(A modeli)

Modelin belirtme katsayısı (R^2) 0,93 olarak gözlenmiştir. Daha sonra etkileşimlere ait regresyon katsayılarının (β) modele etkisi (etkileşimler sırayla modelden çıkartılarak) incelenmiştir.

$$H_0: \beta (D \cdot \rho_d) = \beta (I_{s(50)} \cdot D) = 0$$

yokluk hipotezi red edilmemiştir. Dolayısıyla,

$$I_{d2} = I_{s(50)} * 80,28 + \rho_d * 74,38 - D * 685,805 - \rho_d * I_{s(50)} * 30,77 + 603,48$$

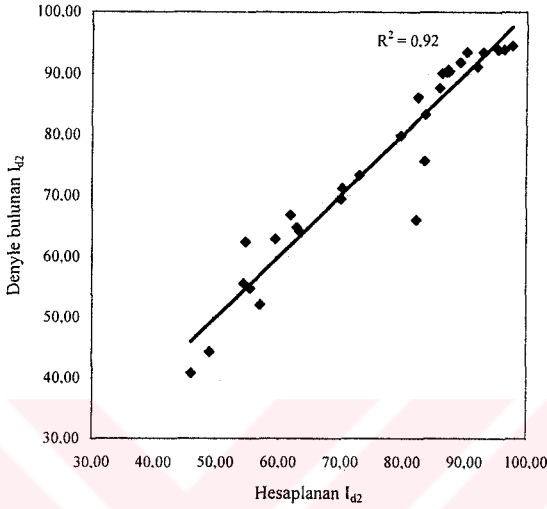
(B modeli)

modelinin (B modeli) uygun olduğu söylenebilir. Bu modele göre R^2 belirleme katsayısı 0,92 olup yukarıdaki modelden pek farklı değildir. Buna göre ilk modele bakıldığında ($D \cdot \rho_d$) ve ($I_{s(50)} * D$) etkileşimleri model üzerinde etkili değildir. Diğer katsayılar anlamlı ve modelde etkilidir. Yani önerilen model B modelidir (çizelge 5.68, şekil 5.55).

Regresyon denklemindeki ρ_d ve $I_{s(50)}$ deneysel olarak belirlenirken, fraktal boyut (D) ya Fraktal programı yardımıyla ya da şekil 4.2' deki profillerle benzeştirilerek belirlenebilmektedir.

Çizelge 5.68. İri taneli kayalarda çoklu regresyon analizinin özeti

Parametre	Katsayı	Standart S.	t	Önem fak.
Sabit	603,48	121,891	4,951	0,000
D	-685,805	120,542	-5689	0,000
ρ_d	74,38	9,308	7,992	0,000
$I_{s(50)}$	80,28	11,008	7,293	0,000
$\rho_d * I_{s(50)}$	-30,77	4,549	-6,764	0,000
Model $I_{d2} = I_{s(50)} * 80,28 + \rho_d * 74,38 - D * 685,805 - \rho_d * I_{s(50)} * 30,77 + 603,48$ $R^2 = 0,92$				

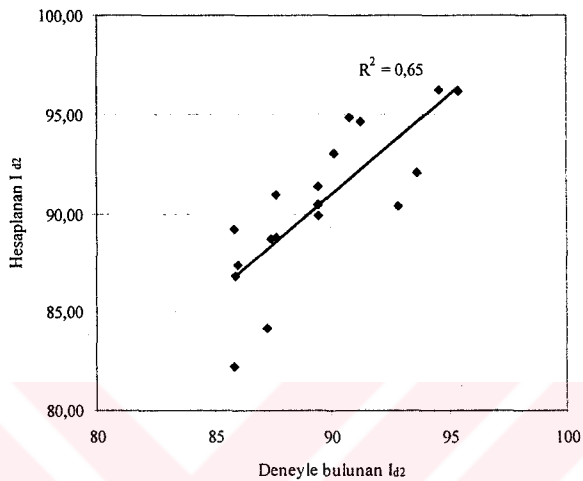


Şekil 5.55. İri taneli kayaçların çizelge 5.68’deki modelle hesaplanan ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri arasındaki ilişki

İnce taneli kayaçlarda, yukarıdaki işlemler uygulanarak, yoğunluğun ve etkileşimlerin model üzerinde etkili olmadığı ve en anlamlı modelin D ve $I_{s(50)}$ ile oluşturulabildiği belirlenmiştir (çizelge 5.69, şekil 5.56)

Çizelge 5.69. İnce taneli kayaçlarda çoklu regresyon analizinin özeti

Parametre	Katsayı	Standart S.	t	Önem fak.
Sabit	342,908	94,354	3,634	0,002
D	-258,373	91,189	-2,833	0,013
$I_{s(50)}$	3,78	0,871	4,338	0,001
Model $I_{d2} = I_{s(50)} * 3,780 - D * 258,373 + 342,908$ $R^2 = 0,65$				



Şekil 5.56. İnce taneli kayaçların çizelge 5.69' daki modelle hesaplanan ve deneyle bulunan I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki

6. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Çalışma, Türkiye' nin farklı bölgelerinden alınan marn, killi kireçtaşı, kumtaşı ve granit türünden kayalarla yapılmıştır. İnce kesit ve XRD analizleri sonucunda, kmt1 kayacı arkoz arenit, kmt2 kayacı litik grovak ve kmt3 kayacı litik arenit olarak adlandırılmıştır. Tüfl litik tüf, tüf2 ise ignimbrit türündendir. Marn1 ince kesitte homojen-izotrop bir mineralojik bileşim göstermekte olup, XRD analizinde kalsit ve simektit, mika, kaolinit türü kil mineralleri içerdiği belirlenmiştir. Marn2 1-3 mm kalınlığında tabakalanma-laminallanma göstermekte olup dokusal anizotropiye sahiptir, XRD analizi sonuçlarında kalsit, simektit, illit, kaolinit ve kuvars minerallerinden oluştuğu görülmektedir. K.kçt1 biyomikritik kireçtaşı bileşiminde olup, içerisindeki boşlukların kalsitle dolması sebebiyle heterojen bir mineralojik bileşime sahiptir. K.kçt2 kayacından yapılan incekesit ve XRD analizleri sonucunda kayacın kalsit, kil ve bol fosil içerdiği, bazı yerlerde kil bazı yerlerde de kalsit ve fosil yoğunlaşmaları sebebiyle mineralojik açıdan heterojenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Her kaya grubundan prizmatik örnekler hazırlanmış ve bunların kuru yoğunluğu ve nokta yük dayanımı indeksi belirlenmiştir. Kayaların kuru yoğunlukları $1,40 \text{ g/cm}^3$ ile $2,71 \text{ g/cm}^3$, nokta yükü dayanımları 1,08 MPa ile 4,69 MPa arasındadır.

Islak kararlılık deneyine tabi tutulan agregaların yüzey pürüzlülükleri fraktal boyut (D) ile ifade edilmiştir. Tüm kaya gruplarına ait fraktal boyut çizelgelerine bakıldığında, yuvarlak (Y) agregaların profillerine ait D değerlerinin dağılım genişliklerinin ve standart sapmalarının oldukça küçük, yarı köşeli (Yk) ve köşeli (K) gruplarda ise bu değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, yuvarlak agregaların birbirine oldukça benzer yüzeylerden-profillerden oluştuğunu, diğer grupların (K, Yk) ise birbirinden oldukça farklılık gösteren profillere-yüzeylere sahip olduklarını göstermektedir.

Islak kararlılık deneyi sonucunda tamburda kalan agregaların durumları incelendiğinde, kmt1, marn1 ve k.kçt1 ve k.kçt2 kayalarının tüm gruplarında agregalarda parçalanma olmadığı gözlenmiştir. Kmt3 ve tüfl' de köşeli gruplarda kısmen parçalanma olurken,

bozuşmuş granitte yarı köşeli ve köşeli gruplarda kısmen parçalanma olmuştur. Tüf2’de tüm gruplarda kısmen parçalanma meydana gelirken, köşelilikle birlikte agregaların parçalanma miktarı da artmıştır. Marn2 ve kmt2’de tüm gruplarda kısmen parçalanma meydana gelmiş, ancak parçalanma diğer kaya gruplarından farklı olarak pürüzlülük yerine ince tabakalanma-laminalanma ile kontrol edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kaya gruplarında (kmt2 ve marn2 hariç), agregaların yüzey pürüzlülüklerine göre oluşturulmuş grupların (K, Yk, Y) ıslak kararlılık indeksi değerleri arasında % 25’ e varan farklar (aynı kaya için) meydana gelmektedir. Böyle durumlarda kaya ıslak kararlılık sınıflamasında olması gerektiğinden farklı sınıfta yer almaktadır. Ayrıca ıslak kararlılık indeksine bağlı olarak belirlenecek diğer mühendislik parametrelerinde (σ_c , $I_s(50)$, RMR gibi) de hatalar oluşmaktadır.

Kayaların I_d değerleri ile D değerleri arasındaki istatistiksel ilişki incelendiğinde, kmt1, kmt2, kmt3, bozuşmuş granit, tüfl ve tüf2 grubu kayaların oldukça yüksek negatif korelasyon gösterdikleri gözlenmiştir. Marn1, marn2 ve k.kçt1 ve k.kçt2 gruplarında ise daha düşük negatif korelasyon gözlenmektedir; yani ilişki daha fazla belirsizlik içermektedir. Bu sebeple, ilk grup kayalar iri taneliler grubu olarak, ikinci grup kayalar da ince taneliler grubu olarak tanımlanmıştır. Özellikle fraktal boyutun ıslak kararlılık deneyine etkisinin incelendiği bu çalışmada gruplar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tüm kayalarda yuvarlak (Y1-Y2) profile sahip grupların I_d sonuçları arasındaki farklar oldukça az (birbirine yakın) çıkarken, yarı köşeli (Yk1-Yk2) ve köşeli (K1-K2) gruplarda I_d değerleri daha geniş aralıklara yayılmaktadır. Bu sonuçlar, aynı kaya grubunda ıslak kararlılık deneyinin sürekli olarak yuvarlak agregalarla tekrarlandığında elde edilecek ıslak kararlılık indeksi değerlerinin birbirine oldukça yakın olacağını, aksi durumda (köşeli-yarı köşeli agregalarla deneyin tekrarlanması durumunda) ise elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinde önemli miktarlarda farkların olacağını göstermektedir. Bir indeks özelliği, deneyin tekrarlanması durumunda aynı veya yakın sonucu veriyorsa faydalı kabul edilmektedir. Yuvarlak agregalarla elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinin bu şarta, köşeli ve yarı köşeli gruplarda elde edilen ıslak kararlılık indeksi değerlerinden daha fazla uyduğu görülmektedir.

