

22854

**MERMERLERİN BASINÇ ALTINDAKİ
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

119696

**Dokuz Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
Maden Mühendisliği, Maden İşletme Anabilim Dalı**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Zeki KARACA

**Eylül, 2002
İZMİR**

119696

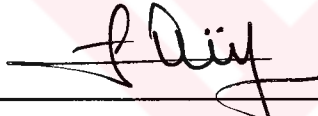
Doktora Tezi Sınav Sonuç Formu

ZEKİ KARACA, tarafından **DOÇ. DR. TURGAY ONARGAN** yönetiminde hazırlanan "**MERMERLERİN BASINÇ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Turgay ONARGAN

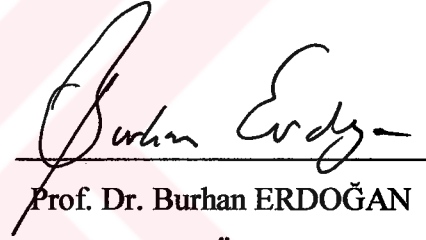
Yönetici



Prof. Dr. Ercüment YALÇIN

Jüri Üyesi

(Tez İzleme Komitesi Üyesi)



Prof. Dr. Burhan ERDOĞAN

Jüri Üyesi

(Tez İzleme Komitesi Üyesi)



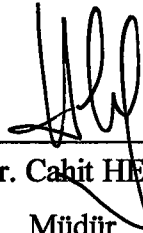
Prof. Dr. Halil KÖSE

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora süresince ve öncesinde, Yüksek Lisans başta olmak üzere tüm akademik gelişimimde vermiş olduğu destek ve yapmış olduğu katkıları için Hocam, Sn. Doç. Dr. Turgay ONARGAN' a teşekkür ederim.

Zeki KARACA



ÖZET

Metamorfizma geçirmiş kristalize mermer, gerçek mermer örneklerinin (GM1, GM2, GM3) ve metamorfizma geçirmemiş kireçtaşı, mikritik mermer örneklerinin (KÇT1, KÇT2, KÇT3) farklı yüklerde basınç altındaki davranışları strain gauge (deformasyon ölçer) kullanılarak araştırılmıştır. Deneylerde, B 66 ve $h=2R$ ölçülerinde karotlar, tabakalanmaya dik yönde alınmış silindir örnekler ve FLA 10–11, 120 Ω , 2.12 gauge faktör özelliklerine sahip dinamik strain gauge kullanılmıştır.

Araştırma konusu yükler, örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri, mermer kesme ve işleme makinalarının mermer blok ve ürünlerine uyguladığı maksimum yük değeri olan 5000 kgf ve örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük değerleridir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanım yükü altındaki deformasyon değişimleri düşey ve yatay strain gauge ile izlenmiştir. Çalışmanın esas amacını oluşturan "Zamana Bağlı Deformasyon" deneylerinde, farklı yükler altında ve yedi saat süre ile örneklerde oluşan deformasyon araştırılmıştır. Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, sadece düşey yönde strain gauge kullanılmış ve düşey deformasyon ölçülmüştür. Strain gauge ile örneklerden alınan deformasyon değerleri kaydediciye aktarılmış ve burada sayısallaştırılmıştır. Kaydediciden okunan değerlere bağlı olarak her örnek için deformasyon grafiği çizilmiştir.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, 5000 kgf yük altında yapılan II. grup deneylerin deformasyon grafiklerinde az sayıda elastik bölge gözlenmiştir. II. grup ve III. grupta (örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük grubu) yapılan tüm deneylerin deformasyon grafiklerinde I. bölge (geçiş bölgesi) ve II. bölge (kararlı bölge) gözlemlenmiştir. Deney süresi nedeniyle, her iki örnek grubuna ait deformasyon grafiklerinde III. bölge, kırılma bölgesi

gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, zamana bağlı deformasyon deneylerinin tamamında olağan II. bölge akması devamlılık göstermiştir. Her iki örnek grubunda II. bölgeye, 2 tonf/dk'lık yükleme hızı ile, genellikle ilk 100 dakikada girilmiştir.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, daha büyük yük altında oluşan deformasyonun daha az yük altında oluşan deformasyondan büyük geliştiği, yük ve deformasyonun doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı mermere ait örneklerde, daha büyük yük değerine sahip tek eksenli basınç dayanım değerinin % 75'ine karşılık gelen yük altında oluşan deformasyon, 5000 kgf de oluşan deformasyondan daha büyük ölçülmüştür.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, mermer ve yük özelliklerine bağlı olarak yer yer düzenli deformasyon düşüşleri gözlemlenmiş ve bu durum ilgili deformasyon grafiklerinde gösterilmiştir. Düzenli düşüşler içeren deformasyon grafiklerinde, II. bölge' de normal devam eden seviye "dinamik seviye", deformasyon seviyesinin düştüğü ve en alt noktalarının oluşturduğu seviye, "stabil seviye" olarak tanımlanmıştır (az sayıda örnekte, I. bölge' de görülen deformasyon iniş ve çıkışları söz konusu değerlendirmenin dışında tutulmuştur). II. bölge' de, karalı bölgede görülen deformasyon düşüşleri zamanla sonlanmış, dinamik seviye ile stabil seviye bir süre sonra eşit hale gelmiştir. Dinamik ve stabil seviye eş hale geldikten sonra deformasyon hareketi II. bölge' de düzenli bir yol izlemiş, örnek, göreceli olarak kararlı bir akma hali göstermiştir.

Zamana bağlı deformasyon deney grafiklerinde, II. bölge' de doğrusal akma gösteren veya nispeten kararlı hareket eden örnekler "duraylı", stabil seviyenin dinamik seviyeye oranı "duraylılık oranı" olarak tanımlanmıştır. Duraylılık oranı 1'e yaklaştıkça mermerin kararlılığı da artmıştır. Duraylılık oranının 1 olması durumunda, deformasyon aşamasında örnek, mümkün olan en kararlı akma hali içerisinde gözlenmiştir.

Örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75'ine karşılık gelen yükler altında (III. grup) belirlenen duraylılık oranları GM2 dışında 1'dir. III. grupta oluşan

akmaların, 5000 kgf yük altında yapılan II. grup deneylerden sonra örneklerde gelişen akmalardan daha kararlı olduğu görülmüştür. Yük arttıkça kararlılık da artmıştır. Örnekler arası duraylılık oranı farkı kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) daha azdır. Buna karşılık, kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3) daha kararlı bir akma gözlemlenmiştir.

Strain gauge ile yapılan deformasyon araştırması sonrası örneklerden yatay ve dikey yönde ince kesitler alınmıştır. İnce kesitler, örneklerdeki deformasyon sonrası genel durumu (400 büyültmeli) ve kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) kristal boyutta deformasyon hareketlerini (1250 büyültmeli) görmek amacıyla farklı iki ölçekte mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Kireçtaşı örnekleri (KÇT1, KÇT2, KÇT3), sadece genel durumu görmek amacıyla mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

İnce kesitlerde, aynı koşullar içerisinde, deformasyon ve diğer yükler altında tane boyu çok daha küçük olan kireçtaşı örneklerinde (en büyük tane boyuna sahip KÇT3'ün tane boyu, 57.82 μm) oluşan kırık açıklıklarının, kristalize mermer örneklerinde (en küçük tane boyuna sahip GM1' in tane boyu, 616.32 μm) oluşan kırık açıklıklarından daha küçük geliştiği görülmüştür. Kristalize mermer örneklerinde de kristal boyu arttıkça kırık açıklığı artmıştır. Söz konusu bulgular, tane boyu arttıkça kırık açıklığının arttığını göstermiştir. Ayrıca, aynı mermere ait örneklerin farklı yükler altında gelişen kırıklarında yük arttıkça kırık açıklığının arttığı gözlemlenmiş, yük artışı ile birlikte kırık oluşumu artmıştır.

Zamana bağlı deformasyon deneyleri sonrasında örneklerden alınan ince kesitlerin 400 büyültmeli mikroskop araştırmasında, örneklerin genel yapılarında herhangi bir kırık izine rastlanmamıştır. Bu sonuçla, incelen kristalize mermer ve kireçtaşı örneklerinin kesilmesi, işlenmesi ve kullanım süreçlerinde, yüke bağlı olarak mikro yapılarında kullanımlarını etkileyecek herhangi bir deformasyonun gelişmediği görülmüştür.

İnce kesitlerin mikroskop araştırmasında, örneklerde akma veya tanelerde şekil değişimi gözlemlenmemiştir. Kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3), fosil ve eski kırıklarına ait kalsit dolgularında da herhangi bir değişim görülmemiştir.

Örneklere ait fiziko–mekanik deney sonuçları ve üç eksenli deney sonrası ince kesit fotoğrafları Ek. 1' de verilmiştir.



ABSTRACT

In this study, deformations of metamorphosed real crystallized marble (GM1, GM2, GM3) and micritic limestone (KÇT1, KÇT2, KÇT3) samples under various pressure conditions have been examined by strain gauges. In the experiments, core samples of size B 66, $h= 2R$ and cylindrical samples cut perpendicular to bedding plane were analysed and dynamic strain gauges of FLA 10–11, 120 Ω , 2.12 gauge factor have been used.

The forces applied were chosen depending of uniaxial strain of the samples, maximum forces of 5000 kgf that is applied by marble machineries of marble blocks and slabs, and about 75 % of maximum uniaxial stress values of the samples examined. Deformational variations of the samples under uniaxial strains were detected by vertical and horizontal strain gauges. The main objective of the study was to examine "time dependent deformation under constant stress (time–strain, creep)" of the samples and these accomplished by various forces applied 7–hour duration. In the time dependent deformation experiments, only vertical strain gauge were used and only the vertical strains were measured. The deformation values measured by strain gauges were transferred to a recorder and numerically plotted. Depending on numerical values of deformational path for each sample were drawn.

In the time dependent deformation experiments of the group II, conducted under 5000 kgf forces, a limited elastic area has been observed. In the group II and group III in every experiments area I (transient creep) and area II (steady state creep) have been detected. Because of limited time the area III (accelerated creep) in both samples groups have not been observed. However, time dependent deformation experiments the flow area II show regularity. In both groups of the samples, the steady state creep has been reached at first 100 second under 2 tonf/min force speed.

In the time dependent experiments, it was found that the strain was greater in experiments under high load and, deformation and forces are proportionally related. In the same samples, the strain produced under force that was 75 % value of its uniaxial strength was bigger than produced under 5000 kgf.

In the time dependent experiments, depending on load values and marble species, it was observed low values of deformations and these are shown in related graphs. In the regularly decreasing deformation graphics, the normal level under steady state creep, was called "Dynamic Level" and the level which is the lowest was called "Stable Level". The strain decreases in transient creep was later ended, and the dynamic and stable levels become equal. The time-strain curve was regular in the steady state creep and stable flow was observed.

In the time dependent deformation graphics, in the steady state creep, the samples showing a linear flow and relatively regular variations are called "Stable" and ratio of stable level to dynamic level was called the "Stability Ratio". The stability ratio close to 1 means the sample flows under highest stability flow.

Under 75 % load of the uniaxial stress values of the samples stability proportions was 1 except sample GM2. In the flow of the group III, the group II experiments under 5000 kgf load, the flows were more stable. It load increases the stability increases, too. The stability proportion differences are lower in different crystallized marble samples (GM1, GM2, GM3). On the other hand, in the limestone samples (KÇT1, KÇT2, KÇT3) more stable flow was observed.

After deformation experiments conducted by strain gauge, we prepared thin sections from slabs cut vertically and horizontally from the samples. The thin sections examined under 400 enlarged to see general type of deformation and under 1250 enlarged to observe crystal size deformation. The limestone samples (KÇT1, KÇT2, KÇT3) are only examined under 400 times magnification.

In thin sections it is observed that in the limestone (KÇT3 have the biggest grain, 57.82 μm) with small crystal size crack openings were narrow compared the crystallized marbles (GM1 have the smallest crystal, 616.32 μm) the size of cracks increase proportionally to the crystal size of the samples. The results indicate that the crack openings are correlated with the crystal size. Besides that, the crack openings increase parallel to the load.

It is concluded from the investigation of the thin section obtained after the deformation experiments related with time by using 400 enlargement of the microscope, there is no any fracture trace coincide on the general structure of the samples. As a result, it is determined that there is no any deformation development which affects the usage of the micro structure related with loads.

During the microscopic investigation of the thin section of the samples, flowing and figure changing were not observed. Also, there is no any changing observation of the limestone samples called as KÇT1, KÇT2, and KÇT3 having fossil and old fracture of the calcite filler.

The results of the physical-mechanical experiments of the samples and the thin section pictures which were obtained after the three-dimensional experiments are presented on the Appendix. 1.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler	X
Tablo Listesi	XII
Şekil Listesi	XIII

Bölüm 1 **GENEL BİLGİLER**

1. 1 Amaç	1
1. 2 Çalışmanın Literatürdeki Yeri	2
1. 3 Mermer	4
1. 3. 1 Gerçek Mermerler	11
1. 3. 2 Kireçtaşları	12
1. 4 Mermerlerin Dayanımlarını ve Basınç Altındaki Davranışlarını Etkileyen Parametreler	14
1. 4. 1 Mermer Litolojisi	14
1. 4. 1. 1 Dokusal Özellikler	15
1. 4. 1. 2 Kristal Boyu	15
1. 4. 1. 3 Renklenme	16
1. 4. 1. 4 Homojenlik	17
1. 4. 1. 5 Yabancı Elaman Varlığı	17
1. 4. 2 Kimyasal Bileşim	18
1. 4. 3 Ayrışma	19
1. 5 Örneklerin Tanımlaması	20

1.6	Fiziko–Mekanik Değerlendirme	29
-----	------------------------------------	----

Bölüm 2

DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ

2.1	Deformasyon ve Creep	35
2.1.1	Strain Gauge	37
2.2	Deformasyon Deney Sonuçları	42

Bölüm 3

ZAMANA BAĞLI DEFİORMASYON (CREEP)

3.1	Zamana Bağlı Deformasyon (Creep)	70
-----	--	----

Bölüm 4

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1	Deformasyon Deneyleri Sonrası Bulgular ve Değerlendirmesi	114
4.2	Deformasyon Deneyleri Sonrasında Gelişen Kırıklar ve Değerlendirmesi	116
	Sonuçlar	120
	Kaynaklar	124
	Ek 1. Fiziko–Mekanik Deney Sonuçları	129
	Ek 2. Deformasyon Grafiğinde (Şekil 2. 8) Kullanılan Semboller	209

TABLO LİSTESİ

		Sayfa
Tablo 1. 1	Türk Standartlarına Göre Bazı Değerler	30
Tablo 1. 2	Yapı Taşı Olarak Kullanılan CaCO ₃ ' lı Kayaç Standartları	31
Tablo 1. 3	Yapı Taşı Olarak Kullanılan Serttaş Kayaç Standartları	32
Tablo 1. 4	Örneklerin Tane Boyu ve Fiziko–Mekanik Deney Sonuçları	33
Tablo 2. 1	GM1 Deformasyon Deney Sonuçları	44
Tablo 2. 2	GM2 Deformasyon Deney Sonuçları	49
Tablo 2. 3	GM3 Deformasyon Deney Sonuçları	53
Tablo 2. 4	KÇT1 Deformasyon Deney Sonuçları	58
Tablo 2. 5	KÇT2 Deformasyon Deney Sonuçları	62
Tablo 2. 6	KÇT3 Deformasyon Deney Sonuçları	66
Tablo 3. 1	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ...	71
Tablo 3. 2	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (14000 kgf) ..	75
Tablo 3. 3	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ...	79
Tablo 3. 4	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (9000 kgf) ...	83
Tablo 3. 5	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ...	87
Tablo 3. 6	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (10000 kgf) ..	91
Tablo 3. 7	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ..	95
Tablo 3. 8	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (20000 kgf) .	98
Tablo 3. 9	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ...	101
Tablo 3. 10	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (20000 kgf) .	104
Tablo 3. 11	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf) ...	107
Tablo 3. 12	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (23000 kgf) .	110

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Kireçtaşı Oluşumu	6
Şekil 1. 2 Şekerlenme	19
Şekil 1. 3 GM1 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	21
Şekil 1. 4 GM1 Tane Boyut Dağılımı	21
Şekil 1. 5 GM2 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	22
Şekil 1. 6 GM2 Tane Boyut Dağılımı	22
Şekil 1. 7 GM3 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	24
Şekil 1. 8 GM3 Tane Boyut Dağılımı	24
Şekil 1. 9 KÇT1 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	25
Şekil 1. 10 KÇT1 Tane Boyut Dağılımı	25
Şekil 1. 11 KÇT2 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	26
Şekil 1. 12 KÇT2 Tane Boyut Dağılımı	26
Şekil 1. 13 KÇT3 İçerisindeki Fosillerin Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	27
Şekil 1. 14 KÇT3 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	28
Şekil 1. 15 KÇT3 Tane Boyut Dağılımı	28
Şekil 2. 1 Yük–Deformasyon Grafiği	35
Şekil 2. 2 Zaman–Deformasyon (Creep) Grafiği	36
Şekil 2. 3 Deformasyon Ölçer (Strain Gauge)	38
Şekil 2. 4 Statik Deformasyon Grafiği	40
Şekil 2. 5 Dinamik Deformasyon Grafiği	41
Şekil 2. 6 Statik Deformasyon Ölçme Düzeneği	41
Şekil 2. 7 Dinamik Deformasyon Ölçme Düzeneği	42
Şekil 2. 8 Deformasyon Grafiği	43

Şekil 2. 9	GM1 Deformasyon Grafiği	46
Şekil 2. 10	GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	46
Şekil 2. 11	GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	47
Şekil 2. 12	GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	47
Şekil 2. 13	GM1 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	48
Şekil 2. 14	GM1 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	48
Şekil 2. 15	GM2 Deformasyon Grafiği	50
Şekil 2. 16	GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	51
Şekil 2. 17	GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	51
Şekil 2. 18	GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	52
Şekil 2. 19	GM2 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	52
Şekil 2. 20	GM2 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	53
Şekil 2. 21	GM3 Deformasyon Grafiği	55
Şekil 2. 22	GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	55
Şekil 2. 23	GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	56
Şekil 2. 24	GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	56

Sayfa

Şekil 2. 25	GM3 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	57
Şekil 2. 26	GM3 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	57
Şekil 2. 27	KÇT1 Deformasyon Grafiği	60
Şekil 2. 28	KÇT1 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	61
Şekil 2. 29	KÇT2 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	61
Şekil 2. 30	KÇT2 Deformasyon Grafiği	64
Şekil 2. 31	KÇT2 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	65
Şekil 2. 32	KÇT2 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	65
Şekil 2. 33	KÇT3 Deformasyon Grafiği	68
Şekil 2. 34	KÇT3 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	69
Şekil 2. 35	KÇT3 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	69
Şekil 3. 1	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	73
Şekil 3. 2	GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	73
Şekil 3. 3	GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	74
Şekil 3. 4	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	74
Şekil 3. 5	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	75
Şekil 3. 6	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Grafiği	77
Şekil 3. 7	GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	77

Sayfa

Şekil 3. 8	GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	78
Şekil 3. 9	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	78
Şekil 3. 10	GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	79
Şekil 3. 11	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	81
Şekil 3. 12	GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	81
Şekil 3. 13	GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	82
Şekil 3. 14	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	82
Şekil 3. 15	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	83
Şekil 3. 16	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Grafiği	85
Şekil 3. 17	GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	85
Şekil 3. 18	GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	86
Şekil 3. 19	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	86
Şekil 3. 20	GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	87
Şekil 3. 21	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	89
Şekil 3. 22	GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	89
Şekil 3. 23	GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	90
Şekil 3. 24	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	90

Şekil 3. 25	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	91
Şekil 3. 26	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Grafiği	93
Şekil 3. 27	GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	93
Şekil 3. 28	GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)	94
Şekil 3. 29	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	94
Şekil 3. 30	GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	95
Şekil 3. 31	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	97
Şekil 3. 32	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	97
Şekil 3. 33	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	98
Şekil 3. 34	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Grafiği	100
Şekil 3. 35	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	100
Şekil 3. 36	KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	101
Şekil 3. 37	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	103
Şekil 3. 38	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	103
Şekil 3. 39	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	104
Şekil 3. 40	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Grafiği	106
Şekil 3. 41	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	106
Şekil 3. 42	KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	107

Sayfa

Şekil 3. 43	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği	109
Şekil 3. 44	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	109
Şekil 3. 45	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	110
Şekil 3. 46	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Grafiği	112
Şekil 3. 47	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	112
Şekil 3. 48	KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)	113
Şekil 4. 1	Zamana Bağlı Deformasyon Grafiğinde Dinamik ve Stabil Seviyeler	115
Şekil 4. 2	Kırık Krokisi (Zhang ve diğerleri, 2001)	116
Şekil 4. 3	Örneklerin Deformasyon Deneyleri Sonrası 400 Büyülmeli İnce Kesit Fotoğraflarına Uygun Kırık Krokileri	118

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1 Amaç

Kayaçların içinde buldukları gerilme durumları farklı yük koşullarına bağlı olarak değişir. Yük ve gerilim altında bulunan kayaçlar deformasyona uğrar. Geleneksel dayanım deneylerinde örnek kırılıncaya kadar düşey yük aşamalı olarak arttırılır. Bununla birlikte, sabit yük altında olan kayaçlar da deforme olur. Kayaçlarda, sabit yük altında ve zaman içerisinde gelişen deformasyona "akma" (creep) denir. Creep deneylerinde oluşan deformasyon "strain gauge" adı verilen ve temeli hassas direnç teli veya foto-etched metalik direnç kağıdı olan deformasyon ölçer ile ölçülür.

Creep deneylerinde sabit yük değeri önemlidir. Yük arttıkça deformasyon miktarı artar, kırılma süresi azalır. Yük ve zaman arasında ters bir orantı vardır. Bu nedenle creep deney süresi uygulanan yük değerine bağlı olarak birkaç dakika ile birkaç yıl arasında değişir, daha da uzun sürebilir.

Çalışmanın amacı, metamorfik mermer ve mikritik kireçtaşlarının farklı yüklerde basınç altındaki davranışlarının "strain gauge" kullanılarak araştırılmasıdır. Deneylerde, B 66 ve $h=2R$ ölçülerinde karotlar, tabakalanmaya dik yönde alınmış silindirik örnekler kullanılmıştır. Araştırma konusu yükler örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri, mermer kesme ve işleme makinalarının mermer blok ve ürünlerine uyguladığı maksimum yük değeri olan 5000 kgf ve örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük değerleridir.

Örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerine karşılık gelen yükler altındaki deformasyon değişimleri düşey ve yatay strain gauge ile izlenmiştir. Çalışmanın esas amacını oluşturan zamana bağlı deformasyon, creep deneylerinde, incelenen örnekler (GM1, GM2, GM3, KÇT1, KÇT2, KÇT3) 5000 kgf yük ve örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yükler altında ve eşit sürelerde oluşan deformasyon, örneklerin ağırlık merkezlerine düşey yönde yerleştirilmiş strain gauge ile izlenmiştir. Örneklerde oluşan ve strain gauge ile izlenen deformasyon hareketleri kaydediciye aktarılmış ve burada sayısallaştırılmıştır. Her örnek için kaydediciden alınan verilere bağlı olarak deformasyon grafiği çizilmiştir.

Deneyle sonrası örneklerden yatay ve dikey yönde ince kesitler alınmıştır. İnce kesitler deformasyon sonrası genel durumu (400 büyültmeli) görmek ve ayrıca kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) kristal boyutta deformasyon hareketlerini (1250 büyültmeli) görmek amacıyla farklı iki ölçekte mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Genel bilgi edinmek, özellikle tek eksenli basınç dayanım değerlerini belirlemek amacıyla örneklerin fiziko-mekanik deneyleri yapılmış, deney sonuçları ve üç eksenli deneyler sonrası ince kesit fotoğrafları Ek 1' de verilmiştir.

1. 2 Çalışmanın Literatürdeki Yeri

Proje ile ilgili literatür araştırması internet üzerinden yapılmıştır. Deformasyona yönelik araştırmaların başlangıcı 1900' lü yılların başlarına dayanır. Bu tarihten önce de farklı amaçlar doğrultusunda deformasyon testlerinin yapıldığı bilinmektedir. Kristalize mermerler konusunda bilinen ilk deformasyon çalışmaları Sicilya ve Wombeyan mermerleri üzerine yapılmıştır. Kireçtaşı üzerine deformasyon çalışmaları mermerlerden önce yapılmıştır.

İlk deformasyon deneylerinde farklı ölçülerde kayaç örnekleri, farklı yükler altında test edilmiştir. Farklı yükleme koşullarında ve farklı ölçülere sahip örnekler üzerindeki araştırmalar 1960' lardan sonra yoğunluk kazanmıştır. 1980' lardan sonra

deformasyon sonrası çatlak–kırık geometrisi ve son on yıl içerisinde de deformasyon değişiminin matematiksel uygulamaları öne çıkmıştır.

Yük altında kayaç deformasyonunun belirlenmesi genel olarak "creep (time dependent rock behavior in compression, akma)" deneyleri ile yapılır. Amerika Birleşik Devletleri' nde on yıldan daha uzun zamandan beri devam eden creep deneyleri bilinmektedir. Bu nedenle, creepte çok daha kısa sürede sonuç almak ve uygun izleme koşullarını sağlayabilmek için kaya tuzu, kil gibi daha yumuşak malzemeler tercih edilir. Günümüzde deformasyon ölçümleri strain gauge ile yapılmaktadır.

Deformasyon araştırmalarında Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve İsviçre gibi batı ülke üniversite ve enstitülerinin yanı sıra, son yıllarda Japonya ve özellikle Çin önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte deformasyon konusunda batı ülkelerinde yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde Çin' li araştırmacıların olduğu görülür.

Son yıllarda, deformasyon konusu içerisinde yoğunlaşan diğer bir araştırma konusu, özellikle creep sonrası kayaçların mikro yapılarındaki değişimler ve kırılma (fractal) özellikleridir. Ayrıca, özellikle Çin' li ve Japon araştırmacılar kayaçların yanı sıra betonda, beton teknolojileri üzerine deformasyon çalışmalarını yapmaktadır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve içeriğinin şekillenmesinde Chang ve diğerleri (1996), Li ve Xia (2000), Zhang ve diğerleri (2001), Bell ve Lindsay (1999) ile Yahya ve diğerleri (2000) çalışmalarından etkin olarak yararlanılmıştır.

Chang ve diğerleri (1996), cila aşamasında, ısı ve yükleme altında mermerin mikro yapısındaki değişimlerin araştırılmasını amaç edinmiştir. Bu amaçla, aynı grup mermer ve silindir örnekler üzerinde, ısı kontrollü ve üç eksenli özel hazırlanmış test düzeneğinde deneyler yapılmıştır. Deney sonrası örneklere ait ince kesitler mikroskop altında incelenmiştir. Çalışma sonucu, sonlu elemanlar yöntemi de

kullanılarak deformasyon sonrası oluşan mikro kırıkların, deney öncesi var olan makro kırıklara paralel ve üç boyutlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

Li ve Xia (2000), strain gauge kullanarak deformasyona etki eden içsel parametreler üzerinde çalışmıştır. Şeyl örnekler, elektronik, servo kontrollü hidrolik tek eksenli basınç altında test edilmiştir. Araştırmada creep ve basınç sonrası geri dönüşüm (relaxation) kanunları kullanılmıştır. Çalışma sonrası, çalışılan örnek gruplarının elastik, plastik, visko-elastik ve visko-plastik basınç davranışları değerlendirilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2001), kayacın dinamik çatlakları üzerine yükleme oranlarının etkilerini araştırmıştır. Gabro örneklerinin mikro yapılarında kırık gelişimleri ve modellemeleri üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonrası çatlak, çatlak yüzey pürüzlülüğü ile dayanım arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Bell ve Lindsay (1999) kumtaşlarını çalışmıştır. Kumtaşlarında tane yapısı ve çimentolanma derecesi başta olmak üzere diğer jeolojik parametrelerin fiziko-mekanik değerler üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yoğunluk, porozite ve geçirgenliğin dayanım, sertlik ve deformasyon üzerine etkileri ortaya konmuştur.

Yahya ve diğerleri (2000), kaya tuzlarında sünüm (ductile) ve elastik olmayan (inelastic) davranış koşullarını kinematik kanunları kullanarak araştırmıştır. Çalışmada, sırası ile yük-deformasyon, zaman-deformasyon (creep) ve creep sonrası zaman-yük değişimleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, sabit yük altında uzun süre bulunan kayaçlarda gerilim değişimi verilmiştir.

1. 3 Mermer

İsmi Balıkesir' e bağlı Marmara Adası' ndan alan mermer, bilimsel olarak kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ve basınç altında yeniden

kristalleşmesi ile oluşan başkalaşım kayalarındır. Kireçtaşlarının ilksel bileşimleri ve geçirmiş oldukları metamorfizma mermerin özelliklerini belirler. Kalsit kristallerinden oluşan mermerin kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat daha az oranda magnezyum karbonat bulunur. Mermer içerisinde silisyumdioksit gibi diğer bileşikler de çeşitli oranlarda bulunabilir. Ayrıca mermer pigment (renk verici) olarak farklı metal oksitleri içerebilir. Mermerin sahip olduğu renk ve görünümde içerdiği mineral ve bileşiklerin etkisi büyüktür.

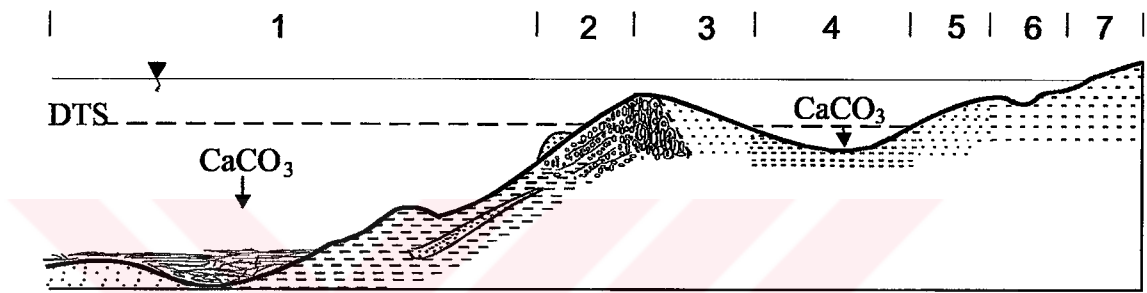
TS 10449' a göre mermer, esas bileşeni kalsiyum karbonat olan kayaların ısı ve basınç altında metamorfizma veya yeniden kristalleşmesi (rekristalizasyonu) sonucu oluşan, bileşiminde en az % 95 CaCO_3 bulunan, genellikle yoğunluğu 2550–2800 kg/m^3 arasında değişebilen, içerisinde bulunan tali minerallerden dolayı çeşitli renklerde olabilen ve kesilip parlatılabilen bir taştır. TS 5694' te yapılan yapı taşları sınıflamasına göre mermer, tane büyüklüğü 0.25 mm' den büyük olan granoblastik doku gösteren ve basınç ikizlenmeleri ihtiva eden kalsit veya dolomit mineral ağırlıklı taştır. Magnezyum oranına göre mermerlere dolomitik mermer de denir.

Mermere esas olan kireçtaşlarının çökelişi (sedimentasyonu) ve oluşumu Prekambriyen (700–800 milyon yıl)' de başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. Mermer olarak tanımlanan bölgesel metamorfizma geçirmiş kireçtaşlarının temeli karbonat birikimleridir. Dış etkenlere ve buharlaşmaya bağlı olarak göl ve deniz suyunun derişiminde meydana gelen değişiklikler sonucu, su içerisinde bulunan Ca^{++} ve CO_3^- iyonları CaCO_3 kolloidlerini oluşturarak çökeler. CaCO_3 kolloidlerinin oluşumunda ve çökmesinde su içerisinde bulunan organizmaların yaşam faaliyetleri önemlidir. Karbonat birikimleri, mercanlar gibi iskeletleri kalsiyum karbonat olan denizel canlıların koloniler şeklinde yığılmasıyla da gelişebilir.

Deniz suyu içerisinde bulunan Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Na^+ , CO_3^- , SO_4^- iyonları, birbirlerine göre elektronegatifleri daha güçlü olan, Ca^{++} ve CO_3^- (iyonlar) gibi kolloidleri oluşturarak çökeler. Söz konusu olaylar metamorfizma öncesi, deniz suyunda birkaç yüz metre derinlikte gerçekleşmiştir. Ancak bu derinlik okyanus tabanlarında basınç ve ortam ısısına bağlı olarak 4500–5000 metreye kadar inebilir.

Resif olarak adlandırılan bu çökelmeler organik, kimyasal ve kırıntılı tortullaşma koşullarının birlikte etkin olduğu binlerce kilometre karelik alanlarda gelişmiştir. Ortalama on bin yıllık bir çökeltme sonucunda sakin bölgelerde 1 mm, aktif (yüksek derişime sahip) denizel ortamlarda 1 cm kalınlığında CaCO_3 tabakası oluşabilir.

Şekil 1. 1' de resifal bir ortama ait enine kesit görülmektedir. Karbonat çökeltme alanlarının farklı bölümlerinde ve farklı oluşum koşullarında, farklı özelliklere sahip karbonat yığışmaları gelişir.



Şekil 1. 1 Kireçtaşı Oluşumu

Şekil 1. 1' e ait kireçtaşı oluşum alanları ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

1. Derin denizel ortam ve çökeltimi; (200 m' den daha derin) karbonat, karbonat çamurları ve birikim alanları,
2. Yüksek enerjili çamur tümsekleri, organik kökenli CaCO_3 yığışımı; resif çekirdeği,
3. Yüksek enerjili karbonat kum sahilleri ve sığ organik kökenli malzemeler, kavkılı kireçtaşları,
4. Durgun su karbonat çamurları, oolitik-pizolitik oluşumlar, lagün alanları,
5. Sığ karbonat kumları,
6. Karbonat çamurları,
7. Kumsallar ve bataklıklar.

DTS: Dalga tabanı sınırı, < 200 m

Mermerin milyonlarca yıllık oluşum sürecinde çökelme ve tortullaşma ile beraber gömülme ve bunun sonucu oluşan basınç ve ısı faktörleri yavaş yavaş ortaya çıkar. CaCO_3 ' lı malzeme, basınç altında zamanla bünyesindeki suyu atarak taşlaşır (diyajenez). Tektonik hareketlere bağlı olarak kireçtaşları ve diğer tortulların bir kısmı yüzeye doğru hareket ederken bir kısmı da litosferin altına doğru dalar. Batan tortullar ortam içerisinde erir.

Sedimentasyon süresince karbonat çökellerinin üzerine farklı litolojik özelliklerde birimler gelebilir. Deniz tabanındaki tüm çökelme ve birikimler ile tektonik hareketlere bağlı olarak ortaya çıkan ısı ve basınç metamorfizmayı başlatır. Metamorfizma ile birlikte mermerleşme de başlar. Metamorfizma için başlangıç ısı 300 °C' dir. Mermerleşme için gerekli sıcaklık 800 °C' ye, basınç 5–5.5 kbar' a kadar çıkar. Metamorfizma için gerekli ortalama derinlik birkaç kilometreden başlar ve 20 km' ye kadar iner.

Metamorfizma sonrası CaCO_3 ' lı birimler sahip oldukları birtakım ilksel özelliklerini kaybeder. Kayaçlar farklı fiziksel ve kimyasal etkiler altında yeni dokusal ve mineralojik özelliklerini kazanarak yeniden kristalleşir. Kristalleşme sonrası yeni mineral ve mineral grupları ile beraber mermerleşme süreci tamamlanır.

Yukarıda oluşumu verilen mermerler dışında, yapılarda ve dekorasyonda kullanılan diğer bazı kayaçlar da mermer olarak değerlendirilir. Mermer olarak tanımlanan kayaçlar altı grupta incelenir.

- gerçek mermerler
- kireçtaşları
- travertenler
- oniksler
- serttaşlar
- diğer mermerler

$$1 \text{ bar} = 0.980657 \text{ kgf/cm}^2$$

Gerçek mermerler, kristalize mermerler metamorfik kökenlidir. Kireçtaşı, traverten ve oniks mermerleri ise sedimanter kökenlidir. Serttaş olarak adlandırılan mağmatik kökenli (granit, siyenit, gabro gibi) mermerlerin ülkemizde üretimleri ve kullanımları oldukça yenidir. Kumtaşı, tüfit gibi doğal yapı taşları, özellikle son yıllarda yeni kullanım alanlarının ve işleme teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte diğer mermerler içerisinde değerlendirilir.

Travertenler, Eski Mısırlılar' dan beri yaklaşık ikibin yıldır kullanılmaktadır. Çözülmüş halde CaCO_3 içeren sular, yerkabuğunun boşluklarında ve/veya yeryüzünde basınç düşüşü ile karşılaştıklarında bünyelerindeki CaCO_3 çökelerek kristalleşir. Bunun sonucunda genel olarak traverten adı verilen karbonatlı kayalar oluşur. Bu şekilde oluşmuş travertenlere "kalker tüfü" de denir (Ketin, 1977).

Bugünkü koşullarda, yukarıda tanımlanan travertenler mermer olarak kullanılamamaktadır. Madencilik ve endüstriyel anlamda, traverten olarak bilinen ve değerlendirilen mermerler, bilimsel olarak gölsel kireçtaşlarıdır. Denizli, Uşak, Kütahya, Karaman ve Sivas yörelerinde olduğu gibi, ülkemizde ve dünyada traverten olarak işletilen mermerler, gerçekte gölsel kireçtaşları, genç tortul karbonatlı kayalardır.

TS 11143' e göre yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan traverten, rutubetli iklim şartlarında tatlı soğuk ve sıcak su kaynakları civarında, göllerde, kalsit ve bazen aragonit kristallerinin ardalanmalı bantlar ve kısmen porozite oluşturacak şekilde birbirlerine kenetlenmesi sonucu meydana gelen taştır.

Traverten (kalker tüfü) oluşma koşullarında, oluşumun yavaş olarak gerçekleşmesi halinde ince kristalli, masif ve bantlı kayalar şekillenir. Oluşum 29°C ' nin üzerinde gerçekleşmiş ise aragonit, 29°C ' nin altında gerçekleşmiş ise kalsit kristalleri mineral bileşiminde yer alır. Bu grup kayalara oniks (onikit, albatr, alabaster ya da su mermeri) adı verilir.

TS 11443' e göre oniks mermer, bikarbonatlı kaynak sularından ritmik sedimantasyon sonucu konsantrik bantlar halinde kalsit veya aragonit minerallerinden meydana gelmiş, kriptokristalen dokulu, kompakt ve çökmesi esnasında içindeki metal oksitlerin konsantrasyonuna bağlı olarak çeşitli renklerde olan sedimanter bir kayadır.

Hakiki oniks bileşimi SiO_2 ' dir ve bileşiminde SiO_2 bulunan sıcak sulardan oluşur. SiO_2 ' li eriyiklere sahip hidrotermal sularda gelişen kalsedon kristallerinin çökerek boşluksuz, ince bantlı kayaları oluşturması sonucu gerçek oniksler gelişir.

Güzel görünümlü, cila kabul eden ve yeterli ölçülerde blok veren mağmatik kökenli kayalar mermercilikte serttaş olarak değerlendirilir. Serttaşlar iyi cila almaları ve atmosfer koşullarına daha dayanıklı olmaları nedeniyle Eski Mısırlılar' dan beri yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu grup kayaların, kalsitten daha sert kuvars, feldspat, piroksen ve amfibol gibi silikat mineralleri içermesi nedeniyle üretim ve işleme aşamalarında, bilinen CaCO_3 kökenli mermerlerden farklı sistem ve teknolojilere gereksinim duyulur.

Tüfit, şist, kumtaşı, arduvaz, arkoz, grovak, konglomera, breş, trakit, gnays, migmatit ve bunların dışında kalan her türlü doğal yapı taşı, blok verimine ve kesilip parlatılabilme özelliklerine bakılmaksızın diğer mermerler grubunda değerlendirilir. Migmatitler, gnayslar gibi bilinen anlamda uygun blok veren ve kesilip cilalanabilen mermerlerin yanı sıra şistler gibi teknolojinin gelişimiyle beraber işlenmeye başlanan mermerler ya da tüfitler gibi dekorasyon ve binalarda taşıyıcı amaçlı kullanılan bazı kayalar ile parke taşları diğer mermerlerdir.

Kesilip parlatılabilen ve ekonomik değeri olan her türlü doğal yapı taşı, ticari anlamda mermer kabul edilir. Son yıllarda, cila kabiliyetine bakılmaksızın dekoratif amaçlı kullanım alanı bulan her türlü kayaç (kayrak taşı, tüfitler, şistler vb) mermer veya genellikle doğal yapı taşı kabul edilir.

Ticari hayatta mermer olarak kullanılan kayalar, kayacın mineralojik yapısı ve dokusuna bakılmaksızın bilimsel tanımlar dışında sınıflandırılır. Mermerler, kullanım amacı ve kullanım yeri, renk ve desen durumu, albeni, sertlik, doku, cila alma yeteneği ve kimyasal bileşimleri gibi özellikler dikkate alınarak sınıflandırılır. Söz konusu sınıflamalar yaygın olarak, uluslararası saptanmış bir kural ve/veya herhangi bir anlaşma olmaksızın mermer satıcıları ve işleyicileri arasında kullanılır.

Uygulamada kaplama, döşeme ve dekoratif taş olarak kullanılan mermerlerin sınıflaması mineralojik yapı ve oluşumlarına bakılmaksızın bilimsel tanımlar dışında, genellikle görünümüne ve desenine göre yapılır. Örneğin, granit denilince siyenit, serpantin, diyabaz ve arkoz gibi "mağmatik ve/veya sert kayalar" düşünülür.

Yöre ve özelliklerine göre yapılan isimlendirmeler de sınıflama amacıyla sıklıkla kullanılır. Mermere verilen isim yöre ve fiziksel bazı özelliklerini de temsil eder. Afyon Şeker, Afyon Kaymak, Afyon Kaplan Postu, Marmara, Kumru Tüyü, Süpren, Salome, Leylak, Sedef, Carrara Beyazı, Brezilya Mavisı gibi adlandırmalar bu gruba örnek verilebilir.

Türk Standartları Enstitüsü, TS 5695 numaralı standardıyla yapı ve kaplama sanayinde kullanılan taşları oluşum koşullarını esas alarak sınıflandırmıştır. Buna göre yapı ve kaplama taşları;

- mağmatik taşlar (derinlik taşları, damar taşları, yüzey taşları)
- metamorfik taşlar (fillit, şist, gnayslar, amfibolitler, mermer, kuvarsit, fels, hornfels)
- sedimanter taşlar (epiklastik sedimanter taşlar, proklastik sedimanter taşlar, kimyevi-organik sedimanter taşlar)

Madencilik ve endüstriyel anlamda mermer, uygun boyutlarda blok veren, kesilip cilalanabilen ve ekonomik değeri olan her türlü kayadır.

1. 3. 1 Gerçek Mermerler

Gerçek mermerler (kristalize mermerler), metamorfizma sonucu kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının yeniden kristalleşmesiyle oluşmuş kayalardır. Bu grup mermerler büyük oranda kalsiyum karbonat (kalsit), daha düşük oranlarda kalsiyum–magnezyum karbonat (dolomit) ve diğer mineralleri içerir.

Gerçek mermerler, genellikle beyaz renklidir ve yarı saydam bir dokuya sahiptir. Gerçek mermerlerde olası yabancı elemanların etkisiyle farklı renklenmeler de görülür. Metamorfizma geçirmiş CaCO_3 ' lı mermerler üç alt gruba ayrılır (Bozkurt, 1988),

- bölgesel metamorfizma mermerleri,
- kontakt metamorfizma mermerleri,
- dinamik metamorfizma mermerleri.

Bölgesel metamorfizma mermerleri, ülkemizde ve dünyada bilinen anlamdaki gerçek mermerlerdir. Bölgesel metamorfizma mermerlerinin oluşumunda sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşim gibi temel faktörler birlikte etkili olmuştur. Bu grup mermerler geniş yayımlı, tekdüze özellik gösterir. Mermerin rengi ve kalitesi ilksel çökelme ortam koşullarına bağlıdır.

Afyon (İscehisar), Muğla (Kavaklıdere, Yatağan, Milas), Aydın (Karacasu) ve Güney (Denizli) yöresi gerçek mermerleri bölgesel metamorfizma geçirmiş Menderes Masifi içerisinde yer alır.

Gerçek mermerlerde, yukarıdaki sınıflandırmanın yanı sıra, özellikle sektör içerisinde kristal büyüklüğüne bağlı olarak göreceli sınıflamalar yapılır. Bu sınıflandırmaların ölçü birimleri dışında bilimsel herhangi bir dayanağı olmamakla beraber sınırları ve değerlendirme kriterleri de bölgelere göre farklılık gösterir.

- sıfır kristal ($-500 \mu\text{m}$)
- ince kristal ($500 \mu\text{m}-1 \text{ mm}$)
- orta kristal ($1-3 \text{ mm}$)
- iri kristal ($\geq 3 \text{ mm}$)

Kontakt metamorfizma mermerleri yüksek sıcaklık ve düşük basınç altında mağmatik plutonların çevresinde oluşmuştur. Genellikle minerallerde yönlenme bulunmaz. Metamorfizma sonucu kontakt metamorfizma mermerleri içerisinde yeni silikatlı mineraller gelişmiştir.

Kontakt metamorfizma mermerlerinin dokusal özellikleri kısa aralıklarla değişir. Bu nedenle kontakt metamorfizma mermerlerinde renk, desen ve yapıda bütünlük görülmez. Ayrıca silikatlı minerallerin varlığı mermerin sertliğini, işlenebilirliğini ve pazarlanabilirliğini olumsuz etkiler

Dinamik metamorfizma mermerlerinde, yönlü kuvvetlerin etkisi ile kayaçlarda kırılma, ufalanma ve yeniden kristalleşme görülür. Bu tür mermerlerin oluşumunda ısı fazla etkili değildir. Buna karşılık basınç daha etkili olduğu için kayaçlarda parçalanmalar yoğun şekilde görülür. Kırılma olduğu için breşik yapı söz konusudur ve sonrasında breşik mermerler oluşmuştur. Breşik mermerlerin tektonik zonlarda bulunmasının temel nedeni de dinamik metamorfizma hareketleridir.

1. 3. 2 Kireçtaşları

Kireçtaşları, ince taneli kalsit kristalleri ile karbonat ve kil çamurlarından oluşmuştur. Mikritik mermerler olarak da adlandırılan bu mermerlerin kökenleri gerçek mermerler gibi denizel ortamlardır. Ancak her iki grup mermer arasında oluşum süreci ve şekli, tane boyu ve doku gibi temel bazı farklılıklar bulunur.

Kireçtaşı mermerleri, karbonat çamurlarının kısmen kristalleşmesi ve taşlaşması sonucu oluşmuştur. Çökellerin içerisinde biyojenik kökenli malzemeler de bulunur ve bunların oranı % 80' lere kadar çıkabilir. Kireçtaşı, çoğunlukla birkaç mikron uzunluğundaki aragonitlerden oluşur. Yapıya katılan, özellikle metal içerikli malzemeler ve killer mikritik mermerlerin renklenmesinde önemlidir.