Genel olarak döngü sayısı arttıkça I_d -D arasındaki korelasyon katsayısı (r) değerinde azalma olmaktadır. Bu da döngü sayısı arttıkça agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık deneyi sonuçları üzerindeki etkisinin bir miktar azaldığını göstermektedir. Birinci ve ikinci döngülerin sonunda, özellikle köşeli ve yarı köşeli gruplardaki agregaların köşeleri ve kenarları silinmekte ve böylece yuvarlak agregalara benzemektedir. Yani her döngü sonunda agregalar gittikçe yuvarlaklaşmakta (birbirine benzemekte) ve döngü sayısı arttıkça da pürüzlülüğünden kaynaklanan malzeme kaybı azalmaktadır. Ancak ilk döngülerde agregaların pürüzlülüğünün etkisiyle oluşan önemli miktarlardaki kayıplar diğer döngülere kümülatif olarak taşınmaktadır.

Kayaların dayanımları, sahip oldukları mineralojik bileşim, yapısal ve dokusal özelliklerle yakından ilişkilidir. Kayaların yoğunlukları ile mineralojik bileşimleri arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak kayaların kil içeriği arttıkça yoğunlukları, dayanımları ve ıslak kararlılıkları azalmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kayaların kuru yoğunlukları (ρ_d) ve nokta yükü dayanımları ($I_{s(50)}$) da hesaplanarak bir birbirleriyle olan ilişkileri analiz edilmiştir. Bu analizlerde kayalar önce tümü bir grup olarak değerlendirilmiş, sonra iri taneliler grubu (kmt, granit ve tuf) ve ince taneliler grubu (marn, killi kireçtaşı) ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm kayalar birlikte değerlendirildiğinde kuru yoğunluk ile nokta yükü dayanımı arasındaki belirtme katsayısı (R^2) 0,35, iri taneli grupta 0,48 ve ince taneli grupta 0,17 olarak çıkmıştır. İnce kesit incelemelerinde özellikle killi kireç taşı grubu kayaların kil-karbonat-fosil içerikleri büyük değişiklikler gösterdiği bu durumun da kayaların mühendislik parametreleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. İnce taneli grupta belirtme katsayısının daha düşük olmasının sebebinin de bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İri taneli kayalarda I_{d2} ile ρ_d arasındaki belirtme katsayısı 0,63, I_{d2} ile $I_{s(50)}$ arasındaki belirtme katsayısı ise 0,64 olarak bulunmuştur. İnce taneli grupta ise bu değerler sırasıyla 0,55 ve 0,53 olarak çıkmıştır.

Kaya gruplarının nokta yükü dayanım indeksi ve kuru yoğunlukları değerleri, pürüzlülük gruplarına göre ayrı ayrı ıslak kararlılık indeksi (I_d) değerleriyle karşılaştırıldığında, özellikle iri taneli kayalar grubunda yuvarlak agregaların deney sonuçlarıyla daha yüksek korelasyon değerleri vermektedir. Köşeli ve yarı köşeli gruplarda pürüzlülük arttığında ise, korelasyon değerleri düşmekte ya da dalgalanmalar göstermektedir. Bu durum agrega yüzey pürüzlülüğünün I_d değerleri üzerindeki belirsizlikleri artırdığını göstermektedir. Islak kararlılık deneyini yuvarlak agregalarla yapmak bu belirsizliği önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu çalışmada, aynı kaya türlerinden farklı yüzey pürüzlülük derecelerinde hazırlanan agregalarla yapılan ıslak kararlılık deneyleri sonucunda belirlenen indekslerde önemli ölçüde sapmaların olduğu ortaya konulmuştur. Bu sebeple, köşeli ve yarı köşeli agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen I_{d2} değerleri ile, yuvarlak agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen I_{d2} değerleri arasındaki istatistiksel ilişki, iri ve ince taneli kaya gruplarında ayrı ayrı olmak üzere incelenmiştir. İri taneli kaya grubunda köşeli ve yarı köşeli agregaların I_{d2} değerleri ile yuvarlak agregaların I_{d2} değerleri arasında oldukça kuvvetli bir istatistiksel ilişki gözlenirken, ince taneliler grubunda bu ilişki zayıflamaktadır. Zayıflamanın başlıca nedeni özellikle killi kireçtaşlarındaki mineralojik bileşimdeki heterojenliktir. Özellikle iri taneli kayalarda, köşeli-yarı köşeli agregalarla yapılmış deneylerden elde edilen ıslak kararlılık indekslerinin ($I_{d2(K-YK)}$), dönüşüm fonksiyonlarıyla, yuvarlatılmış agregalardan elde edilebilecek ıslak kararlılık indekslerine ($I_{d2(Y)}$) dönüştürülmesiyle, agregaların köşeli olmasından kaynaklanacak hatalar belirli ölçülerde giderilebilir. Tüm kaya gruplarındaki yuvarlak agregaların fraktal boyutlarının aritmetik ortalaması alındığında 1,030 değeri elde edilmektedir. Bu durumda ıslak kararlılık deneyine tabi tutulacak agregalar fraktal boyutları yaklaşık olarak 1,030 (ince taneli grup için 1.025) olacak şekilde (yuvarlatılmış) hazırlanmalı ve ıslak kararlılık deneyine tabi tutulmalıdır. Bu durumda agregaların pürüzlülüğünden kaynaklanacak hatalar giderilmiş olacaktır.

Islak kararlılık deneyinin yapılışında her döngüde 12 saat kuruma süresi önerilmektedir. Dolayısı ile dört döngülü bir deneyde yaklaşık 60 saatlik deney süresi olmaktadır. Bu süreyi kısaltmak ve sonuçları daha kolay elde edebilmek için, yani I_{d2} , I_{d3} ve I_{d4}

değerlerini I_{d1} yardımıyla belirleyebilmek için, I_{d1} ile I_{d2} , I_{d3} ve I_{d4} arasındaki fonksiyonel ilişkiler incelenmiştir. Regresyon denklemleri incelendiğinde, iri taneli kayalar için belirlenen fonksiyonlarda istatistiksel ilişkinin daha kuvvetli olduğu, bununla birlikte tüm fonksiyonların kuvvetli-çok kuvvetli korelasyon (r) ve belirtme katsayısına (R^2) sahip olduğu görülmektedir.

Regresyon model çalışmalarında kayaların I_{d2} değerleri bağımlı, D , $I_{s(50)}$ ve ρ_d değerleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Ayrıca bağımsız değişkenlerin arasındaki etkileşimlerin ($D \cdot I_{s(50)}$, $D \cdot \rho_d$, $\rho_d \cdot I_{s(50)}$) oluşturulacak modele etkisi araştırılmıştır. En anlamlı modeller iri taneli kayalar için,

$$I_{d2} = I_{s(50)} \cdot 80,28 + \rho_d \cdot 74,38 - D \cdot 685,805 - \rho_d \cdot I_{s(50)} \cdot 30,77 + 603,48 \quad (R^2=0,92)$$

İnce taneli kayalar için ise,

$$I_{d2} = I_{s(50)} \cdot 3,780 - D \cdot 258,373 + 342,908 \quad (R^2=0.65)$$

olarak bulunmuştur. Oluşturulan her iki modelde de fraktal boyutun I_{d2} üzerinde etkin bir parametre olduğu görülmektedir. Regresyon denklemlerindeki ρ_d ve $I_{s(50)}$ deneysel olarak belirlenirken, fraktal boyut (D) ise, ya Fraktal programı yardımıyla ya da çizelge 6.2' deki profillerle benzeştirilerek daha kolay bir yolla belirlenebilmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yukarıda belirtilen noktalardan alınan on kaya örneği için geçerlidir. Farklı türlerdeki pek çok kaya üzerinde benzer çalışmalar yapılarak bu kayalarda agrega yüzey pürüzlülüğünün ıslak kararlılık indeksine etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alpar, R., 2003. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş 1. Nobel kitabevi, Ankara.
- ASTM, 1990. Standart test method for slake slake durability of shales and similar weak rocks (D4644). Annual Book of ASTM Standarts Vol. 4. 08. ASTM, Philadelphia, PA. Pp. 863-865.
- ASTM, 1990. Standart practice for description and identifcaiton of soils. Philadelphia, USA.
- Aufmuth, R.E., 1974. Site engineering indexing of rocks: Field testing and instrumentation of rock. American Society for Testing and Materials, Special Thecnical Publication, No. 554, pp.81-99.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y. and Kawamoto, T., 1996. The anisotropy of the surface morphology chracteristics of rock discontinuities, Rock Mech. and Rock Eng., 29(1), pp. 47-59.
- Aydan, Ö. and Ulusay, R., 2003. Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. Engineering Geology. 69 (2003), 245-272.
- Barret, P.J., 1980. The shape of rock particles, a critical review: Sedimentology, v.27, p.291-303.
- Barton, N., 1973. Review of a new shear-strength criterion for rock-joints, Engineering Geology, 7, pp. 287-332.
- Barton, N. and Bandis, S., 1982. Effect of block size on the shear behaviour of jointed rock, (Keynote lecture) Issues in Rock Mech., 23th.US. Symp. on Rock Mech. Berkeley, California, Society of Mining Engineers of AIME.
- Barton, N. and Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics, 10, pp. 1-54.
- Bayhan, E., Temel, A., Şahbaz, A., Varol, B., Kazancı, N., Görmüş, S. ve Ergin, M., 1998. Mudanya-Ulubat Gölü (Bursa Yöresi) Orta-Üst Miyosen-Kuvaterner istifinin mineralojik incelenmesi. Yerbilimleri, S.20, Hacettepe Üniv, Ankara.
- Blatt, H., 1982. Sedimentary Petrology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA. 564 pp.
- Boggs, J.R., 1995. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. 2ed, Prentice Hall. USA.
- Brown, S.R., 1990. Surface roughness and pyhsical properties of fractures, Rock Mech. Contribution and Challenges, Proc.31st.US. Symp. on Rock Mechanics, Golden, Colorado, Balkema, Rotterdam, pp. 269-275.
- Carr, J.R. and Warnier, J.B., 1987. Rock mass characterization using fractal dimension, Rock Mech., Proc. 28th US Symp. on Rock Mech. Tuscan, Arizona, Balkema, Rotterdam, pp.73-80.
- Carr, J.R., 1989. Fractal characterization of joint surface roughness in welded tuff at Yucca Mointain in Nevada, Rock Mech, as a Guide for Efficient Utilization of Natural Resources, Proc. 30th US Symp. on Rock Mech., Morgantown, West Virginia. Balkema, Rotterdam, pp. 193-200.
- Chandra, R., 1970. Slake durability test for rocks. Unpublished M.S. thesis, Department of Mining, Imperial Collage, England.
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C. and Simons, N.E., 1995. Site investigation. Blackwell Science Ltd, USA.