Algler gibi organizmaların karbonat tanelerini sardığı yerlerde iskelet parçalarının dalga ve akıntılar ile mekanik parçalanmaları, alg fotosentez ve bozulması ile biyokimyasal çökelmeler mikritiklerin oluşumunda önemlidir. Deniz bitkileri ve algler, iskelet kökenli çamurları tutarak depolanmayı ve oluşumu sağlar. Söz konusu canlılar mermer içerisinde fosil olarak görülür.

Mermer olarak kullanılabilen biyosparitlerde ve diğer kaba dokulu kireçtaşlarında mikritik matriksin yerini çimento malzemesi alabilir. Yapıdaki bu değişim, mermerin uğradığı tektonizmadan etkilenme derecesi ve sınırının, jeolojik ve fiziko-mekanik özelliklerinin ve bunlara bağlı olarak kullanım yerlerinin belirlenmesinde önemlidir.

Kireçtaşı mermerlerinin tane boyutu genellikle 4 µm' dan daha küçük mikritlerdir (mikrokristalin kalsit). Bununla birlikte kireçtaşları 4 µm' dan daha büyük kristallere sahip olabilir. Kristal boyut dağılımları homojen değildir. Gelişen kristalleşme sonucu tane boyutları 4–30 µm arasında değişen mikrospar mozaikleri kayaç yapısında bulunabilir. Mikritik mermerler, gerçek mermerler ile traverten ve onikslerden farklı olarak eğri ve/veya şekilsiz kristal sınırlarına sahiptir.

TS 11137' e göre yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kireçtaşı (kalker), esas olarak kalsit mineralinden oluşan en az % 90 CaCO₃ ihtiva eden sedimanter kayadır. TS 5694' te yapılan yapı taşları sınıflamasına göre kireçtaşı, sedimantasyon ortamı olan göl ve denizlerde kimyevi içerikliğine göre anorganik olarak oluşan kalsit, aragonit ve dolomit tanelerinin veya organik kökenli olarak kalsit ve aragonitten oluşan kavkılardan diyajenez geçirmesi sonucu meydana getirdiği taşlardır.

1. 4 Mermerlerin Dayanımlarını ve Basınç Altındaki Davranışlarını Etkileyen Parametreler

Mermerlerin üretim, işleme, kullanım ve kullanım sonrası dayanımlarını etki eden temel etmenler,

- mermer litolojisi,
- kimyasal bileşim,
- ayrışma,

olarak sıralanabilir. Litoloji, kimyasal bileşim ve ayrışma, ocak öncesi çalışmalardan mermerin kullanım yerine kadar olan süreçte ve sonrasında bir çok konuda belirleyicidir.

1. 4. 1 Mermer Litolojisi

Litoloji, mermerin yapı, doku ve arazide gözlenebilen her türlü özelliğini tanımlar. Mermerin kristal yapısı ve homojenitesi başta olmak üzere yatağın arazi içerisindeki durumu, gözlemlenebilen yabancı elemanlar ve benzeri özellikler ile bunların dağılım şekli litoloji içerisinde değerlendirilir.

Gerçek anlamda homojen bir yapının söz konusu olmadığı mermerlerde ve mermer olarak değerlendirilen diğer yapı taşlarında, mermerin sahip olduğu fiziksel ve jeolojik özellikler ocak, fabrika, atölye, pazarlama ve kullanım aşamalarında daha etkindir. Mermer litolojisi, blok üretim yöntemi, blok boyutları, işleme tekniği, nihai üretim şekli ve mermerin kullanım yerinin belirlenmesi ile mermerin ekonomik değerlendirilebilirliğinde, diğer madencilik faaliyetlerine göre çok daha önemlidir.

1. 4. 1. 1 Dokusal Özellikler

Doku, mermerin küçük ölçekteki (el numunesi veya mikroskop altında) özelliklerini tanımlar. Mermerin karakterini belirleyen tüm içsel parametreler mermerin dokusu olarak değerlendirilir. Dokuya yönelik yapılacak çalışmalarda, mikro yapıyı etkileyen metamorfizma, tektonik hareketler, kırık sistemleri ve karakterleri araştırılır.

Dokuya yönelik çalışmaların sonucunda, mermerin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve fiziko-mekanik özellikleri hakkında bilgilere ulaşılır. Bu özellikler her mermer için farklılık gösterdiği gibi, aynı mermer yatağının farklı bölümlerinde de farklılık gösterebilir.

1. 4. 1. 2 Kristal Boyu

Gerçek mermerler metamorfizma sonrası yeniden kristalleşmiştir. Uygulamada işletme, işleme ve pazara olan etkisi esas alınarak kristal boyuna göre sınıflamalar yapılır. 1. 3. 1' de yapılan sınıflama, uygulamada, yöreden yöreye hatta işletmeden işletmeye değişebilmektedir.

Gözle seçilemeyecek kadar ince kristallere sahip mermerler, "sıfır kristalli" mermer olarak tanımlanır. $-500 \mu\text{m}$ boyutlu kristallere sahip sıfır kristalli mermerlere en iyi örnek, İncehisar (Afyon) mermerleridir.

Kristal boyları $500 \mu\text{m}$ –1 mm arasında değişen mermerler, "ince kristalli" mermerler olarak adlandırılır. Farklı kristaller içermeyen, tamamı CaCO_3 kristallerinden oluşmuş ince kristalli mermerlerde iç yansıma görülür.

1–3 mm kristal boyutlarına sahip mermerler, "orta kristalli" mermerler olarak adlandırılır. Bu grup mermerlerde kesme işlemi sırasında kenar çatlamları görülebilir. Orta kristalli mermerlerde, cila sonrası kristal sınırları göz ile kolaylıkla seçilir ve kristal yüzeyleri daha koyu bir görüntü verir.

Kristal boyu, çoğunlukla 3–5 mm arasında olan mermerler, "iri kristalli" mermerler olarak adlandırılır. İri kristalli mermerler içerisinde daha büyük kristallere de rastlanabilir. Bu grup mermerler, diğer mermerlere oranla oldukça gevrek bir yapıya sahiptir. İri kristalli mermerlerde en önemli sorun, işleme aşamasındaki olası kenar çatlamlarıdır. İri kristalli mermerler ısı farklılıklarına ve hava kirliliğine karşı daha duyarlıdır. Buna karşılık, iri kristalli beyaz mermerlerin ışıltı ve renk tonu farklılıkları, özellikle uluslararası pazarlarda talep artırıcı bir etkidir. Bazen, iri kristalli mermerlerde iki veya daha fazla kristal birleşerek tek bir kristal (polikristalin) ya da kristaller normalin üzerinde büyüyerek (monokristal) diğer kristal gruplarıyla beraber yeni bir yapı oluşturabilir.

Jeolojik anlamda kireçtaşı olan ve mermercilikte daha çok "bej veya bej mermer" olarak adlandırılan mikritik mermerler, tüm kütlenin kristalleştiği metamorfik mermerlerin (gerçek mermerler) özelliklerinden farklı tane özelliklerine sahiptir. Bu grup mermerlerde iç yansıma görülmez ve parlaklık yüzeyseldir. Bu nedenle, özellikle koyu veya renkli mikritik mermerler, atmosfere açık alanlarda kullanılması halinde zaman içerisinde parlaklıklarını kaybeder.

1. 4. 1. 3 Renklenme

Mermer içerisinde yer alan mineraller belirli bir kristal sisteme sahiptir. Kristaller farklı yönelmeler sunar. Her mineral farklı girişim rengine sahip olduğu gibi, aynı mineral sahip olduğu kristal yapısı ve yönelmesine bağlı olarak farklı renkler de verebilir. Mermerin renk özelliklerinde, içerdiği minerallerin sahip olduğu kristal ve renk özellikleri önemlidir. Ayrıca, farklı metal ve karbon bileşiklerinden oluşan pigmentler, kimyasal bileşimlerine ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak kendi renklerini mermere taşır.

Gerçek mermerlerde, kalsit kristallerinin dizilişlerine bağlı olarak görülen yarı saydamlıkla beraber beyaz renk hakimiyeti söz konusudur. Ancak bu durumu diğer mermerler için genellemek mümkün değildir. Oluşum koşulları ve geçirdikleri

evrelere bağılı olarak mermerler farklı renklemeler gösterir. Mermerlerin sahip olduğu renklerin kaynakları ise kristal renklerine bağılı renklemeler, metamorfizma sırasında ana kütleye katılan farklı malzemelerin neden olduğu renklemeler, farklı çökellerin ana malzemede neden olduğu renklemeler, organizmaların neden olduğu renklemeler ve hidrotermal suların etkisi ile gelişen renklemelerdir.

1. 4. 1. 4 Homojenlik

Mermerde aranan en önemli özelliklerin başında homojenlik gelir. Homojenlik, daha çok dekorasyon amaçlı bazı istisnalar dışında her zaman mermerin değerini arttıran bir faktördür.

Renk başta olmak üzere metamorfik kireçtaşları, mikritik mermerler, serttaşlar ve diğer mermerlerde dokuyu oluşturan tüm parametrelerin ana kütle içerisindeki dağılımlarının homojen olması, sadece kullanım yönünden önemli olmayıp işletme ve işleme verimi ile mermerin genel ekonomik değerlendirilebilirliği açısından da son derece önemlidir. Doğal bir malzeme olan mermerde, seramik gibi endüstriyel ürünlerde olduğu gibi sürekli bir bütünlük bulmak da mümkün değildir. Önemli olan, benzer yapının bütün kütle içerisinde homojen dağılmış olmasıdır.

1. 4. 1. 5 Yabancı Eleman Varlığı

Mermer içerisinde, ana malzemenin, CaCO_3 ' ın dışında bulunan ve özellikle işletme ve işleme aşamalarında sorun oluşturan, genel görünümü bozan her türlü malzeme yabancı eleman olarak değerlendirilir. Yabancı elemanların başında, mermerden daha sert olan kuvars, çört ve metalik mineraller gelir. Bunların dışında, özellikle mikritik mermerler ve travertenler için killer önemli bir sorundur.

Pirit (FeS_2), hematit (Fe_2O_3) ve manyetit (Fe_3O_4) mermer içerisinde sıkça karşılaşılan minerallerdir. Bu minerallerin bileşiminde yer alan demirin bozuşması

sonucunda mermer yüzeyinde istenmeyen sarı renklemeler ortaya çıkar, paslanmalar görülür. CaCO_3 ' lı kayaçlar içerisinde, alüminyumoksit ve demiroksit gibi metal bileşimlerinden oluşan jel malzemenin uygun boşluklarda çökmesi sonucu boksitler oluşmuştur. Boksitlerin metamorfizmaya uğraması halinde, mermerlerle birlikte sıkça karşılaşılan zımpara taşı yatakları gelişmiştir.

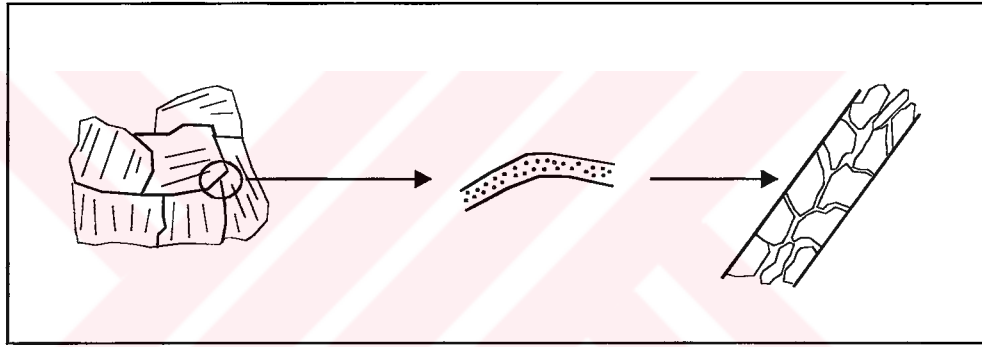
Sert kayaçlar üzerinde veya çevresinde bulunan mermerler, çoğunlukla söz konusu sert kayaçları oluşturan minerallerden etkilenmiştir. Büyük bir granit batolitinin üzerinde bulunan Mustafakemalpaşa mermerleri içerisinde, hidrotermal suların etkisiyle granitten çözünen epidot, feldspat, kuvars minerallerinden oluşan damarlar çatlaklarda gelişmiştir. Bunların dışında Eskişehir, Kütahya, Denizli, ve Muğla mermerlerinde olduğu gibi zaman zaman 1–2 cm' den 1 m' ye kadar noktasal kuvars oluşumlarıyla karşılaşılır. Ayrıca, mermercilikte, özellikle gerçek mermerlerde talk, klorit gibi minerallerin, mermerin oluşumu sırasında (senjenetik) veya daha sonraki (postjenetik) aşamalarda süreksizlikler boyunca yerleşmesi ile oluşan, bağlayıcılığı son derece düşük olan ve yağlı kesik adı verilen dolgu malzemeleri de önemlidir.

1. 4. 2 Kimyasal Bileşim

Mermerin kimyasal bileşimi, mermerin dayanımı ve yüke, kesmeye, işlemeye ve kullanıma karşı davranışı açısından son derece önemlidir. Karbonat kökenli mermerlerde CaO , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 gibi major oksitler ve miktarları ile kireçtaşlarında organik malzeme içeriği önemlidir. Mermer içerisinde bulunan CaO , MgO ve diğer bileşen miktarları TS 4033' e göre belirlenir. Mağmatik kayaçların bileşim tayinleri 10282' ye göre yapılır. Gerçek mermerlerde % 95 CaCO_3 , kireçtaşlarında % 90 CaCO_3 , dolomitik mermerlerde % 90 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ istenir. Mermer olarak kullanılan diğer yapı taşlarının kimyasal özellikleri doğal yapı taşları sınıflamasının bulunduğu TS 5694' e göre değerlendirilir. Gerçek mermerlerle ilgili standartlar ve deney metotları TS 10449' da toplanmıştır. Türk Standartları Enstitüsü, gerçek mermerler gibi bazı diğer mermerler için de isme (traverten, oniks, granit gibi) özel standartlar hazırlamıştır.

1. 4. 3 Ayrışma

Mermer yüzeyinde etkin olan ayrışma süreksizlikler boyunca görülür. Şekil 1. 2' de görüldüğü gibi, suyun kristal sınırlarına sızması sonucu, özellikle donmanın da etkisiyle kristaller birbirinden ayrılır ve dağılır. "Şekerlenme" olarak adlandırılan bu olay sonrasında dağılan kristaller yüzeyde kum şeklinde görülür. Şekerlenme sonrası ortaya çıkan kristal kumlarına "kumlanma" adı verilir. Şekerlenme, kristal boyu ile doğru orantılı olarak artar. Mermerin yüzeyinde görülen ayrışma, atmosferik etkinin kaybolduğu derinliklere kadar devam eder.



Şekil 1. 2 Şekerlenme

Mermer, çözünerek kendi içerisindeki çatlak ve kırıkları doldurabilir ve hatta süreksizlik özelliğine ve ortam koşullarına bağlı olarak tekrar kendisini onarabilir. Ancak, söz konusu faaliyet her zaman istenilen özelliklerde bağlayıcılığı yüksek dolguyu sağlamaz. Süreksizlikleri dolduran malzeme, mermer özelliklerinin dışında kaba bir yapıya da sahip olabilir. Bağlayıcılığı olmayan veya düşük bağlayıcı özelliğine sahip kaba malzemeler mermerin dayanımını olumsuz etkiler. Taşınan malzemelerin ayrışması, özellikle killi malzemelerin bünyeye girmesi veya kayma sırasında süreksizlik düzlemlerinde oluşan doğal cilalanmaların yağlı çatlakları oluşturması da dayanımı olumsuz etkiler.

1. 5 Örneklerin Tanımlaması

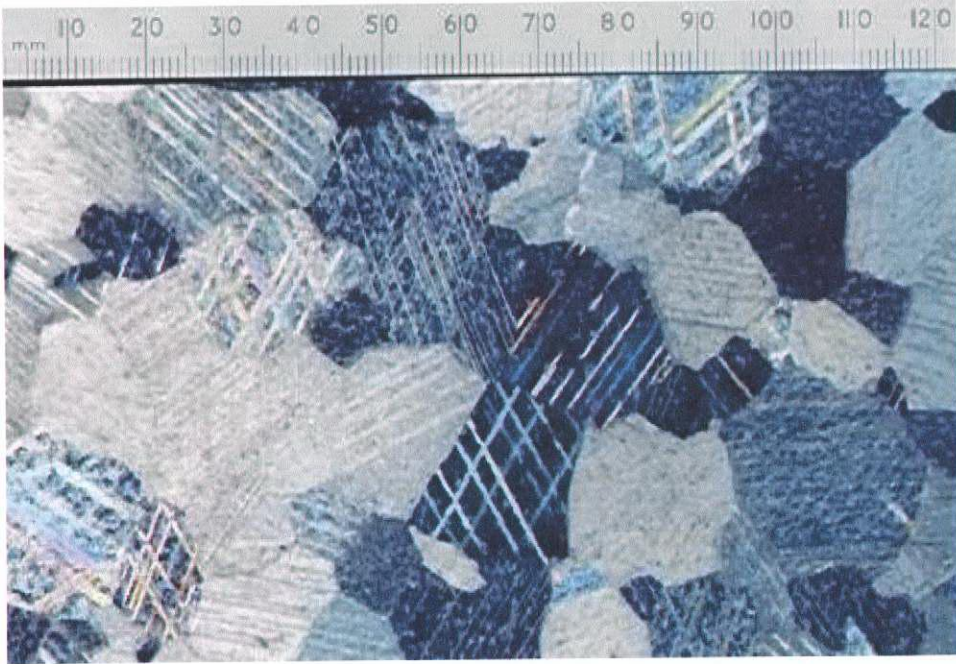
Örnekler petrografik, kimyasal ve fiziko–mekanik özellikler yönünden incelenmiştir. Fiziko–mekanik değerlere ilişkin bilgiler geniş bir şekilde ek olarak verilmiştir. Ayrıca kireçtaşı örnekleri fosil içeriği için paleontolojik yönden araştırılmıştır. Petrografik ve paleontolojik incelemelerde DEÜ Jeoloji Mühendisliği olanaklarından yararlanılmıştır.

Sedef Mermeri olarak bilinen ve GM1 olarak tanımlanan gerçek mermer, Muğla–Kavaklıdere/Salkım Köyü' nde üretilmektedir. Mermer yatağından renk ve desen özelliklerine göre Beyaz, Sedef, Limon, Köpüklü, Leylak ve Patlıcanlı isimleri altında farklı üretimler yapılmaktadır. Havzada sürekli çalışan beş tane mermer ocağı bulunmaktadır.

GM1, granoblastik ve ikizlenmelerin yaygın olduğu, kalsitten yapıli bir dokuya sahiptir (Şekil 1. 3). Örneklerden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $616.32 \pm 55.57 \mu\text{m}$ (GM1 ve diğer örneklerin istatistiksel değerlendirmesinde ortalama μ –kütle ortalaması– için kütle varyansının bilinmemesi nedeniyle t –güven katsayısı– dağılımı kullanılarak, güven katsayısı % 95 olan iki taraflı güven aralığı alınmıştır)' dir (Şekil 1. 4). GM1, 1.3.1' de yapılan sınıflamaya göre ince kristalli mermerler içerisinde değerlendirilir.

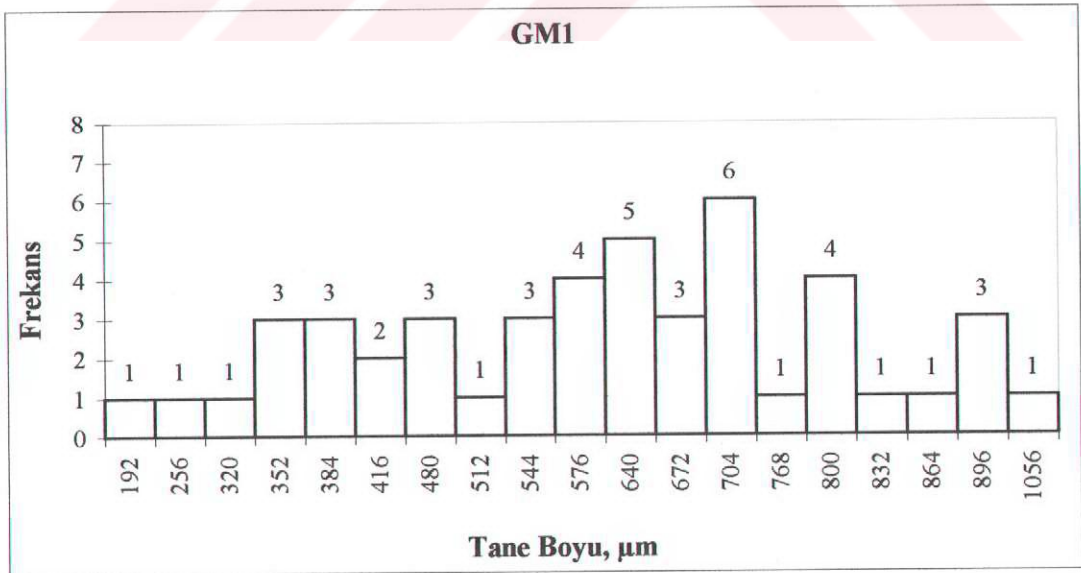
Yatağan Mermeri olarak bilinen ve GM2 olarak tanımlanan gerçek mermer, Muğla–Yatağan/Göller Mevkii' nde üretilmektedir. Yörede aynı karakteristik özelliklere sahip, sürekli çalışan başka mermer ocağı bulunmamaktadır.

GM2, poligonal, polisentetik ikizlenmelere sahip tanelerden oluşmuştur (Şekil 1. 5). Taneler arasında çok az, ufak boşluklar bulunmaktadır. Örneklerden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $1003.52 \pm 117.73 \mu\text{m}$ ' dir (Şekil 1. 6). GM2, 1.3.1' de yapılan sınıflamaya göre orta kristalli mermerler grubu içerisinde değerlendirilir.

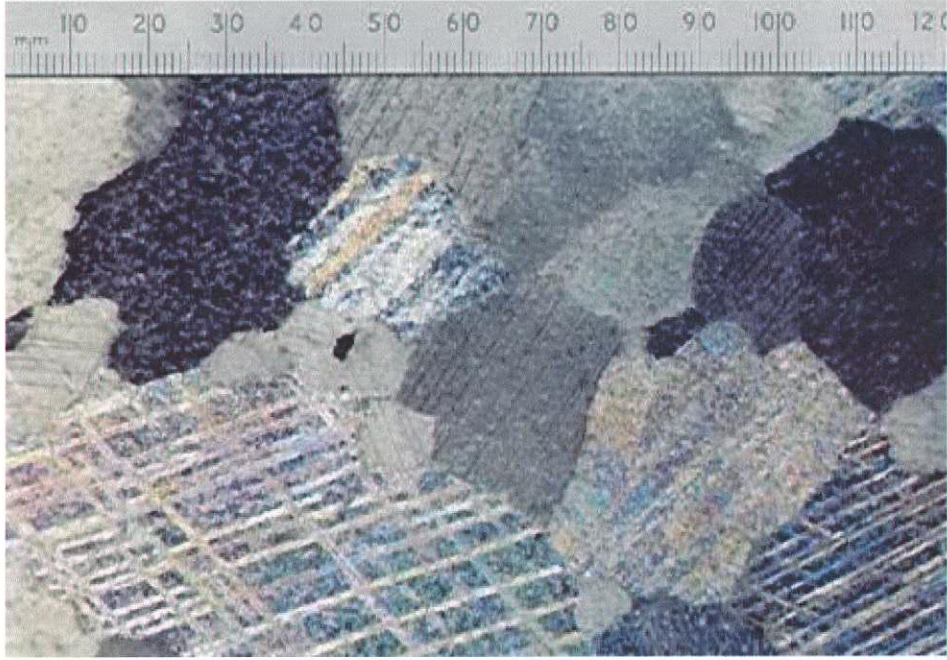


1 cm: 320 μm

Şekil 1. 3 GM1 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

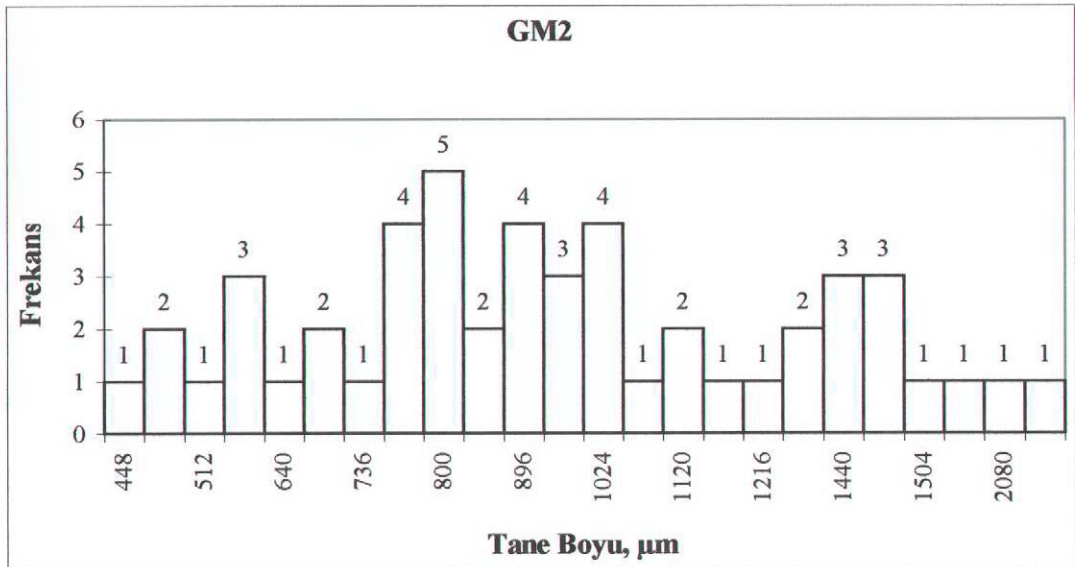


Şekil 1. 4 GM1 Tane Boyut Dağılımı



1 cm: 320 μ m

Şekil 1. 5 GM2 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 1. 6 GM2 Tane Boyut Dağılımı

Milas olarak bilinen ve GM3 olarak tanımlanan gerçek mermer, Muğla–Milas/Kozağaç Köyü' nde üretilmektedir. Yörede, aynı karakteristik özelliklere sahip ve sürekli çalışan başka mermer ocağı bulunmamaktadır.

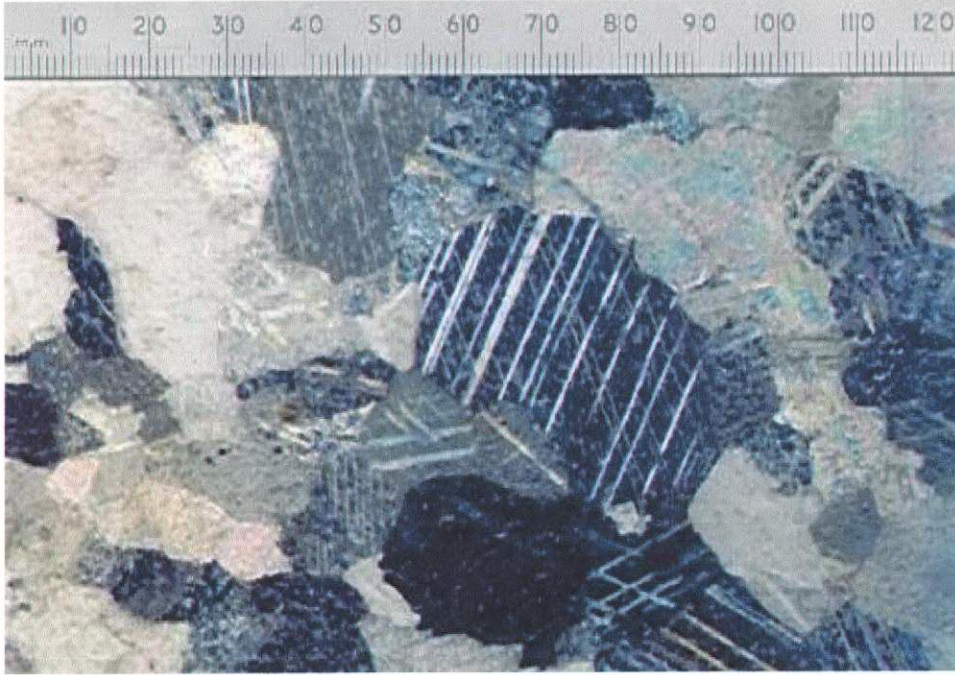
GM3, gronblastik dokuda olup kalsitlerde ikizlenmeler yaygındır (Şekil 1. 7). Kalsit kristalleri arasındaki açının 120° oluşu, GM3' ün yüksek ısıda duraylı bir yapı kazandığını gösterir. Örneklerden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $681.60 \pm 66.07 \mu\text{m}$ ' dir (Şekil 1. 8). GM3, 1.3.1' de yapılan sınıflamaya göre ince kristalli mermerler grubu içerisinde değerlendirilir.

Kemalpaşa Bej olarak bilinen ve KÇT1 şeklinde tanımlanan mikritik mermer, Bursa–Kemalpaşa/Körekem Mevkii' nde üretilmektedir. Yörede, aynı karakteristik özelliklere sahip 3 tane mermer ocağı bulunmaktadır.

Sığ denizel orijinli KÇT1, seyrek biyoklastlı–intraklastlı, pelmikrit–pelsparit (Folk, 1959) fasiyesinde yer alır. Mikroskop incelemesinde mercan ve bentonik foraminifer görülmüştür (Şekil 1. 9). Ancak fosil içeriği form ve sayıca yaş tespiti için yeterli değildir. Boşluklar psydosparla doldurulmuştur. KÇT1, bioklastik dokuludur. Örneklerden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $32.34 \pm 3.29 \mu\text{m}$ ' dir (Şekil 1. 10).

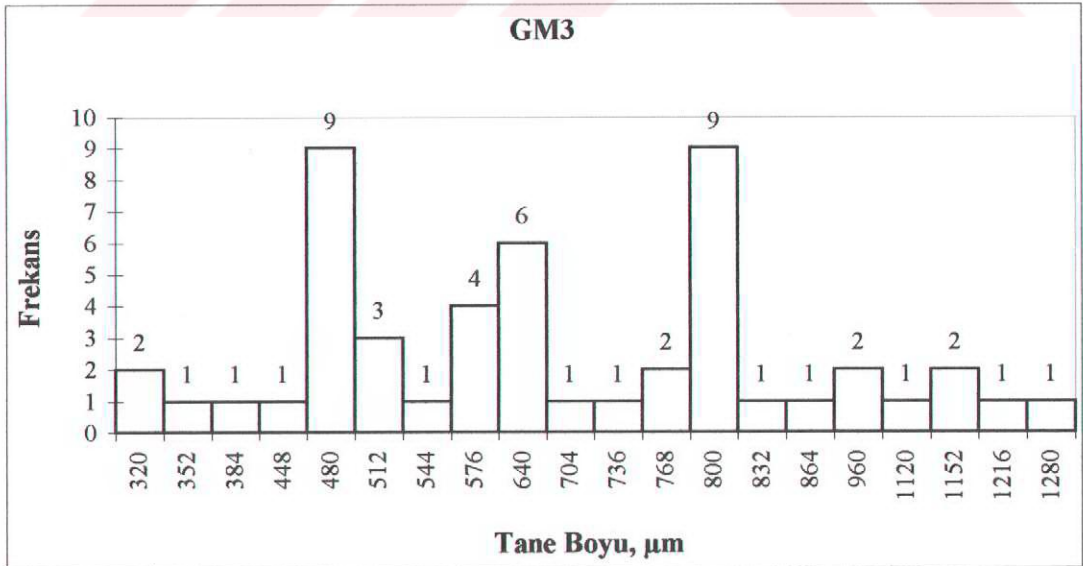
Burdur Bej olarak bilinen ve KÇT2 şeklinde tanımlanan mikritik mermer, Burdur–Yeşilova/Yarışlı Köyü' nde üretilmektedir. Yörede, aynı karakteristik özelliklere sahip ve çalışan başka mermer ocağı bulunmamaktadır.

Sığ denizel orijinli KÇT2, çok seyrek biyoklastlı, seyrek intraklastlı ve pelletli intrapelmikrit (Folk, 1959) fasiyesinde yer alır (Şekil 1. 11). KÇT2' de fosile rastlanmamıştır. Çatlaklar ve boşluklar psydosparla doldurulmuştur. Farklı jenerasyonda çatlaklara sahip KÇT2 örneklerinden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $27.52 \pm 4.12 \mu\text{m}$ ' dir (Şekil 1. 12).

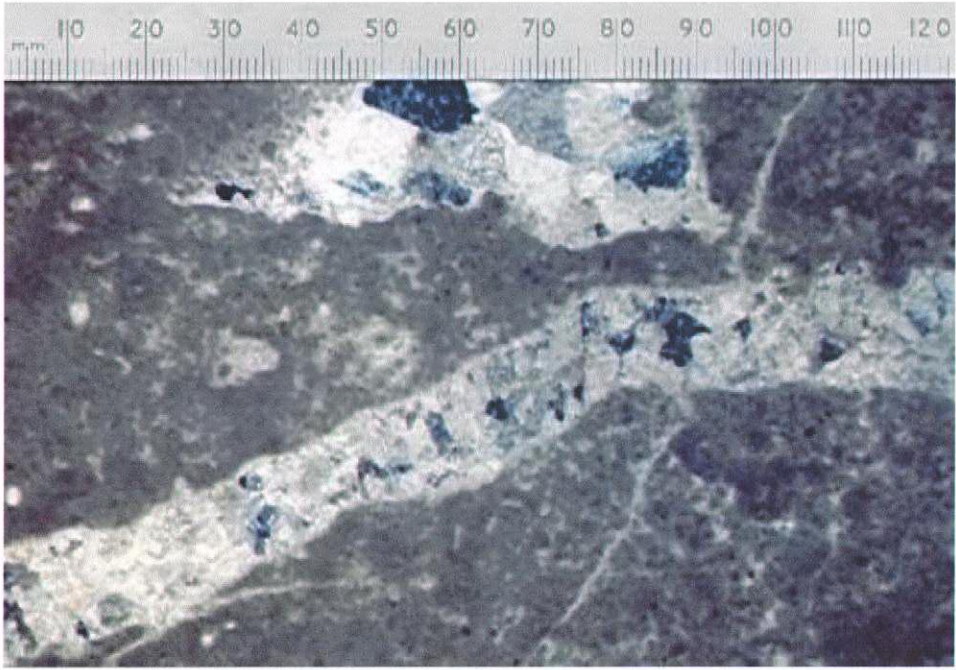


1 cm: 320 μm

Şekil 1. 7 GM3 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

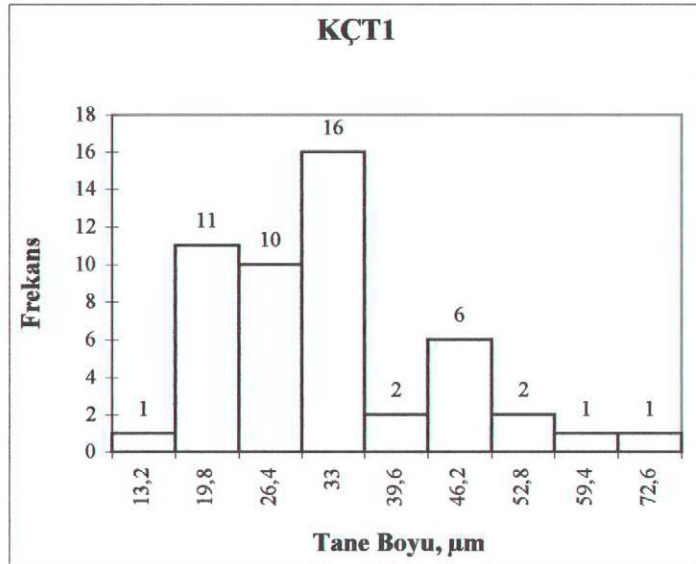


Şekil 1. 8 GM3 Tane Boyut Dağılımı

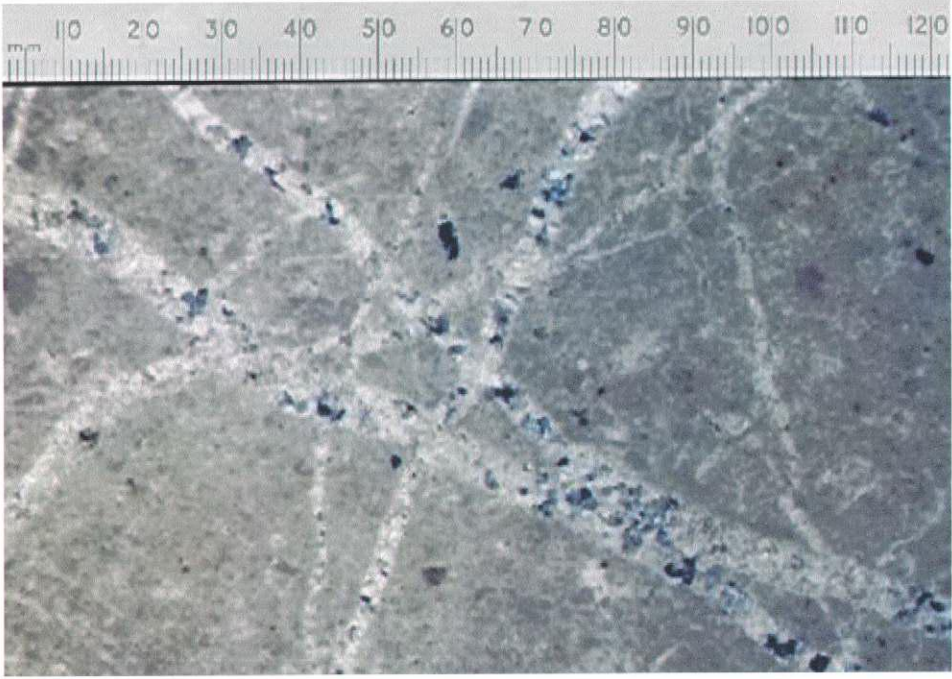


1 cm: 320 µm

Şekil 1. 9 KÇT1 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

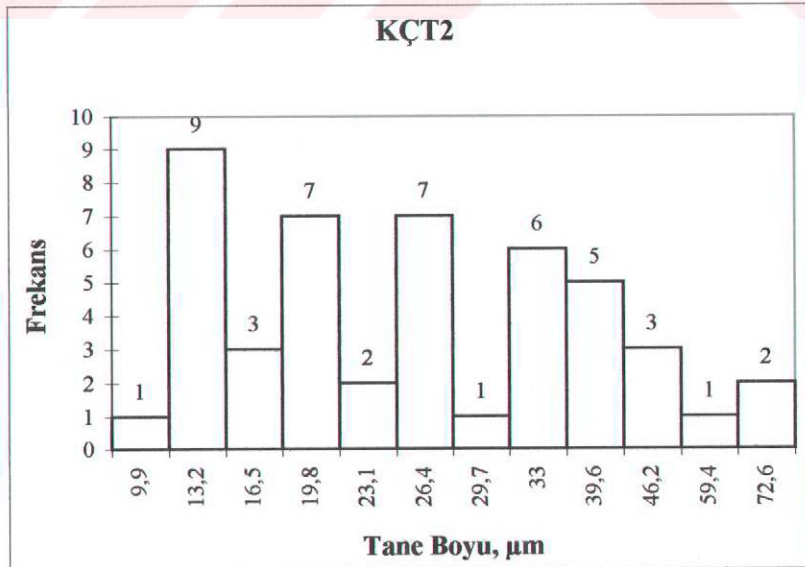


Şekil 1. 10 KÇT1 Tane Boyut Dağılımı



1 cm: 320 μm

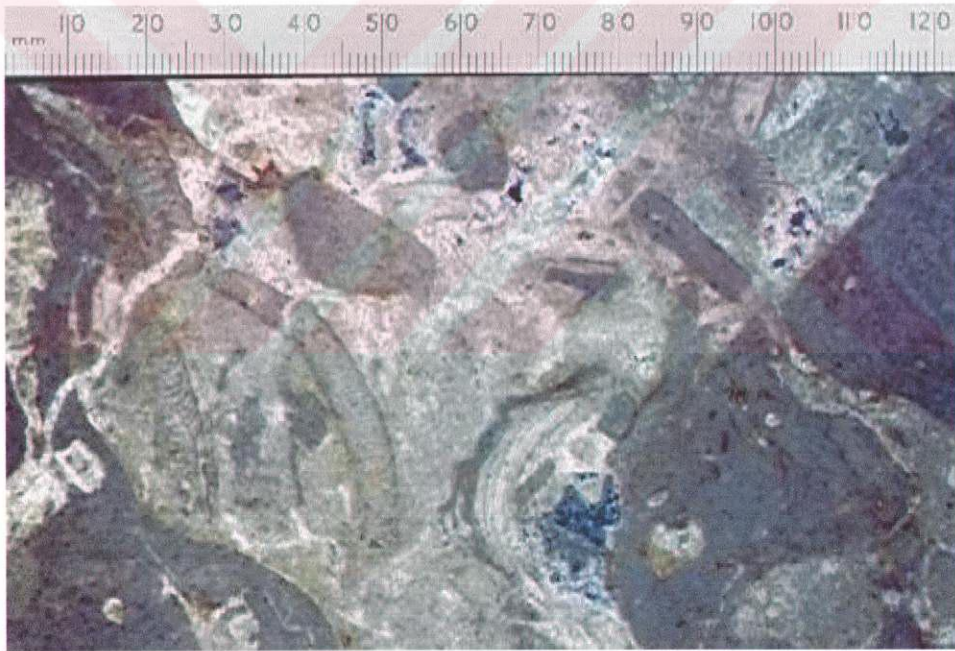
Şekil 1. 11 KÇT2 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 1. 12 KÇT2 Tane Boyut Dağılımı

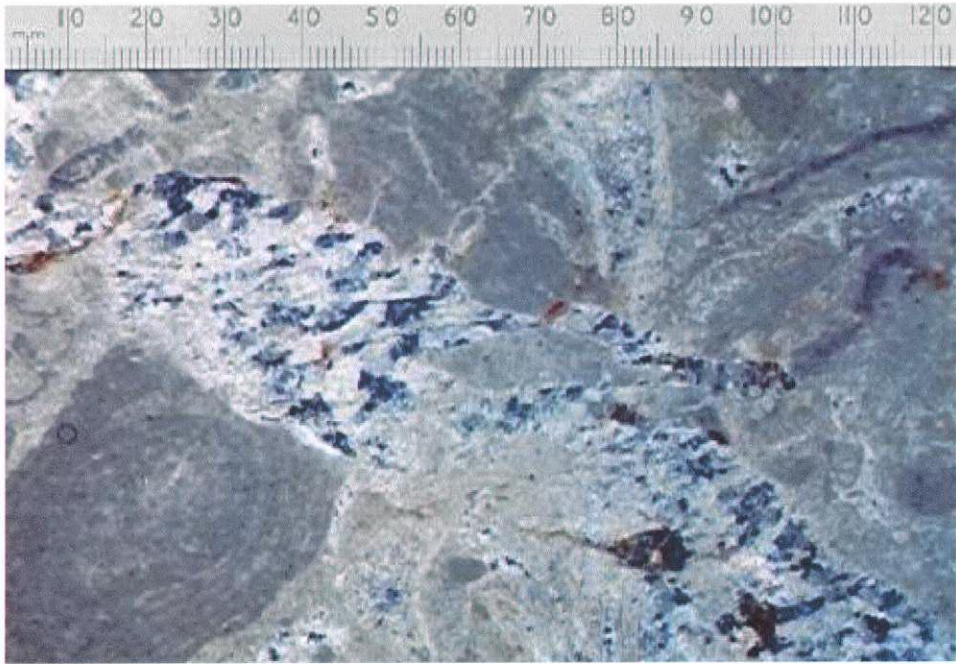
Bazmar Bej olarak bilinen ve KÇT3 şeklinde tanımlanan mikritik mermer, Diyarbakır–Hazro/Bazmar Köyü' nde üretilmektedir. Yörede aynı karakteristik özelliklere sahip başka mermer ocağı bulunmamaktadır.

Sığ denizel orijinli KÇT3, taşınmış bentonik foraminifer ve kırmızı alg, yer yer planktonik foraminifer içeren (Folk, 1959) biyomikrit–biyosparit fasiyesinde yer alır. KÇT3 mercan, yüksek oranda bentonik ferominifer ve kırmızı alg içerir (Şekil 1. 13, Şekil 1. 14). Mikroskop verilerine bağlı olarak KÇT3 Paleosen yaşlıdır. Örneklerden elde edilen tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması $57.82 \pm 10.01 \mu\text{m}$ ' dir (Şekil 1. 15).



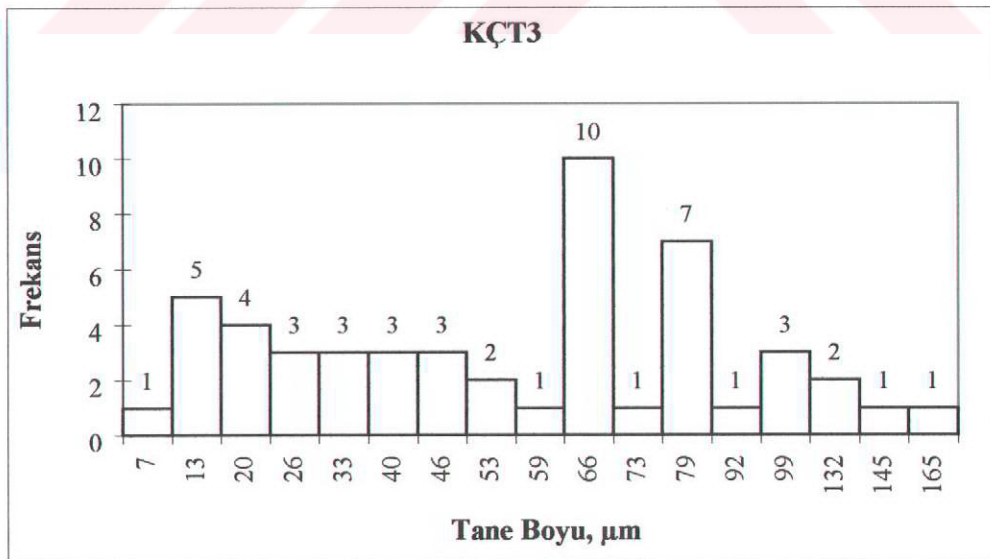
1 cm: 320 μm

Şekil 1. 13 KÇT3 İçerisindeki Fosillerin Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



1 cm: 320 μm

Şekil 1. 14 KÇT3 Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 1. 15 KÇT3 Tane Boyut Dağılımı

1. 6 Fiziko–Mekanik Değerlendirme

Doğal yapı taşlarına ait fiziko–mekanik muayene ve metotlar TS 699 (Tabii Yapı Taşları–Muayene ve Deneysel Metotları, 1987)' a göre yapılır. Türk Standartları Enstitüsü tarafından mermerler ve diğer kayalar için fiziko–mekanik analizlere yönelik hazırlanan ilk standartlar TS 2027 (Kayaçların Çekme Dayanımlarının Tayini, 1975), TS 2028 (Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini, 1975), TS 2029 (Kayaçların Üç Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini, 1975), TS 2030 (Kayaçların Elastisite Modülünün ve Poisson Oranının Tek Eksenli Basma Deneyi İle Tayini, 1975)' dir. Deneysel ve değerlendirmelere yönelik geniş kapsamlı ilk standartlar TS 1910 (Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, 1977) ve TS 2513 (Doğal Yapı Taşları, 1977)' dür. Sonraki yıllarda Türk Standartları Enstitüsü, TS 8615 (Kayaçlar–Su Muhtevası, Yoğunluk ve Porozite Tayini, 1990) gibi ayrıntılı standartlar hazırlamıştır.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından hazırlanan ve doğal yapı taşlarında aranan bazı fiziko–mekanik özellikler ve değerleri ile tarife numaraları Tablo 1. 1' de verilmiştir. Aşağıdaki tablolarda (Tablo 1. 1, Tablo 1. 2, Tablo 1. 3) verilen değerlerin belirlenmesinde TS 699' da belirtilen muayene ve deneysel metotları kullanılır.