- Çetin, H., Laman M. and Ertunç A., 2000. Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Atatürk Dam in Turkey. *Eng. Geol.* 56, 225-242.
- Dick, J.A., Shakoor, A., Wells, N., 1994. A geological approach toward developing a mudrock-durability classification system. *Can. Geotech. J.* 34, 17-27.
- Dick, J.A. and Shakoor, A., 1995. Characterizing durability of mud rocks for slope stability purposes. *Geolo. Soc. Am., Rev. Eng. Geol.* X, 121-130.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M. and Kaneko, K., 2001. Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65 (2002), 31-34
- Ekici, T. ve Boztuğ, D., 1997. Anatolid-Pontid çarpışma sisteminin pasif kenarında yeralan Yozgat batolitinde Syn-COLG ve Post COLG granitoid birlikteliği. *Yerbilimleri*, Sayı 30.
- Elsworth, D. and Goodman, R.E., 1986. Characterizaion of rock fissure hydraulic conductivity using idealized wall roughness profile, *Int.J.Rock Mech.Min.Sci.*, 23(3), pp.233-243.
- Ferrero, A. M. and Giani, G.P., 1990. Geostistical description of the joint surface roughness, Hustralid ve Johnson (eds), *Rock Mech. Contribution and Challanges*, Proc.31st. US. Symp. On Rock Mechanics, Golden, Colarodo, Balkema, Rotterdam, pp. 463-470.
- Franklin, J.A. and Chandra, R., 1972. The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9:325-341.
- Gamble, J.C., 1971. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Ph. D. Thesis. University of Illinois, Urbana.
- Gerber, E. and Scheidegger, A.E., 1974. On the dynamics of scree slopes. *Rock Mechanics*. 6: 25-38.
- Golden Software, 2000. Didger 2.0, Golden Software Inc., USA.
- Goodman, R.E., 1989. *Rock Mechanics*. 2nd ed. Jhon Wiley and Sons, USA.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., Sönmez, H., 2000. Factor effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis om the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57 (2000), 215-237.
- Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. *Engineering Geology*, 58 (2000)1-38.
- Haston, M.B., 1996. Shear strength testing and fractal analysis of rock discontinuities. Master Thesis, The Univ. of Thenesse, Knoxville.
- Hooke and Bray, 1981. *Rock slope engineering*, 3th ed. The Inst. of Mining and Metal., London, 358 p.
- ISRM, 1978. Commission for standardization of laboratory and field test, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *Int.J. Rock Mech.Min.Sci.*, 15(6), pp. 319-368.
- ISRM, 1981. *ISRM Suggested Methods: Rock Cracterization, Testing and Monitoring*. E. T. Brown (ed), Permagon Press, London, 211 pp.
- Kayabalı, K., 2002. Agregaların yüzey pürüzlülük katsayısını hesaplayan "Fraktal" programı (Yayınlanmamış).
- Ketin, İ., 1955. Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 6, 1-40.

- Kılıç, R., 1999. A Unified Alteration Indeks (UAI) for Mafic Rocks. *Environmental and Engineering Geoscience*, Vol. V, No. 4, Winter 1999, pp. 475-483.
- Koncagül, E. and Santi, P.M., 1998. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *Int. Jour. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36 (1999), 139-153
- Kutsal, A., Alpan O. ve Arpacık., R., 1990. İstatistik Uygulamalar. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak, Zootekni Böl. Ankara.
- Ladanyi, B. and Archambult, G., 1970. Simulation of shear behaviour of jointed rock mass, In *Rock Mech. Theory and Practice*, New York, pp.105-125.
- Lee, S.G. and Freitas, M.H., 1988. Quantitative defination of highly weathered granite using the slake durability test. *Thecnical note. Geotechnique* 38, No.4, 635-640.
- Mandelbrot, B.B., 1967. How long is the coast of Great Britain: Statical self similarity and the fractional dimension, *Science*, 156, pp.636-638.
- Mandelbrot, B.B., 1977. *Fractals: forms, chance and dimension*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, New York, 468 p.
- Martin, R.P., 1986. Use of index tests for engineering assessment of weathered rocks. In: *Proc. 5th Int. Cong of IAEG Buenos Aires*, 433-460.
- MacIver, B.N., 1967. Engineering properties of nuclear craters: the formation and initial stability of slopes in cohesionless soils. *United States Waterways Experiment Station, Vicksburgh. Miss., Technical Report*, 3-699.
- Morris, H.C., 1959. Effect of particle shape and texture on the strength of noncohesive aggregates. *American Society for Testing and Materials. Special Tchnical Publication* 254 pp, 350-363.
- MTA, 1997. Türkiye jeoloji haritaları, no:55. Ankara-F15 paftası, Ankara.
- Patton, F.D., 1966. Multiple modes of shear failure in rock. *Proceedings, 1st Congress of International Society of Rock Mechanics*, Lisbon, pp.509-513.
- Pettijohn, F.J., 1957. *Sedimentary rocks*. Harper Brothers. Inc., New York.
- Powers, M.C., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles: *Jour. Sed. Petrology*, v.23, p.117-119.
- Power, W.L. and Tullis, T.E., 1991. Euclidean and fractal models for description of rock surface roughness, *Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets*, 1, pp. 415-425.
- Priest, S.D., 1983. *Discontinuity analysis for rock engineering*, Allen and Unwin, 473 p.
- Reeves, M.J., 1985. Rock surface roughness and frictional strength, *Int. J. Rock Mech.Min. Sci.*, 22, pp.429-442.
- Rodrigues, J.G., 1991. Physical characterization and assesment of rock durability through index properties. *NATO ASI Ser. E. Applied Sci.* 200, 7-34.
- Roko, R.O., Daemen, J.J.K., Myers, D.E., 1997. Variogram characterization of joint surface morphology and asperity deformation during shearing, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 34 (1), pp.71-78.
- Scheidegger, A.E., 1973. On the prediction of the reach and velocity of the catastrophic landslides. *Rock Mechanics* 5: 231-236.
- SPSS, 1998. *Statistical package for social sciences*. SPSS Inc. USA.
- Swan, G., 1981. Tribology and the characterization of rock joints, *Proc. of 22nd US Symp. on Rock Mechanics*, Boston, MA, pp.432-437.
- Temur, S., 1995. *Jeoistatistik*. Selçuk Üniversitesi yayınları. Konya.

- Toprak, V., Keller, J. and Schumacher, R., 1994. Volcanotectonic features of the Cappodacian Volcanic Provience. Volcanological Cong. IAVCEI_Ankara Excursion Guide. 58 pp.
- Tse, R. and Cruden, D.M., 1979. Estimating joint roughness coefficient, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 16, pp. 303-307.
- Turk, N., Gerik, M.J., Dearman, W.R. and Amin, F.F., 1987. Characterization of rock joint surfaces by fractal dimension, Rock Mech., Proc. 28th US Symp. on Rock Mech. Tuscan, Arizona, Balkema, Rotterdam, pp. 1223-1236.
- Turcotte, D.L., 1992. Fractal and chaos in geology and geophysics: Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Ulusay, R., Arıkan, F., Yöleri, M.F., Çağlayan, D., 1995a. Engineering geological characterization of coal mine waste material and evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine SW Turkey. Eng. Geol. 40, 77-101.
- Ulusay, R., Ozkan, I., Ünal, E., 1995b. Engineering eological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in strip mine, SW Turkey. Eng. Geol. 40, 77-101.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. JMO yayınları, no:60.
- Ünal, E., 1996. Modified rock mass classification: M-RMR System. Milestones in Rock Engineering, The Bieniawsky Jubilee Collection. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Ünal, E. and Özkan, I., 1990. Determination of classification parameters for clay-bearing rocks and stratified rock mass. In: Peng, S. (Ed.), 9th Int. Conf. Ground Control in Mining, West Virginia University, 250-259.
- Ünal, M., 2000. Süreksizlik yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi ve makaslama dayanımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi. Hacettepe Üniv. Fen Bil. Ens. 2000.
- Vallejo, L.E., 1994. Fractal analysis of the slake durability test. Can. Geotech. J. Vol. 31, 1994.
- Wu, T.H. and Ali, E.M., 1978. Statistical representation of rock joints roughness, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15, pp. 259-262.
- Yoshinaka, R., Yoshida, J., Shimizu, T., Arai H. and Arisaka, S., 1990. The influence of the roughness and degree of interlocking on the strength characteristic, Proc. 22th Symp. on Rock Mechanics, JSCE, pp. 206-210.
- Yüzer, E. ve Vardar, M., 1986. Kaya Mekaniği. İTÜ Maden Fakültesi. Kitap yayınları no: 11, İstanbul.
- Zhao, J., Broms, B.B., Zhou, Y. and Choa, V., 1994. A study of the weathering of the Bukit Timah Granite. Part A: Rewiev, field observations and geophysical survey. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Paris, No:49.
- Zhao, J., 1997. Joint surface matching and shear strength, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 36 (2), pp. 179-185.