Tablo 1. 1' de verilen değerlerin dışında, Tablo 1. 2 ve 1. 3' de olduğu gibi özel olarak isme hazırlanmış standartlarda ayrıntılı bilgiler bulunur. Tablo 1. 2 ve Tablo 1. 3' de yer alan mermerlerin dışında, yapı taşı olarak kullanılan kayalardan trakitler (TS 11135) ve konglomeralar (TS 11145) için de standartlar hazırlanmıştır. Ayrıca, mermer olarak kullanılan doğal yapı taşlarında atmosfer etkilerine karşı dayanım, paslanma, asite karşı dayanım, güneş yanığı ile renk ve damar, doku ve yapı, sertlik, kristal yapı, fosil içeriği ve cila alma kabiliyeti aranır. Tüm bu değerler mermerin dayanım özelliklerinin yanı sıra ocak, fabrika, atölye çalışmaları ile pazarlama, fiyatlandırma ve kullanım alanlarının belirlenmesinde önemlidir.

Örnekler hakkında genel bilgi edinmek ve zamana bağlı deformasyon (Bölüm 3) deneylerinde önemli olan basınç sınır şartlarını belirleyebilmek için gerekli olan, özellikle tek eksenli basınç dayanım deneyleri ve diğer deneyler Türk Standartları Enstitüsü' nün ilgili deney standartlarına göre yapılmıştır. Sonuçları Tablo 1. 4' te verilen örneklerin fiziko–mekanik deneylerine ait ayrıntılar ekte sunulmuştur.

Tablo 1. 1 Türk Standartlarına Göre Bazı Değerler (TS 1910, TS 2513)

	Traverten	Mermer	Serttaş	Genel
Özgül Kütle, gr/cm ³ , min ^{1,2}	2.3			2.55
Gözeneklilik, %, mak ¹	12			2
Ağırlıkça Su Emme, %, mak ^{1,2}	7.5			0.75–1.8
Basınç Dayanımı, kg/cm ² , min ¹	350	500	1200	
Eğilmede Çekme Day., kg/cm ² , min ²	30	50	75	30–80
Don Sonrası Ağırlık Kaybı, %, mak ^{1,2}				5
Darbe Dayanımı, kg.cm/cm ³ , min ²				6
Darbe Day. (yol parkesi, bordürü), kg.cm/cm ³ , min ²				12
Aşınma Dayanımı, cm ³ /50cm ² , mak ^{1,2}				15
Aşınma Day. (yol parkesi, bordürü), cm ³ /50cm ² , mak ²				10

¹ TS 1910, ² TS 2513,

**Tablo 1. 2 Yapı Taşı Olarak Kullanılan CaCO₃' lı Kayaç Standartları
(TS 10449, TS 11137, TS 11143, TS 11443, TS 11444)**

	Mermer¹	Kireçtaşı²	Traverten³	Oniks⁴	Dolomit⁵
Özgül Kütle, gr/cm ³ , min		2.16	2.30	2.60	2.85
Ağırlıkça Su E., %, mak	0.4	4.0	3.0	0.6	0.5
Don Sonrası Ağırlık Kay. %, mak	1	2	5	1	1
Basınç Dayanımı (Zemin) N/mm ² , min	50	50	48	50	50
Basınç Dayanımı (Duvar) N/mm ² , min	30	30	30	30	30
Don Sonrası Basınç Day. (Zemin), N/mm ² , min	30				
Eğilme Day., N/mm ² , min	6				
Sürtünmede Aşınma Day. (Zemin), cm ³ /50 cm ² , mak	15	10	15	15	15
Sürtünmede Aşınma Day. (Duvar), cm ³ /50 cm ² , mak	25	15	20	20	25
Darbe Dayanımı (Zemin), N.mm/mm ³ , min	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Darbe Dayanımı (Duvar) N.mm/mm ³ , min	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

¹ TS 10449, ² TS 11137, ³ TS 11143, ⁴ TS 11443, ⁵ TS 11444

1 N= 0.10197 kgf

Tablo 1. 3 Yapı Taşı Olarak Kullanılan Serttaş Kayaç Standartları (TS 6234, TS 11553, TS 10835, TS 5762, TS 5961)

	Granit¹	Siyenit²	Andezit³	Diyabaz⁴	Serpantin⁵
Özgül Küt., gr/cm ³ , min	2.56	2.50	2.55	2.55	2.25
Ağırlıkça Su E., %, mak	0.75	0.60	0.70	0.75	2.00
Porozite, %, mak	0.5			2	
Don Sonrası Ağ. Kay., %, mak	5	4	1	5	5
Basınç Day. (Zemin, Genel), min	1200 kg/cm ²	110 N/mm ²	100 N/mm ²	1200 kg/cm ²	500 kg/cm ²
Basınç Day. (Duvar), N/mm ² , min		60	60		
Eğilme Day. (Zemin, Genel), min	75 kg/cm ²	9 N/mm ²	8 N/mm ²	75 kg/cm ²	40 kg/cm ²
Eğilme Day. (Duvar), N/mm ² , min		7	6		
Sürtünmede Aşınma D. (Zem), cm ³ /50 cm ² , mak	10	16	17	10	8
Sürtünmede Aşınma D. (Duv.), cm ³ /50 cm ² , mak	15	27	28	15	18
Darbe Dayanımı (Zem.), min	10 kg.cm/cm ³	1 Nmm/mm ³	1 N.mm/mm ³	12 kg.cm/cm ³	10 kg.cm/cm ³
Darbe Dayanımı (Duv.), min	6 kg.cm/cm ³	0.6 Nmm/mm ³	0.6 N.mm/mm ³	6 kg.cm/cm ³	5 kg.cm/cm ³

¹ TS 6234, ² TS 11553, ³ TS 10835, ⁴ TS 5762, ⁵ TS 5961

1 N= 0.10197 kgf

Tablo 1. 4 Örneklerin Tane Boyu ve Fiziko-Mekanik Deney Sonuçları

Özellikler	GM1	GM2	GM3	KÇT1	KÇT2	KÇT3
Tane boyu, μm	616,32 $\pm 55,57$	1003,52 $\pm 117,73$	681,60 $\pm 66,07$	32,34 $\pm 3,29$	27,52 $\pm 4,12$	57,82 $\pm 10,01$
Doygun birim hacim ağırlığı, gr/cm^3	2,7194 $\pm 0,0007$	2,7136 $\pm 0,0004$	2,7154 $\pm 0,0025$	2,7027 $\pm 0,0015$	2,7107 $\pm 0,0038$	2,6767 $\pm 0,0029$
Kuru birim hacim ağırlığı, gr/cm^3	2,7179 $\pm 0,0007$	2,7126 $\pm 0,0005$	2,7138 $\pm 0,0023$	2,7000 $\pm 0,0018$	2,7103 $\pm 0,0038$	2,6693 $\pm 0,0029$
Porozite, %	0,149 $\pm 0,008$	0,098 $\pm 0,012$	0,161 $\pm 0,024$	0,300 $\pm 0,049$	0,136 $\pm 0,022$	0,742 $\pm 0,078$
Boşluk oranı, %	0,150 $\pm 0,008$	0,098 $\pm 0,012$	0,161 $\pm 0,024$	0,301 $\pm 0,050$	0,136 $\pm 0,022$	0,748 $\pm 0,079$
Ağırlıkça su emme oranı, %	0,055 $\pm 0,003$	0,036 $\pm 0,004$	0,059 $\pm 0,009$	0,111 $\pm 0,018$	0,050 $\pm 0,008$	0,278 $\pm 0,029$
Tek eksenli basınç dayanımı, kgf/cm^2	889,93 $\pm 79,09$	465,71 $\pm 54,84$	605,76 $\pm 61,42$	1146,70 $\pm 98,76$	1214,97 $\pm 180,79$	1334,73 $\pm 102,61$
Don sonrası tek eksenli basınç dayanımı, kgf/cm^2	795,80 $\pm 105,64$	406,20 $\pm 71,21$	562,02 $\pm 66,59$	938,36 $\pm 275,81$	1030,77 $\pm 274,54$	1169,12 $\pm 156,35$
Çekme (indirekt) dayanımı, kgf/cm^2	55,81 $\pm 7,12$	55,21 $\pm 7,21$	39,86 $\pm 5,91$	77,75 $\pm 10,78$	67,28 $\pm 12,65$	83,73 $\pm 9,58$
Eğilme dayanımı, kgf/cm^2	178,83 $\pm 10,39$	124,27 $\pm 11,92$	98,04 $\pm 13,00$	131,85 $\pm 15,73$	135,64 $\pm 9,29$	125,65 $\pm 8,63$
Nokta yük dayanımı, kgf/cm^2	77,51 $\pm 4,56$	40,45 $\pm 3,29$	42,03 $\pm 3,73$	67,25 $\pm 6,14$	66,18 $\pm 5,10$	70,66 $\pm 4,04$
Darbe dayanımı, $\text{kgf.cm}/\text{cm}^3$	22,80 $\pm 6,65$	7,80 $\pm 2,04$	21,40 $\pm 4,75$	32,40 $\pm 9,67$	26,40 $\pm 5,93$	31,00 $\pm 8,64$
Yüzeysel (böhme) aşınma dayanımı, $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	18,40 $\pm 0,88$	20,14 $\pm 1,00$	22,72 $\pm 0,99$	9,86 $\pm 1,17$	15,26 $\pm 0,92$	12,90 $\pm 0,54$

Örneklerin istatistiksel değerlendirmesinde, ortalama μ (kütle ortalaması) için kütle varyansının bilinmemesi nedeniyle t (güven katsayısı) dağılımı kullanılarak, güven katsayısı % 95 olan iki taraflı güven aralığı alınmıştır. Tablo 1. 4' te tane boyu için tane boyu uzunluk ana kütle ortalaması, doygun birim hacim ağırlığı ve kuru birim hacim ağırlığı için ağırlık kütle ortalaması, porozite, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme oranı için yüzde kütle ortalaması ve diğer değerler için dayanım kütle ortalaması verilmiştir.

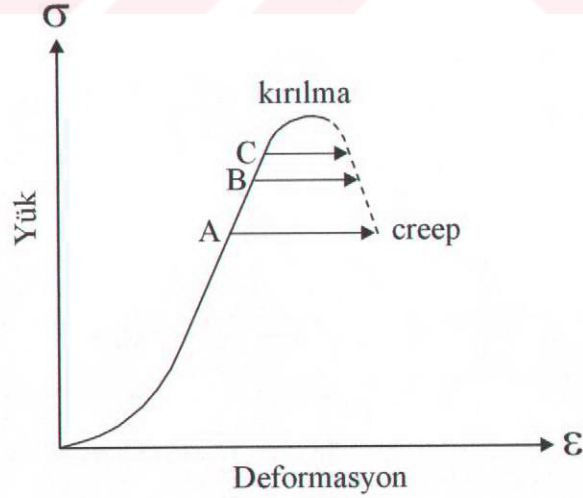


BÖLÜM 2

DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ

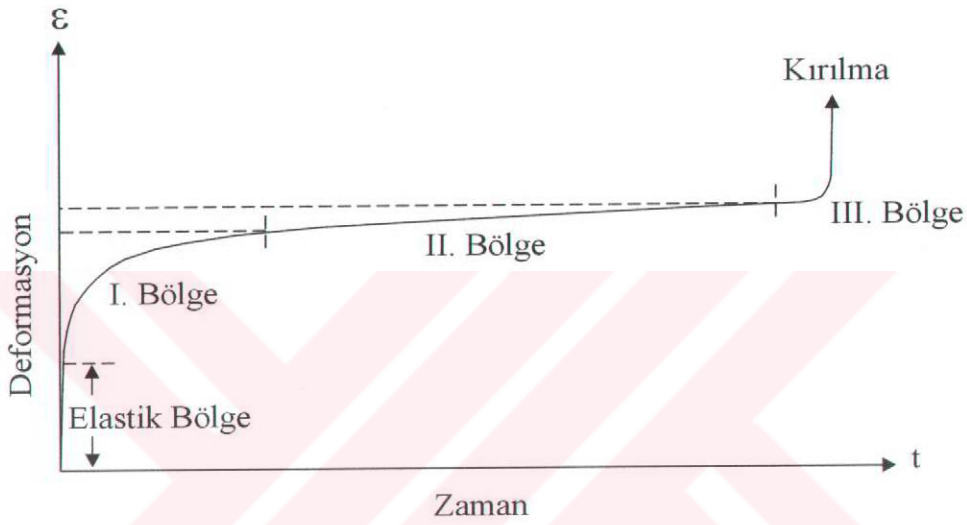
2.1 Deformasyon ve Creep

Kayaçların içinde buldukları gerilme durumları, farklı yük koşullarına bağlı olarak değişir. Yük ve gerilim altında bulunan kayaçlar deformasyona uğrar. Geleneksel dayanım deneylerinde, örnek kırılıncaya kadar düşey yük aşamalı olarak artırılır. Bununla birlikte, sabit yük altında olan kayaçlar da deforme olur. Kayaçlarda, sabit yük altında ve zaman içerisinde gelişen deformasyona "akma" (creep) denir.



Şekil 2.1 Yük-Deformasyon Grafiği

Geleneksel dayanım deneylerinde, Şekil 2. 1' de olduğu gibi, kayaç kırılıncaya kadar uygulanan yüke bağlı olarak örnekte oransal bir gerilim artışı gözlenir. Creep deneylerinde ise yük belirli bir değere sabitlenir. Kayaç, kırılıncaya kadar sabit yük altında tutulur. Uygulanan sabit yük, kayacın tek eksenli basınç dayanım değerine yaklaştıkça kırılma için gerekli süre azalır, buna karşılık deformasyon artar.



Başlangıçta, sürekli yük altında hızlı bir şekilde elastik bölge gelişir (Şekil 2. 2). Daha sonra deformasyon azalır ve Şekil 2. 2' de kavis yapan geçiş süreci sonlanır. Geçiş bölgesi "I. Bölge" olarak tanımlanır. Bölge olarak adlandırılan faz, creep olarak da değerlendirilir (I. Bölge: I. Creep gibi). I. bölge' yi daha kararlı olan "II. Bölge" takip eder. II. bölge' de gerilim düşer. Gerilimin düşmesiyle birlikte akma yavaşlar ve deformasyon nispeten kararlı hale gelir. II. bölge' yi, son bölüm olan "III. Bölge" izler. III. bölge' de gerilim oranı artar ve akma hızla sonlanır. Akmanın sona ermesi ile birlikte kayaç tamamen deforme olur. III. bölge' de kayacı, içsel sürtünmeden dolayı çatlaklar sarar ve kırılma gerçekleşir.

Creep sonuçlarının değerlendirilmesinde ve dizayn çalışmalarında I. ve II. bölge hareketleri önemlidir. Basınç altında, kayaç yapısında oluşan değişimler I. ve II. bölgenin kontrolü altında gelişir. Genellikle III. bölge' de önemli bir ayrıntı görülmez.

Creep sırasında kayaçta yayılmış çatlaklar birleşir. I. bölge boyunca uygulanan gerilim ve neden olduğu çatlak yayılımı, sürekli yük altında yavaş ve devamlı olarak stabil hale gelir. Durağan II. bölge aşamasında kayaç, III. bölge aşamasına kadar gittikçe deforme olur. III. bölge, kontrolsüz ve hızlı bir şekilde çatlak yayılımının neden olduğu kırılma ile son bulur.

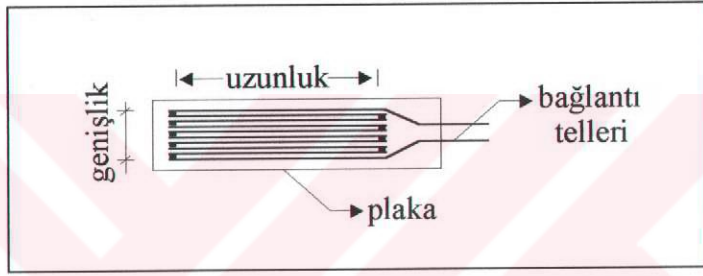
2. 1. 1 Strain Gauge

Strain gauge (deformasyon ölçer) mühendislikte, mimarlıkta, otomobillerde, denizcilikte, uçaklarda ve tıpta, genellikle fiziksel güç ölçümleri için kullanılır. Bir malzemeye yük uygulandığında malzemede gerilim oluşur. Yüke bağlı ortaya çıkan gerilim malzemede deformasyona neden olur. Yük ve baskı altında malzemenin davranışını, yönünü ve derecesini belirleyebilmek için deformasyon ölçümü yapılır.

Strain gauge, son derece hassas direnç teli veya foto-etched metalik direnç kağıdı ile bunları kaplayan izolasyon malzemesi ve elektrik bağlantı çıkışından oluşur. Özel durumlarda ya da hassas malzemelerde, strain gauge dış ortamdan etkilenmemesi için özel tüp içerisine yerleştirilerek kullanılır. Malzemede oluşan deformasyon strain gauge aracılığıyla komperatör, indikatör, monitör veya başka bir kaydediciye aktarılır ve $\mu\epsilon$ olarak okunur.

Strain gauge (Şekil 2. 3), F LA-5.350-11-3LT gibi bir takım kodlamalarla tanımlanır. Burada,

- F : Kullanım amacı (genel, metal, ağaç, plastik, kompozit, civata baskı, yüksek basınç, ısı gibi)
- LA : Kalıp numarası (her zaman kullanılmaz)
- 5 : Uzunluk, mm
- 350 : Direnç, Ω (veya 120 Ω , oda sıcaklığında)
- 11 : İletken özelliği (yumuşak çelik, sert çelik, alüminyum, kompozit, cam, plastik gibi)
- 3LT : Elektrik bağlantı çıkış uzunluğu, m (002 LE: 2 cm, 1 L: 1 m gibi)



Şekil 2. 3 Deformasyon Ölçer (Strain Gauge)

Dirençler bir plaka üzerinde yer alır. Kodlamada plaka (genellikle kağıt folyo) rengi de önemlidir. Yumuşak çelik kırmızı, paslanmaz çelik ve bakır alaşımı kahverengi, alüminyum yeşil renk ile ayırt edilir.

Strain gauge kullanımında önemli olan bir konu da "Gauge Faktör" dür. Burada,

- K : Gauge faktör
- ϵ : Deformasyon
- R : Strain gauge direnci, Ω
- ΔR : Direnç değişimi, Ω

$$K = (\Delta R / R) / \epsilon$$

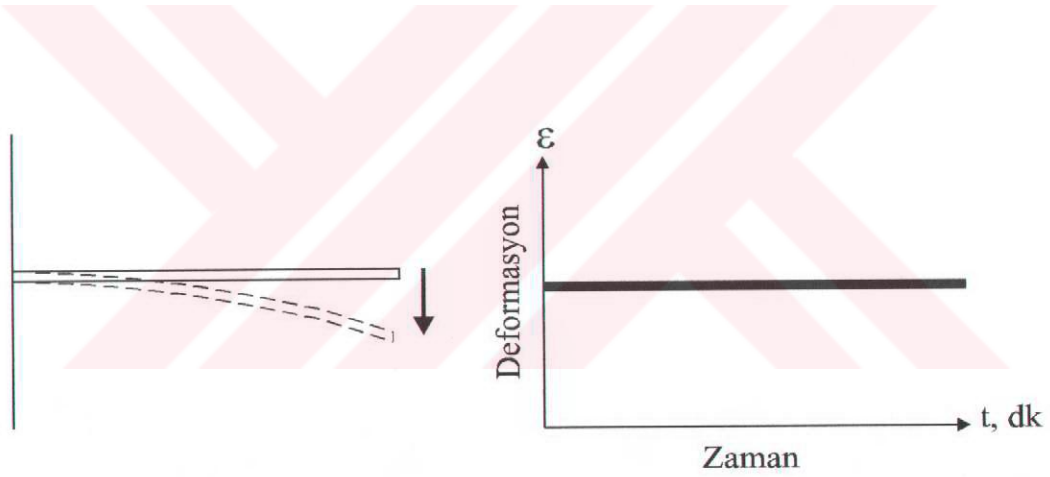
Deformasyon ölçümlerinde deney malzemesi ve araştırma ortamına uygun strain gauge seçimi önemlidir. Dikey, yatay veya çapraz deformasyon ölçümleri için örnek üzerine, deformasyon ölçümü alınacak her bir yöne olmak üzere uygun bir strain gauge yerleştirilir. Burulma (torsiyon) deformasyonu için özel strain gauge kullanılır. Strain gauge, genellikle ağırlık merkezine veya özel olarak ölçüm alınacak bölgeye yerleştirilir. Strain gauge yerleştirilecek bölüm, genel temizlikten ayrı olarak çelik dirençlilerde 120–180 numara, alüminyum dirençlilerde 240–320 numara zımpara ile temizlenir. Strain gauge yeri, zımpara sonrası aseton veya alkollü bir bez ile tozlardan iyice arındırılır. Özel yapıştırıcı, strain gauge boyutlarına uygun olarak örnek üzerine yayılır ve strain gauge zaman kaybedilmeden bağlantı uçları açıkta kalacak şekilde yerleştirilir. Strain gauge ile örnek arasında kalacak yapıştırıcı film kalınlığının mümkün olduğunca ince olmasına özen gösterilir. Yapıştırılmış strain gauge üzerine statik elektrikten arındırılmış naylon yerleştirilir, naylonun üzeri bantlanır ve kurumaya bırakılır. Hava koşullarına ve yapıştırıcı özelliklerine bağlı olarak örnek 20 saniye ile 4 saat arasında açık havada bekletilir. Naylon, kuruma sonrası sökülür. Bağlantı uçları dirençlere zarar vermeden bir cımbız yardımıyla dışa doğru açılır. Örnek, basınç aletine yerleştirilir. Strain gauge bağlantı uçları kaydedicinin kabloları ile lehimlenerek birleştirilir. Kaydedicinin ayarları yapılır ve sıfırlanır. Kaydedicinin hazır hale gelmesinden sonra örneğe yük verilir ve deney başlatılır.

Deformasyon deneyi sırasında dinamik gerilim altında bulunan malzemenin plakaya gerilim iletilir. Gerilim frekansı çok yüksektir. Yüksek frekansta dalga boyu kısadır. Yüksek hızda malzemenin alınan deformasyon frekansları kayıpsız ve titreşim olmaksızın dirençlere ulaşır. Dirençlerden alınan sinyaller kaydediciye iletilir ve buradan okunur.

Strain gauge başarısında ortam ısı ve örnekteki olası sıcaklık değişimi çok önemlidir. Ortam ve malzeme ısı hareketleri istenmez. Dirençler ısı değişimine son derece duyarlıdır. Bu nedenle, sıcaklık değişiminin söz konusu olduğu çalışmalarda özel strain gauge kullanılır.

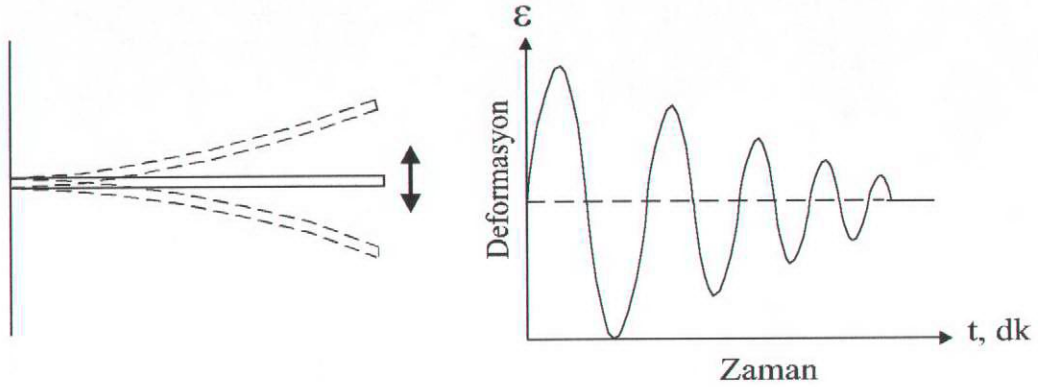
Aynı strain gauge birden fazla kullanılabilir. Strain gaugein birden fazla kullanılabilirliğinde deformasyonu ölçülen malzemenin özelliği, yapıştırıcı özelliği, deformasyon derecesi, plaka özelliği ve strain gauge genişliği önemlidir. Strain gauge genişliği arttıkça, tekrar kullanılabilirliği de artar.

Deformasyon ölçümleri statik, dinamik veya birleşik olmak üzere amaç ve olayın sıklığına göre üçe ayrılır. Statik deformasyonda eğri zamanla çok yavaş değişir veya hiç değişmez (Şekil 2. 4). Dinamik deformasyon eğrisinde sarkaç hareketler görülür (Şekil 2. 5). Dinamik deformasyonda hızlı eğri hareketleri gittikçe sonlanır. Bu nedenle, ölçüm özelliğine uygun statik ve dinamik olmak üzere iki tür strain gauge geliştirilmiştir. Yapılacak çalışmalarda deformasyon gelişimine ve amaca uygun strain gauge kullanımı önemlidir.



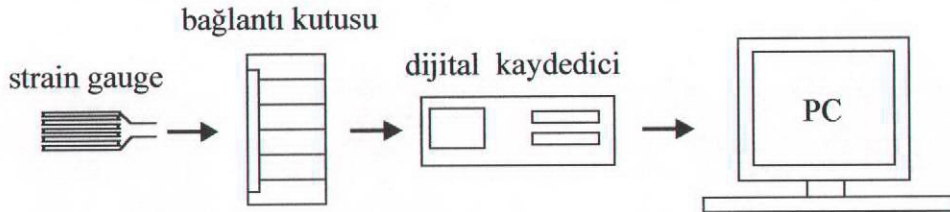
Şekil 2. 4 Statik Deformasyon Grafiği¹

¹ Strain Gauges Kataloğu, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., 2001



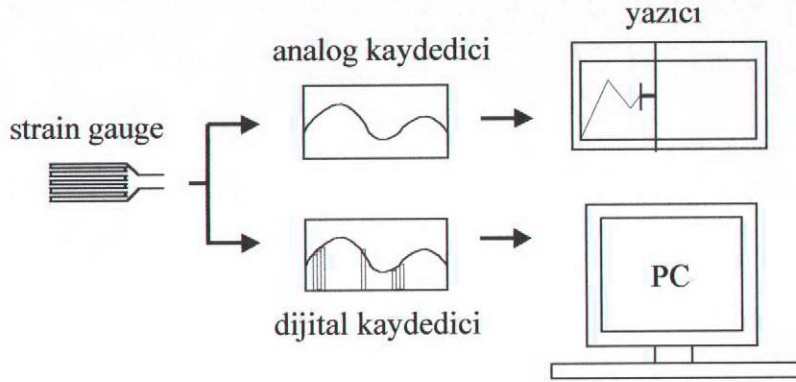
Şekil 2. 5 Dinamik Deformasyon Grafiği¹

Statik deformasyon sürekli izlenir ve hemen sayısal hale dönüştürülür. Statik deformasyon ölçerlerde her bağlantı kutusu (strain gauge grubu), dinamik deformasyon ölçerlerde ise her strain gauge kaydediciye ayrı ayrı bağlanır. Günümüz koşullarında aynı anda, statik deformasyonda tek bir bağlantı ile maksimum 1000 okuma yapılabilir (Şekil 2. 6). Dinamik deformasyonda, deformasyon zaman ile birlikte sinyallere dönüştürülür ve ölçülen deformasyon dinamik bir deformasyon ölçer ile kaydediciye iletilir. Dinamik deformasyonda her ölçüm noktası için bir strain gauge ve buna ait çıkış gereklidir (Şekil 2. 7). Günümüz koşullarında, dinamik deformasyon dijital kaydedicileri 1–20 arasında değişen çıkışlara sahiptir.



Şekil 2. 6 Statik Deformasyon Ölçme Düzenegi²

^{1,2} Strain Gauges Kataloğu, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., 2001



Şekil 2. 7 Dinamik Deformasyon Ölçme Düzenegi¹

2. 2 Deformasyon Deney Sonuçları

Deformasyon deneylerinde, tabakalanmaya dik yönde alınmış silindir (B 66 ve $h=2R$) örnekler ile FLA 10–11, 120 Ω ve 2.12 gauge faktör özelliklerine sahip dinamik strain gauge kullanılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı altında yapılan deformasyon (I. grup) deneylerinde, örnekler üzerine, düşey ve yatay deformasyon için iki tane strain gauge yapıştırılmıştır. Örnek kırılıncaya kadar strain gaugeler tarafından algılanan deformasyon, strain gaugeleri kontrol eden iki ayrı dinamik kaydediciye aktarılmış ve buradan deformasyon değerleri okunmuştur.

Burada;

P : Yük, kgf

σ : Birim alana etkiyen dikey kuvvet, MPa

ϵ_a : Düşey deformasyon

ϵ_r : Yatay deformasyon

E : Elastise modülü, MPa

ν : Poisson oranı

$$\sigma = P/A$$

$$E = \sigma / \epsilon_a$$

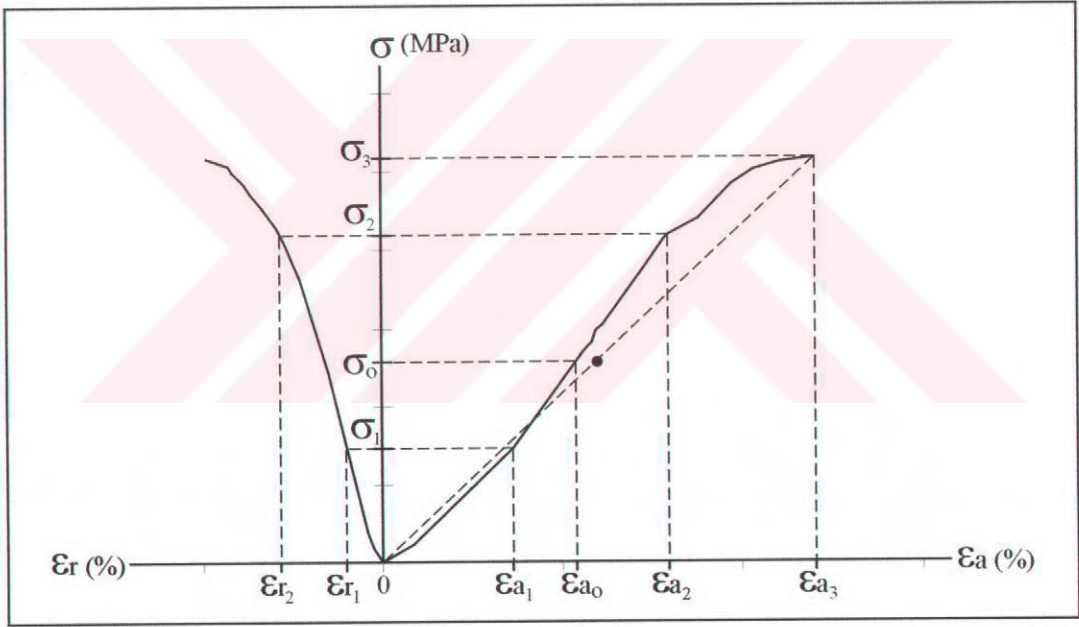
$$\nu = \epsilon_r / \epsilon_a$$

¹ Strain Gauges Kataloğu, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., 2001

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

Tek eksenli basınç aletinden okunan σ ve kaydedicilerden okunan ϵ_a ve ϵ_r değerlerine göre her örnek için elastise modülü ve poisson oranı hesaplanmıştır. Deformasyon deneyi ile ilgili tüm bilgiler tablo halinde verilmiş ve deformasyon grafikleri çizilmiştir. ϵ_a ve ϵ_r değerlerini aynı grafik üzerinde görebilmek için ϵ_r değerleri eksi (-) kabul edilmiştir. Grafik üzerindeki sembollerin açıklaması Ek. 2' de verilmiştir.

Tanjant elastise modülü (E_{tan}), secant elastise modülü (E_{sec}) ve poisson oranı (ν) değerleri grafik üzerinden hesaplanmıştır. E_{tan} için grafik üzerinde doğrusal olan en uzun bölüm alınmıştır (Şekil 2. 9).



Şekil 2. 8 Deformasyon Grafiği

$$E_{tan} = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_{a2} - \epsilon_{a1}), \text{ MPa}$$

$$E_{sec} = \sigma_0 / \epsilon_{a0}, \text{ MPa}$$

$$\nu = (\epsilon_{r2} - \epsilon_{r1}) / (\epsilon_{a2} - \epsilon_{a1})$$

$$1 \text{ MPa} = 10.197 \text{ kgf/cm}^2$$

Deformasyon çalışması sonrası örneklerden yatay ve dikey yönde alınan ince kesitler mikroskopta fotoğraflanmıştır. Kristalize mermer örneklerinden (GM1, GM2, GM3) alınan ince kesitler tek bir kristalde (1250 büyültmeli) ve kristaller arası (400 büyültmeli) genel durumu görmek üzere iki ayrı ölçekte, mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Deformasyon sonrası kireçtaşı örneklerinden (KÇT1, KÇT2, KÇT3) alınan ince kesitler mikroskopta, sadece genel durumu (400 büyültmeli) görmek amacıyla incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Teknik olanaklar ve jeolojik özellikleri nedeniyle kireçtaşı örneklerine ait taneler mikroskopta 1250 büyültmeli olarak fotoğraflanamamıştır. (Örneklerin deformasyon öncesi kristaller arası genel durumunu gösteren fotoğrafları, GM1 için Şekil 1. 3, GM2 için Şekil 1. 5, GM3 için Şekil 1. 7, KÇT1 için Şekil 1. 9, KÇT2 için Şekil 1. 11 ve KÇT3 için Şekil 1. 14' te verilmiştir.)

Tablo 2. 1 GM1 Deformasyon Deney Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	88	16	24204,54	0,18	0,000088	-0,000016
1000	4,26	136	25	31302,43	0,18	0,000136	-0,000025
1500	6,39	165	29	38701,18	0,18	0,000165	-0,000029
2000	8,51	202	37	42149,80	0,18	0,000202	-0,000037
2500	10,64	241	44	44161,10	0,18	0,000241	-0,000044
3000	12,77	281	52	45449,79	0,18	0,000281	-0,000052
3500	14,90	322	60	46273,16	0,18	0,000322	-0,00006
4000	17,03	352	68	48376,48	0,19	0,000352	-0,000068
4500	19,16	377	75	50814,55	0,20	0,000377	-0,000075
5000	21,29	407	84	52298,90	0,20	0,000407	-0,000084
5500	23,41	432	91	54199,58	0,21	0,000432	-0,000091
6000	25,54	457	98	55892,30	0,21	0,000457	-0,000098
6500	27,67	475	107	58255,47	0,22	0,000475	-0,000107

7000	29,80	496	113	60080,47	0,23	0,000496	-0,000113
7500	31,93	520	119	61400,92	0,23	0,00052	-0,000119
8000	34,06	542	126	62835,87	0,23	0,000542	-0,000126
8500	36,19	557	133	64965,19	0,24	0,000557	-0,000133
9000	38,31	581	139	65945,22	0,24	0,000581	-0,000139
9500	40,44	608	145	66517,66	0,24	0,000608	-0,000145
10000	42,57	635	151	67041,42	0,24	0,000635	-0,000151
10500	44,70	665	156	67217,85	0,24	0,000665	-0,000156
11000	46,83	695	162	67379,04	0,24	0,000695	-0,000162
11500	48,96	725	167	67526,90	0,23	0,000725	-0,000167
12000	51,09	756	172	67573,50	0,23	0,000756	-0,000172
12500	53,21	771	176	69019,62	0,23	0,000771	-0,000176
13000	55,34	787	180	70321,09	0,23	0,000787	-0,00018
13500	57,47	810	186	70952,17	0,23	0,00081	-0,000186
14000	59,60	822	190	72505,87	0,23	0,000822	-0,00019
14500	61,73	832	194	74192,78	0,23	0,000832	-0,000194
15000	63,86	839	198	76110,79	0,24	0,000839	-0,000198
15500	65,99	850	202	77630,03	0,24	0,00085	-0,000202
16000	68,11	862	207	79018,66	0,24	0,000862	-0,000207
16500	70,24	870	211	80738,68	0,24	0,00087	-0,000211
17000	72,37	924	216	78323,83	0,23	0,000924	-0,000216
17500	74,50	941	220	79170,86	0,23	0,000941	-0,00022
18000	76,63	967	228	79243,38	0,24	0,000967	-0,000228
18500	78,76	993	239	79312,10	0,24	0,000993	-0,000239
19000	80,89	1008	252	80243,53	0,25	0,001008	-0,000252
19430	82,72	1021	312	81014,74	0,31	0,001021	-0,000312

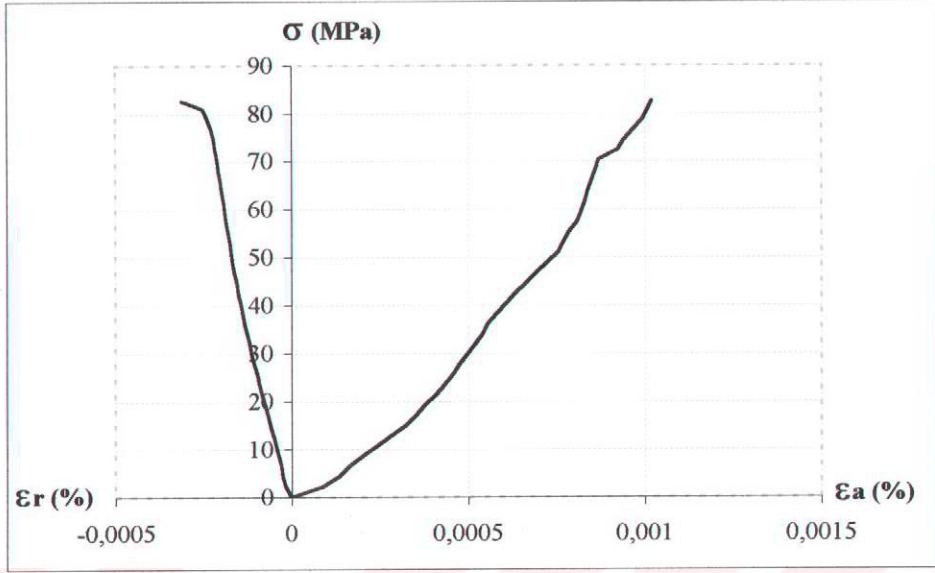
Kırılma Yüğü= 19430 kgf

Yükleme Hızı= 200 kgf/sn

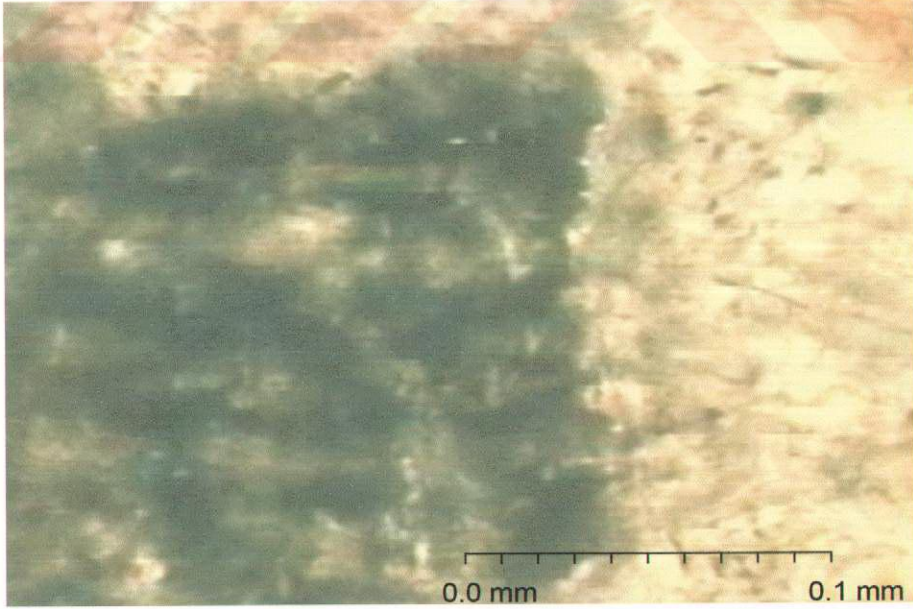
$$E_{\tan} = 83750 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{sec}} = 67792 \text{ MPa}$$

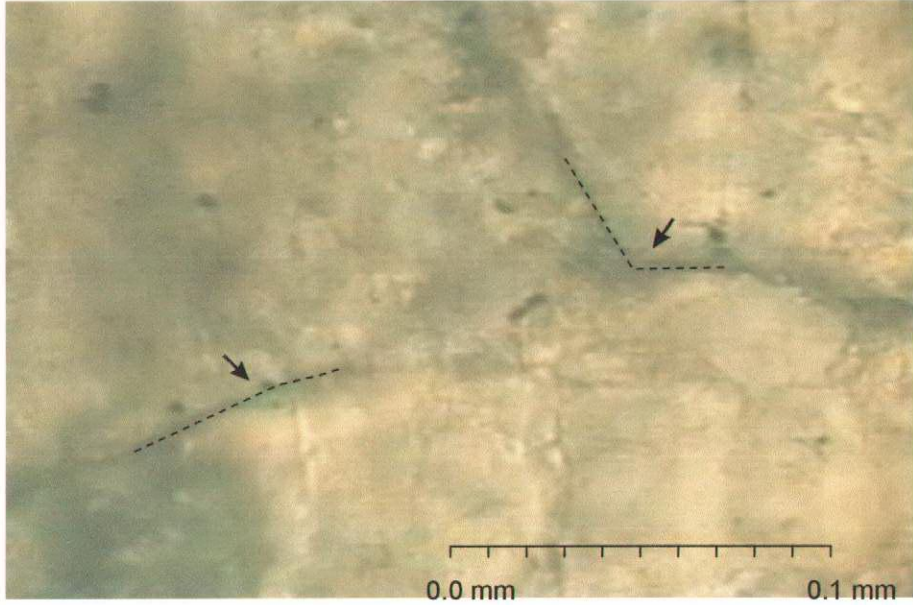
$$\nu = 0,29$$



Şekil 2. 9 GM1 Deformasyon Grafiği



**Şekil 2. 10 GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü
(1250 Büyültme)**



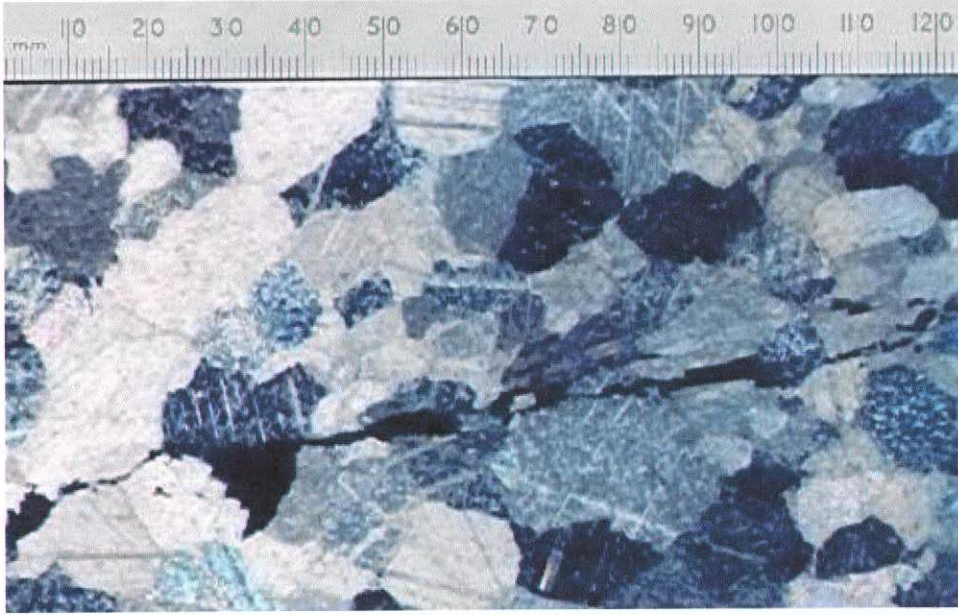
→ : Süreksizlik

Şekil 2. 11 GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



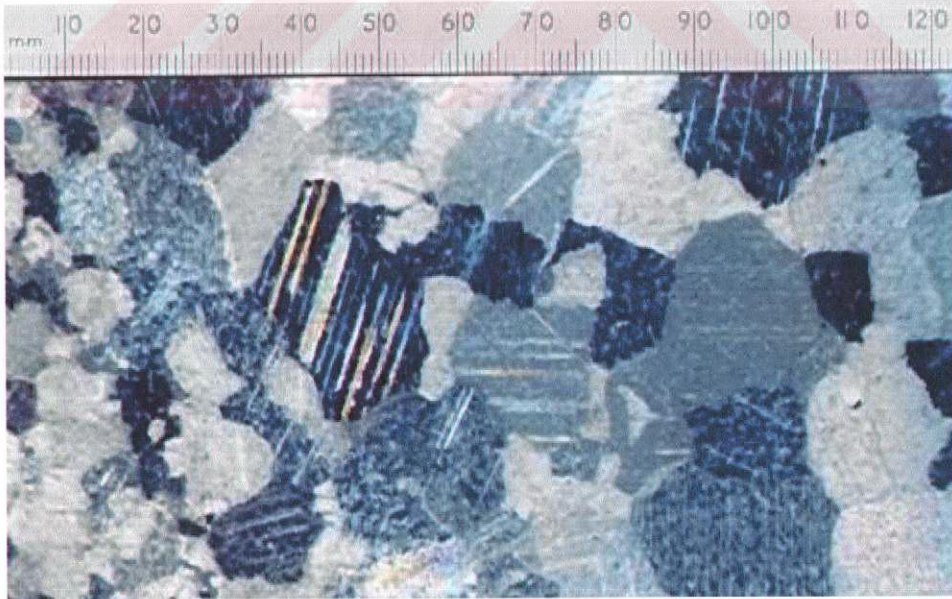
→ : Süreksizlik

Şekil 2. 12 GM1 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 13 GM1 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 14 GM1 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