EK

EK 1. Fraktal programının kod dosyası

```
PROGRAM FRAKTAL
  REAL X(100),Y(100),PROFIL(100),TOPROUZ,DX,DY,PRNOKSAY,
  + PRONOKX(100,500),PRONOKY(100,500),NOKUMX(10000),NOKUMY(10000),
  + ILKNOKX,ILKNOKY,SONNOKX,SONNOKY,DX,DY,SEGBOY,KONT1,KONT2,
  + SEGSA(500),SONX,SONY,TOPX,TOPY,TOPXY,TOPXKARE,EGIM,U1,U2,U3,
  + U4,U5,S1,S2,S3,S4,S5,SEGKOORX(1000),SEGKOORY(1000)
  INTEGER SAY1,SAY2,SEGMUZ(5),SAY3,SAY4,SAY5,SAY6
  OPEN(UNIT=11,FILE='DATAM')
  OPEN(UNIT=12,FILE='OUTP')
  SAY1=0
  WRITE(12,*)" KOORD-X (mm) KOORD-Y (mm)"
  *
  * VERILERIN DOSYADAN OKUNMASI VE milimetrik UZUNLUKLARA DONUSTURULMESI
  *
  10 READ(11,*)X(SAY1+1),Y(SAY1+1)
  IF(X(SAY1+1).LT.0) GO TO 20
  X(SAY1+1)=X(SAY1+1)*0.0254
  Y(SAY1+1)=Y(SAY1+1)*0.0254
  WRITE(12,*)X(SAY1+1),Y(SAY1+1)
  SAY1=SAY1+1
  GO TO 10
  20 WRITE(12,*)" PROFIL UZUN. (mm) X1 Y1 X2 Y2"
  *
  * PROFIL UZUNLUKLARININ HESAPLANMASI
  *
  SAY2=0
  DO 30 I=1,SAY1
    SAY2=SAY2+1
    IF(SAY2.EQ.SAY1)THEN
      X(I+1)=X(I)
      Y(I+1)=Y(I)
    ENDIF
    PROFIL(I)=((X(I+1)-X(I))**2+(Y(I+1)-Y(I))**2)**0.5
    WRITE(12,510)SAY2,PROFIL(I),X(I),Y(I),X(I+1),Y(I+1)
  30 CONTINUE
  *
  * TOPLAM PROFIL UZUNLUGUNUN BULUNMASI
  *
  TOPROUZ=0
  DO 40 J=1,SAY1
    TOPROUZ=TOPROUZ+PROFIL(J)
  40 CONTINUE
  *
  * SEGMENT UZUNLUKLARININ TAYIN EDILMESI
  *
  WRITE(12,*)"TOPLAM PROFIL UZUNLUGU =",TOPROUZ," mm"
  SEGMUZ(1)=TOPROUZ/10
  WRITE(12,*)"BIRINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(1)," mm"
  SEGMUZ(2)=TOPROUZ/20
  WRITE(12,*)"IKINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(2)," mm"
  SEGMUZ(3)=TOPROUZ/30
  WRITE(12,*)"UCUNCU SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(3)," mm"
```



```

SEGMUZ(4)=TOPROUZ/40
WRITE(12,*)"DORDUNCU SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(4)," mm"
SEGMUZ(5)=TOPROUZ/50
WRITE(12,*)"BESINCI SEGMENT UZUNLUGU =",SEGMUZ(5)," mm"
WRITE(12,*)"PROFIL NOKTALARI KUMESI, KOORD-X  KOORD-Y"

```

*
* PROFILLERIN 0.1 mm UZUNLUKLARA BOLUNMESI
*

```

SAY3=0
DO 60 K=1,SAY1
SAY4=0
IF(SAY2.EQ.K)THEN
  X(K+1)=X(1)
  Y(K+1)=Y(1)
ENDIF
PRNOKSAY=PROFIL(K)/0.1
SAY5=PRNOKSAY
DX=X(K+1)-X(K)
DY=Y(K+1)-Y(K)

```

*
* BULUNAN NOKTALARA KOORDINATLAR TAYIN EDILMESI
*

```

50  SAY4=SAY4+1
    PRONOKX(K,SAY4)=X(K)+(SAY4-1)*DX/PRNOKSAY
    PRONOKY(K,SAY4)=Y(K)+(SAY4-1)*DY/PRNOKSAY
    SAY3=SAY3+1
    NOKUMX(SAY3)=PRONOKX(K,SAY4)
    NOKUMY(SAY3)=PRONOKY(K,SAY4)
    WRITE(12,520)PRONOKX(K,SAY4),PRONOKY(K,SAY4)
    IF(SAY4.LT.SAY5)GO TO 50
60 CONTINUE

```

*
* BULUNAN TUM NOKTALARIN BIR DIZI ICINDE TOPLANMASI
*

```

SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(1)  SEGKOORY(1)"
WRITE(12,*)"SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)

```

*
* 5 DEGISIK SEGMENT BOYU ICIN SEGMENT SAYILARININ HESAPLANMASI VE
* SEGMENTLERIN KAPALI ALANI CEVRELEYEN PROFILLERI KESTIGI NOKTALARIN
* KOORDINATLARININ CIKTI DOSYASINA YAZDIRILMASI
*

```

DO 70 L=1,SAY3
SONNOKX=NOKUMX(L)
SONNOKY=NOKUMY(L)
DXX=SONNOKX-ILKNOKX
DYY=SONNOKY-ILKNOKY
SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
KONT1=ABS(SEGMUZ(1)-SEGBOY)
IF(KONT1.LT.0.1)THEN
  ILKNOKX=SONNOKX
  ILKNOKY=SONNOKY
  SONX=SONNOKX
  SONY=SONNOKY