Tablo 2. 2 GM2 Deformasyon Deney Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	87	24	24482,75	0,28	0,000087	-0,000024
1000	4,26	119	38	35774,20	0,32	0,000119	-0,000038
1500	6,39	152	46	42011,15	0,30	0,000152	-0,000046
2000	8,51	188	55	45288,62	0,29	0,000188	-0,000055
2500	10,64	208	63	51167,43	0,30	0,000208	-0,000063
3000	12,77	239	71	53436,78	0,30	0,000239	-0,000071
3500	14,90	264	80	56439,23	0,30	0,000264	-0,00008
4000	17,03	296	92	57528,79	0,31	0,000296	-0,000092
4500	19,16	317	103	60432,45	0,32	0,000317	-0,000103
5000	21,29	349	115	60990,41	0,33	0,000349	-0,000115
5500	23,41	367	124	63798,96	0,34	0,000367	-0,000124
6000	25,54	395	132	64665,27	0,33	0,000395	-0,000132
6500	27,67	426	147	64956,22	0,34	0,000426	-0,000147
7000	29,80	455	151	65494,31	0,33	0,000455	-0,000151
7500	31,93	482	162	66241,66	0,34	0,000482	-0,000162
8000	34,06	511	176	66647,83	0,34	0,000511	-0,000176
8500	36,19	544	195	66517,66	0,36	0,000544	-0,000195
9000	38,31	563	211	68053,59	0,38	0,000563	-0,000211
9500	40,44	580	236	69728,86	0,41	0,00058	-0,000236
10000	42,57	602	280	70716,45	0,46	0,000602	-0,00028
10500	44,70	635	310	70393,50	0,49	0,000635	-0,00031
11000	46,83	673	367	69581,63	0,54	0,000673	-0,000367
11500	48,96	699	420	70038,63	0,60	0,000699	-0,00042
12000	51,09	784	496	65160,16	0,63	0,000784	-0,000496
12180	51,85	792	506	65469,51	0,64	0,000792	-0,000506

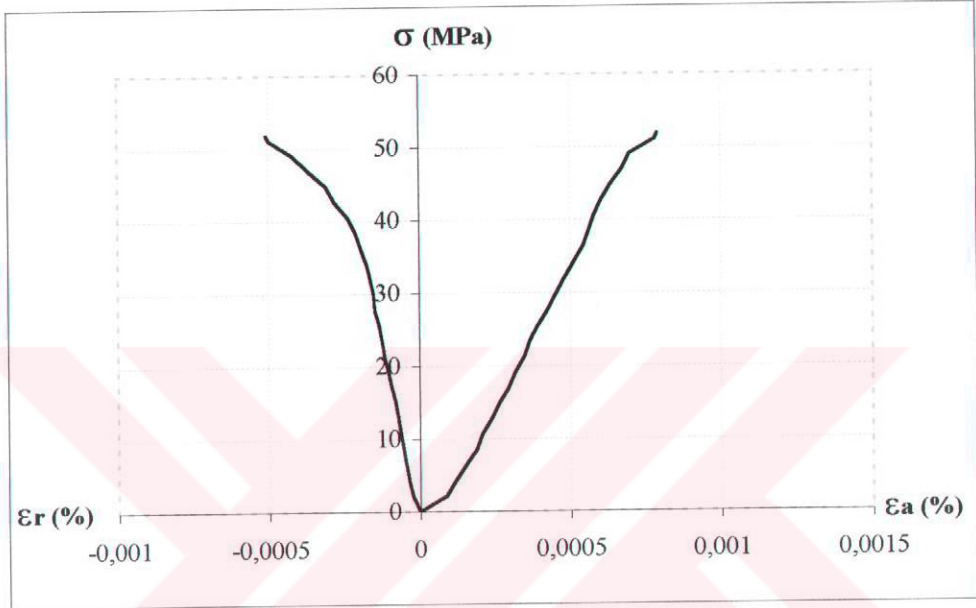
Kırılma Yüğü= 12180 kgf

Yükleme Hızı= 200 kgf/sn

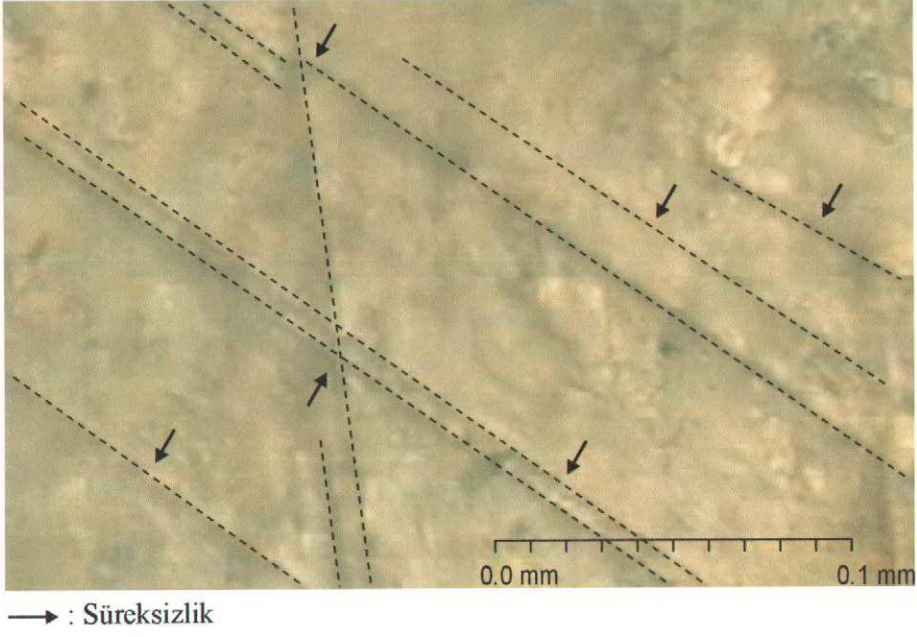
$$E_{\tan} = 50000 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{sec}} = 66915 \text{ MPa}$$

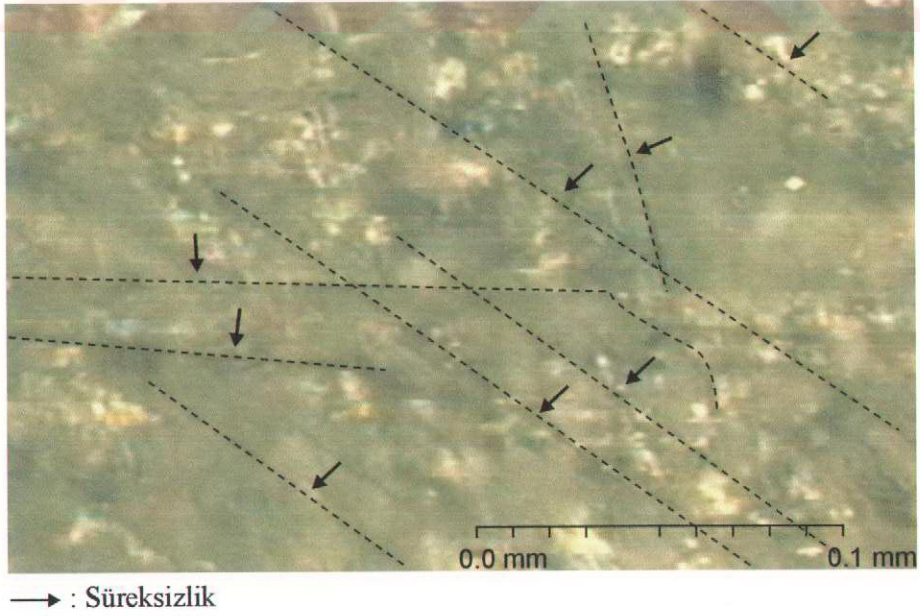
$$\nu = 0,33$$



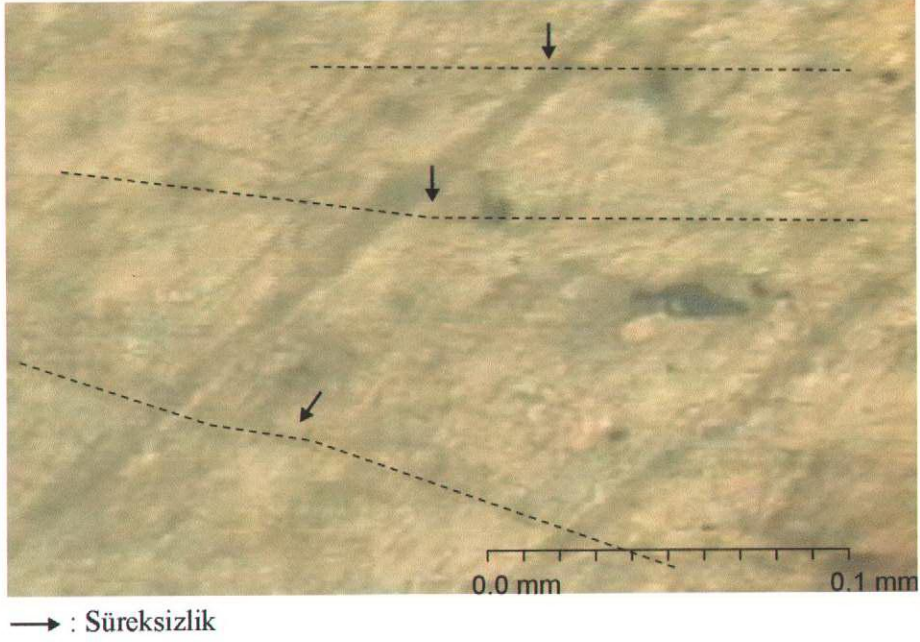
Şekil 2. 15 GM2 Deformasyon Grafiğı



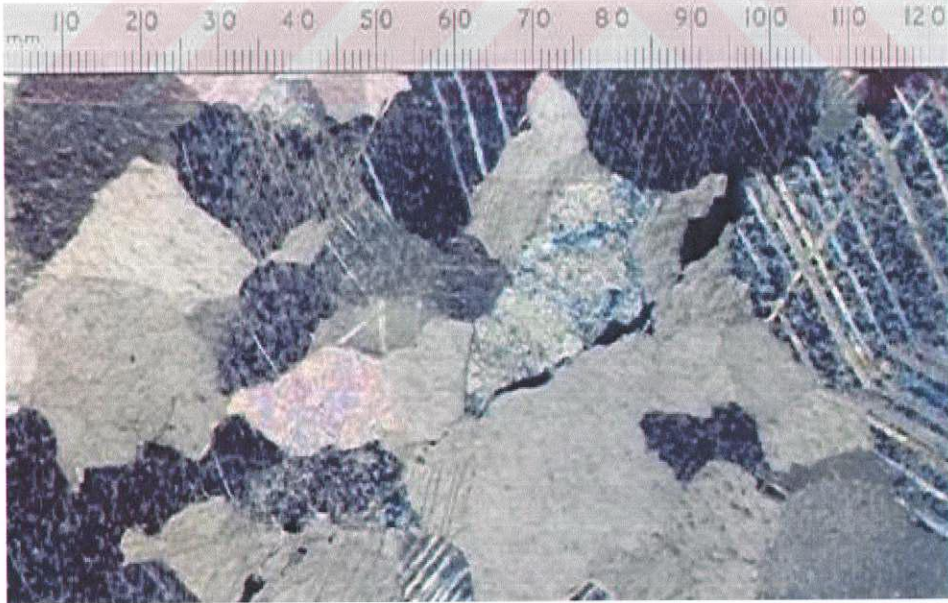
Şekil 2. 16 GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



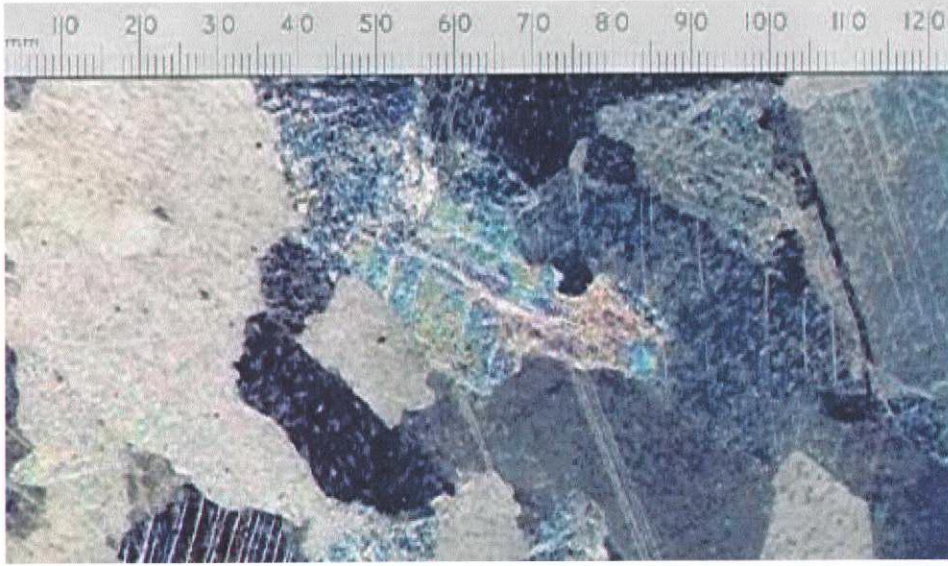
Şekil 2. 17 GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 2. 18 GM2 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 2. 19 GM2 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



1 cm: 320 μm

**Şekil 2. 20 GM2 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

Tablo 2. 3 GM3 Deformasyon Deney Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	96	32	22187,50	0,33	0,000096	-0,000032
1000	4,26	255	53	16694,63	0,21	0,000255	-0,000053
1500	6,39	317	65	20144,15	0,20	0,000317	-0,000065
2000	8,51	444	77	19176,26	0,17	0,000444	-0,000077
2500	10,64	486	85	21898,82	0,18	0,000486	-0,000085
3000	12,77	527	97	24234,14	0,18	0,000527	-0,000097
3500	14,90	562	106	26512,38	0,19	0,000562	-0,000106
4000	17,03	616	118	27643,70	0,19	0,000616	-0,000118
4500	19,16	652	129	29382,03	0,20	0,000652	-0,000129
5000	21,29	688	139	30938,45	0,20	0,000688	-0,000139

5500	23,41	729	153	32118,27	0,21	0,000729	-0,000153
6000	25,54	770	168	33172,44	0,22	0,00077	-0,000168
6500	27,67	809	182	34204,38	0,22	0,000809	-0,000182
7000	29,80	845	195	35266,17	0,23	0,000845	-0,000195
7500	31,93	876	203	36448,03	0,23	0,000876	-0,000203
8000	34,06	902	215	37757,25	0,24	0,000902	-0,000215
8500	36,19	960	235	37693,34	0,24	0,00096	-0,000235
9000	38,31	980	248	39096,09	0,25	0,00098	-0,000248
9500	40,44	1004	253	40281,61	0,25	0,001004	-0,000253
10000	42,57	1011	265	42108,11	0,26	0,001011	-0,000265
10500	44,70	1022	284	43737,64	0,28	0,001022	-0,000284
11000	46,83	1048	299	44683,62	0,28	0,001048	-0,000299
11500	48,96	1076	316	45499,07	0,29	0,001076	-0,000316
12000	51,09	1103	331	46315,11	0,30	0,001103	-0,000331
12500	53,21	1158	344	45953,48	0,30	0,001158	-0,000344
13000	55,34	1223	357	45251,59	0,29	0,001223	-0,000357
13130	55,90	1289	375	43363,94	0,29	0,001289	-0,000375

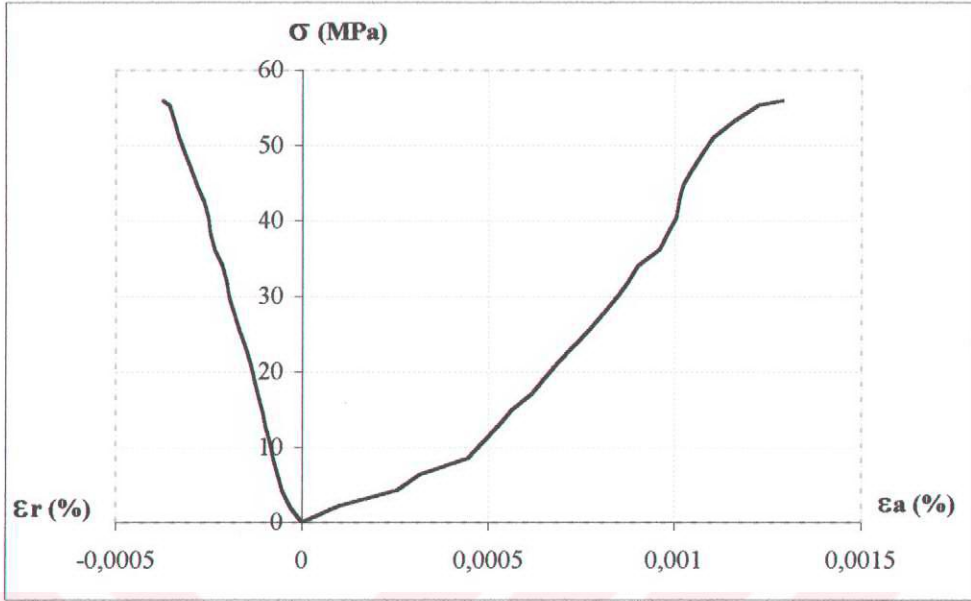
Kırılma Yüğü= 13130 kgf

Yükleme Hızı= 200 kg/sn

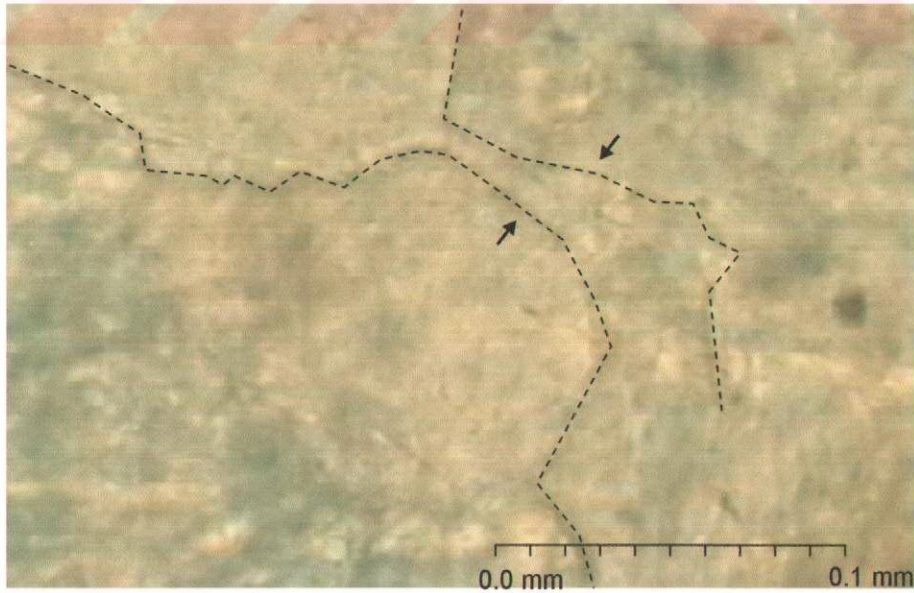
$$E_{\text{tan}} = 54374 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{sec}} = 33823 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,31$$

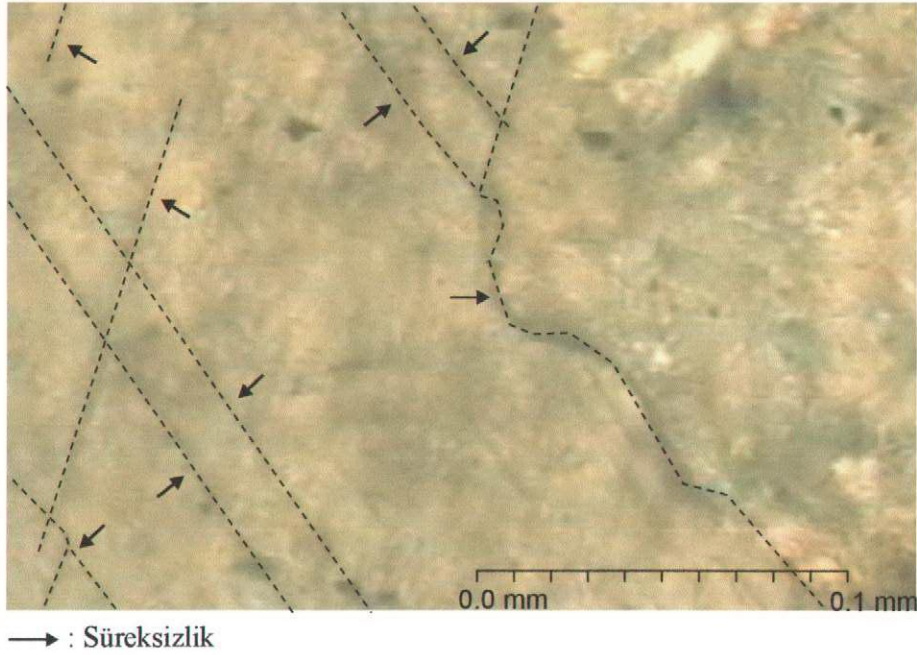


Şekil 2. 21 GM3 Deformasyon Grafiği

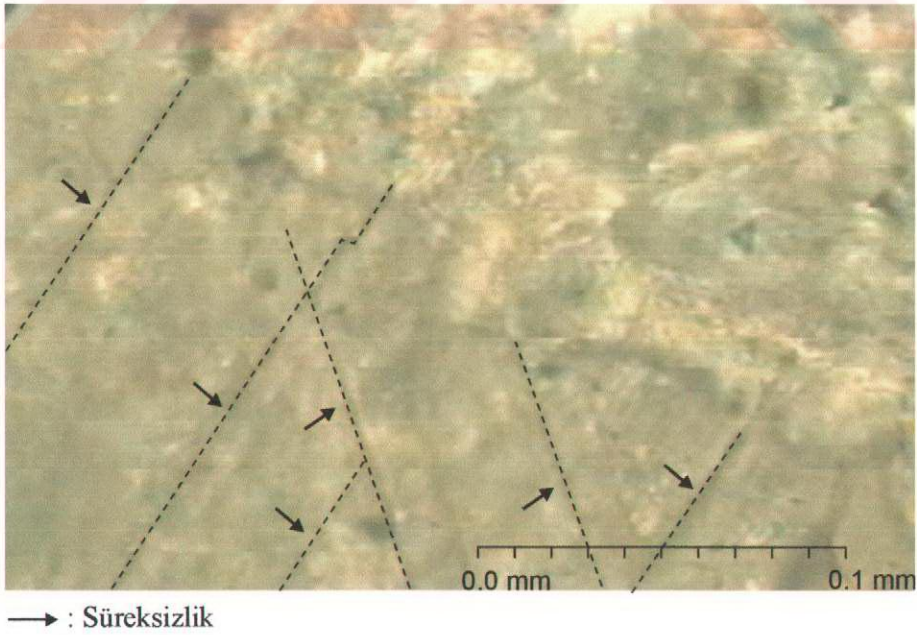


→ : Süreksizlik

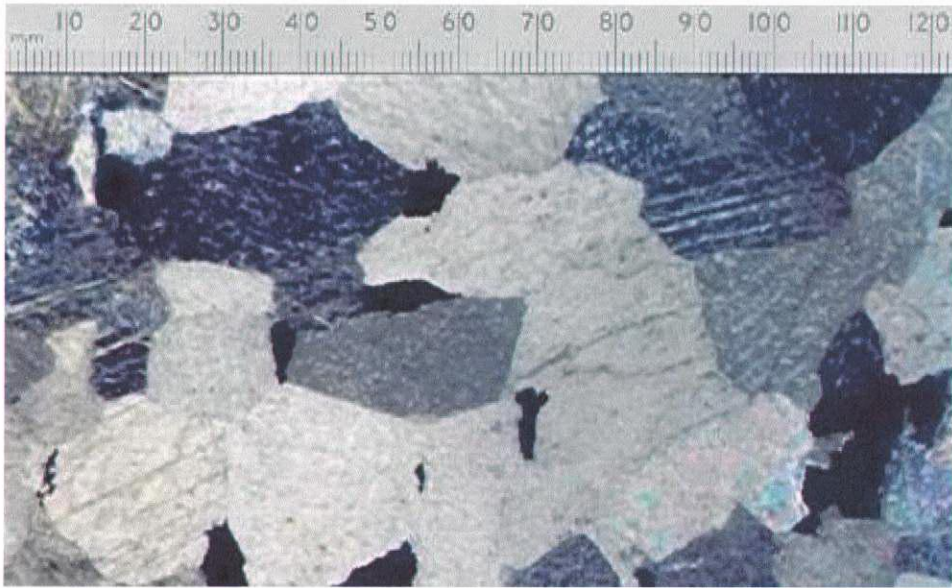
Şekil 2. 22 GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Öncesi Mikroskop Görüntüsü
(1250 Büyültme)



Şekil 2. 23 GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)

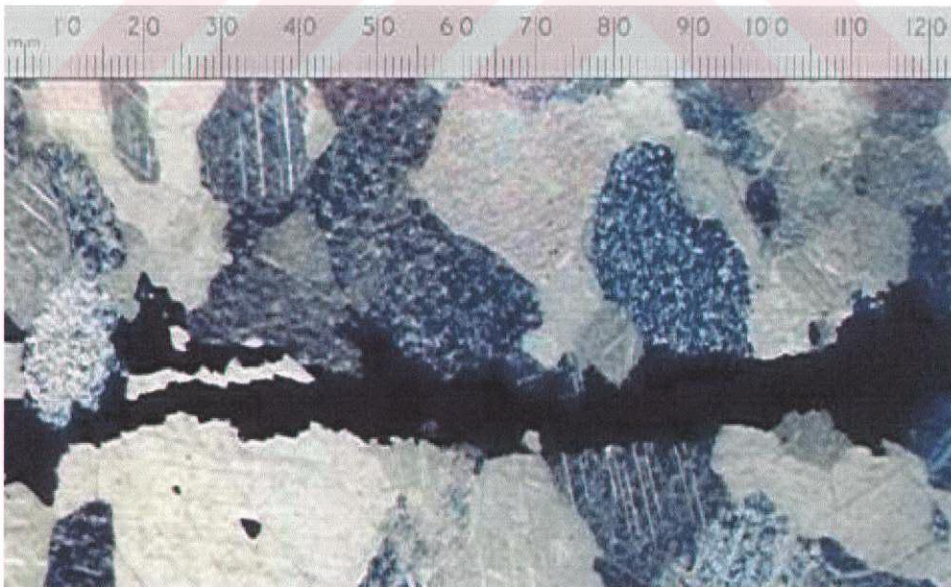


Şekil 2. 24 GM3 Kalsit Kristali Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 25 GM3 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 26 GM3 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

Tablo 2. 4 KÇT1 Deformasyon Deneç Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	59	19	36077,37	0,32	0,000059	-0,000019
1000	4,26	98	27	43440,10	0,26	0,000098	-0,000025
1500	6,39	129	33	49501,52	0,25	0,000129	-0,000032
2000	8,51	163	40	52234,73	0,24	0,000163	-0,000004
2500	10,64	194	49	54859,93	0,25	0,000194	-0,000049
3000	12,77	237	57	53887,73	0,24	0,000237	-0,000057
3500	14,90	271	65	54981,39	0,24	0,000271	-0,000065
4000	17,03	313	73	54404,22	0,23	0,000313	-0,000073
4500	19,16	348	84	55049,10	0,24	0,000348	-0,000084
5000	21,29	387	89	55001,68	0,23	0,000387	-0,000089
5500	23,41	425	94	55092,28	0,22	0,000425	-0,000094
6000	25,54	465	99	54930,71	0,21	0,000465	-0,000099
6500	27,67	503	105	55012,62	0,21	0,000503	-0,000105
7000	29,80	541	109	55083,02	0,20	0,000541	-0,000109
7500	31,93	579	115	55144,18	0,20	0,000579	-0,000115
8000	34,06	598	120	56951,58	0,20	0,000598	-0,00012
8500	36,19	616	125	58742,87	0,20	0,000616	-0,000125
9000	38,31	640	130	59865,90	0,20	0,00064	-0,00013
9500	40,44	664	136	60907,74	0,20	0,000664	-0,000136
10000	42,57	684	147	62238,75	0,22	0,000684	-0,000147
10500	44,70	705	152	63404,07	0,22	0,000705	-0,000152
11000	46,83	716	158	65402,84	0,22	0,000716	-0,000158
11500	48,96	726	165	67433,88	0,23	0,000726	-0,000165
12000	51,09	750	173	68114,09	0,23	0,00075	-0,000173
12500	53,21	774	182	68752,11	0,24	0,000774	-0,000182

13000	55,34	796	187	69526,00	0,24	0,000796	-0,000187
13500	57,47	818	192	70258,26	0,24	0,000818	-0,000192
14000	59,60	837	195	71206,48	0,23	0,000837	-0,000195
14500	61,73	857	213	72028,46	0,25	0,000857	-0,000213
15000	63,86	878	219	72730,02	0,25	0,000878	-0,000219
15500	65,99	900	224	73317,25	0,25	0,0009	-0,000224
16000	68,11	921	230	73956,66	0,25	0,000921	-0,00023
16500	70,24	939	235	74805,81	0,25	0,000939	-0,000235
17000	72,37	958	247	75544,07	0,26	0,000958	-0,000247
17500	74,50	978	254	76175,65	0,26	0,000978	-0,000254
18000	76,63	997	265	76858,92	0,27	0,000997	-0,000265
18500	78,76	1016	276	77516,65	0,27	0,001016	-0,000276
19000	80,89	1032	281	78377,40	0,27	0,001032	-0,000281
19500	83,01	1044	286	79515,37	0,27	0,001044	-0,000286
20000	85,14	1065	294	79946,11	0,28	0,001065	-0,000294
20500	87,27	1085	301	80434,26	0,28	0,001085	-0,000301
21000	89,40	1097	310	81494,75	0,28	0,001097	-0,00031
21500	91,53	1107	319	82681,40	0,29	0,001107	-0,000319
22000	93,66	1111	346	84299,61	0,31	0,001111	-0,000346
22500	95,79	1114	372	85983,34	0,33	0,001114	-0,000372
23000	97,91	1121	385	87345,23	0,34	0,001121	-0,000385
23500	100,04	1128	398	88690,22	0,35	0,001128	-0,000398
24000	102,17	1143	430	89388,57	0,38	0,001143	-0,00043
24500	104,30	1179	482	88464,54	0,41	0,001179	-0,000482
25000	106,43	1235	543	86176,73	0,44	0,001235	-0,000543
25500	108,56	1289	597	84217,86	0,46	0,001289	-0,000597
26000	110,69	1398	605	79174,10	0,43	0,001398	-0,000605
26550	113,03	1574	792	71808,65	0,50	0,001574	-0,000792

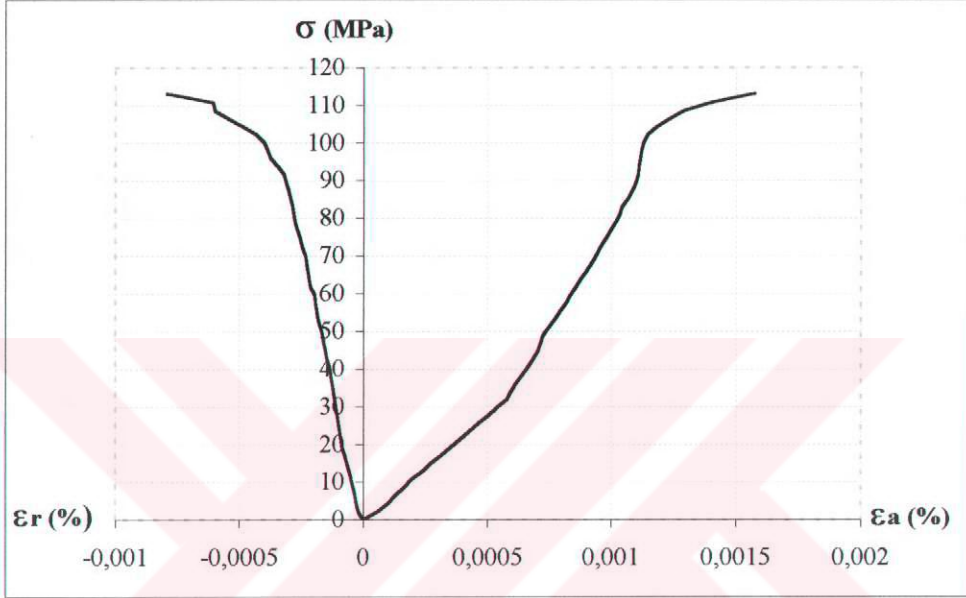
Kırılma Yüğü= 26550 kgf

Yükleme Hızı= 200 kgf/sn

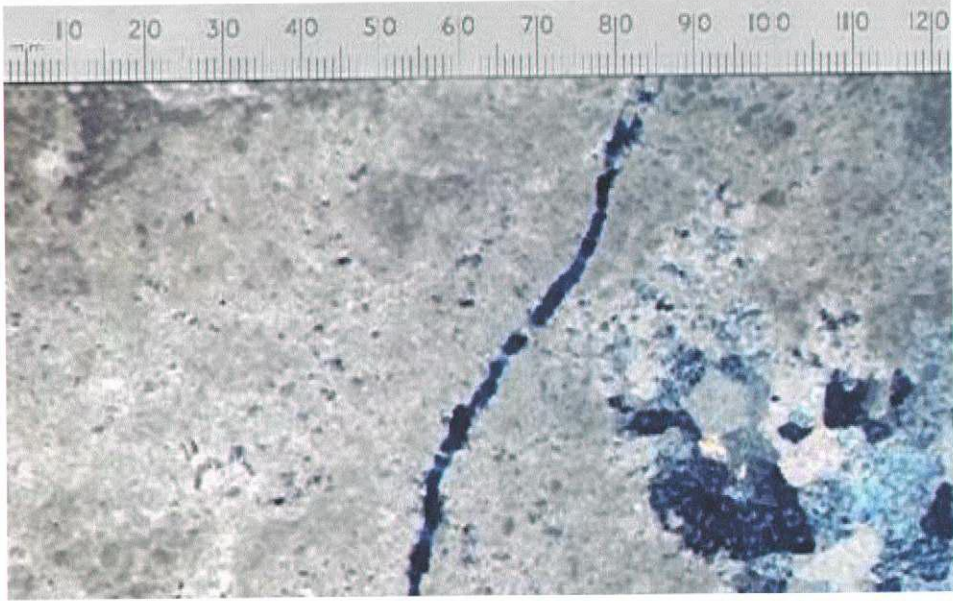
$$E_{\tan} = 56730 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{sec}} = 70625 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,23$$

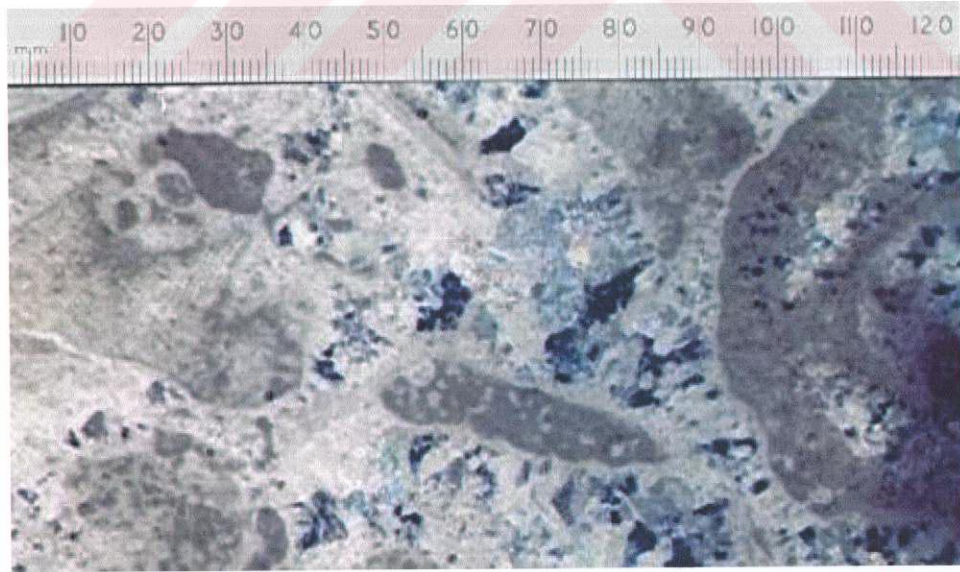


Şekil 2. 27 KÇT1 Deformasyon Grafiğı



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 28 KÇT1 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 29 KÇT1 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

Tablo 2. 5 KÇT2 Deformasyon Deneç Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	32	16	66562,50	0,50	0,000032	-0,000016
1000	4,26	61	22	69789,02	0,36	0,000061	-0,000022
1500	6,39	94	35	67932,93	0,37	0,000094	-0,000035
2000	8,51	122	41	69789,02	0,34	0,000122	-0,000041
2500	10,64	150	49	70952,17	0,33	0,00015	-0,000049
3000	12,77	178	60	71749,39	0,34	0,000178	-0,000060
3500	14,90	206	67	72329,89	0,32	0,000206	-0,000067
4000	17,03	234	76	72771,46	0,32	0,000234	-0,000076
4500	19,16	263	85	72840,63	0,32	0,000263	-0,000085
5000	21,29	285	90	74686,50	0,32	0,000285	-0,000090
5500	23,41	303	96	77274,65	0,32	0,000303	-0,000096
6000	25,54	329	102	77637,64	0,31	0,000329	-0,000102
6500	27,67	356	114	77728,51	0,32	0,000356	-0,000114
7000	29,80	383	125	77806,56	0,33	0,000383	-0,000125
7500	31,93	410	134	77874,34	0,33	0,00041	-0,000134
8000	34,06	433	140	78653,68	0,32	0,000433	-0,000140
8500	36,19	456	145	79354,41	0,32	0,000456	-0,000145
9000	38,31	478	151	80155,18	0,32	0,000478	-0,000151
9500	40,44	487	154	83044,64	0,32	0,000487	-0,000154
10000	42,57	496	157	85829,24	0,32	0,000496	-0,000157
10500	44,70	505	160	88514,59	0,32	0,000505	-0,000160
11000	46,83	522	165	89709,65	0,32	0,000522	-0,000165
11500	48,96	539	172	90829,31	0,32	0,000539	-0,000172
12000	51,09	556	177	91880,51	0,32	0,000556	-0,000177
12500	53,21	578	183	92065,97	0,32	0,000578	-0,000183

13000	55,34	600	188	92237,83	0,31	0,0006	-0,000188
13500	57,47	621	193	92546,31	0,31	0,000621	-0,000193
14000	59,60	629	197	94753,30	0,31	0,000629	-0,000197
14500	61,73	637	201	96904,85	0,32	0,000637	-0,000201
15000	63,86	644	210	99156,77	0,33	0,000644	-0,00021
15500	65,99	655	217	100741,26	0,33	0,000655	-0,000217
16000	68,11	666	224	102273,41	0,34	0,000666	-0,000224
16500	70,24	677	233	103755,77	0,34	0,000677	-0,000233
17000	72,37	703	238	102946,26	0,34	0,000703	-0,000238
17500	74,50	729	242	102194,49	0,33	0,000729	-0,000242
18000	76,63	756	247	101360,25	0,33	0,000756	-0,000247
18500	78,76	778	251	101229,97	0,32	0,000778	-0,000251
19000	80,89	800	255	101106,85	0,32	0,0008	-0,000255
19500	83,01	821	260	101113,33	0,32	0,000821	-0,00026
20000	85,14	839	265	101481,06	0,32	0,000839	-0,000265
20500	87,27	857	270	101833,34	0,32	0,000857	-0,00027
21000	89,40	875	275	102171,13	0,31	0,000875	-0,000275
21500	91,53	886	276	103305,09	0,31	0,000886	-0,000276
22000	93,66	897	278	104411,23	0,31	0,000897	-0,000278
22500	95,79	907	280	105606,88	0,31	0,000907	-0,00028
23000	97,91	925	283	105852,97	0,31	0,000925	-0,000283
23500	100,04	932	285	107341,81	0,31	0,000932	-0,000285
24000	102,17	945	286	108117,60	0,30	0,000945	-0,000286
24500	104,30	965	292	108082,59	0,30	0,000965	-0,000292
25000	106,43	972	294	109494,10	0,30	0,000972	-0,000294
25500	108,56	986	297	110098,20	0,30	0,000986	-0,000297
26000	110,69	1114	307	99358,52	0,28	0,001114	-0,000307
26280	111,88	1250	319	89501,96	0,26	0,00125	-0,000319

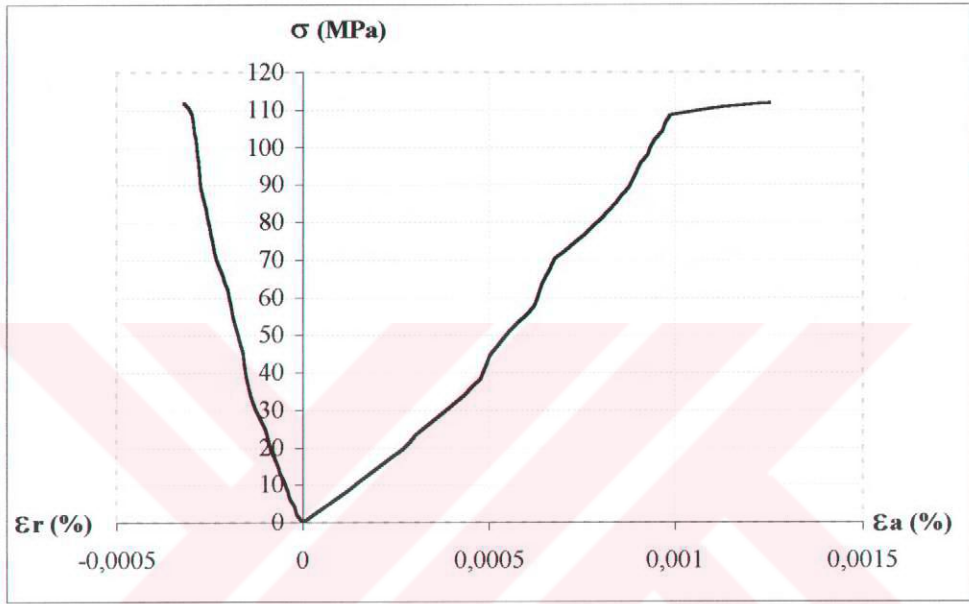
Kırılma Yüğü= 26280 kgf

Yükleme Hızı= 200 kgf/sn

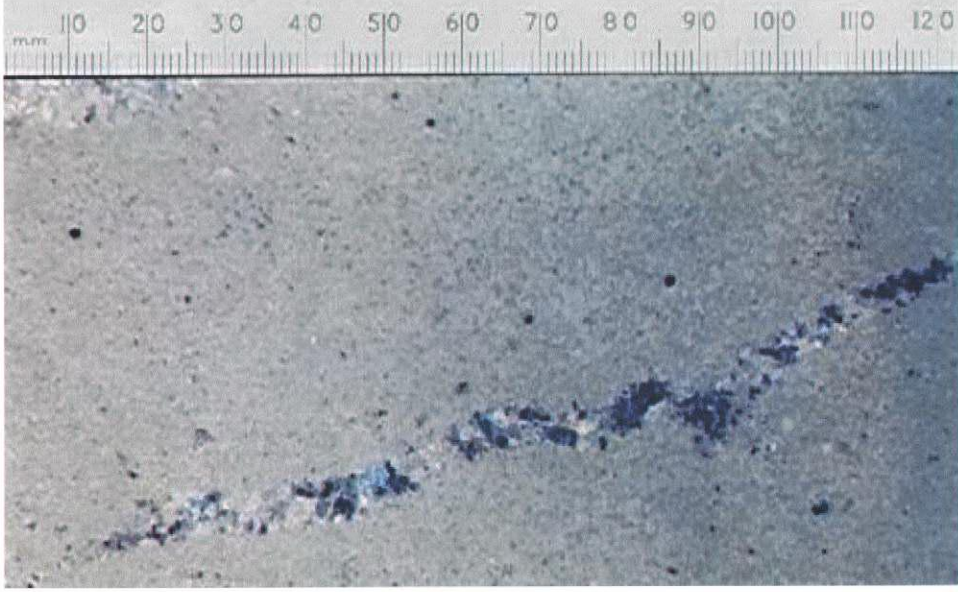
$$E_{tan} = 80208 \text{ MPa}$$

$$E_{sec} = 93233 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,31$$

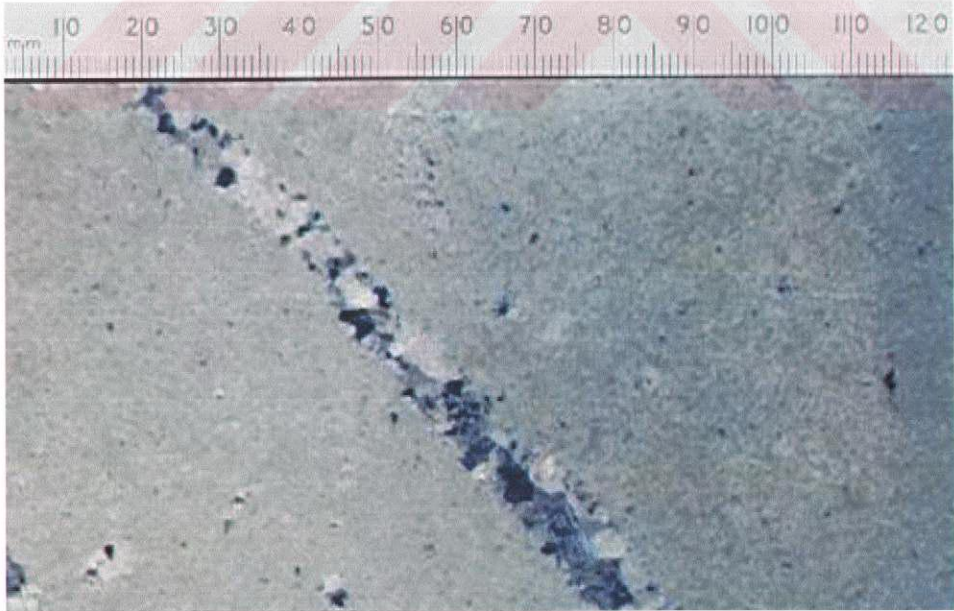


Şekil 2. 30 KÇT2 Deformasyon Grafiğı



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 31 KÇT2 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 32 KÇT2 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