```

```

SAY6=SAY6+1
SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
ENDIF
IF(L.EQ.SAY3)THEN
  KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
  SEGSA(1)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(1)
ENDIF
70 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(2) SEGKOORY(2)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 80 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DX=X=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(2)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY
    SAY6=SAY6+1
    SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
    SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
    WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
    KONT2=((SONX-NOKUMX(1))**2+(SONY-NOKUMY(1))**2)**0.5
    SEGSA(2)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(2)
  ENDIF
80 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(3) SEGKOORY(3)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 90 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DX=X=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(3)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY

```



```

SAY6=SAY6+1
SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
ENDIF
IF(L.EQ.SAY3)THEN
  KONT2=((SONX-NOKUMX(1))*2+(SONY-NOKUMY(1))*2)**0.5
  SEGSA(3)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(3)
ENDIF
90 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(4) SEGKOORY(4)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 100 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(4)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY
    SAY6=SAY6+1
    SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
    SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
    WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
  ENDIF
  IF(L.EQ.SAY3)THEN
    KONT2=((SONX-NOKUMX(1))*2+(SONY-NOKUMY(1))*2)**0.5
    SEGSA(4)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(4)
  ENDIF
100 CONTINUE
SAY6=0
ILKNOKX=NOKUMX(1)
ILKNOKY=NOKUMY(1)
SEGKOORX(1)=NOKUMX(1)
SEGKOORY(1)=NOKUMY(1)
WRITE(12,*)" SEGKOORX(5) SEGKOORY(5)"
WRITE(12,*)SEGKOORX(1),SEGKOORY(1)
DO 110 L=1,SAY3
  SONNOKX=NOKUMX(L)
  SONNOKY=NOKUMY(L)
  DXX=SONNOKX-ILKNOKX
  DYY=SONNOKY-ILKNOKY
  SEGBOY=(DXX**2+DYY**2)**0.5
  KONT1=ABS(SEGMUZ(5)-SEGBOY)
  IF(KONT1.LT.0.1)THEN
    ILKNOKX=SONNOKX
    ILKNOKY=SONNOKY
    SONX=SONNOKX
    SONY=SONNOKY

```

```

SAY6=SAY6+I
SEGKOORX(SAY6+1)=SONNOKX
SEGKOORY(SAY6+1)=SONNOKY
WRITE(12,*)SEGKOORX(SAY6+1),SEGKOORY(SAY6+1)
ENDIF
IF(L.EQ.SAY3)THEN
  KONT2=((SONX-NOKUMX(1))*2+(SONY-NOKUMY(1))*2)*0.5
  SEGSA(5)=SAY6+KONT2/SEGMUZ(5)
ENDIF
110 CONTINUE
*
* EN KUCUK KARELER YONTEMI ILE FRAKTAL BOYUTUN HESAPLANMASI
*
120 CONTINUE
U1=SEGMUZ(1)
U2=SEGMUZ(2)
U3=SEGMUZ(3)
U4=SEGMUZ(4)
U5=SEGMUZ(5)
S1=SEGSAY(1)
S2=SEGSAY(2)
S3=SEGSAY(3)
S4=SEGSAY(4)
S5=SEGSAY(5)
TOPX=LOG10(U1)+LOG10(U2)+LOG10(U3)+LOG10(U4)+LOG10(U5)
TOPY=LOG10(S1)+LOG10(S2)+LOG10(S3)+LOG10(S4)+LOG10(S5)
TOPXY=LOG10(U1)*LOG10(S1)+LOG10(U2)*LOG10(S2)+LOG10(U3)*LOG10(S3)+
+ LOG10(U4)*LOG10(S4)+LOG10(U5)*LOG10(S5)
TOPXKARE=(LOG10(U1))**2+(LOG10(U2))**2+(LOG10(U3))**2
+ (LOG10(U4))**2+(LOG10(U5))**2
EGIM=ABS((TOPX*TOPY-5*TOPXY)/(TOPX**2-5*TOPXKARE))
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(1)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(1)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(2)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(2)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(3)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(3)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(4)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(4)
WRITE(12,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(5)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(5)
WRITE(12,*)"FRAKTAL BOYUT=",EGIM
WRITE(*,*)"TOPLAM PROFIL UZUNLUGU =",TOPROUZ," mm"
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(1)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(1)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(2)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(2)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(3)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(3)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(4)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(4)
WRITE(*,*)"SEG. UZ (mm)=",SEGMUZ(5)," SEG. SAYISI=",SEGSAY(5)
WRITE(*,*)"FRAKTAL BOYUT=",EGIM
510 FORMAT(3X,'PROFIL ',I3,'=',F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2)
520 FORMAT(30X,F6.2,5X,F6.2)
530 FORMAT(2X,'TOPLAM SEGMENT SAYISI ',I3)
540 FORMAT(2X,'TOPLAM SEGMENT UZUNLUGU ',F5.1,' mm')
END

```


EK 2 Fraktal Boyut Değerlerini İçeren bir adet CD



ÖZGEÇMİŞ

Karacebey’ de 1972 yılında doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Karacabey’ de tamamladı. 1989 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden 1993 yılında Jeoloji Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Ekim 1994 - Temmuz 1998 yılları arasında, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde 1995-2000 yılları arasında araştırma görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından buyana aynı bölümde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