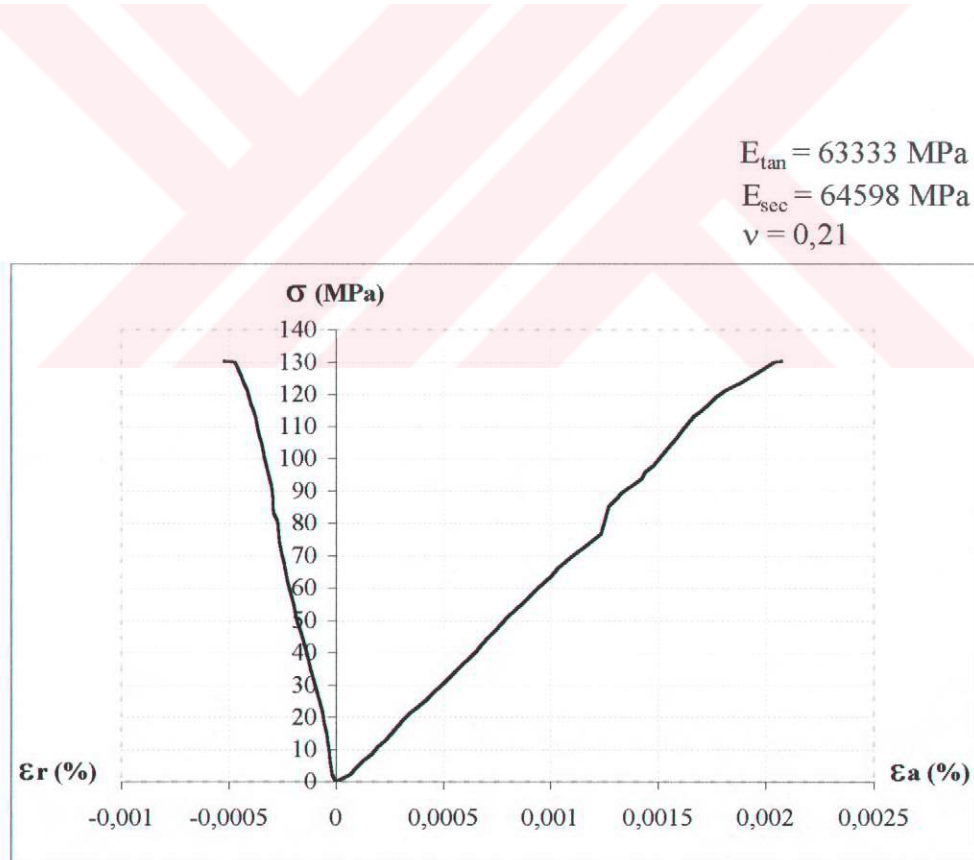
Tablo 2. 6 KÇT3 Deformasyon Denev Sonuçları

P, kgf	σ , MPa	ϵ_a ($\times 10^{-6}$)	ϵ_r ($\times 10^{-6}$)	E, MPa	V	ϵ_a	ϵ_r
0	0	0	0	0	0	0	0
500	2,13	64	19	33281,25	0,30	0,000064	-0,000019
1000	4,26	92	22	46273,16	0,24	0,000092	-0,000022
1500	6,39	126	26	50680,12	0,21	0,000126	-0,000026
2000	8,51	168	31	50680,12	0,18	0,000168	-0,000031
2500	10,64	194	34	54859,93	0,18	0,000194	-0,000034
3000	12,77	229	39	55770,27	0,17	0,000229	-0,000039
3500	14,90	258	43	57751,77	0,17	0,000258	-0,000043
4000	17,03	286	50	59540,28	0,18	0,000286	-0,00005
4500	19,16	315	56	60816,15	0,18	0,000315	-0,000056
5000	21,29	344	61	61876,90	0,18	0,000344	-0,000061
5500	23,41	383	68	61133,73	0,18	0,000383	-0,000068
6000	25,54	422	78	60527,92	0,18	0,000422	-0,000078
6500	27,67	456	87	60682,78	0,19	0,000456	-0,000087
7000	29,80	489	96	60940,52	0,20	0,000489	-0,000096
7500	31,93	523	105	61048,71	0,20	0,000523	-0,000105
8000	34,06	556	114	61253,67	0,20	0,000556	-0,000114
8500	36,19	588	122	61540,15	0,21	0,000588	-0,000122
9000	38,31	620	130	61797,05	0,21	0,00062	-0,00013
9500	40,44	652	138	62028,74	0,21	0,000652	-0,000138
10000	42,57	683	148	62329,87	0,22	0,000683	-0,000148
10500	44,70	713	157	62692,66	0,22	0,000713	-0,000157
11000	46,83	743	166	63026,16	0,22	0,000743	-0,000166
11500	48,96	773	176	63333,76	0,23	0,000773	-0,000176
12000	51,09	803	184	63618,39	0,23	0,000803	-0,000184
12500	53,21	837	192	63577,22	0,23	0,000837	-0,000192

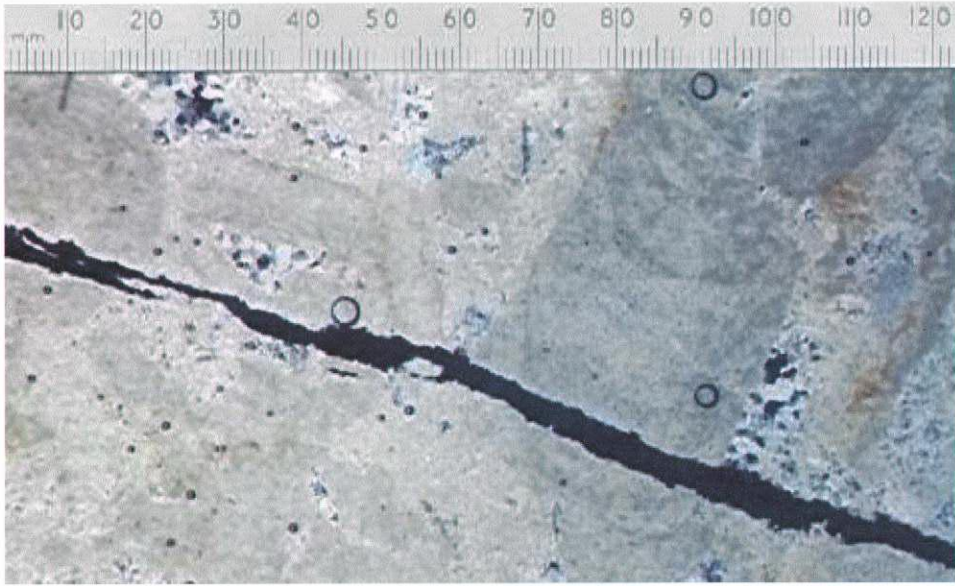
27000	114,94	1704	383	67454,53	0,22	0,001704	-0,000383
27500	117,07	1737	393	67398,44	0,23	0,001737	-0,000393
28000	119,20	1770	402	67344,44	0,23	0,001770	-0,000402
28500	121,33	1816	411	66810,69	0,23	0,001816	-0,000411
29000	123,46	1878	426	65738,44	0,23	0,001878	-0,000426
29500	125,59	1932	440	65002,77	0,23	0,001932	-0,000440
30000	127,71	1986	454	64307,11	0,23	0,001986	-0,000454
30500	129,84	2039	469	63679,49	0,23	0,002039	-0,000469
30610	130,31	2072	521	62891,29	0,25	0,002072	-0,000521

Kırılma Yüğü= 30610 kgf

Yükleme Hızı= 200 kgf/sn

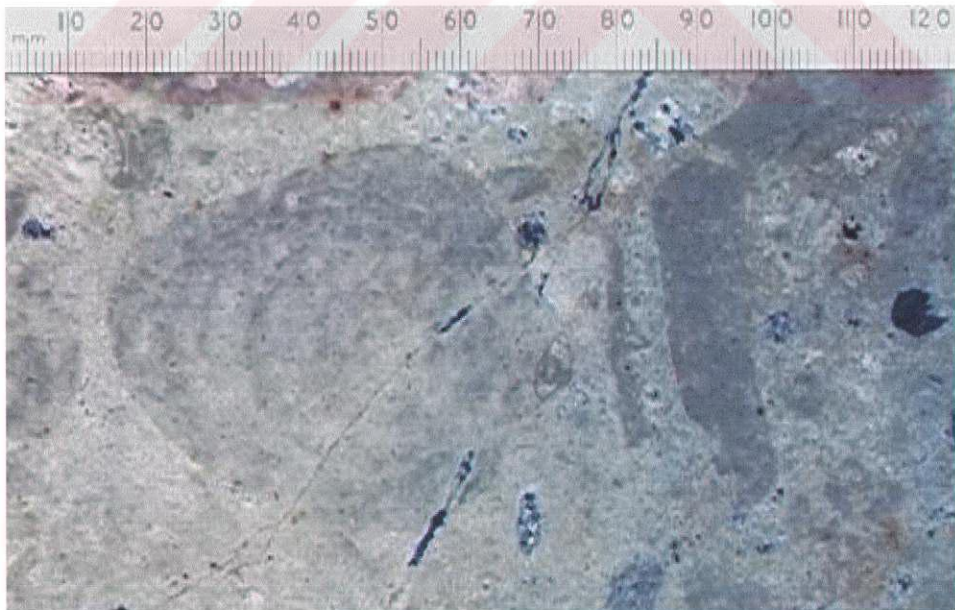


Şekil 2. 33 KÇT3 Deformasyon Grafiğı



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 34 KÇT3 Deformasyon Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 2. 35 KÇT3 Deformasyon Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü
(400 Büyültme)**

BÖLÜM 3

ZAMANA BAĞLI DEFORMASYON (CREEP)

3. 1 Zamana Bağlı Deformasyon (Creep)

Creep deneylerinde sabit yük değeri önemlidir. Yük arttıkça deformasyon miktarı artar, kırılma süresi azalır. Yük ve zaman arasında ters bir orantı vardır. Bu nedenle, creep deney süresi, uygulanan yük değerine bağlı olarak birkaç dakika ile birkaç yıl arasında değişir, daha da uzun sürebilir. Creep deneylerinde, uygulanan yükün yanı sıra çalışma koşulları ve bu koşulların sürekliliği de önemlidir. Ortam ısı ve nem miktarı, deformasyon gelişiminde ve strain gaugein başarısında, özellikle kil, kaya tuzu gibi yumuşak ve duyarlı malzemelerde önemlidir.

Uygulamada, zamana bağlı deformasyon deneylerinin başarısı ve verimliliği için örneklere uygulanan maksimum yük miktarı, tek eksenli basınç dayanım değerinin % 75' i olarak seçilir. Zamana bağlı deformasyon deneylerinde yükleme hızı 2 tonf/dk, deney süresi, laboratuvar koşullarına ve çalışma süresine bağlı olarak 7 saat seçilmiştir. Deneyler sırasında havadaki sıcaklık değişimi +1 °C ölçülmüştür.

Deformasyon deneylerinde olduğu gibi, zamana bağlı deformasyon deneylerinde de tabakalanmaya dik yönde alınmış silindir (B 66 ve $h=2R$) örnekler kullanılmıştır. Deneyler sırasında örnekler, mermer kesme ve işleme makinalarının mermere uyguladığı basınç değeri (II. grup, genel olarak maksimum 5000 kgf) ve örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük değerleri esas alınarak belirlenmiş yükler (III. grup) altında 7 saat süre ile tutulmuştur. Zamana bağlı deformasyon çalışmalarında, deformasyon deneylerinde kullanılan strain gauge özellikleri ile aynı, fakat sadece dikey yönde yerleştirilmiş strain gauge ile

deformasyon ölçümü yapılmış ve örneklerin zamana bağlı deformasyon grafikleri çizilmiştir.

Zamana bağlı deformasyon deneyleri sonrası, deformasyon deneylerinde olduğu gibi, kristalize mermer örneklerinden (GM1, GM2, GM3) alınan ince kesitler tek bir kristalde (1250 büyültmeli) ve kristaller arası genel durumu (400 büyültmeli) görmek üzere iki ayrı ölçekte, kireçtaşı örneklerinden (KÇT1, KÇT2, KÇT3) alınan ince kesitler, sadece genel durumu (400 büyültmeli) görmek amacıyla mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, örneklerin deney öncesi ve deney sonrası boy ve çapları ölçülerek olası değişimler araştırılmıştır. Burada,

h_1 = Zamana bağlı deformasyon öncesi örnek boyu, cm

h_2 = Zamana bağlı deformasyon sonrası örnek boyu, cm

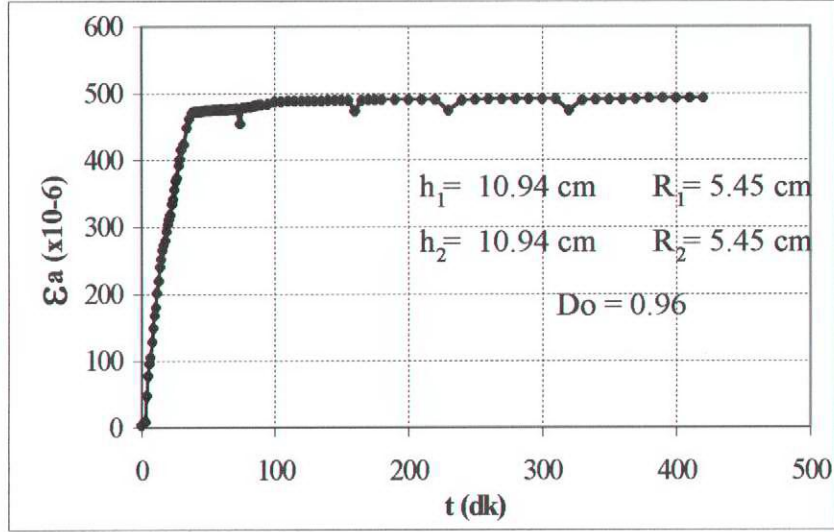
R_1 = Zamana bağlı deformasyon öncesi örnek çapı, cm

R_2 = Zamana bağlı deformasyon sonrası örnek çapı, cm

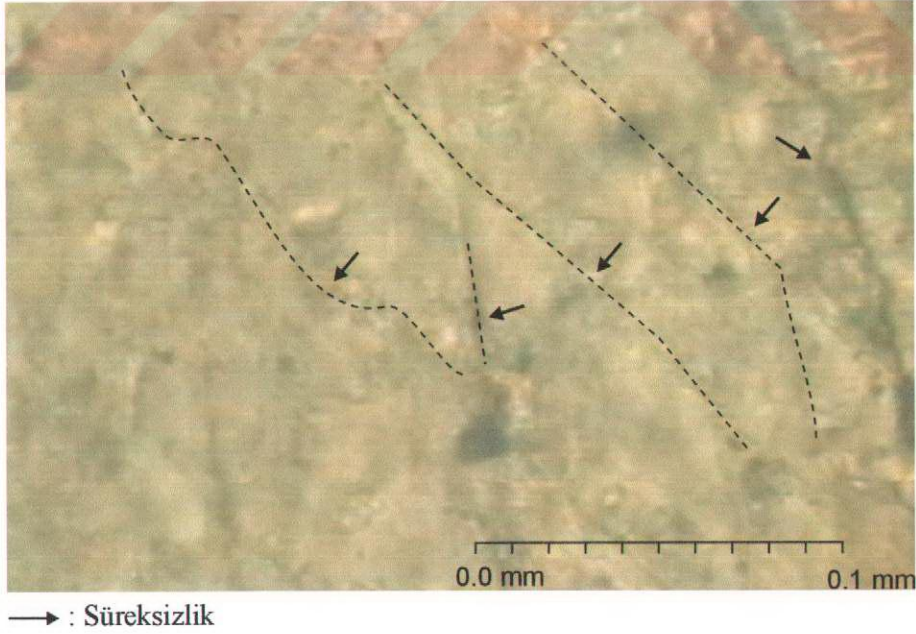
Tablo 3. 1 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$
0	4	40	472	135	488
1	6	42	472	140	489
2	7	44	472	145	489
3	9	46	473	150	489
4	48	48	474	155	489
5	78	50	474	160	473
6	96	52	474	165	489
7	105	54	475	170	490
8	129	56	475	175	490

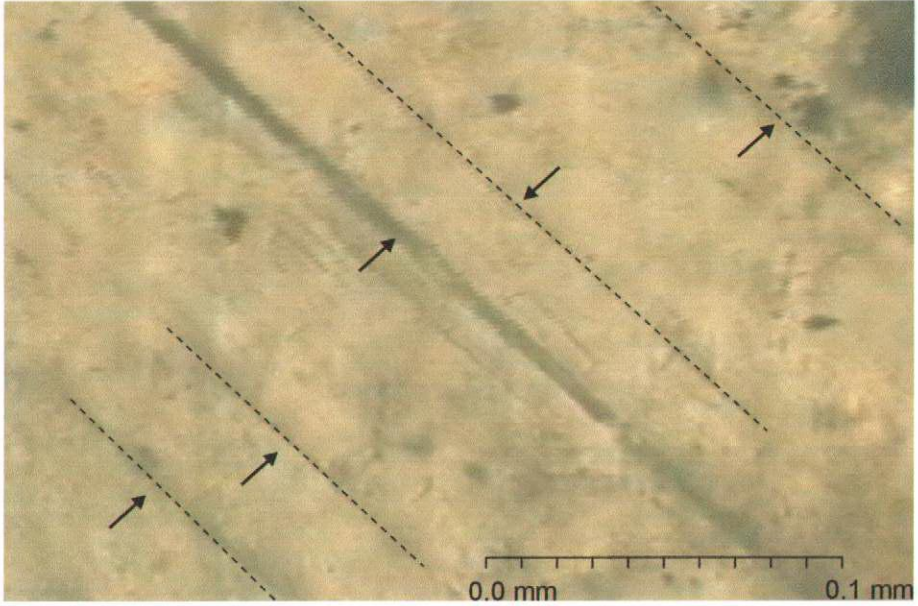
9	149	58	475	180	490
10	168	60	476	190	490
11	180	62	475	200	490
12	202	64	475	210	490
13	220	66	476	220	490
14	241	68	476	230	474
15	252	70	476	240	489
16	265	72	477	250	490
17	273	74	455	260	491
18	280	76	478	270	491
19	294	78	478	280	491
20	304	80	479	290	491
21	311	82	479	300	491
22	318	84	480	310	491
23	335	86	481	320	474
24	342	88	482	330	489
25	356	90	482	340	490
26	369	95	483	350	490
27	374	100	487	360	490
28	392	105	487	370	491
29	401	110	488	380	492
30	416	115	488	390	492
32	424	120	488	400	492
34	448	125	488	410	492
36	462	130	488	420	492
38	471				



Şekil 3. 1 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği

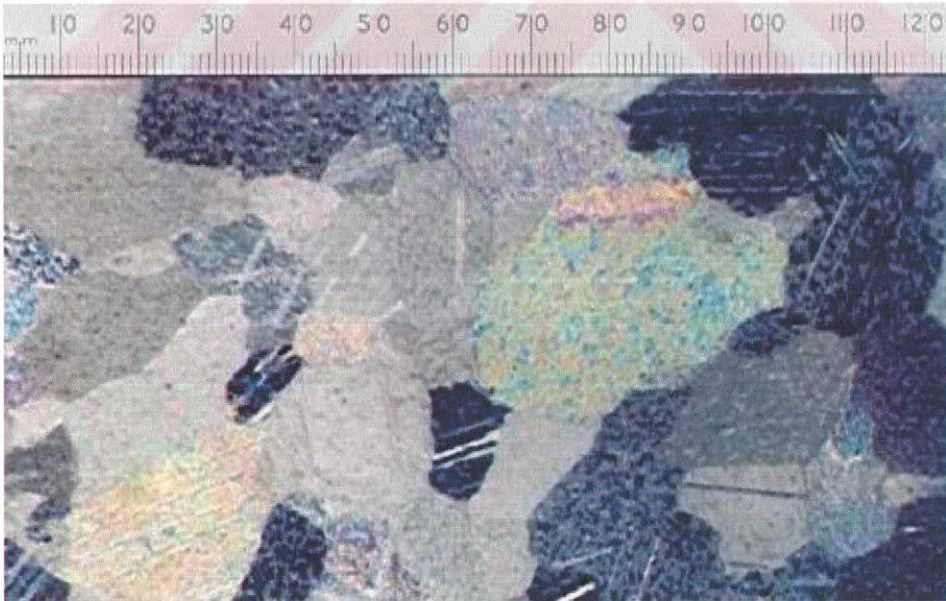


Şekil 3. 2 GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



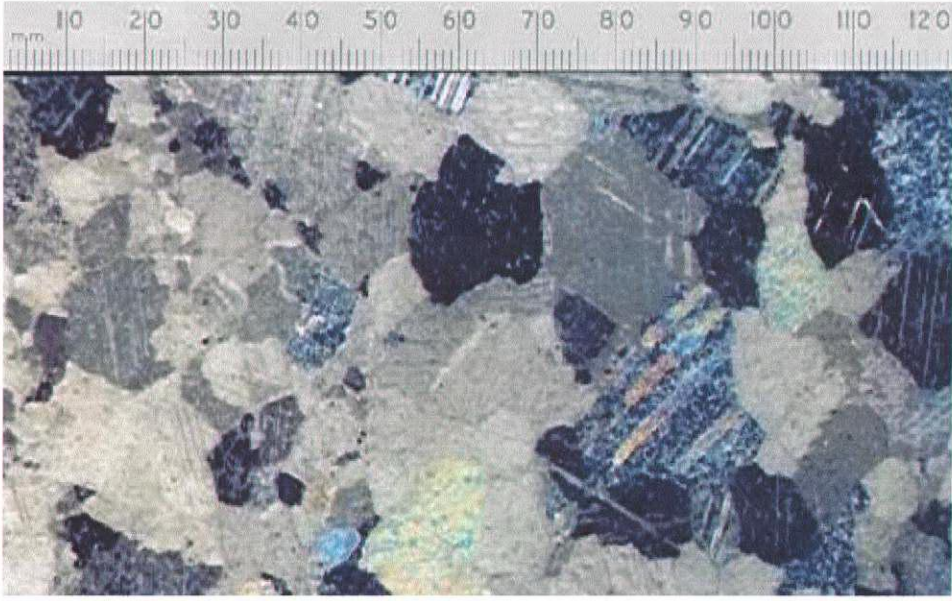
→ : Süreksizlik

**Şekil 3. 3 GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası
Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)**



1 cm: 320 µm

**Şekil 3. 4 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



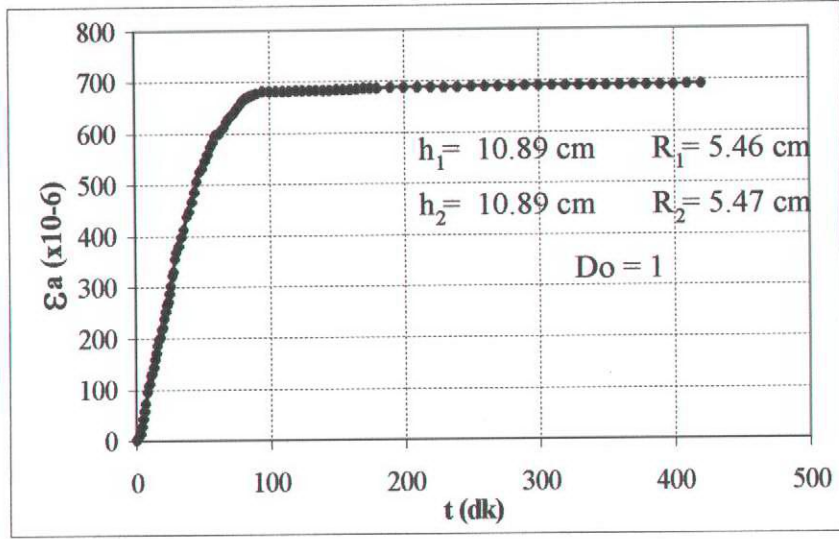
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 5 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

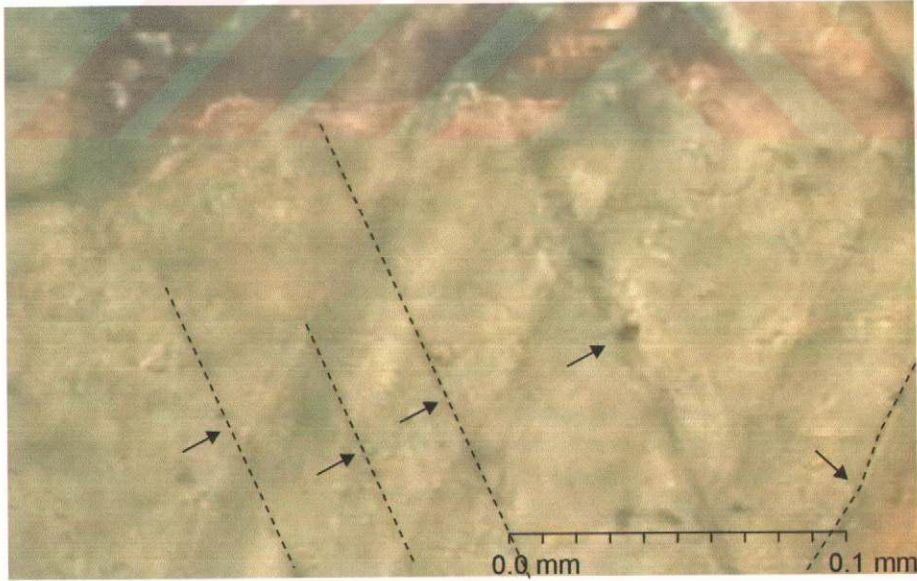
Tablo 3. 2 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (14000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	2	40	449	135	682
1	4	42	467	140	682
2	9	44	486	145	682
3	14	46	507	150	683
4	28	48	526	155	683
5	43	50	532	160	683
6	58	52	547	165	684
7	73	54	559	170	686
8	96	56	575	175	686

9	108	58	582	180	686
10	112	60	596	190	687
11	127	62	599	200	687
12	132	64	605	210	687
13	144	66	612	220	687
14	159	68	622	230	687
15	171	70	629	240	687
16	187	72	635	250	688
17	199	74	641	260	688
18	203	76	649	270	688
19	217	78	655	280	689
20	221	80	662	290	690
21	239	82	667	300	690
22	254	84	670	310	690
23	266	86	672	320	690
24	272	88	674	330	690
25	288	90	677	340	690
26	302	95	680	350	690
27	322	100	680	360	690
28	331	105	681	370	691
29	355	110	681	380	690
30	368	115	681	390	690
32	381	120	682	400	690
34	398	125	682	410	691
36	412	130	682	420	691
38	438				

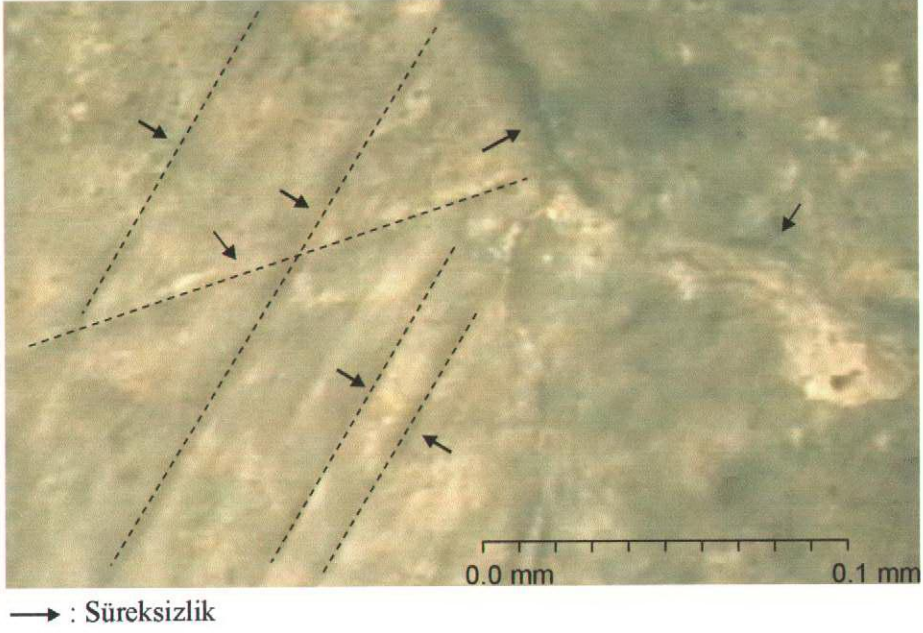


Şekil 3. 6 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Grafiği

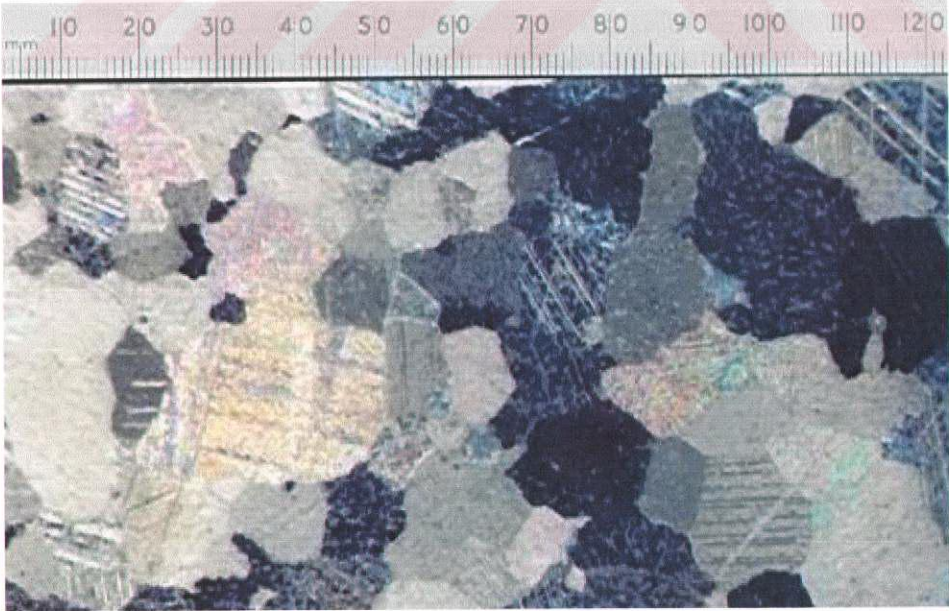


→ : Süreksizlik

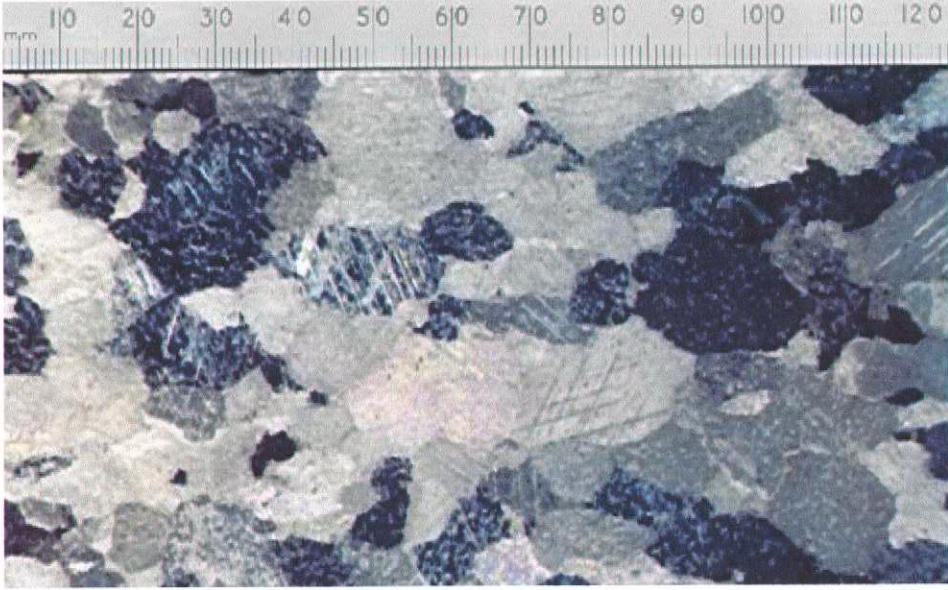
Şekil 3. 7 GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 3. 8 GM1 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 3. 9 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



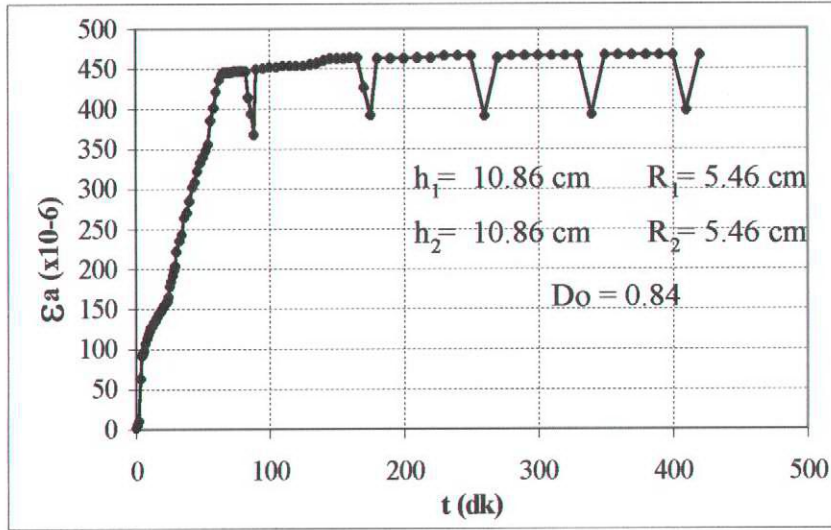
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 10 GM1 Zamana Bağlı Deformasyon (14000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

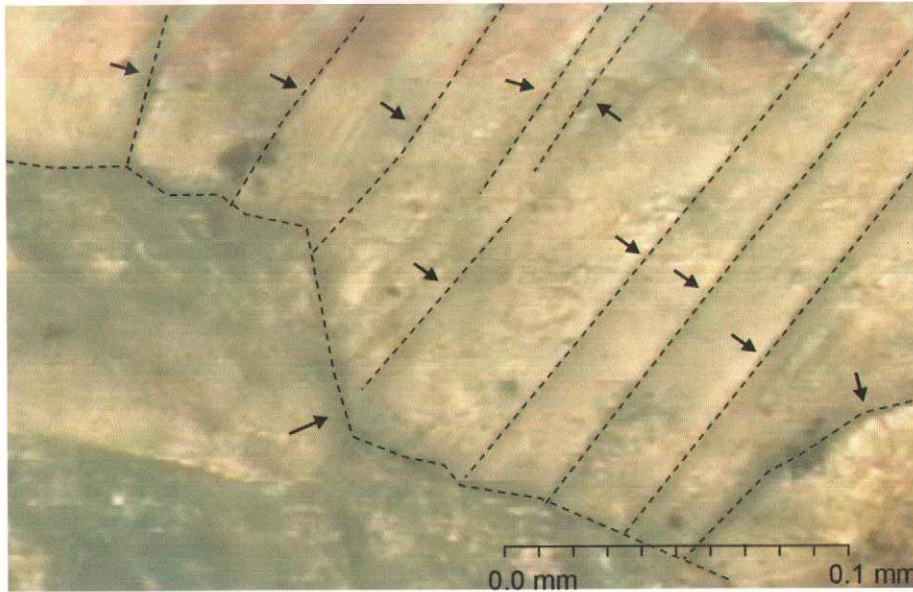
Tablo 3. 3 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	2	40	285	135	457
1	6	42	303	140	460
2	10	44	309	145	463
3	63	46	322	150	463
4	92	48	333	155	463
5	95	50	340	160	464
6	99	52	348	165	464
7	107	54	356	170	427
8	114	56	385	175	392
9	119	58	401	180	463

10	123	60	422	190	463
11	127	62	436	200	463
12	129	64	443	210	464
13	133	66	445	220	464
14	135	68	445	230	466
15	138	70	445	240	466
16	141	72	446	250	466
17	145	74	447	260	391
18	147	76	447	270	464
19	150	78	447	280	466
20	152	80	447	290	466
21	155	82	447	300	466
22	157	84	414	310	466
23	160	86	394	320	466
24	165	88	368	330	466
25	179	90	449	340	393
26	185	95	450	350	467
27	192	100	452	360	467
28	198	105	452	370	467
29	204	110	454	380	467
30	222	115	454	390	467
32	235	120	454	400	467
34	243	125	454	410	398
36	264	130	455	420	467
38	271				

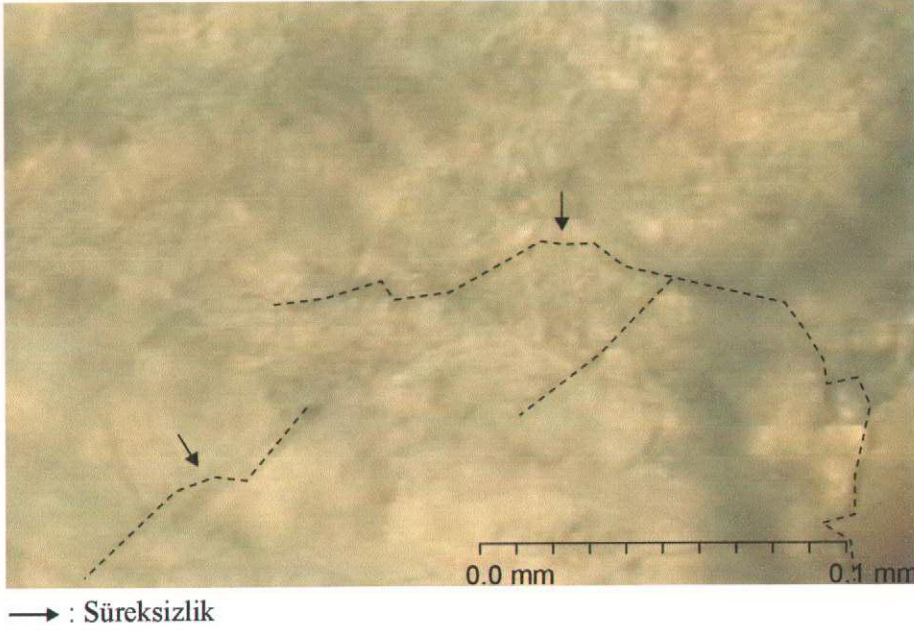


Şekil 3. 11 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği

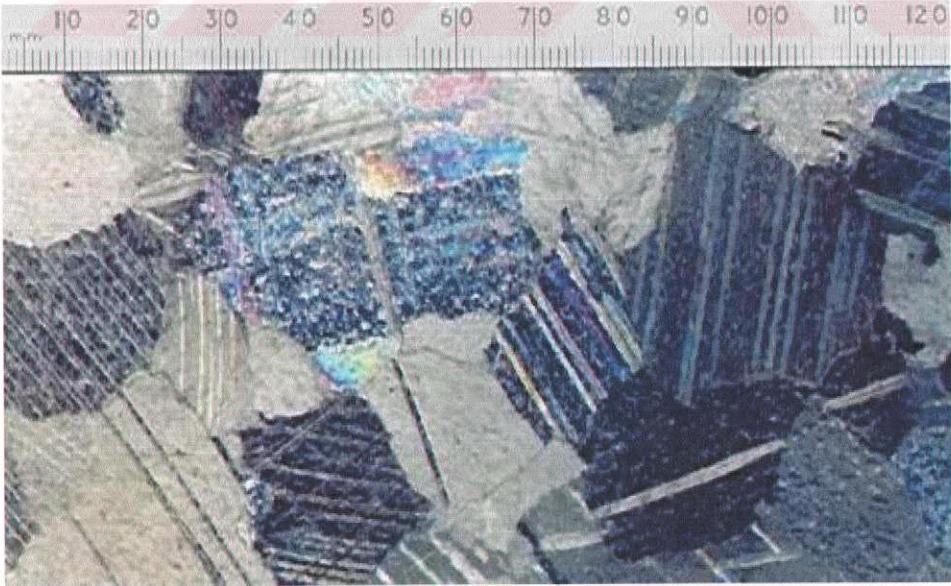


→ : Süreksizlik

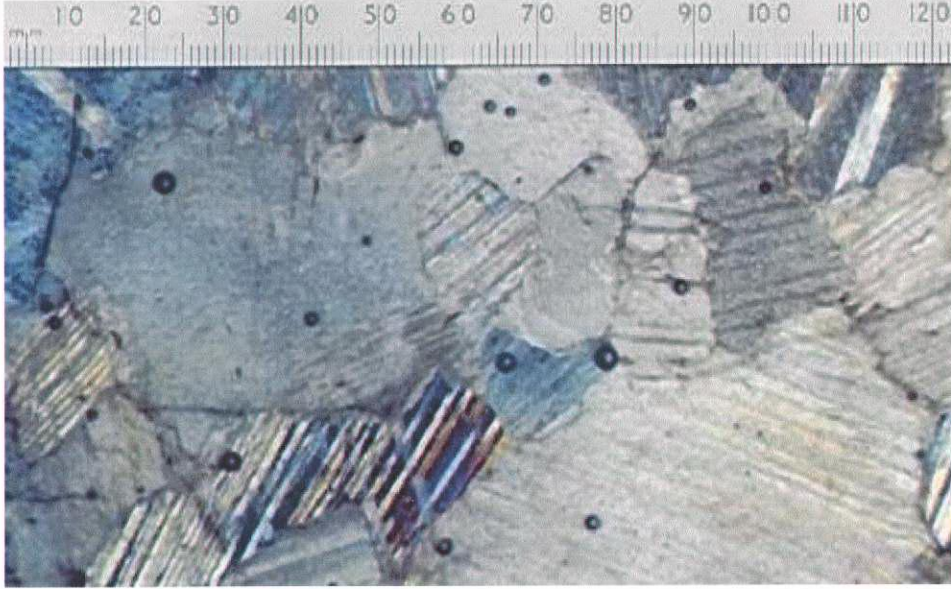
Şekil 3. 12 GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 3. 13 GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



Şekil 3. 14 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



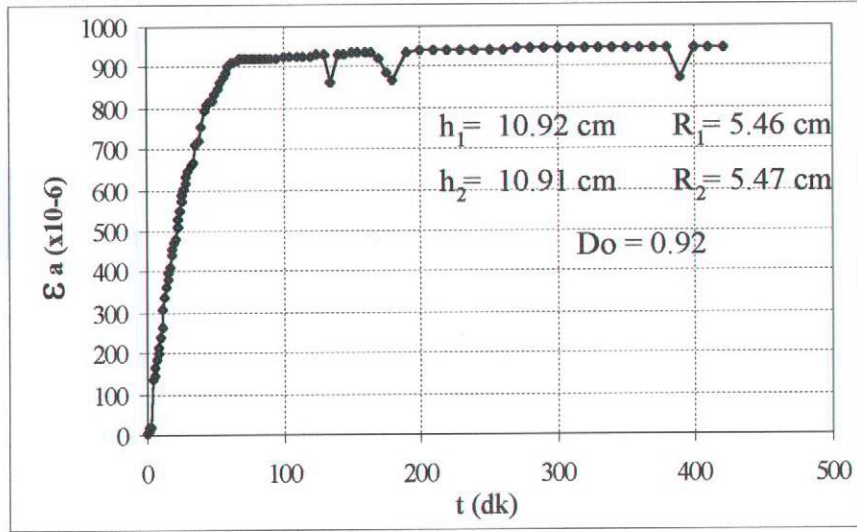
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 15 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

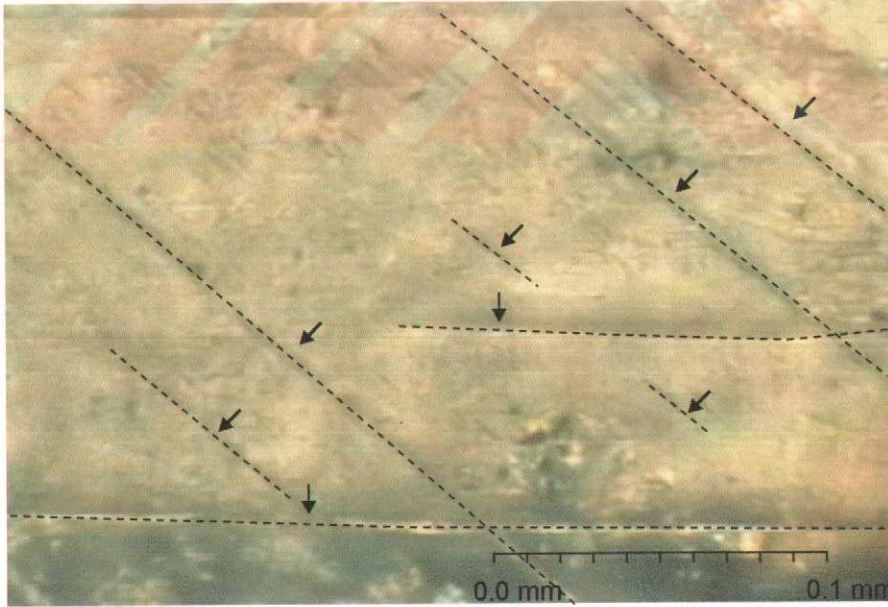
Tablo 3. 4 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (9000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$
0	3	40	753	135	865
1	8	42	792	140	932
2	18	44	807	145	933
3	19	46	814	150	935
4	135	48	820	155	935
5	146	50	833	160	938
6	166	52	850	165	938
7	188	54	865	170	923
8	201	56	877	175	887
9	217	58	889	180	868

10	239	60	903	190	938
11	265	62	912	200	939
12	308	64	914	210	939
13	338	66	918	220	939
14	362	68	920	230	939
15	382	70	922	240	940
16	398	72	922	250	942
17	414	74	922	260	942
18	443	76	922	270	945
19	455	78	922	280	947
20	471	80	922	290	947
21	482	82	922	300	947
22	509	84	922	310	947
23	530	86	923	320	947
24	551	88	924	330	947
25	574	90	924	340	948
26	590	95	924	350	948
27	601	100	925	360	948
28	619	105	925	370	948
29	632	110	925	380	948
30	645	115	926	390	873
32	662	120	928	400	947
34	669	125	932	410	948
36	709	130	932	420	948
38	722				

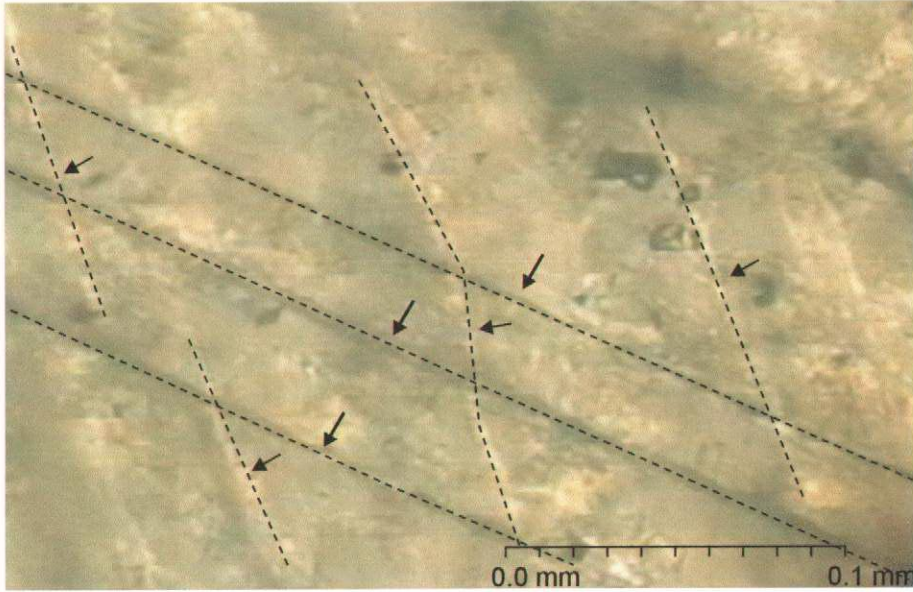


Şekil 3. 16 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Grafiği



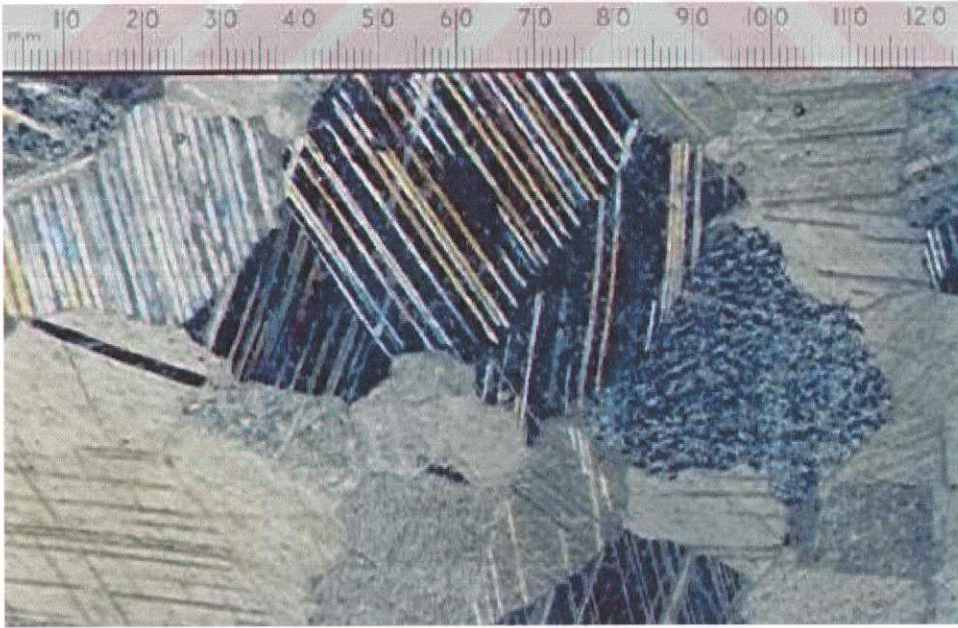
→ : Süreksizlik

Şekil 3. 17 GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



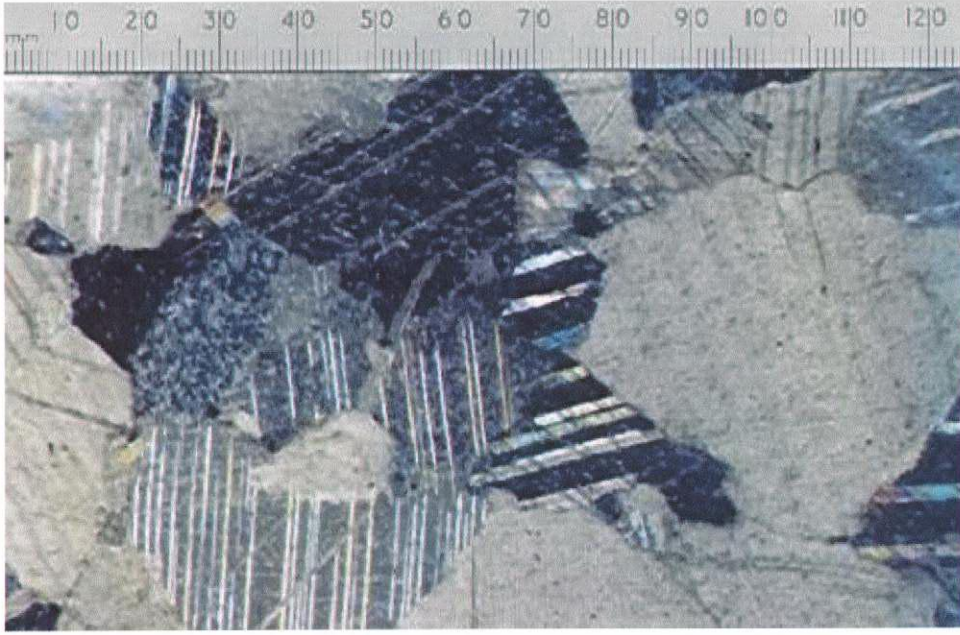
→ : Süreksizlik

**Şekil 3. 18 GM2 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası
Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)**



1 cm: 320 µm

**Şekil 3. 19 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



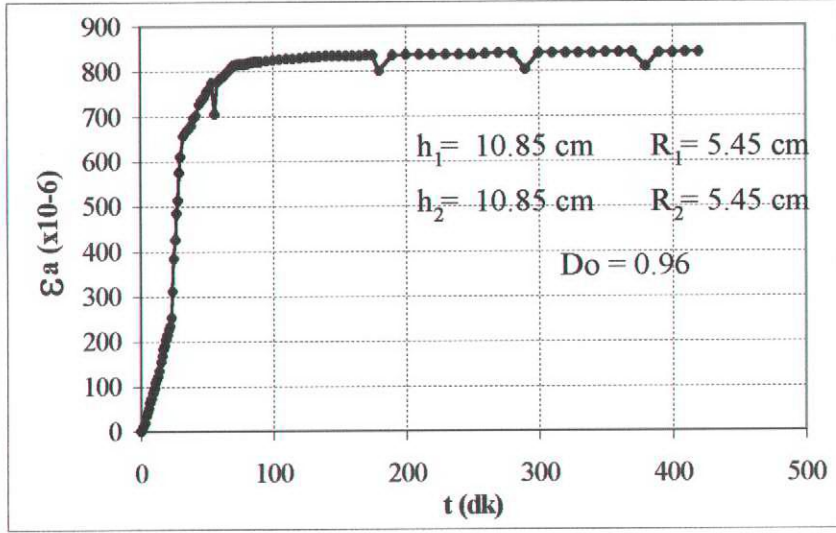
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 20 GM2 Zamana Bağlı Deformasyon (9000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

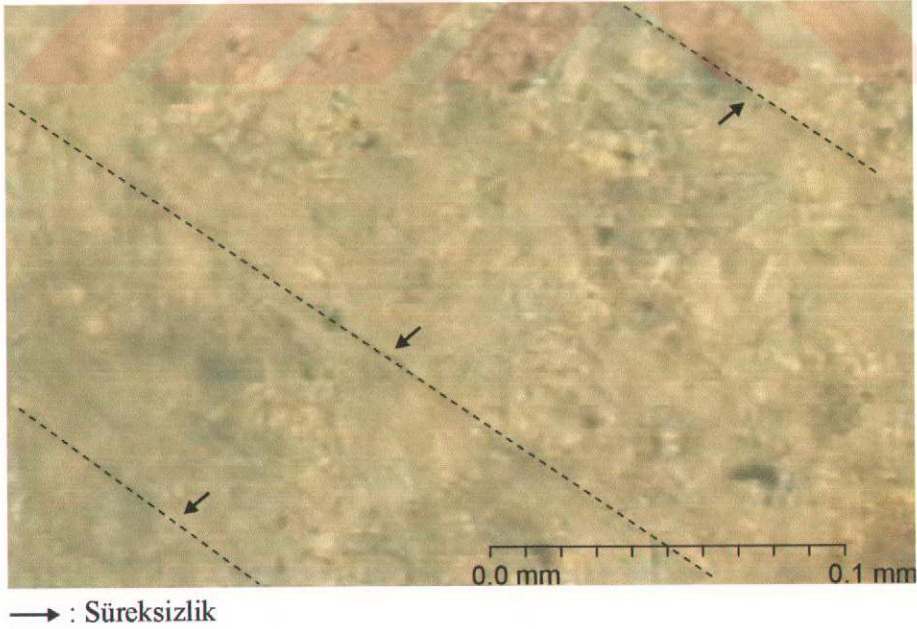
Tablo 3. 5 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon Denei Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$
0	2	40	696	135	832
1	5	42	702	140	833
2	12	44	726	145	833
3	20	46	735	150	833
4	35	48	741	155	833
5	43	50	756	160	833
6	52	52	762	165	834
7	65	54	775	170	835
8	74	56	706	175	835

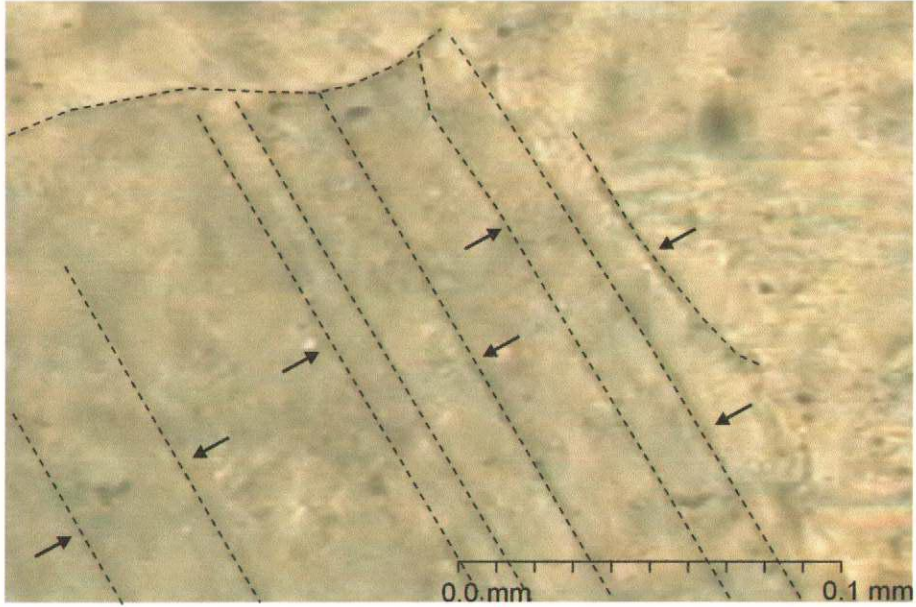
9	86	58	777	180	801
10	97	60	782	190	835
11	109	62	789	200	836
12	116	64	793	210	836
13	124	66	799	220	836
14	135	68	806	230	836
15	156	70	813	240	837
16	169	72	814	250	837
17	184	74	815	260	838
18	192	76	816	270	839
19	205	78	816	280	839
20	216	80	817	290	803
21	228	82	819	300	839
22	235	84	820	310	839
23	253	86	821	320	839
24	312	88	822	330	840
25	384	90	822	340	840
26	426	95	823	350	841
27	485	100	824	360	841
28	514	105	826	370	841
29	576	110	827	380	810
30	611	115	828	390	839
32	658	120	829	400	840
34	665	125	830	410	841
36	671	130	831	420	841
38	680				



Şekil 3. 21 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği

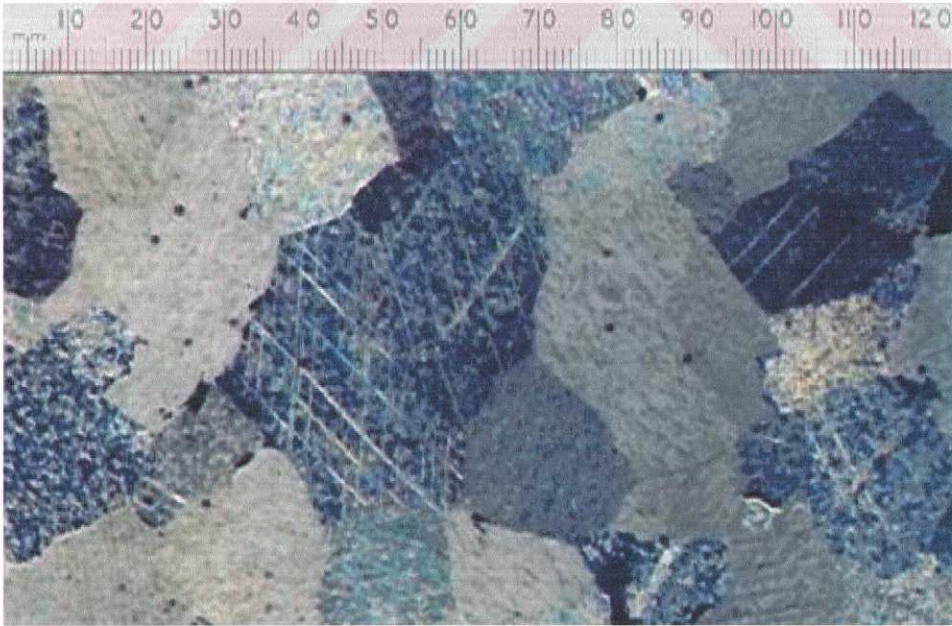


Şekil 3. 22 GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



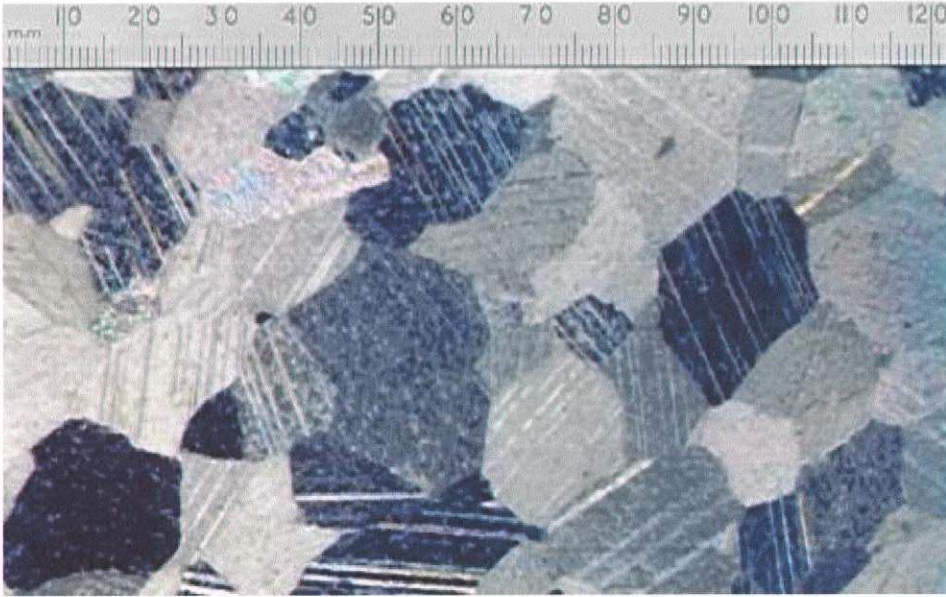
→ : Süreksizlik

Şekil 3. 23 GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 µm

Şekil 3. 24 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



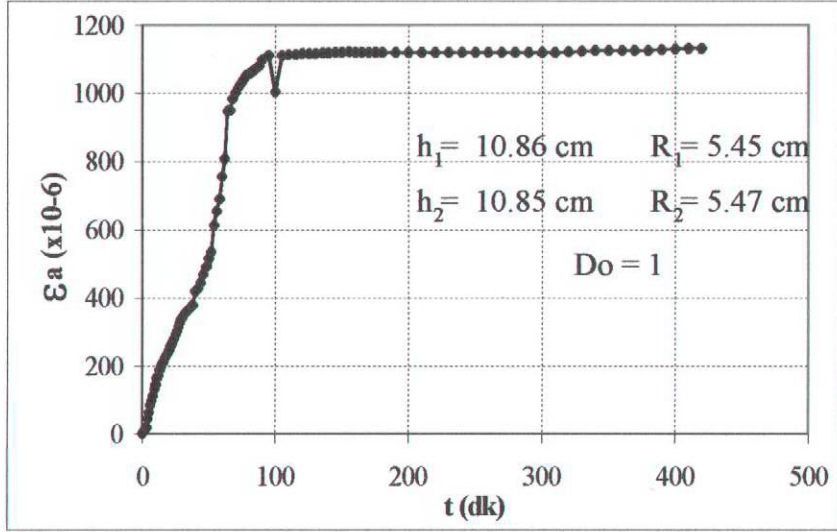
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 25 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

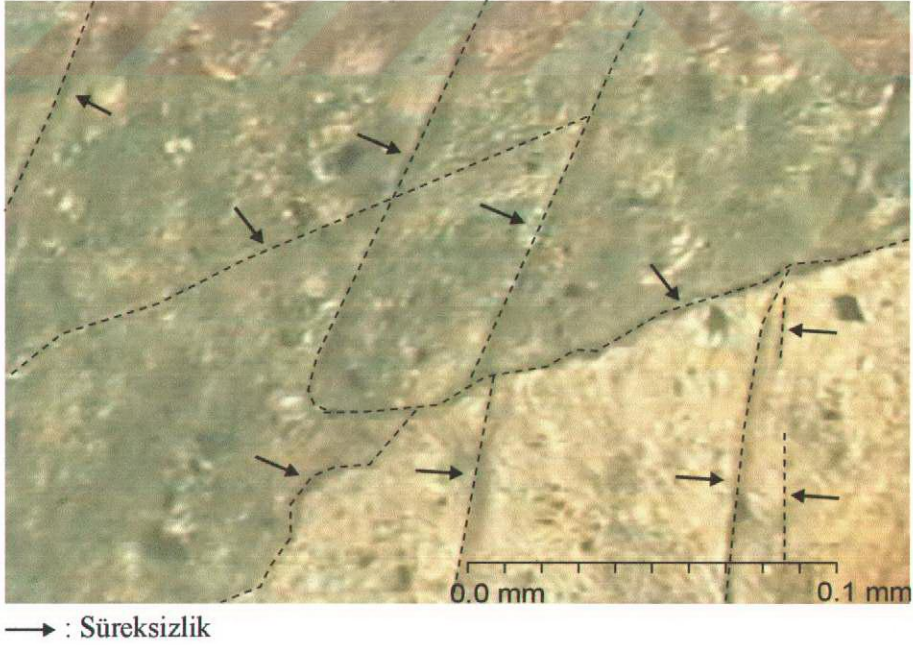
Tablo 3. 6 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon Deneş Sonuçları (10000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	2	40	419	135	1118
1	6	42	430	140	1119
2	12	44	446	145	1120
3	20	46	470	150	1120
4	45	48	492	155	1122
5	63	50	515	160	1120
6	86	52	535	165	1120
7	98	54	612	170	1120
8	111	56	655	175	1120
9	132	58	690	180	1120

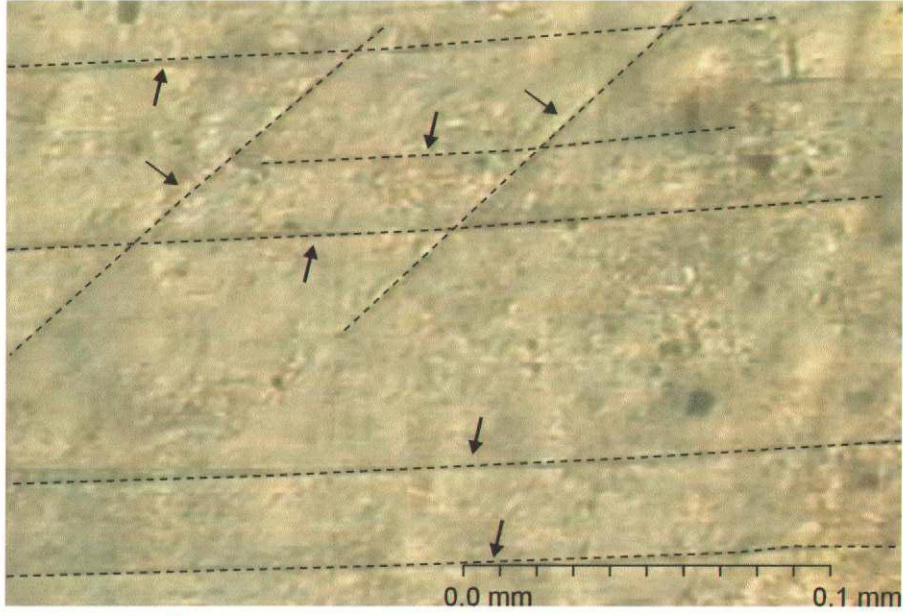
10	146	60	756	190	1120
11	164	62	808	200	1120
12	172	64	948	210	1120
13	187	66	951	220	1120
14	199	68	985	230	1120
15	209	70	1003	240	1120
16	215	72	1016	250	1120
17	223	74	1029	260	1120
18	232	76	1041	270	1120
19	238	78	1053	280	1120
20	247	80	1058	290	1120
21	257	82	1063	300	1120
22	265	84	1068	310	1121
23	273	86	1076	320	1123
24	281	88	1083	330	1124
25	294	90	1099	340	1126
26	303	95	1112	350	1126
27	315	100	1005	360	1126
28	326	105	1113	370	1127
29	335	110	1114	380	1127
30	342	115	1115	390	1129
32	355	120	1116	400	1130
34	363	125	1117	410	1132
36	371	130	1117	420	1132
38	380				



Şekil 3. 26 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Grafiği

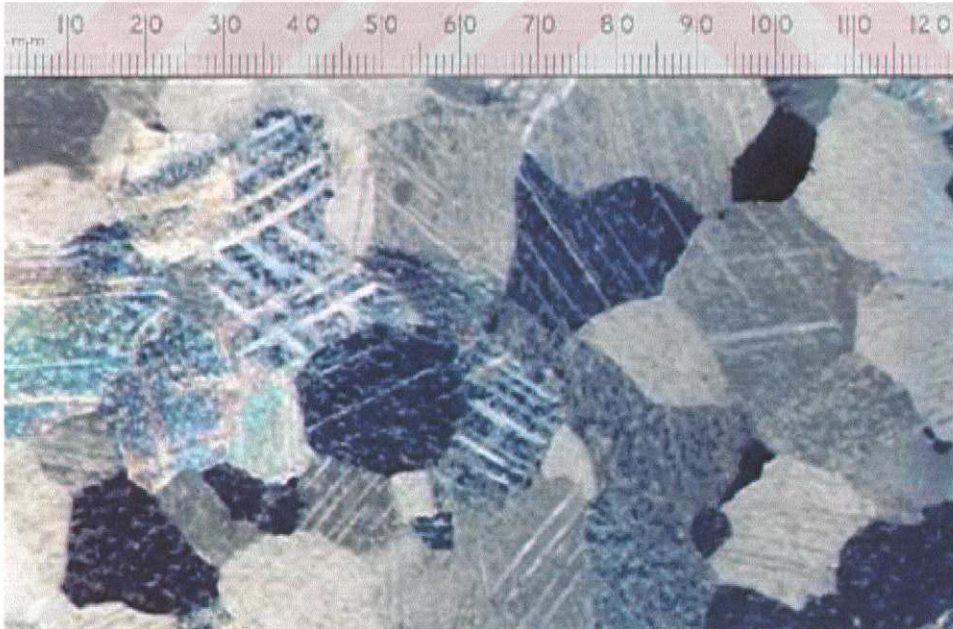


Şekil 3. 27 GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



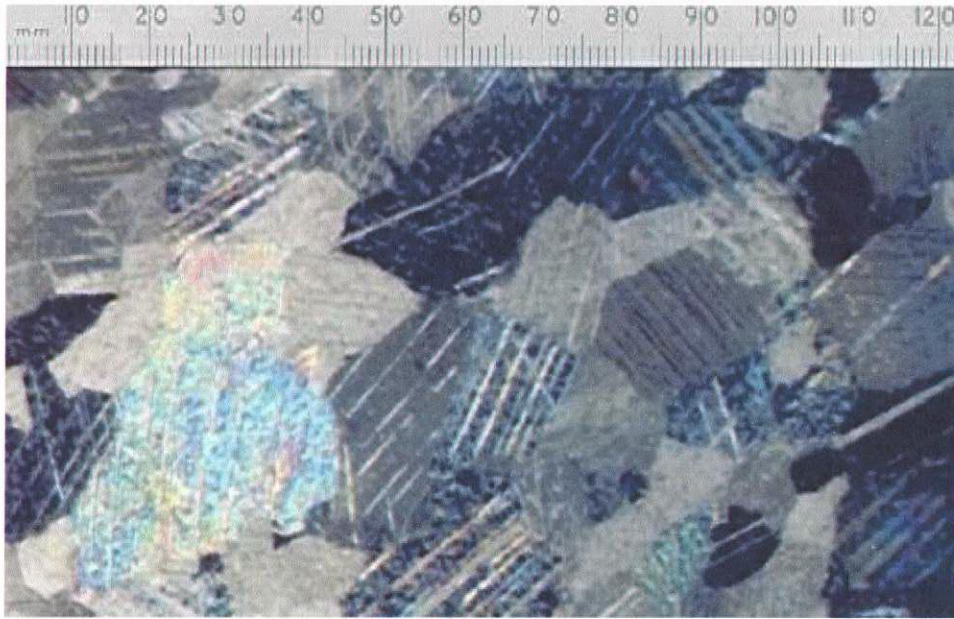
→ : Süreksizlik

Şekil 3. 28 GM3 Kalsit Kristali Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 µm

Şekil 3. 29 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

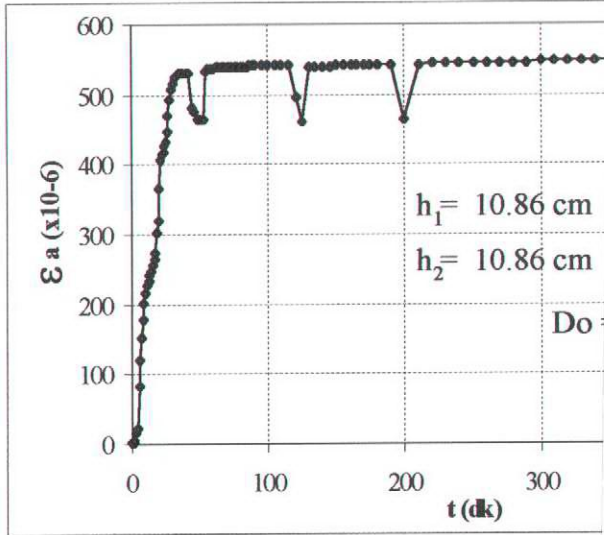


1 cm: 320 μm

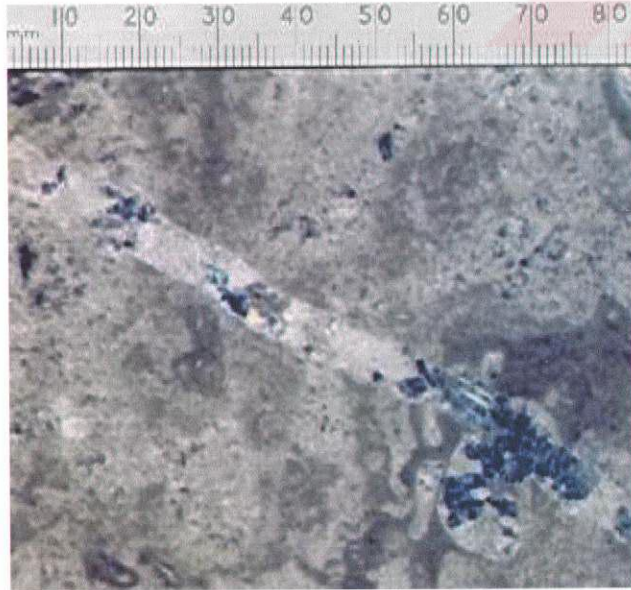
Şekil 3. 30 GM3 Zamana Bağlı Deformasyon (10000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

Tablo 3. 7 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$
0	3	40	532	135	539
1	4	42	531	140	540
2	7	44	481	145	540
3	16	46	476	150	541
4	24	48	465	155	541
5	85	50	465	160	542
6	121	52	464	165	542
7	153	54	535	170	542
8	178	56	536	175	542

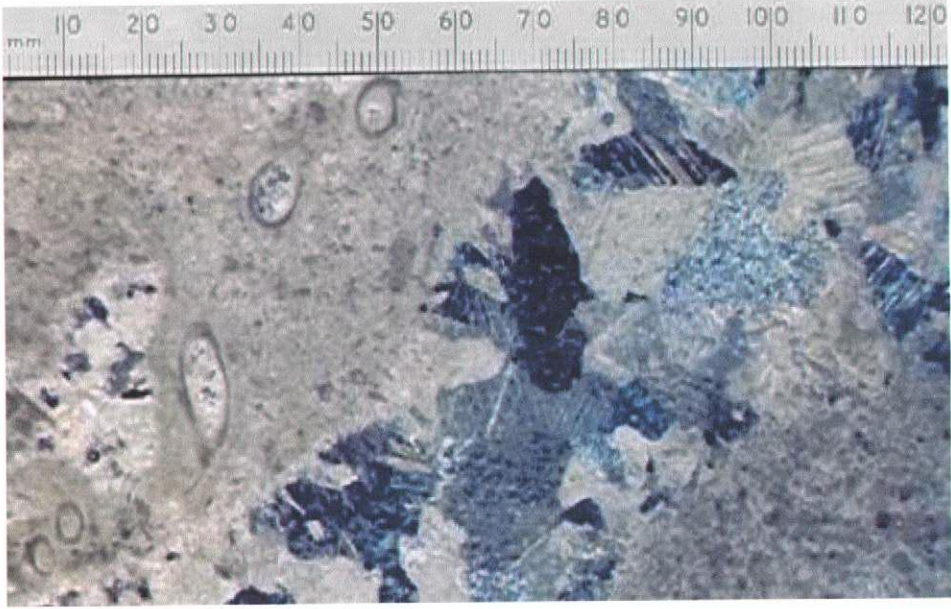


Şekil 3. 31 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyonu



Şekil 3. 32 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (50 GÜN)
Mikroskop Görüntüsü (400 BİREKİM)

9	202	58	536	180	542
10	216	60	537	190	542
11	227	62	538	200	464
12	235	64	539	210	543
13	242	66	539	220	544
14	248	68	539	230	545
15	258	70	540	240	545
16	265	72	540	250	545
17	274	74	540	260	546
18	302	76	540	270	546
19	320	78	540	280	546
20	366	80	540	290	546
21	406	82	540	300	547
22	414	84	540	310	547
23	417	86	541	320	547
24	428	88	541	330	547
25	434	90	541	340	547
26	447	95	541	350	547
27	469	100	541	360	469
28	493	105	541	370	546
29	507	110	541	380	547
30	516	115	541	390	547
32	526	120	496	400	547
34	530	125	461	410	547
36	531	130	538	420	547
38	532				



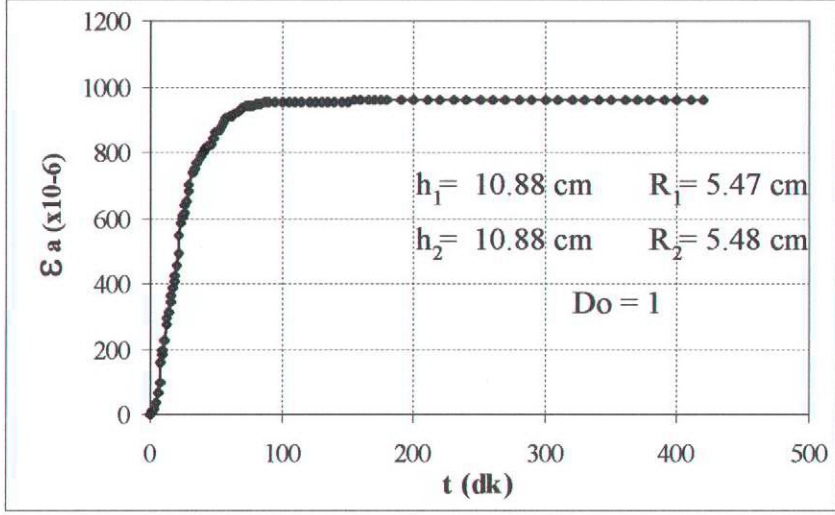
1 cm: 320 μ m

Şekil 3. 33 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

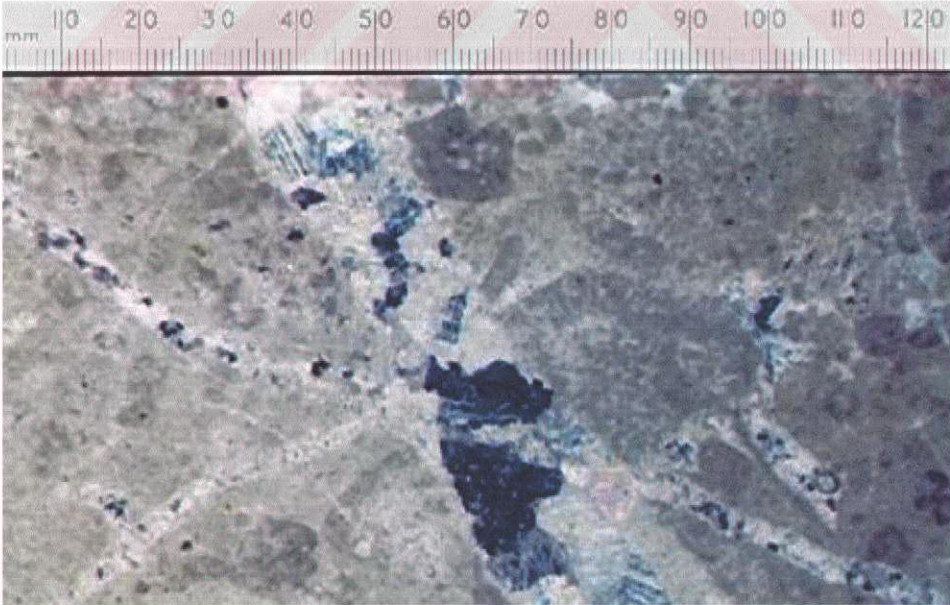
Tablo 3. 8 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (20000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μ ϵ	Zaman dk	Deformasyon μ ϵ	Zaman dk	Deformasyon μ ϵ
0	2	40	802	135	955
1	4	42	815	140	955
2	12	44	817	145	956
3	19	46	824	150	956
4	36	48	845	155	957
5	40	50	859	160	957
6	67	52	869	165	957
7	98	54	881	170	957
8	163	56	893	175	957

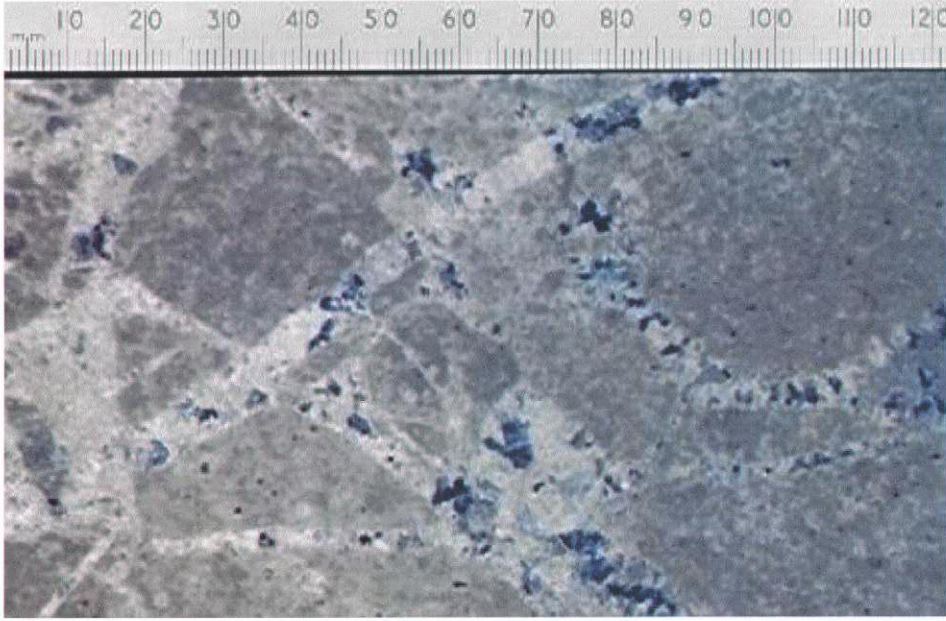
9	186	58	904	180	957
10	198	60	908	190	957
11	229	62	913	200	957
12	275	64	916	210	957
13	296	66	921	220	957
14	311	68	928	230	957
15	344	70	933	240	957
16	365	72	939	250	957
17	389	74	941	260	957
18	406	76	942	270	957
19	422	78	944	280	957
20	457	80	946	290	957
21	493	82	947	300	957
22	547	84	948	310	957
23	583	86	951	320	957
24	605	88	953	330	957
25	611	90	955	340	958
26	615	95	955	350	958
27	643	100	955	360	958
28	655	105	955	370	959
29	681	110	955	380	959
30	701	115	955	390	961
32	738	120	955	400	961
34	749	125	955	410	961
36	769	130	955	420	961
38	786				



Şekil 3. 34 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Grafiği



Şekil 3. 35 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



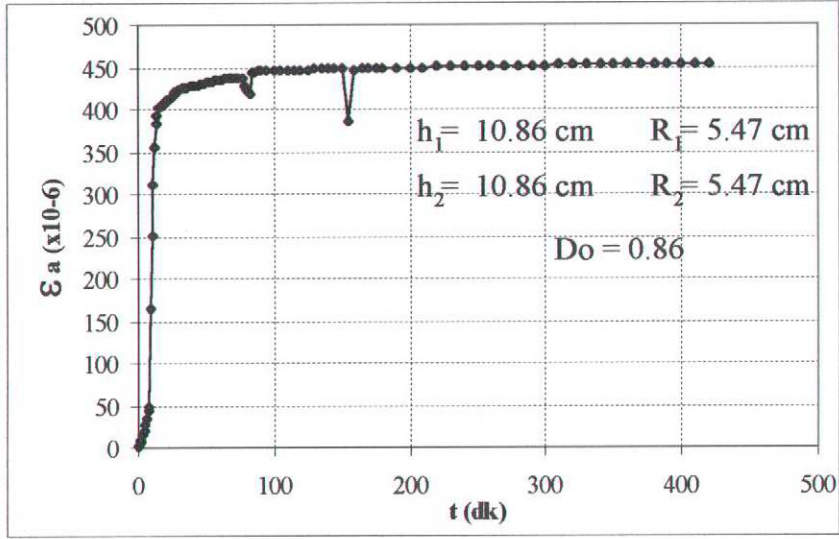
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 36 KÇT1 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

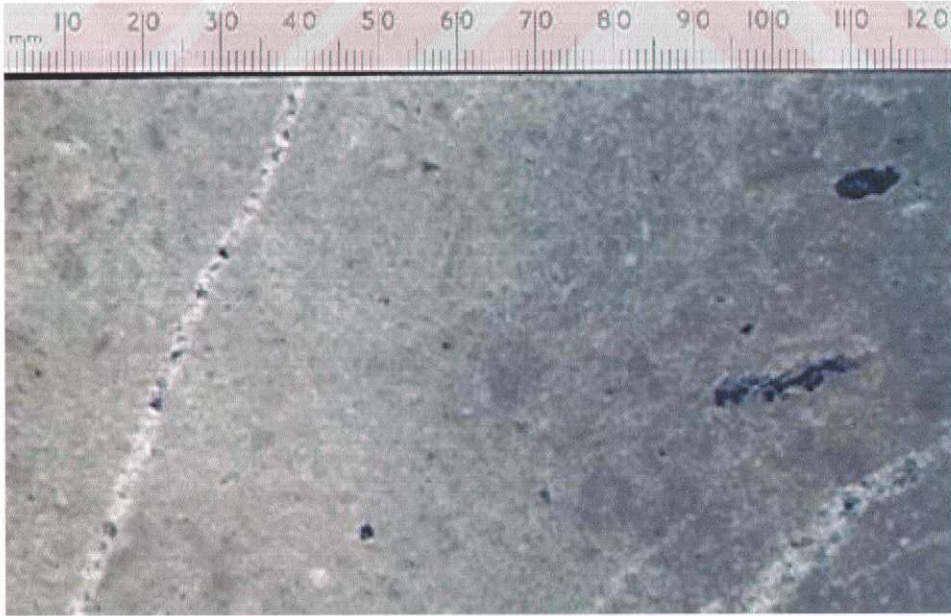
Tablo 3. 9 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	3	40	428	135	448
1	6	42	429	140	448
2	10	44	429	145	448
3	16	46	430	150	448
4	22	48	431	155	385
5	28	50	432	160	447
6	36	52	432	165	448
7	45	54	433	170	449
8	50	56	434	175	449

9	166	58	435	180	449
10	252	60	436	190	450
11	312	62	436	200	450
12	356	64	437	210	450
13	384	66	437	220	451
14	392	68	437	230	452
15	402	70	437	240	452
16	404	72	437	250	452
17	405	74	438	260	452
18	407	76	438	270	452
19	408	78	428	280	452
20	409	80	423	290	452
21	411	82	418	300	452
22	412	84	444	310	453
23	413	86	445	320	453
24	415	88	446	330	453
25	416	90	446	340	453
26	418	95	446	350	453
27	420	100	446	360	454
28	421	105	446	370	454
29	423	110	446	380	454
30	424	115	446	390	454
32	425	120	447	400	454
34	426	125	447	410	454
36	426	130	448	420	454
38	427				

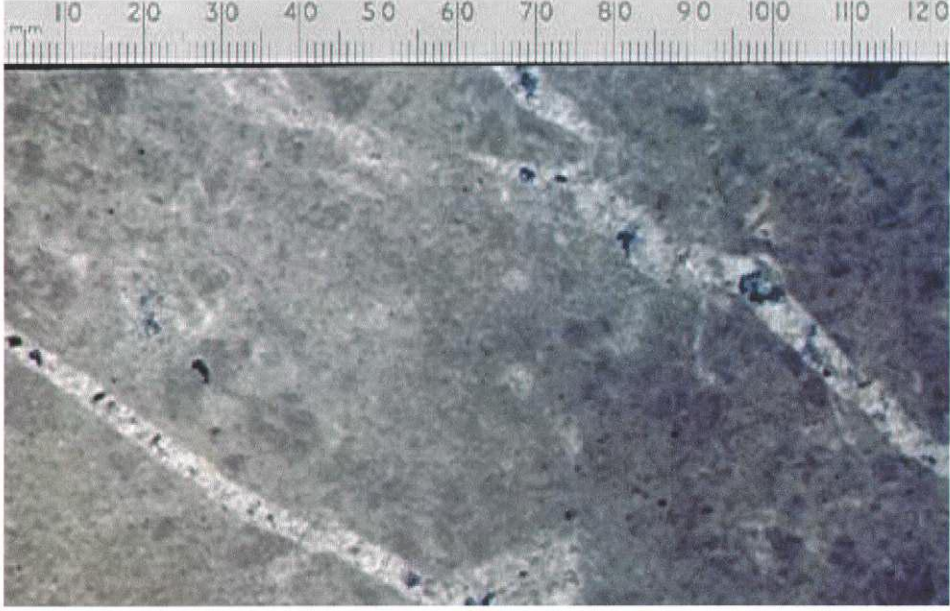


Şekil 3. 37 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği



1 cm: 320 μ m

Şekil 3. 38 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



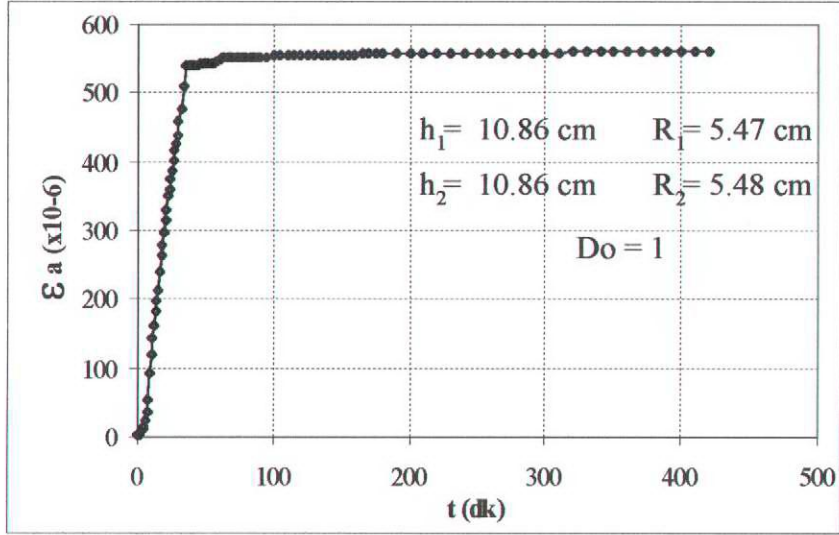
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 39 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

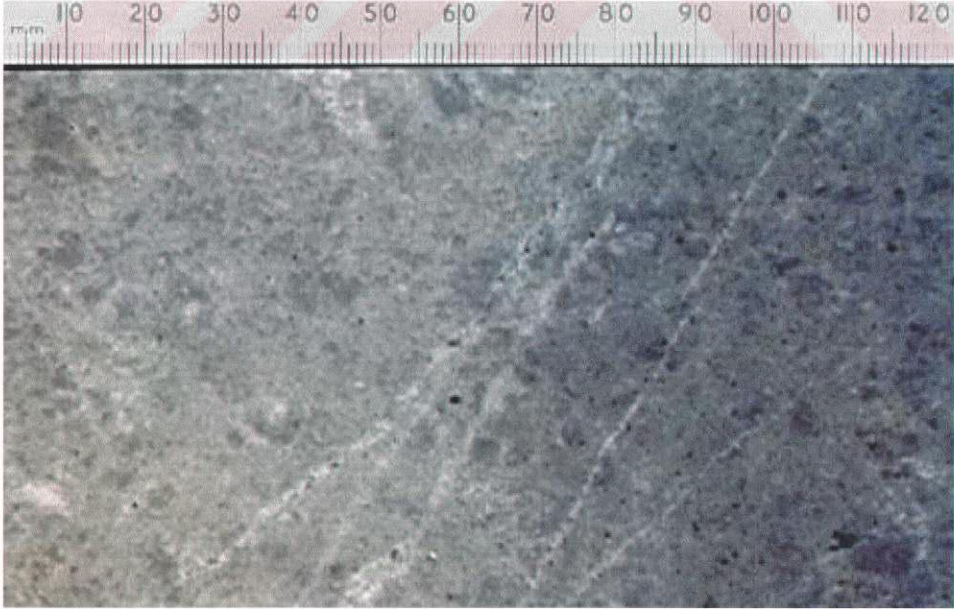
Tablo 3. 10 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon Deneş Sonuçları (20000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$	Zaman dk	Deformasyon $\mu\epsilon$
0	2	40	541	135	556
1	3	42	541	140	556
2	6	44	541	145	556
3	10	46	542	150	556
4	13	48	543	155	556
5	15	50	543	160	556
6	25	52	543	165	557
7	37	54	543	170	557
8	53	56	544	175	557

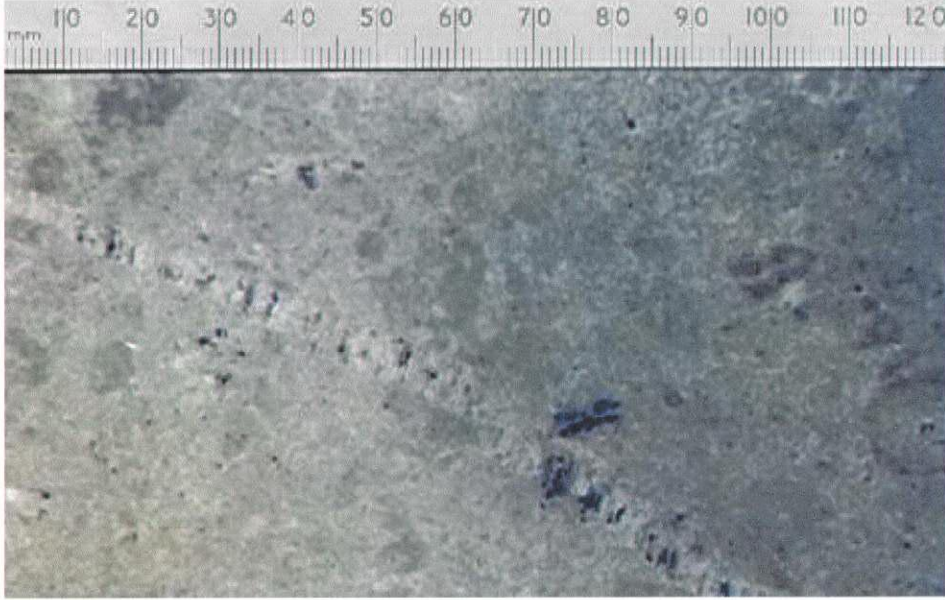
9	92	58	547	180	557
10	120	60	549	190	557
11	144	62	551	200	557
12	162	64	551	210	557
13	184	66	551	220	557
14	198	68	551	230	557
15	212	70	551	240	557
16	239	72	551	250	558
17	263	74	551	260	558
18	278	76	551	270	558
19	296	78	551	280	558
20	316	80	552	290	558
21	331	82	552	300	559
22	351	84	553	310	560
23	361	86	553	320	560
24	374	88	553	330	560
25	387	90	553	340	560
26	403	95	553	350	560
27	417	100	554	360	560
28	425	105	555	370	560
29	439	110	555	380	560
30	460	115	556	390	560
32	478	120	556	400	560
34	511	125	497	410	560
36	540	130	556	420	560
38	540				



Şekil 3. 40 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Grafiği



Şekil 3. 41 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



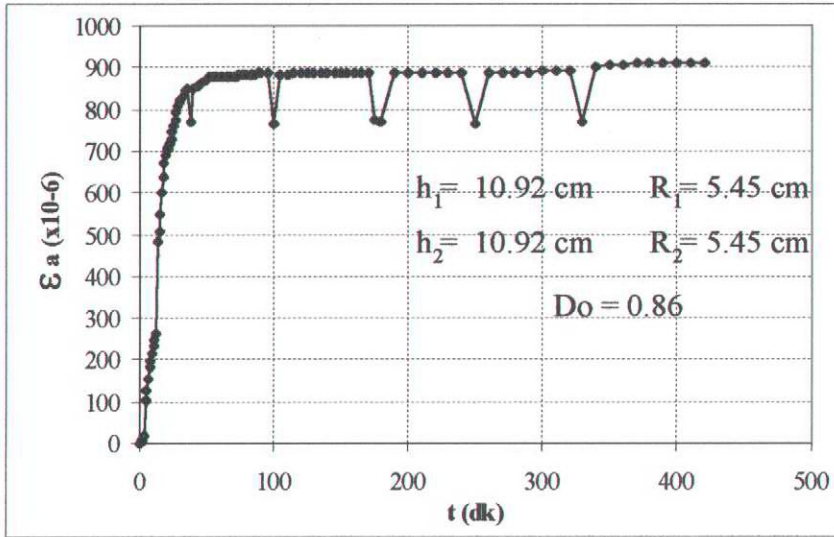
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 42 KÇT2 Zamana Bağlı Deformasyon (20000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

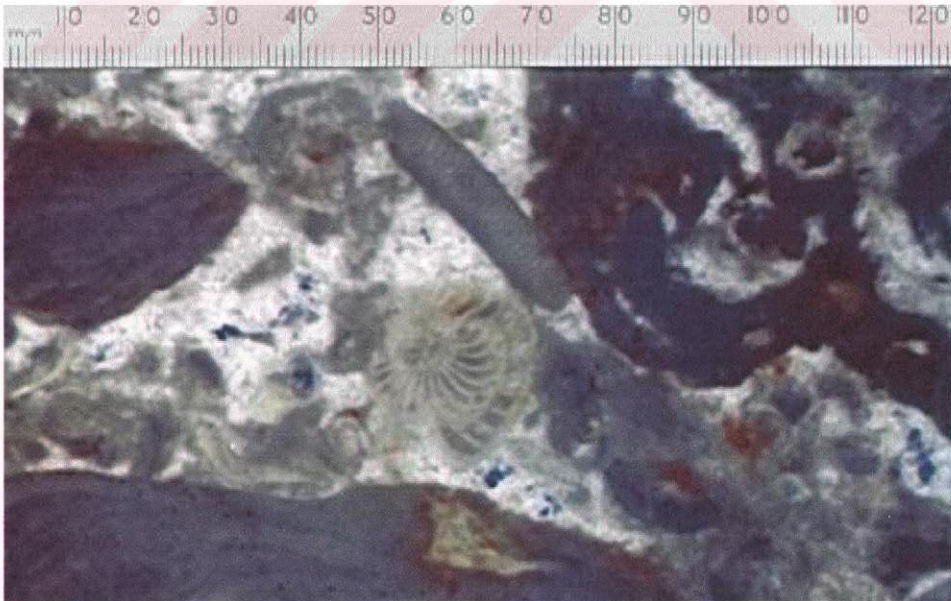
Tablo 3. 11 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (5000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	2	40	851	135	886
1	5	42	855	140	886
2	9	44	859	145	887
3	21	46	865	150	887
4	101	48	870	155	887
5	125	50	874	160	887
6	156	52	876	165	887
7	181	54	876	170	887
8	197	56	877	175	774
9	217	58	877	180	769

10	235	60	877	190	885
11	251	62	878	200	886
12	261	64	878	210	886
13	483	66	879	220	887
14	507	68	879	230	887
15	547	70	879	240	888
16	599	72	880	250	766
17	640	74	881	260	887
18	671	76	881	270	887
19	689	78	882	280	888
20	702	80	882	290	889
21	711	82	882	300	890
22	719	84	882	310	893
23	730	86	884	320	894
24	745	88	885	330	769
25	762	90	885	340	902
26	776	95	885	350	904
27	792	100	765	360	908
28	807	105	882	370	909
29	817	110	883	380	911
30	823	115	885	390	911
32	832	120	885	400	911
34	843	125	886	410	912
36	848	130	886	420	912
38	769				

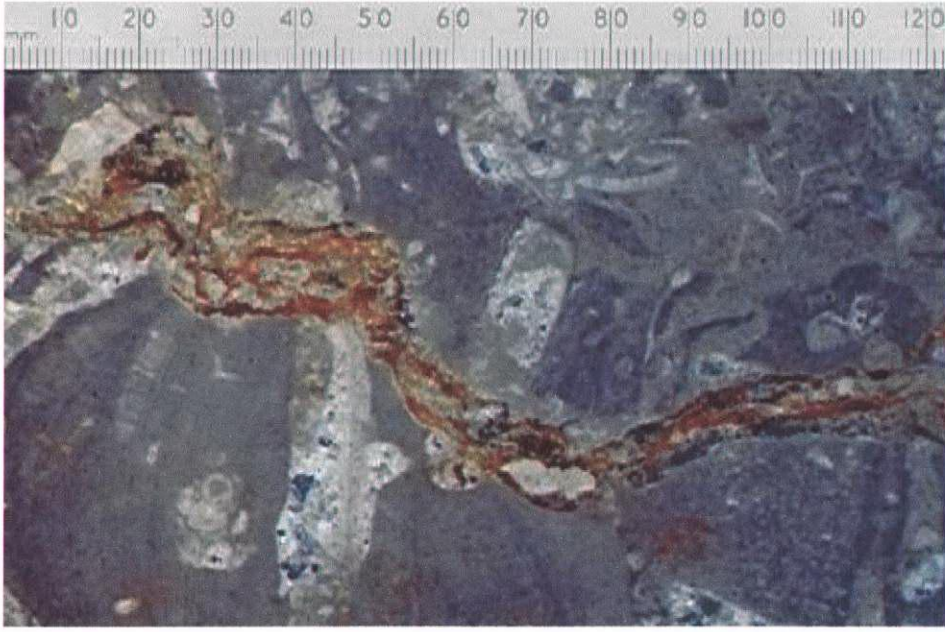


Şekil 3. 43 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Grafiği



1 cm: 320 μ m

Şekil 3. 44 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



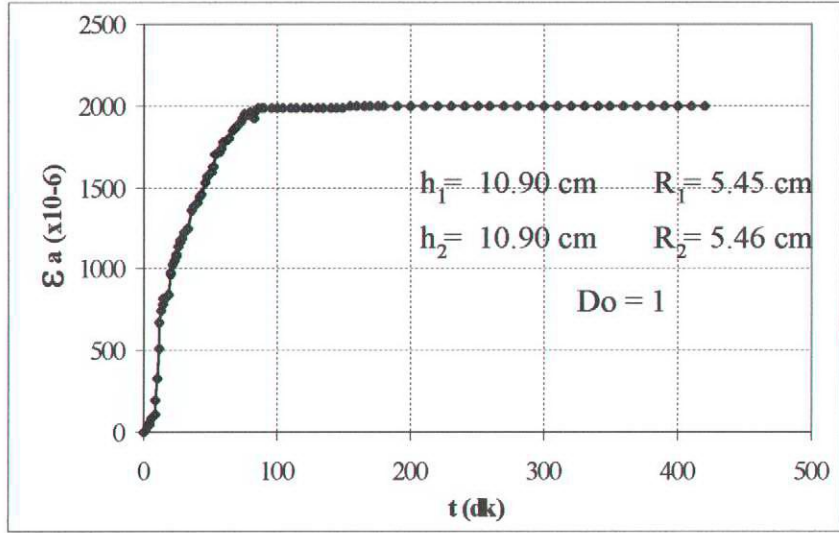
1 cm: 320 μm

Şekil 3. 45 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (5000 kgf) Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

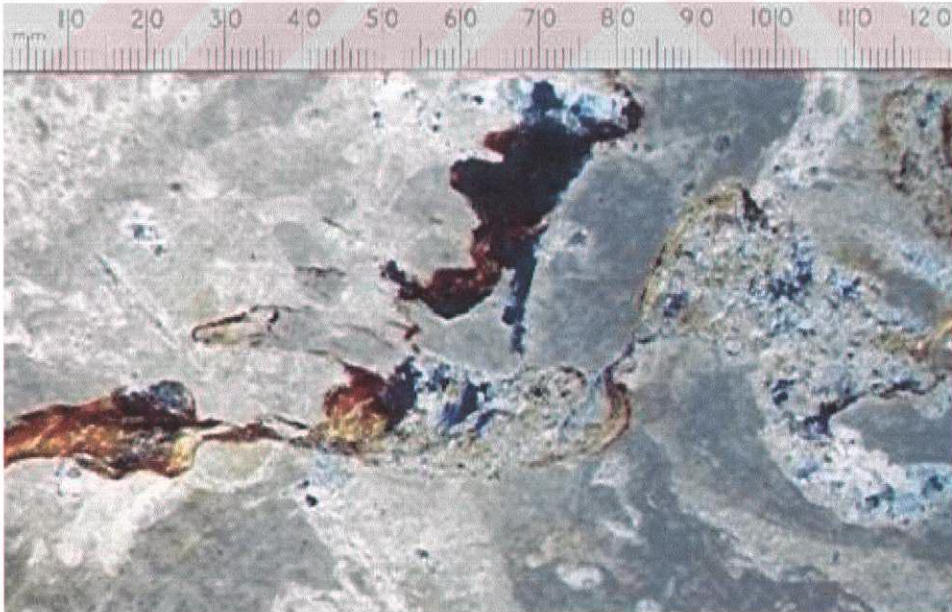
Tablo 3. 12 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon Deney Sonuçları (23000 kgf)

Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE	Zaman dk	Deformasyon μE
0	3	40	1404	135	1988
1	7	42	1441	140	1990
2	16	44	1460	145	1990
3	32	46	1527	150	1991
4	48	48	1565	155	1992
5	64	50	1598	160	1992
6	85	52	1624	165	1992
7	93	54	1704	170	1993
8	112	56	1718	175	1994

9	190	58	1739	180	1994
10	335	60	1776	190	1994
11	520	62	1791	200	1995
12	677	64	1805	210	1995
13	751	66	1848	220	1995
14	788	68	1868	230	1995
15	816	70	1880	240	1995
16	825	72	1904	250	1995
17	832	74	1923	260	1996
18	832	76	1943	270	1996
19	840	78	1952	280	1996
20	971	80	1960	290	1997
21	985	82	1928	300	1997
22	1030	84	1976	310	1997
23	1052	86	1981	320	1997
24	1077	88	1982	330	1998
25	1095	90	1982	340	1999
26	1137	95	1983	350	1999
27	1162	100	1984	360	1999
28	1176	105	1985	370	2001
29	1186	110	1985	380	2002
30	1224	115	1985	390	2002
32	1236	120	1988	400	2002
34	1249	125	1988	410	2002
36	1362	130	1988	420	2002
38	1389				



Şekil 3. 46 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Grafiği



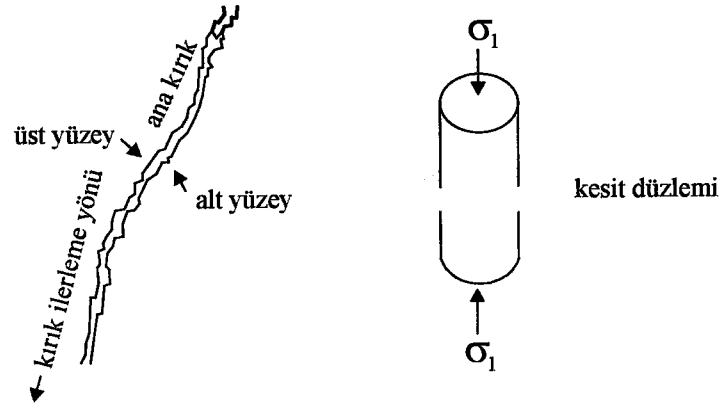
1 cm: 320 μ m

Şekil 3. 47 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

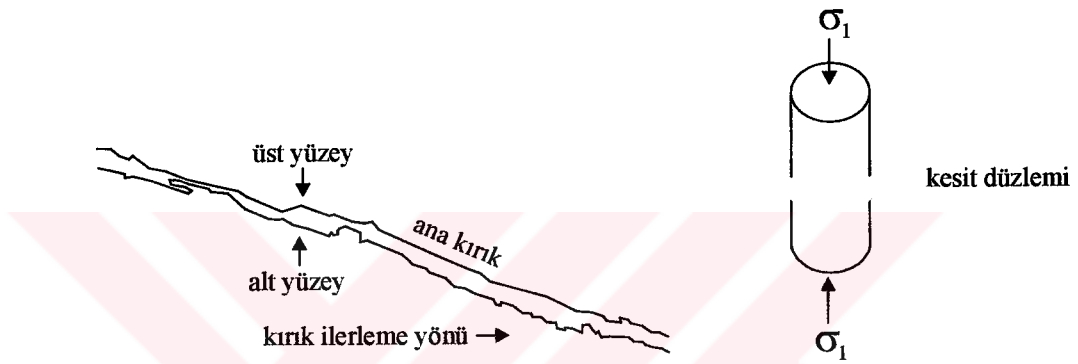


1 cm: 320 μ m

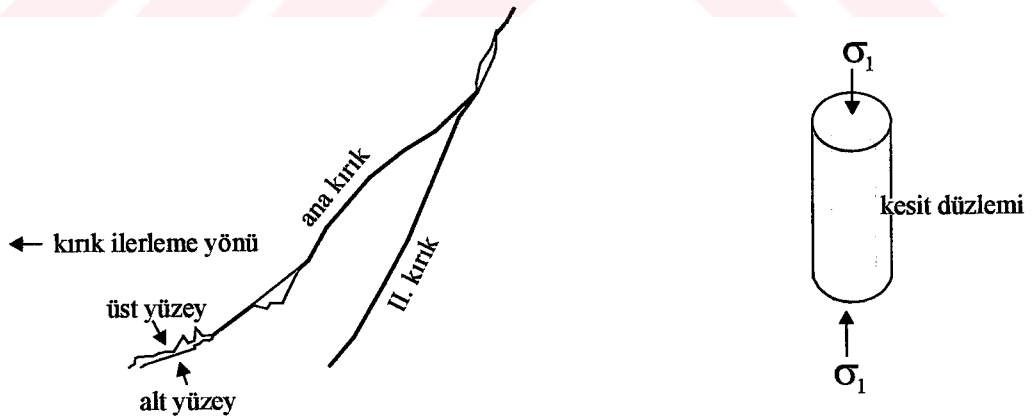
**Şekil 3. 48 KÇT3 Zamana Bağlı Deformasyon (23000 kgf) Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



d. KÇT1 Yatay Kesit (Şekil 2. 28)



e. KÇT3 Yatay Kesit (Şekil 2. 34)



f. KÇT3 Dikey Kesit (Şekil 2. 35)

Şekil 4. 3 Örneklerin Deformasyon DeneYleri Sonrası 400 Büyülmeli İnce Kesit Fotoğraflarına Uygun Kırık Krokileri

İnce kesitlerde, aynı koşullar içerisinde, deformasyon ve diğer yükler altında tane boyu çok daha küçük olan kireçtaşı örneklerinde (en büyük tane boyuna sahip KÇT3'ün tane boyu, 57.82 μm) oluşan kırık açıklıklarının, kristalize mermer örneklerinde (en küçük tane boyuna sahip GM1' in tane boyu, 616.32 μm) oluşan kırık açıklıklarından daha küçük geliştiği görülmüştür. Kristalize mermer örneklerinde de kristal boyu arttıkça kırık açıklığı artmıştır. Söz konusu bulgular, tane boyu arttıkça kırık açıklığının arttığını göstermiştir. Ayrıca, aynı mermere ait örneklerin farklı yükler altında gelişen kırıklarında yük arttıkça kırık açıklığının arttığı gözlemlenmiş, yük artışı ile birlikte kırık oluşumu artmıştır.

Zamana bağlı deformasyon deneyleri sonrasında örneklerden alınan ince kesitlerin 400 büyültmeli mikroskop araştırmasında, örneklerin genel yapılarında herhangi bir kırık izine rastlanmamıştır. Statik yük altında örneklerin süreksizlik geometrileri fazla değişmez, sabit (değişmez) olarak değerlendirilebilir (Zhang ve diğerleri, 2001). Buradan ve zamana bağlı deformasyon deneyleri sonrasında, incelenen kristalize mermer ve kireçtaşı örneklerinin kesilmesi, işlenmesi ve kullanım süreçlerinde, yüke bağlı olarak mikro yapılarında kullanımlarını etkileyecek herhangi bir deformasyonun gelişmediği görülmüştür.

Kesme ve işleme makinelerinde, genellikle 1500 kgf ve 5000 kgf arasında değişen yükler karşısında mermer, çoğunlukla statik, proses girişlerinde ve çıkışlarında dinamik gerilmeler altındadır. Ayrıca, mermerler taban döşemesi, duvarlarda taşıyıcı eleman veya kaplama malzemesi olarak kullanılmaları durumunda da gerilmeler altındadır. Mermer kesme ve işleme makineleri ile kullanım alanlarında birim alana etkiyecek olası yükler sonrası, olası yüklerin araştırılan yüklerden çok daha az olduğu göz önüne alındığında, incelenen örnek gruplarına ait mermerlerin söz konusu yüklerden olumsuz etkilenmeyeceği, oluşacak gerilmelerin mermerlerin nihai kullanımlarında deformasyona neden olmayacağı belirlenmiştir.

İnce kesitlerin mikroskop araştırmasında, örneklerde akma veya tanelerde şekil değişimi gözlemlenmemiştir. Kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3), fosil ve eski kırıklarına ait kalsit dolgularında da herhangi bir değişim görülmemiştir.

SONUÇLAR

Metamorfizma geçirmiş kristalize mermer, gerçek mermer örneklerinin (GM1, GM2, GM3) ve metamorfizma geçirmemiş kireçtaşı, mikritik mermer örneklerinin (KÇT1, KÇT2, KÇT3) farklı yüklerde basınç altındaki davranışları strain gauge (deformasyon ölçer) kullanılarak araştırılmıştır. Deneyleerde, B 66 ve $h=2R$ ölçülerinde karotlar, tabakalanmaya dik yönde alınmış silindir örnekler ve FLA 10–11, 120 Ω , 2.12 gauge faktör özelliklerine sahip dinamik strain gauge kullanılmıştır.

Araştırma konusu yükler, örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri, mermer kesme ve işleme makinalarının mermer blok ve ürünlerine uyguladığı maksimum yük değeri olan 5000 kgf ve örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük değerleridir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanım yükü altındaki deformasyon değişimleri düşey ve yatay strain gauge ile izlenmiştir. Çalışmanın esas amacını oluşturan "Zamana Bağlı Deformasyon" deneylerinde, farklı yükler altında ve yedi saat süre ile örneklerde oluşan deformasyon araştırılmıştır. Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, sadece düşey yönde strain gauge kullanılmış ve düşey deformasyon ölçülmüştür. Strain gauge ile örneklerden alınan deformasyon değerleri kaydediciye aktarılmış ve burada sayısallaştırılmıştır. Kaydediciden okunan değerlere bağlı olarak her örnek için deformasyon grafiği çizilmiştir.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, 5000 kgf yük altında yapılan II. grup deneylerin deformasyon grafiklerinde az sayıda elastik bölge gözlenmiştir. II. grup ve III. grupta (örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yük grubu) yapılan tüm deneylerin deformasyon grafiklerinde I. bölge (geçiş bölgesi) ve II. bölge (kararlı bölge) gözlenmiştir. Deney süresi nedeniyle deformasyon grafiklerinde III. bölge, kırılma bölgesi her iki örnek grubunda,

kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) ve kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3) gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, zamana bağlı deformasyon deneylerinin tamamında olağan II. bölge akması devamlılık göstermiştir. Her iki örnek grubunda II. bölgeye, 2 tonf/dk'lık yükleme hızı ile, genellikle ilk 100 dakikada girilmiştir.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, daha büyük yük altında oluşan deformasyonun daha az yük altında oluşan deformasyondan büyük geliştiği, yük ve deformasyonun doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı mermere ait örneklerde, daha büyük yük değerine sahip tek eksenli basınç dayanım değerinin % 75'ine karşılık gelen yük altında oluşan deformasyon, 5000 kgf'de oluşan deformasyondan daha büyük ölçülmüştür.

Zamana bağlı deformasyon deneylerinde, mermer ve yük özelliklerine bağlı olarak yer yer düzenli deformasyon düşüşleri gözlemlenmiş ve bu durum ilgili deformasyon grafiklerinde gösterilmiştir. Düzenli düşüşler içeren deformasyon grafiklerinde, II. bölge'de normal devam eden seviye "dinamik seviye", deformasyon seviyesinin düştüğü ve en alt noktalarının oluşturduğu seviye, "stabil seviye" olarak tanımlanmıştır (az sayıda örnekte, I. bölge'de görülen deformasyon iniş ve çıkışları söz konusu değerlendirmenin dışında tutulmuştur). II. bölge'de, karalı bölgede görülen deformasyon düşüşleri zamanla sonlanmış, dinamik seviye ile stabil seviye bir süre sonra eşit hale gelmiştir. Dinamik ve stabil seviye eş hale geldikten sonra deformasyon hareketi II. bölge'de düzenli bir yol izlemiş, örnek, göreceli olarak kararlı bir akma hali göstermiştir.

Zamana bağlı deformasyon deney grafiklerinde, II. bölge'de doğrusal akma gösteren veya nispeten kararlı hareket eden örnekler "duraylı", stabil seviyenin dinamik seviyeye oranı "duraylılık oranı" olarak tanımlanmıştır. Duraylılık oranı 1'e yaklaştıkça mermerin kararlılığı da artmıştır. Duraylılık oranının 1 olması durumunda, deformasyon aşamasında örnek, mümkün olan en kararlı akma hali içerisinde gözlenmiştir.

Örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerlerinin % 75' ine karşılık gelen yükler altında (III. grup) belirlenen duraylılık oranları GM2 dışında 1' dir. III. grupta oluşan akmalarda, 5000 kgf yük altında yapılan II. grup deneylerden sonra örneklerde gelişen akmalardan daha kararlı olduğu görülmüştür. Yük arttıkça kararlılık da artmıştır. Örnekler arası duraylılık oranı farkı kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) daha azdır. Buna karşılık, kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3) daha kararlı bir akma gözlemlenmiştir.

Strain gauge ile yapılan deformasyon araştırması sonrası örneklerden yatay ve dikey yönde ince kesitler alınmıştır. İnce kesitler, örneklerdeki deformasyon sonrası genel durumu (400 büyültmeli) ve kristalize mermer örneklerinde (GM1, GM2, GM3) kristal boyutta deformasyon hareketlerini (1250 büyültmeli) görmek amacıyla farklı iki ölçekte mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Kireçtaşı örnekleri (KÇT1, KÇT2, KÇT3), sadece genel durumu görmek amacıyla mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

İnce kesitlerde, aynı koşullar içerisinde, deformasyon ve diğer yükler altında tane boyu çok daha küçük olan kireçtaşı örneklerinde (en büyük tane boyuna sahip KÇT3' ün tane boyu, 57.82 μm) oluşan kırık açıklıklarının, kristalize mermer örneklerinde (en küçük tane boyuna sahip GM1' in tane boyu, 616.32 μm) oluşan kırık açıklıklarından daha küçük geliştiği görülmüştür. Kristalize mermer örneklerinde de kristal boyu arttıkça kırık açıklığı artmıştır. Söz konusu bulgular, tane boyu arttıkça kırık açıklığının arttığını göstermiştir. Ayrıca, aynı mermere ait örneklerin farklı yükler altında gelişen kırıklarında yük arttıkça kırık açıklığının arttığı gözlemlenmiş, yük artışı ile birlikte kırık oluşumu artmıştır.

Zamana bağlı deformasyon deneyleri sonrasında örneklerden alınan ince kesitlerin 400 büyültmeli mikroskop araştırmasında, örneklerin genel yapılarında herhangi bir kırık izine rastlanmamıştır. Bu sonuçla, incelen kristalize mermer ve kireçtaşı örneklerinin kesilmesi, işlenmesi ve kullanım süreçlerinde, yüke bağlı olarak mikro yapılarında kullanımlarını etkileyecek herhangi bir deformasyonun gelişmediği görülmüştür.

Kesme ve işleme makinelerinde, genellikle 1500 kgf ve 5000 kgf arasında değişen yükler karşısında mermer, çoğunlukla statik, proses girişlerinde ve çıkışlarında dinamik gerilmeler altındadır. Ayrıca, mermerler taban döşemesi, duvarlarda taşıyıcı eleman veya kaplama malzemesi olarak kullanılmaları durumunda da gerilmeler altındadır. Mermer kesme ve işleme makineleri ile kullanım alanlarında birim alana etkiyecek olası yükler sonrası, olası yüklerin araştırılan yüklerden çok daha az olduğu göz önüne alındığında, incelenen örnek gruplarına ait mermerlerin söz konusu yüklerden olumsuz etkilenmeyeceği, oluşacak gerilmelerin mermerlerin nihai kullanımlarında deformasyona neden olmayacağı belirlenmiştir.

İnce kesitlerin mikroskop araştırmasında, örneklerde akma veya tanelerde şekil değişimi gözlemlenmemiştir. Kireçtaşı örneklerinde (KÇT1, KÇT2, KÇT3), fosil ve eski kırıklarına ait kalsit dolgularında da herhangi bir değişim görülmemiştir.

Örneklere ait fiziko-mekanik deney sonuçları ve üç eksenli deney sonrası ince kesit fotoğrafları Ek 1' de verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ataman, T. (2000). Kaya mekaniğine giriş. İstanbul: Seç Yayın Dağıtım.
- Bell, F.G. & Lindsay, P. (1999). The petrographic and geomechanical properties of some sandstones from the newspaper member of the Natal Group near Durban, South Africa. Engineering Geology, Vol. 53, 57–81
- Bozkurt, R. (1988). Endüstriyel hammaddeler. Anad. Ü. Müh–Mim Fak. Yayını. Eskişehir.
- Brodich, F.M. (1994). Some fractal models of fracture. Journal of Mechanics and Physic, Vol. 45, 239–259
- Brady, B.H.G. & Brown, E.T. (1992). Rock mechanics. (2nd ed.). Cambridge: Chapman & Hall.
- Chang, C.-T., Monteiro, P.J.M. & Nematı, K.M. (1996). Behaviour of marble under compression. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 8, 157–170
- Erguvanlı, K. (1994). Mühendislik Jeolojisi. (4. baskı). İstanbul: İTÜ Yayınları.
- Ersoy, M. (2000). Mermerlerin mekanik özellikleriyle parlatılabilirlik arasındaki ilişkinin araştırılması. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Farmer, I.W. (1983). Engineering behaviour of rocks (2nd ed.). London: Chapman & Hall.
- Franklin, J.A. & Dusseault, M.B. (1989). Rock engineering. New York: Mc Graw Hill Publishers.
- Gauri, K.L. & Bandyopadhyay, J.K., (1999). Carbonate stone. New York: John Wiley & Sons.
- Goodman, R.E. (1989). Introduction of rock mechanics. (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Gramberg, J. (1987). A non–conventional view on rock mechanics and fracture mechanics. Netherlands.

- Gündüz, L. & Saruşık, A. (1998). Yer bilimlerinde istatistik ve uygulamaları. Isparta.
- Hatzor, Y.H. & Palchik, V. (1997). The influence of grain size and porosity on crack initiation stress and critical flaw length in dolomites. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 34, 805–816
- Haupt, M. (1991). A constitutive law for rock salt based on creep and relaxation tests. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 24, 179–206
- Hawkins, A.B. (1998). Aspects of rock strength. Bulletion of Engineering Geology Enviromental, Vol. 57, 17–30
- Hoek, E. (1990). The strength of jointed rock masses. Geotechnique, Vol. 33, 187–223
- Jumikis, A.R. (1985). Rock mechanics. Trans Tech Publishers.
- Karaca, Z. (2001). Mermer madenciliği. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Yayını.
- Ketin, İ. (1977). Genel jeoloji. İstanbul: İTÜ Yayını
- Köse, H. & Kahraman, B. (1999). Kaya mekaniği. (III. baskı). İzmir: DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayını.
- Kulatilake, P.H.S.W, Fiedler, R & Panda, B.B. (1997). Box fractal dimension as a measure of statistical homogeneity of jointed rock masses. Engineering Geology, Vol. 48, 217–229
- Küçük, K. (2000). Mermerlerde yükleme hızının tek eksenli basınç dayanımına olan etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Lan, S. & Guo, Z. (1999). Biaxial compression behaviour of concrete under repeated loading. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 11, 105–115
- Li, Y. & Xia, C. (2000). Time–dependent tests on intact rocks in uniaxial compression. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 37, 467–475
- Maranini, E. & Brignoli, M. (1999). Creep behaviour of a weak rock: experimental characterization. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, 127–138
- Miller A.K. (1987). Unified constitutive equations for creep and plasticity. Elsevier.

- Nemati, K.M. (1997). Fracture analysis of concrete using scanning electron microscopy. The Journal of Scanning Microscopies, Vol. 19, 426–430
- Okubo, S. & Fukui, K. (1996). Complete stress–strain curves for various rock types in uniaxial tension. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 33, 549–556
- Onargan, T. & Köse, H. (1997). Mermer. (II. baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Palchik, V. (1999). Influence of porosity and elastic modulus on uniaxial compressive strength in soft brittle porous sandstones. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 32, 303–309
- Perfect, E. (1997). Fractal models for the fragmentation of rock and soils: a review. Engineering Geology, Vol. 48, 185–198
- Sagular, E.K. & Saruşık, A. (1998). Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan kayaçların petrografik–petrolojik özelliklerinin jeomekanik parametrelere olan etkileri. 4. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 33–47. Zonguldak.
- Singh, M., Rao, K.S. & Ramamurthy, T. (2002). Strength and deformational behaviour of a jointed rock mass. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 35, 45–64
- Snoke, W., Tullis, J., & Todd, W.R. (1998). Fault-related rocks. New Jersey: Princeton University Press.
- Stag, K.G. & Zienkiewicz, O.C. (1972). Rock mechanics in engineering practise. New York: John Wiley & Sons.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ & Saruşık, A. (1996). Mermer teknolojisi. Isparta
- TS 699. (1987). Tabii Yapı Taşları–Muayene ve Deney Metotları. Ankara.
- TS 1910. (1977). Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar. Ankara.
- TS 2027. (1975). Kayaçların Çekme Dayanımlarının Tayini. Ankara.
- TS 2028. (1975). Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. Ankara.
- TS 2029. (1975). Kayaçların Üç Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. Ankara.
- TS 2030. (1975). Kayaçların Elastisite Modülünün ve Poisson Oranının Tek Eksenli Basma Deneyi İle Tayini. Ankara.

- TS 2513. (1977). Doğal Yapı Taşları. Ankara.
- TS 4033. (1983). Kireçtaşı–Renksiz Cam Üretiminde Kullanılan–Kimyasal Analiz Metodları. Ankara.
- TS 5694. (1988). Yapı ve Kaplama Taşları–Tabii–Terimler. Ankara.
- TS 5695. (1988). Yapı ve Kaplama Taşları–Tabii–Sınıflandırma. Ankara.
- TS 7654. (1989). Kayaçların Çekme Mukavemetinin Dolaylı (İndirekt) Metotla Tayini. Ankara.
- TS 8362. (1990). Silindirik Sert Kayaç Karot Numunelerinin Tek Eksenli Sıkışmadaki Akma (Krip) Özelliklerinin Tayini. Ankara.
- TS 8433. (1989). İnce Kesit Hazırlama Metodu–Sert Sedimanter Kayaçlar İçin. Ankara.
- TS 8614. (1990). Kaya Mekaniği DeneYeri İçin Kayaç Karot Numunelerinin Hazırlanması Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. Ankara.
- TS 8615. (1990). Kayaçlar–Su Muhtevası, Yoğunluk ve Porozite Tayini. Ankara.
- TS 10449. (1992). Mermer–Kalsiyum Karbonat Esaslı–Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Ankara.
- TS 11137. (1993). Kireçtaşı (Kalker)–Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Ankara.
- TS 11443. (1994). Oniks Mermeri–Kalsiyum Karbonat Esaslı–Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Ankara.
- TS 11444. (1994). Dolomit–Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Ankara.
- Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd. (2001). Strain gauges. Tokyo.
- Türk, N. & Dearman, W.R. (1985). Investigation of some rock joint properties: Roughness angle determination and joint closure. Symposium on Fundamentals of Rock Joints. Björkliden.
- Türk, N. & Dearman, W.R. (1986). A correction equation on the influence of length to diameter ratio on the compressive strength of rock. Engineering Geology, Vol. 22, 293–300
- Türk, N., Greig, M.J., Dearman, W.R. & Amin, F.F. (1987). Characterisation of rock joint surfaces by fractal dimension. 28th U.S. Symposium on Rock Mechanics University of Arizona.

- Uz, B. (1991). Mermerlerde petrografik analiz. Türkiye' de Mermer Yapı ve Dekorasyon, 19, 44–47
- Uz, B. (1992). Maden ve Jeoloji Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri. İstanbul.
- Xie, H., Wang, J.–A. & Kwasniewski, M.A. (1999). Multifractal characterization of rock fracture surfaces. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, 19–27
- Xiao, Y. & Wu, H. (2000). Compressive behaviour of concrete confined by carbon fiber composite jackets. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 12, 139–146
- Walpole, R.E. (1970). Introductions to statistics. (2nd ed.). Hong Kong.
- Winkler, E.M. (1997). Stone in architecture. (3rd ed.). Germany: Springer.
- Yang, L., Zhang, K. & Wang, Y. (1996). Back analysis of initial rock stresses and time–dependent parameters. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 33, 641–645
- Yahya, O.M.L, Aubertin, M. & Julien, M.R. (2000). A Unified representation of the plasticity, creep and relaxation behaviour of rocksalt. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 37, 787–800
- Yenice, H. (1998). An investigation of the factors affecting the geomechanical properties of rocks in coal mining. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Zhang, Z.X., Kou, S.Q., Yu, J., Yu, Y., Jiang, L.G. & Lindqvist, P.–A. (1999). Effects of loading rate on rock fracture. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, 597–611
- Zhang, Z.X., Yu, L., Kou, S.Q. & Lindqvist, P.–A. (2001). On study of influences of loading rate on fractal dimensions of fracture surfaces in gabbro. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 34, 235–242

EKLER

Ek 1. Fiziko–Mekanik Deney Sonuçları

Fiziko–mekanik deney sonuçlarında kullanılan sembol ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

a	: Örnek eni
B	: Örneğin boşluk oranı
b, L	: Örnek boyu
D.	: Dayanım
d_d	: Örneğin doygun birim hacim ağırlığı
d_k	: Örneğin kuru birim hacim ağırlığı
F	: Örneğin tek eksenli basınç dayanımı
h	: Örnek yüksekliği
M_d	: Örneğin doygun ağırlığı
M_k	: Örneğin kuru ağırlığı
M_s	: Örneğin su içerisindeki ağırlığı
V_{ilk}	: Aşınma dayanımı deneyi öncesi örneğin hacmi
V_{son}	: Aşınma dayanımı deneyi sonrası örneğin hacmi
P	: Örneğin kırıldığı yük
Pr	: Örnek porozitesi
R	: Örnek çapı
SE	: Örneğin ağırlıkça su emme oranı
V	: Örnek hacmi
Yük.	: Yükseklik

Tablo 1 GM1 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	924,70	584,72	924,23	339,98	2,719866	2,718483
2	921,12	582,31	920,59	338,81	2,718692	2,717128
3	921,57	582,63	921,00	338,94	2,718977	2,717295
4	924,80	584,59	924,30	340,21	2,718321	2,716851
5	926,90	586,21	926,33	340,69	2,720655	2,718982
6	923,80	584,21	923,33	339,59	2,720339	2,718955
7	926,47	585,74	925,96	340,73	2,719074	2,717577
8	924,95	584,94	924,46	340,01	2,720361	2,718920
9	928,02	586,56	927,52	341,46	2,717800	2,716336
10	920,27	581,90	919,80	338,37	2,719715	2,718326

Ortalama**2,7194****2,7179****Standart Sapma****0,0007****0,0007****Tablo 2 GM1 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	924,70	584,72	924,23	339,98	0,138435	0,138243	0,050853
2	921,12	582,31	920,59	338,81	0,156675	0,156430	0,057572
3	921,57	582,63	921,00	338,94	0,168455	0,168171	0,061889
4	924,80	584,59	924,30	340,21	0,147184	0,146968	0,054095
5	926,90	586,21	926,33	340,69	0,167588	0,167308	0,061533
6	923,80	584,21	923,33	339,59	0,138594	0,138402	0,050903
7	926,47	585,74	925,96	340,73	0,149903	0,149679	0,055078
8	924,95	584,94	924,46	340,01	0,144321	0,144113	0,053004

9	928,02	586,56	927,52	341,46	0,146645	0,146430	0,053907
10	920,27	581,90	919,80	338,37	0,139094	0,138901	0,051098

Ortalama	0,150	0,149	0,055
Standart Sapma	0,008	0,008	0,003

Tablo 3 GM1 Tek Eksenli Basıncı Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,00	6,99	7,03	49025,31	997,6721
2	7,03	6,97	7,04	46271,87	942,9998
3	7,03	7,03	6,98	47551,23	969,0608
4	7,00	7,01	6,99	51108,90	1043,041
5	7,02	7,01	6,99	43252,83	882,7126
6	7,02	7,04	6,99	41366,07	840,6098
7	7,01	7,02	7,05	46417,91	937,9061
8	7,03	7,00	6,95	34280,36	704,6323
9	7,04	6,95	7,02	35051,79	718,4363
10	7,02	7,04	6,98	42368,17	862,2072

Ortalama	889,93
Standart Sapma	79,09

Tablo 4 GM1 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,00	6,94	7,02	44056,01	904,2918
2	7,00	6,96	7,00	39955,48	820,1043
3	6,98	6,96	7,01	31820,05	652,1892
4	6,98	6,94	7,00	33165,00	682,6883
5	6,99	6,95	7,00	44712,09	919,0563
6	6,98	6,96	7,00	27227,46	558,8559
7	6,98	6,96	7,00	33329,04	684,0936
8	6,94	6,98	7,00	48714,20	997,0160
9	6,97	6,95	7,00	37298,35	766,6670
10	7,00	6,94	7,00	47270,82	973,0510

Ortalama**795,80****Standart Sapma****105,64****Tablo 5 GM1 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,44	2,74	70,65214
2	5,44	2,72	52,01005
3	5,44	2,74	54,34780
4	5,44	2,67	47,40675
5	5,44	2,72	72,54033
6	5,44	2,74	54,34780
7	5,44	2,72	65,69690
8	5,44	2,76	47,20973

9	5,44	2,74	47,55433
10	5,44	2,73	46,36485

Ortalama **55,81**
Standart Sapma **7,12**

Tablo 6 GM1 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,94	10,07	20,00	167,6844
2	4,94	9,91	19,94	173,3618
3	4,95	10,08	19,99	159,8014
4	5,00	9,92	20,00	190,3908
5	4,96	10,03	20,00	170,4773
6	4,99	10,19	19,97	168,8905
7	4,96	9,93	20,00	189,7650
8	4,96	9,99	19,94	174,0708
9	4,99	9,93	19,98	183,8136
10	4,96	9,97	20,00	210,0040

Ortalama **178,83**
Standart Sapma **10,39**

Tablo 7 GM1 Nokta Yük Dayanımı Deneş Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,03	82,61913
2	4,04	72,39443
3	4,03	67,82167
4	4,04	76,07551
5	4,03	73,98728
6	4,06	71,68295
7	4,04	88,34575
8	4,03	83,85225
9	4,04	82,21063
10	4,04	76,07551

Ortalama 77,51
Standart Sapma 4,56

Tablo 8 GM1 Darbe Dayanımı Deneş Sonuçları

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	3,95	4,02	10,24	20
2	3,96	4,03	10,24	20
3	4,02	4,00	5,12	6
4	4,04	4,01	10,24	20
5	4,01	4,02	10,24	20
6	4,00	4,03	15,36	42
7	4,01	4,01	12,80	30
8	4,00	4,01	10,24	20

9	4,00	4,01	12,8	30
10	4,00	4,00	10,24	20

Ortalama **22,80**
Standart Sapma **6,65**

Tablo 9 GM1 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	6,94	7,00	337,99	318,66	19,89502
2	6,65	6,69	349,10	330,82	20,54464
3	7,00	6,97	341,06	324,45	17,02193
4	6,94	7,00	335,65	318,76	17,38370
5	7,00	6,97	342,68	325,20	17,91351
6	6,94	7,10	340,69	322,31	18,65081
7	7,10	6,94	341,05	324,16	17,13886
8	6,94	7,00	341,9	323,95	18,47468
9	6,99	6,97	339,84	322,88	17,40548
10	7,02	6,95	336,57	317,44	19,60483

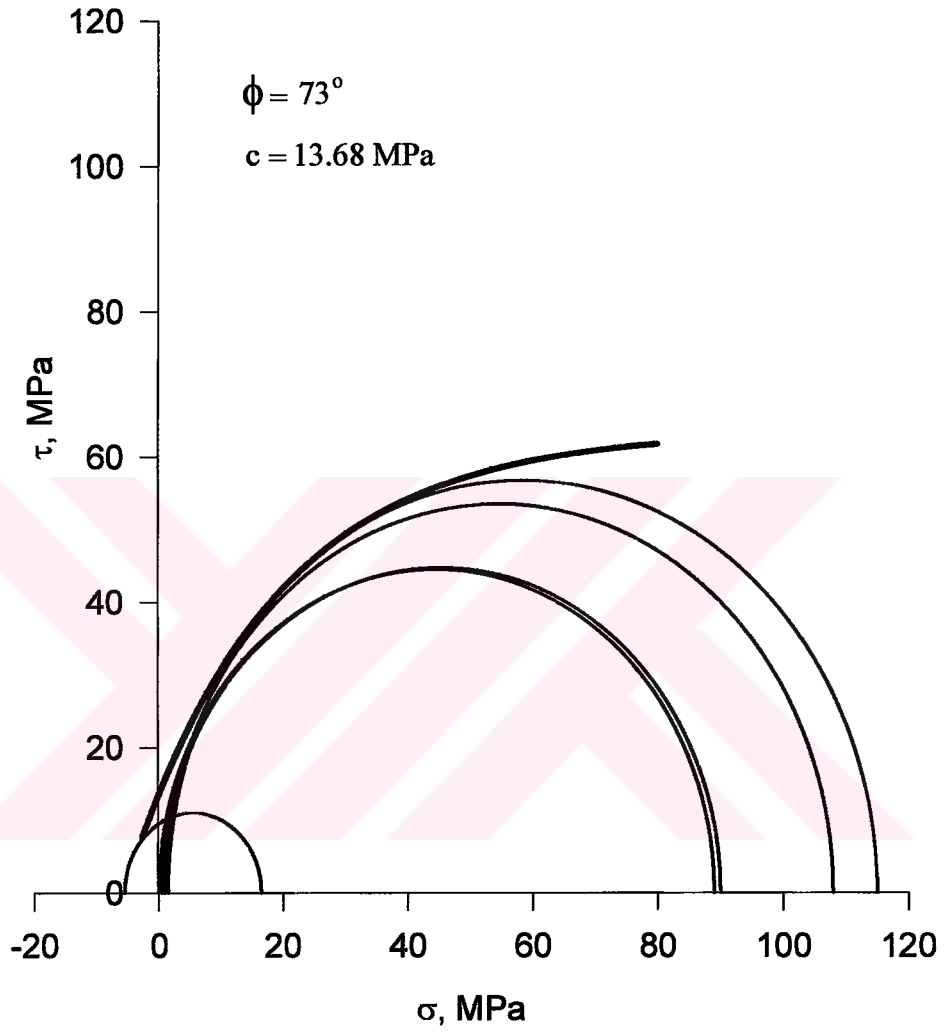
Ortalama **18,40**
Standart Sapma **0,88**

Tablo 10 GM1 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

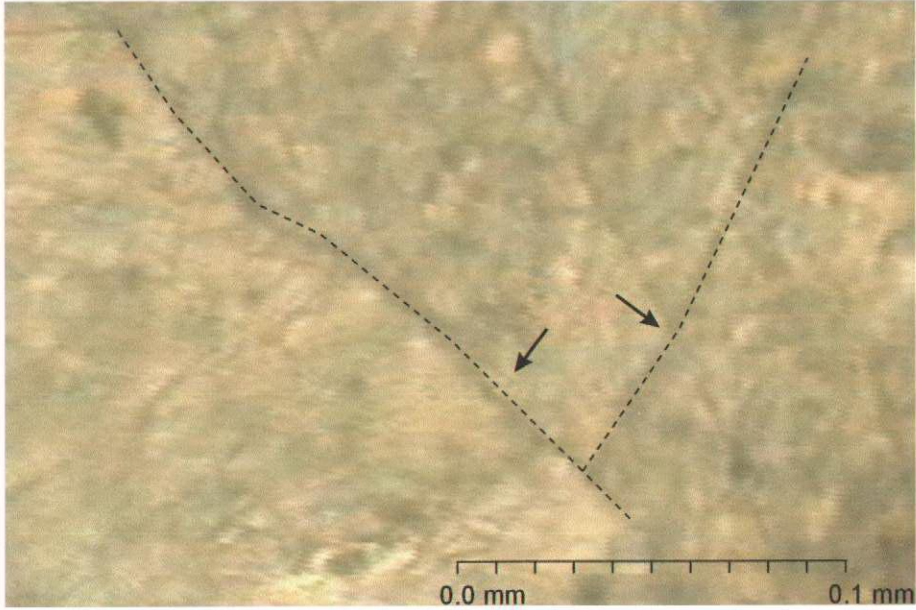
Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm²	F, MPa	F_{orty}, MPa
1	0.5	20720	882,1561	86,51134	88,06
2¹	0.5	21460	913,6617	89,60103	88,06
3	1.0	25330	1078,427	105,7593	107,85
4¹	1.0	26330	1121,002	109,9345	107,85
5	1.5	26940	1146,973	112,4814	115,13
6¹	1.5	28210	1201,044	117,784	115,13

¹İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

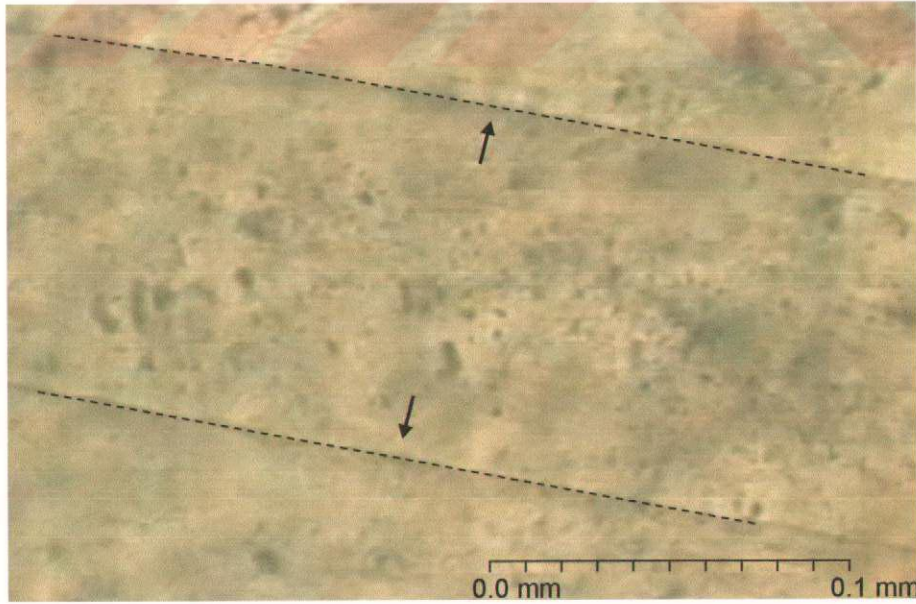


Şekil 1 GM1 Mohr Zarfı



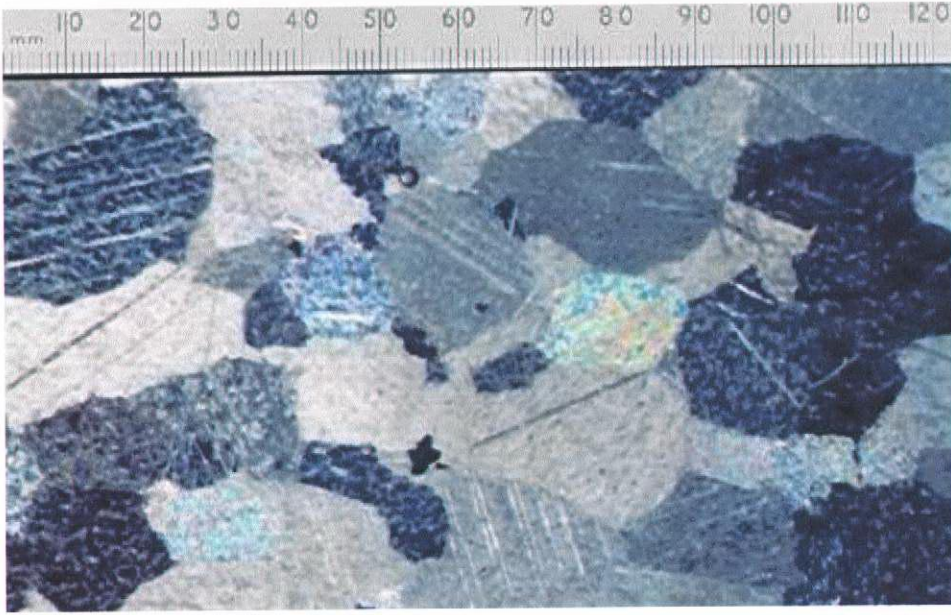
→ : Süreksizlik

Şekil 2 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



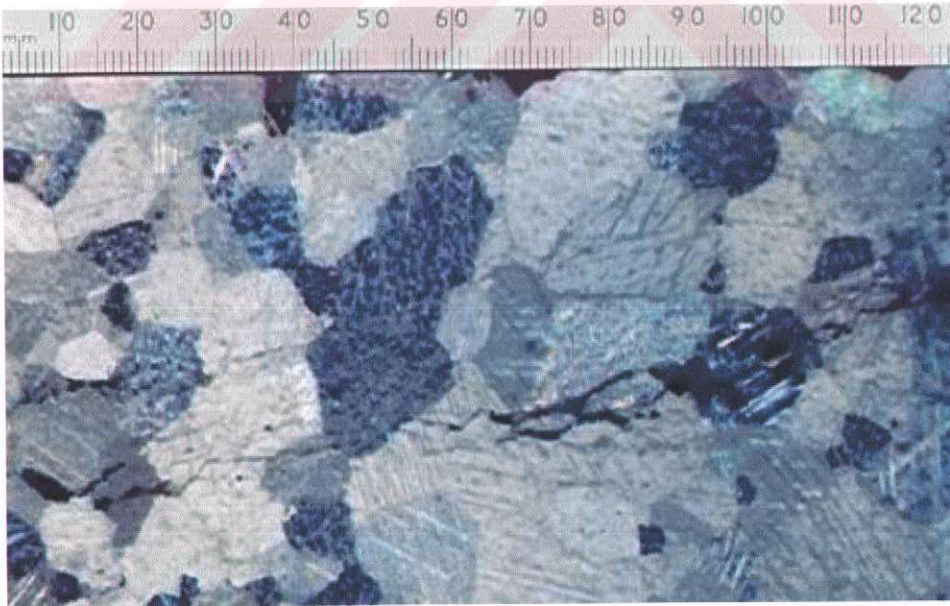
→ : Süreksizlik

Şekil 3 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



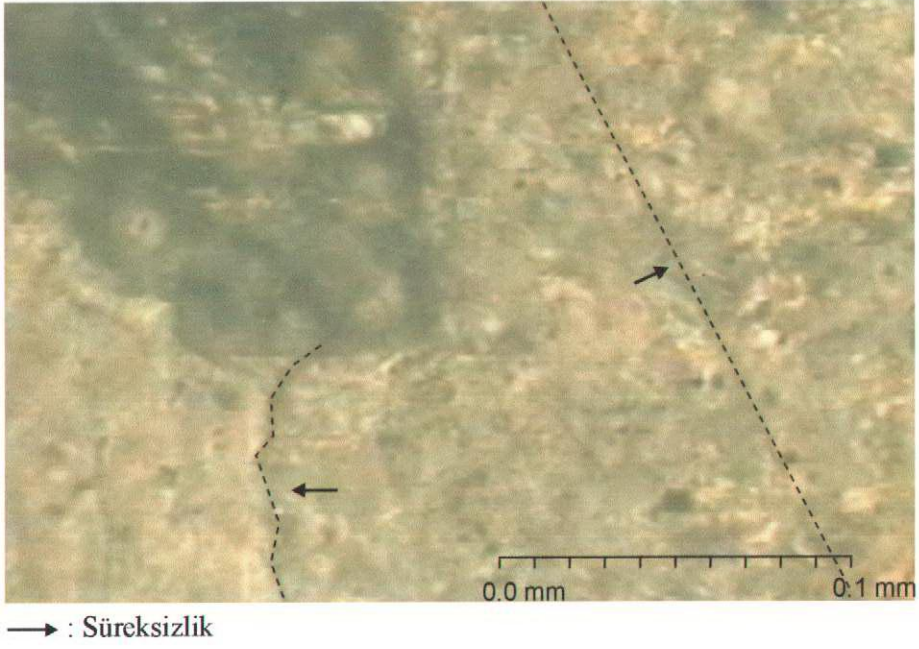
1 cm: 320 μ m

**Şekil 4 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**

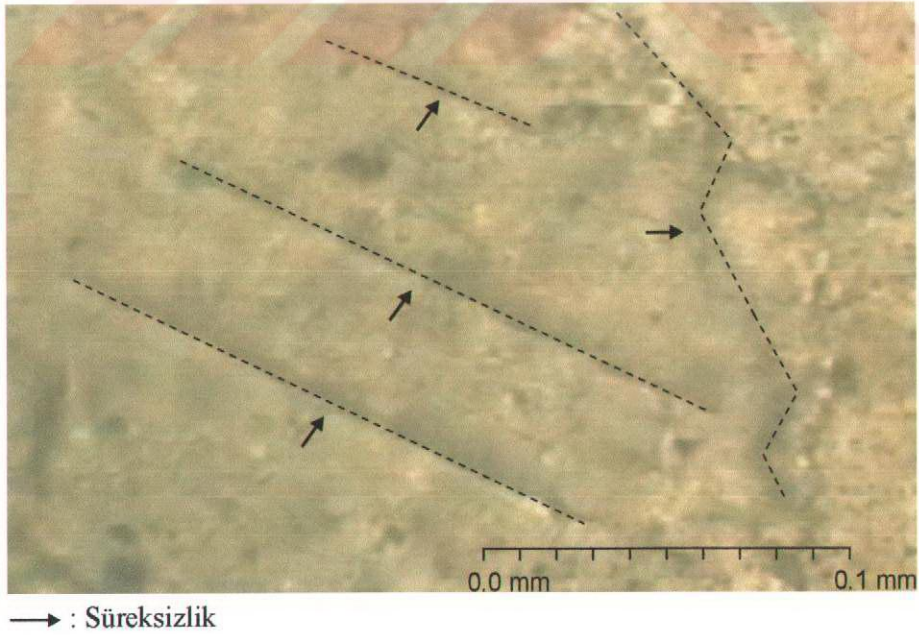


1 cm: 320 μ m

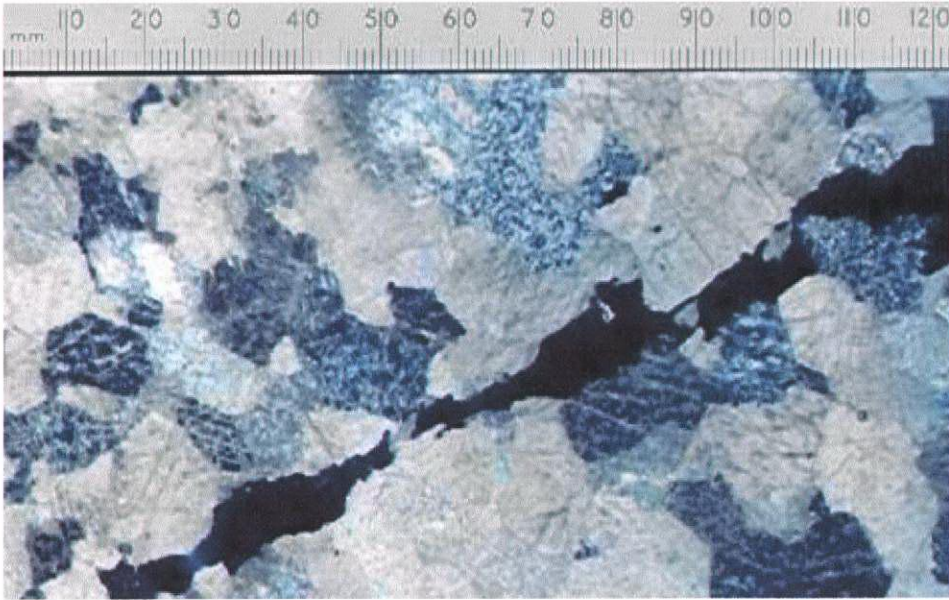
**Şekil 5 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



Şekil 6 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)

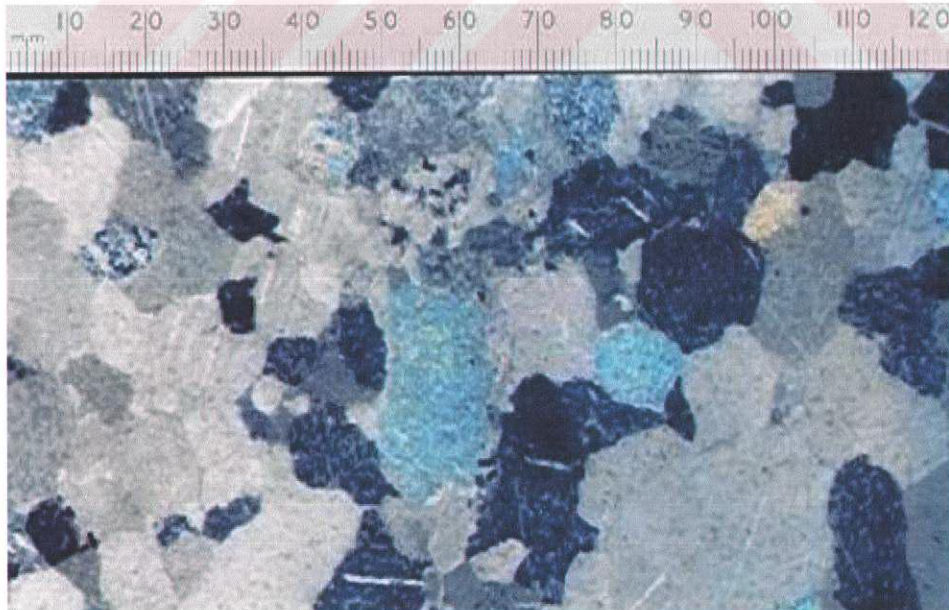


Şekil 7 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



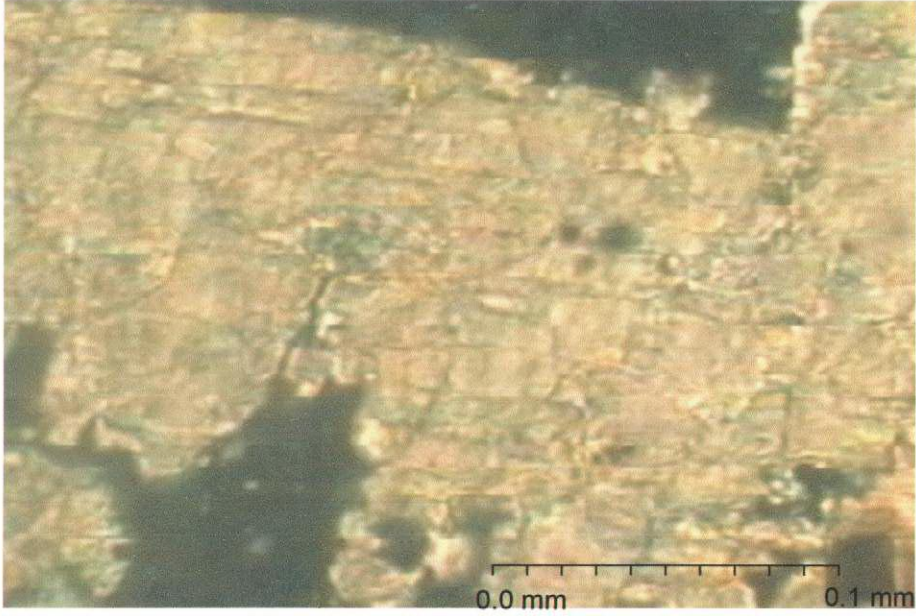
1 cm: 320 μ m

Şekil 8 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

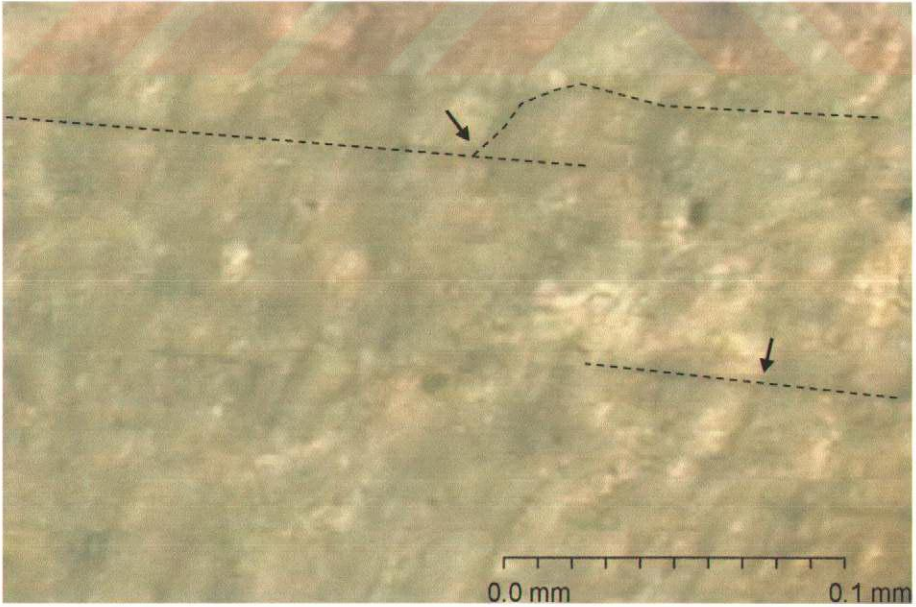


1 cm: 320 μ m

Şekil 9 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

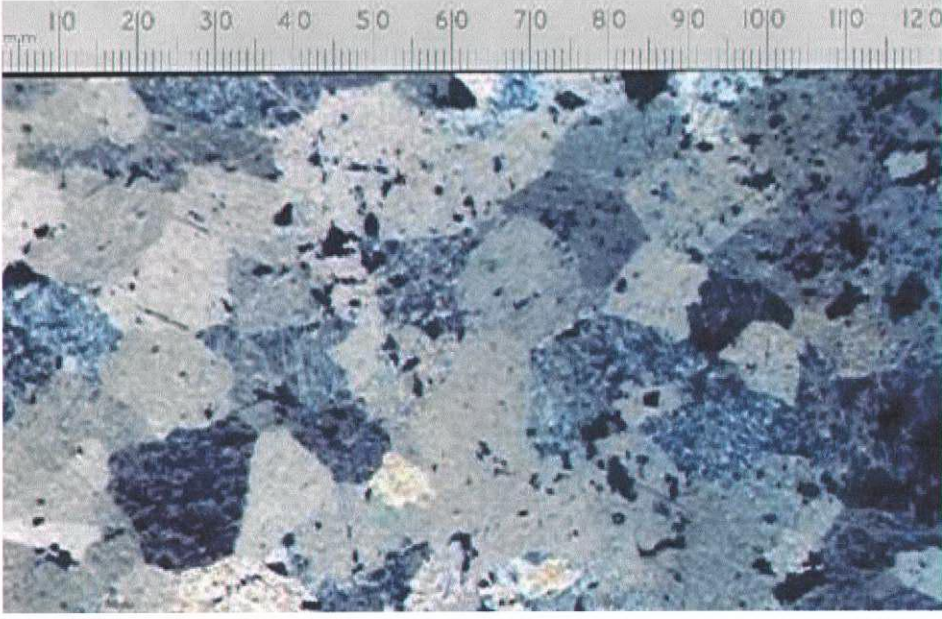


Şekil 10 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



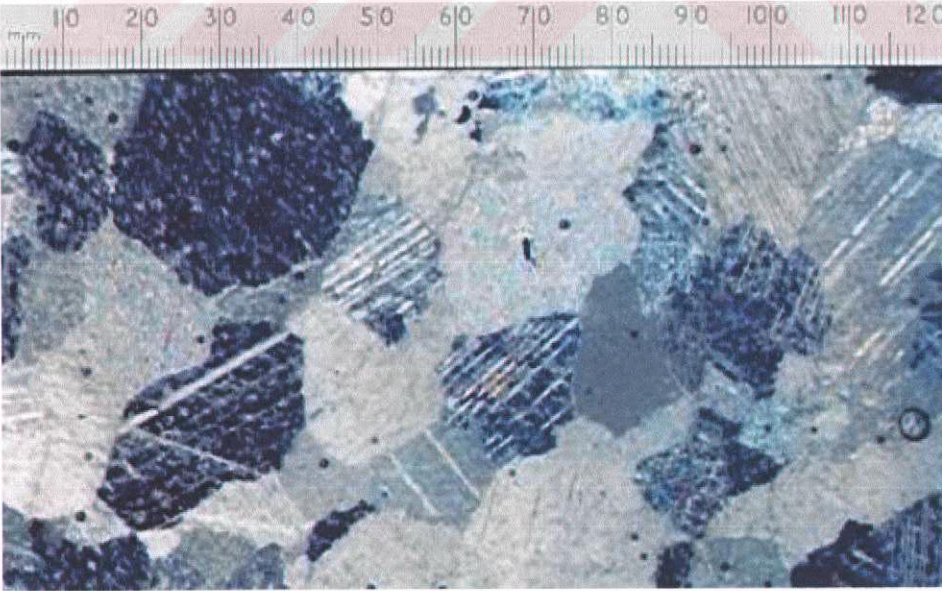
→ : Süreksizlik

Şekil 11 GM1 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 μ m

Şekil 12 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



1 cm: 320 μ m

Şekil 13 GM1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

Tablo 11 GM2 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	921,26	581,75	920,93	339,51	2,713499	2,712527
2	921,02	581,55	920,77	339,47	2,713112	2,712375
3	890,38	562,40	890,07	327,98	2,714739	2,713794
4	929,13	586,63	928,70	342,50	2,712788	2,711533
5	912,62	576,33	912,30	336,29	2,713789	2,712837
6	925,60	584,54	925,34	341,06	2,713892	2,713130
7	933,48	589,41	933,08	344,07	2,713053	2,711890
8	899,17	567,89	898,88	331,28	2,714230	2,713354
9	917,91	579,67	917,56	338,24	2,713783	2,712748
10	921,73	582,04	921,35	339,69	2,713445	2,712326

Ortalama**2,7136****2,7126****Standart Sapma****0,0004****0,0005****Tablo 12 GM2 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	921,26	581,75	920,93	339,51	0,097293	0,097199	0,035833
2	921,02	581,55	920,77	339,47	0,073698	0,073644	0,027151
3	890,38	562,40	890,07	327,98	0,094607	0,094518	0,034829
4	929,13	586,63	928,70	342,50	0,125705	0,125547	0,046301
5	912,62	576,33	912,30	336,29	0,095247	0,095156	0,035076
6	925,60	584,54	925,34	341,06	0,076291	0,076233	0,028098
7	933,48	589,41	933,08	344,07	0,116391	0,116255	0,042869
8	899,17	567,89	898,88	331,28	0,087616	0,087539	0,032262

9	917,91	579,67	917,56	338,24	0,103584	0,103477	0,038145
10	921,73	582,04	921,35	339,69	0,111992	0,111867	0,041244

Ortalama					0,098	0,098	0,036
Standart Sapma					0,012	0,012	0,004

Tablo 13 GM2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,06	6,94	6,94	23290,96	483,5801
2	6,94	7,12	6,98	19977,74	401,986
3	6,92	6,98	7,14	21060,28	422,5815
4	6,88	6,93	6,90	27227,46	569,4096
5	6,89	6,89	6,91	24537,52	515,3869
6	6,95	7,05	6,95	20240,18	413,0860
7	6,94	6,82	7,06	18239,12	378,8042
8	6,88	6,80	6,94	27981,96	592,9386
9	6,96	6,89	6,86	17943,88	379,6409
10	6,94	7,03	7,05	24767,15	499,7256

Ortalama	465,71
Standart Sapma	54,84

Tablo 14 GM2 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	6,92	6,89	6,89	19584,09	412,5389
2	7,03	7,00	7,07	18567,16	375,1699
3	6,84	7,06	6,94	12596,80	257,0964
4	7,02	7,02	7,02	17058,17	346,1451
5	6,95	6,93	7,04	20633,83	422,9353
6	7,05	6,99	6,95	25226,41	519,2703
7	6,98	6,94	6,92	26932,23	560,7984
8	6,92	6,91	6,88	24799,96	521,6563
9	6,87	6,93	7,07	14729,08	300,6235
10	6,96	6,93	7,05	16894,15	345,7912

Ortalama**406,20****Standart Sapma****71,21****Tablo 15 GM2 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,47	2,73	70,52204
2	5,47	2,74	51,34725
3	5,47	2,73	50,17914
4	5,47	2,75	45,77521
5	5,47	2,73	71,87823
6	5,47	2,71	54,64807
7	5,47	2,70	65,82057
8	5,47	2,71	47,81706

9	5,47	2,72	47,64126
10	5,47	2,71	46,45086

Ortalama 55,21
Standart Sapma 7,21

Tablo 16 GM2 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,06	9,89	19,94	135,1598
2	5,05	10,04	20,01	140,8993
3	5,10	10,05	21,00	117,8660
4	4,91	10,06	19,92	112,7689
5	5,00	9,96	19,98	151,5324
6	5,11	10,03	20,08	95,48081
7	5,12	10,02	20,05	104,8774
8	5,12	10,02	21,00	127,6468
9	5,11	10,01	20,08	125,3628
10	5,10	10,10	21,00	131,0804

Ortalama 124,27
Standart Sapma 11,92

Tablo 17 GM2 Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,00	43,80906
2	3,97	31,7669
3	3,96	38,31305
4	3,97	44,47367
5	3,98	37,92897
6	3,96	38,31305
7	3,96	44,69856
8	3,96	40,86726
9	4,01	47,32719
10	4,03	36,99364

Ortalama**40,45****Standart Sapma****3,29****Tablo 18 GM2 Darbe Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	3,93	3,95	5,12	6
2	3,97	3,98	5,12	6
3	3,96	3,96	5,12	6
4	4,06	3,96	5,12	6
5	4,02	3,94	7,68	12
6	3,90	3,94	5,12	6
7	3,98	3,98	5,12	6
8	3,95	3,95	5,12	6

9	3,94	3,94	7,68	12
10	3,97	3,96	7,68	12

Ortalama **7,80**
Standart Sapma **2,04**

Tablo 19 GM2 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	6,94	7,08	339,51	321,06	18,77473
2	6,96	6,96	339,47	322,09	17,93913
3	7,08	6,85	327,98	308,81	19,76370
4	7,11	6,94	342,5	324,19	18,55365
5	7,04	6,84	336,29	317,68	19,32358
6	6,96	7,09	341,06	320,40	20,93364
7	6,97	6,95	344,07	323,14	21,60338
8	6,95	7,05	331,28	310,16	21,55212
9	7,10	6,95	338,24	317,06	21,46114
10	6,82	7,12	339,69	318,84	21,46899

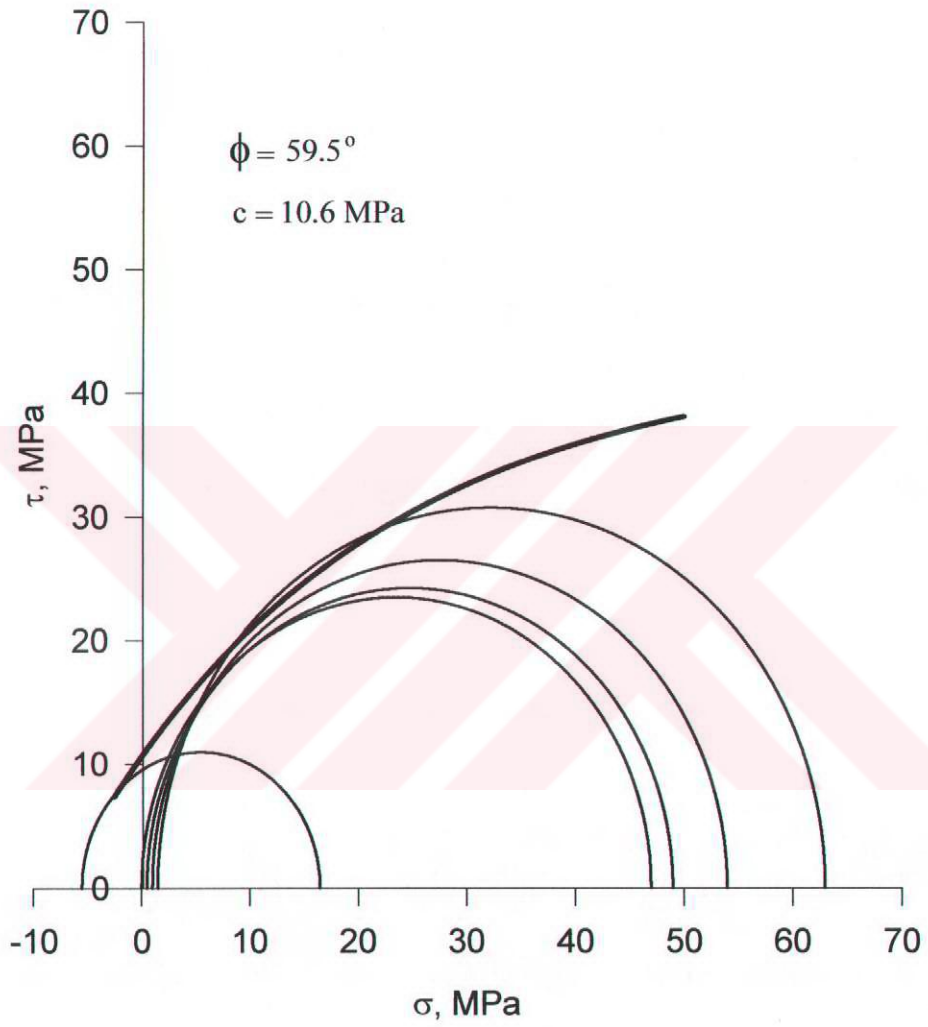
Ortalama **20,14**
Standart Sapma **1,00**

Tablo 2. 20 GM2 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

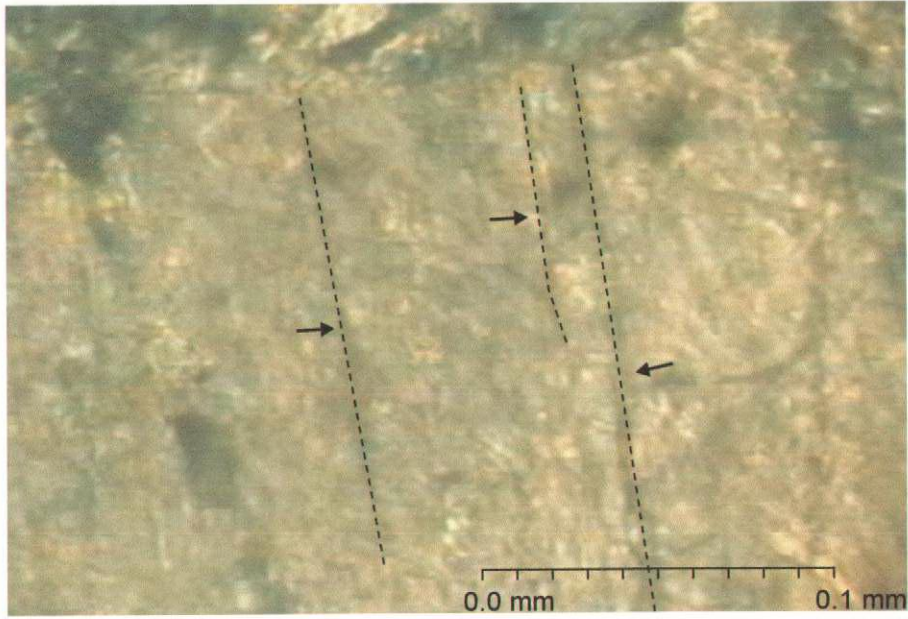
Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm ²	F, MPa	F _{ort} , MPa
1	0.5	11440	487,0592	47,76495	49,25
2 ¹	0.5	12150	517,2875	50,72938	49,25
3 ¹	1.0	13070	556,4566	54,57062	53,59
4	1.0	12600	536,4463	52,60825	53,59
5	1.5	14890	633,9433	62,16959	63,28
6 ¹	1.5	15420	656,5081	64,38247	63,28

¹ İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²



Şekil 14 GM2 Mohr Zarfı



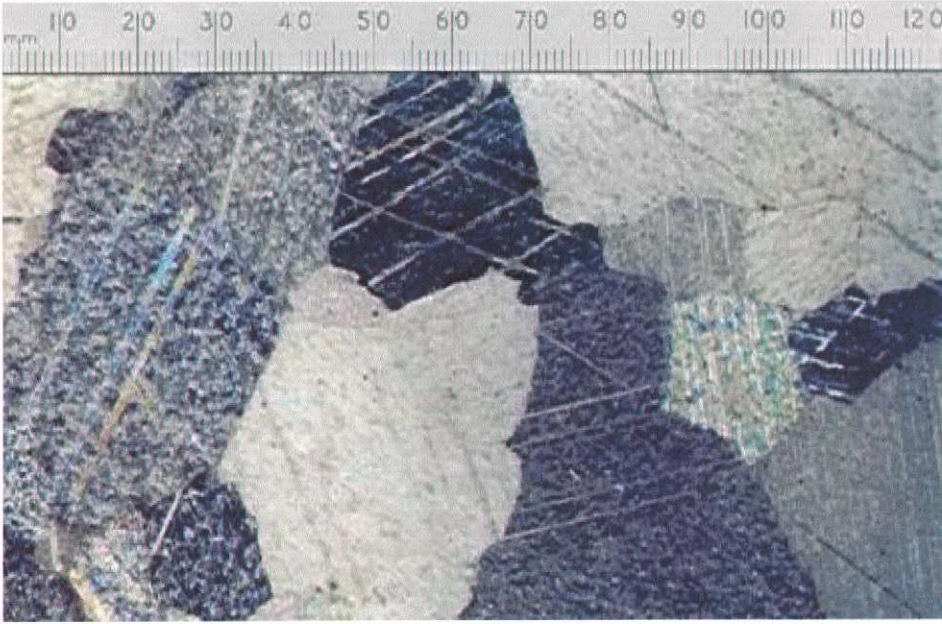
→ : Süreksizlik

Şekil 15 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



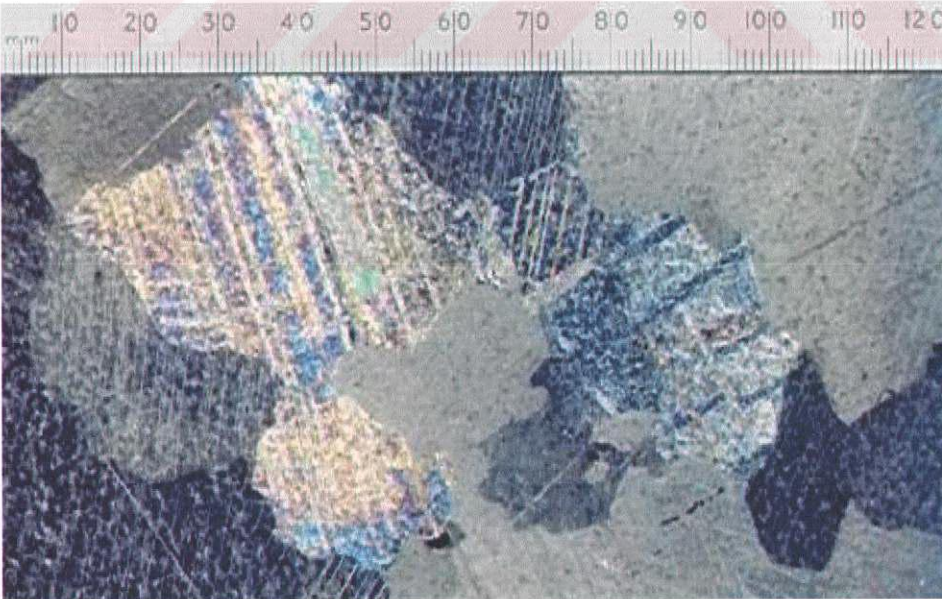
→ : Süreksizlik

Şekil 16 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



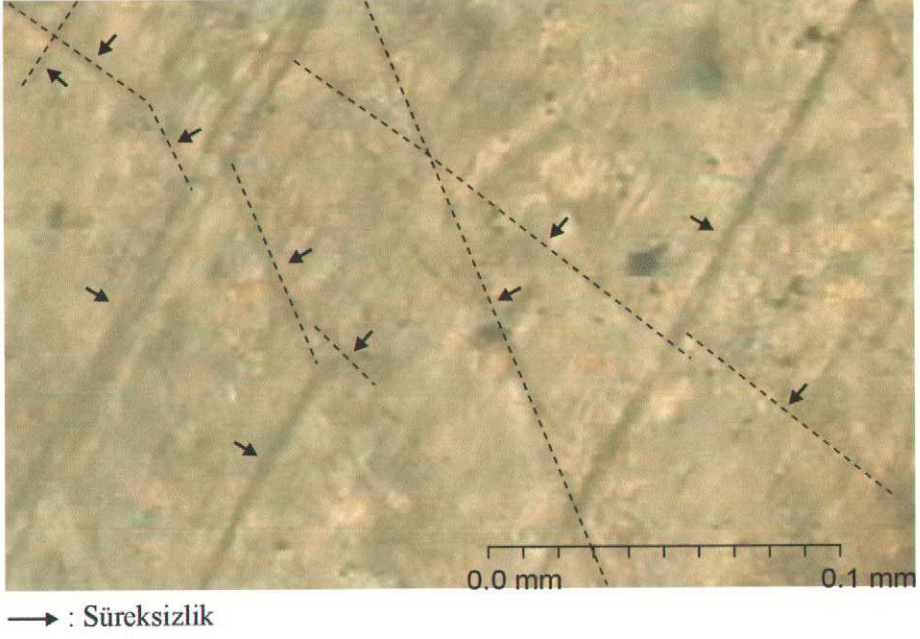
1 cm: 320 μ m

Şekil 17 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

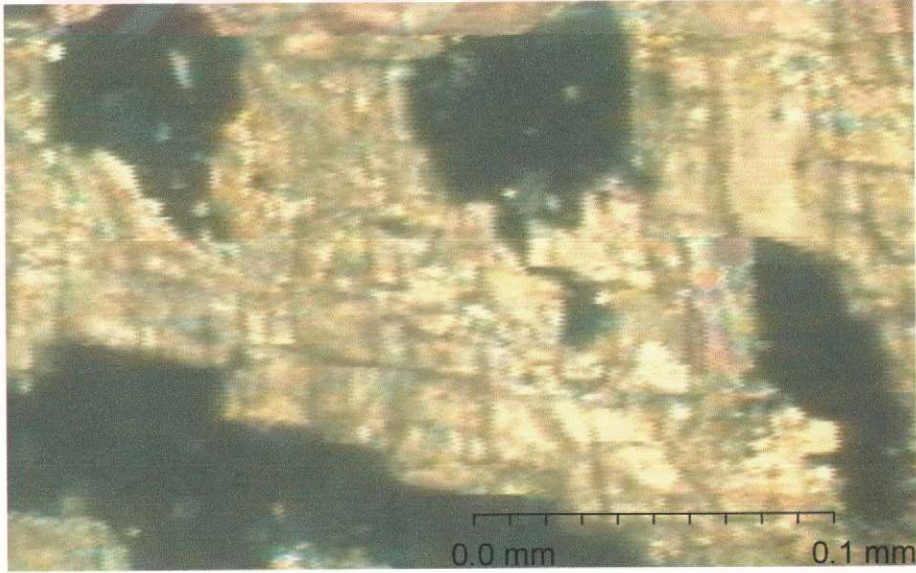


1 cm: 320 μ m

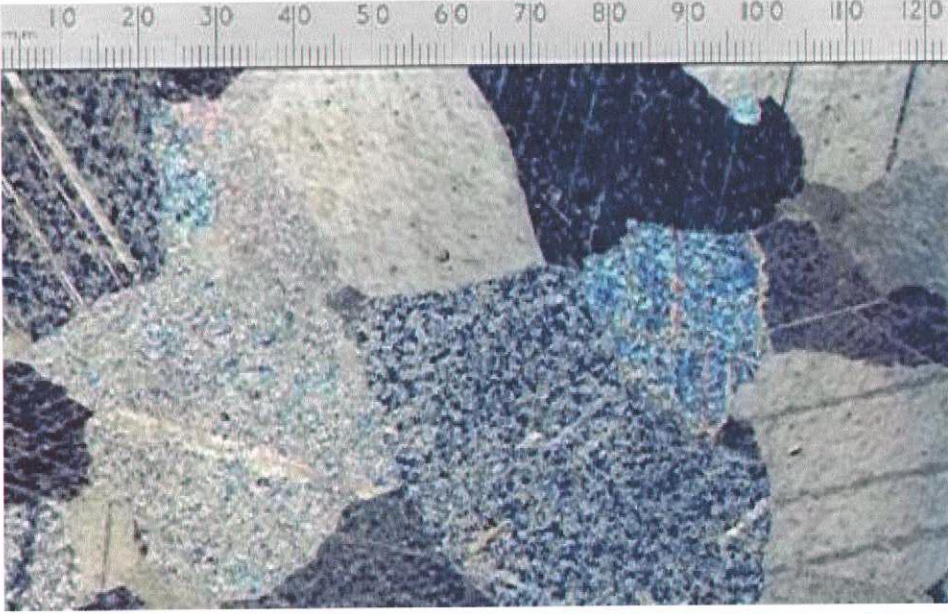
Şekil 18 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 19 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)

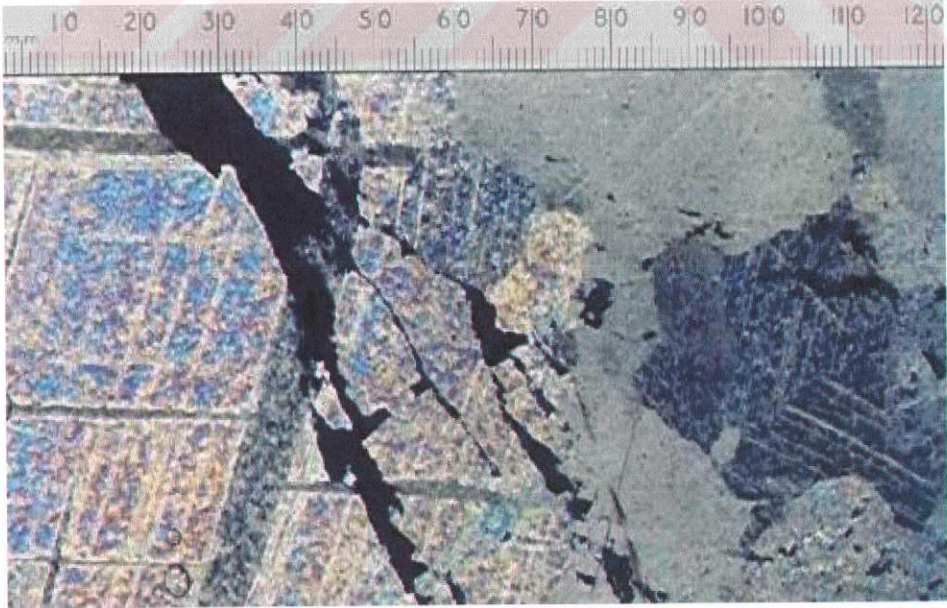


Şekil 20 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



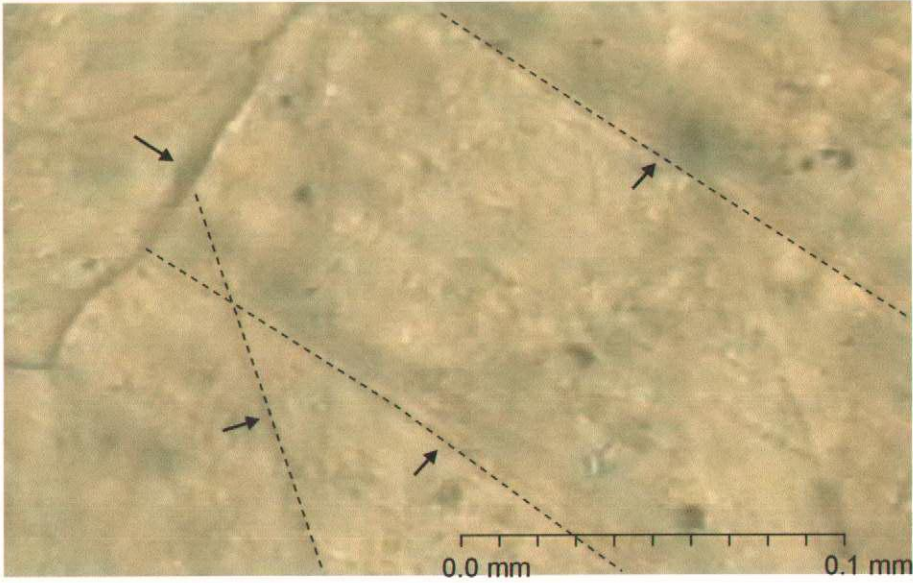
1 cm: 320 μ m

Şekil 21 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



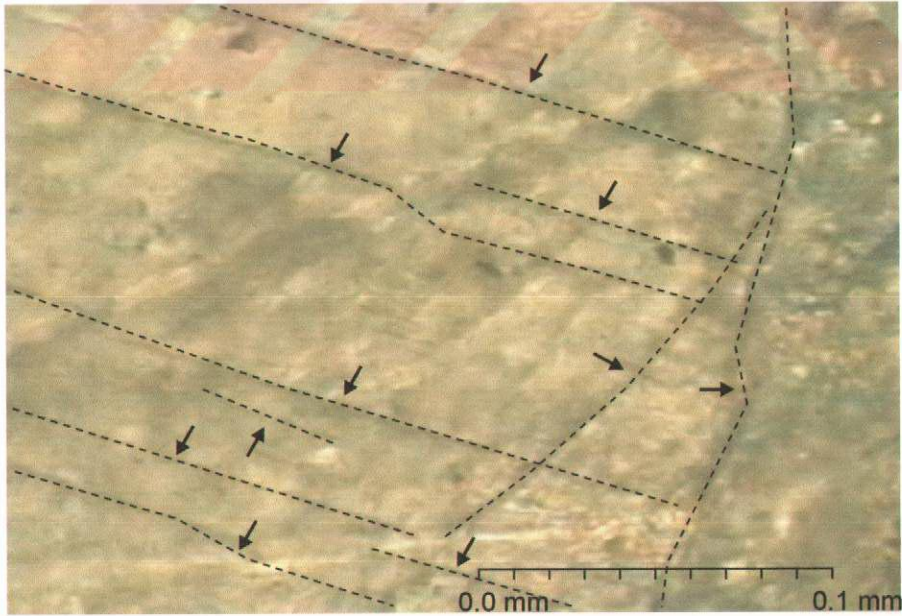
1 cm: 320 μ m

Şekil 22 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



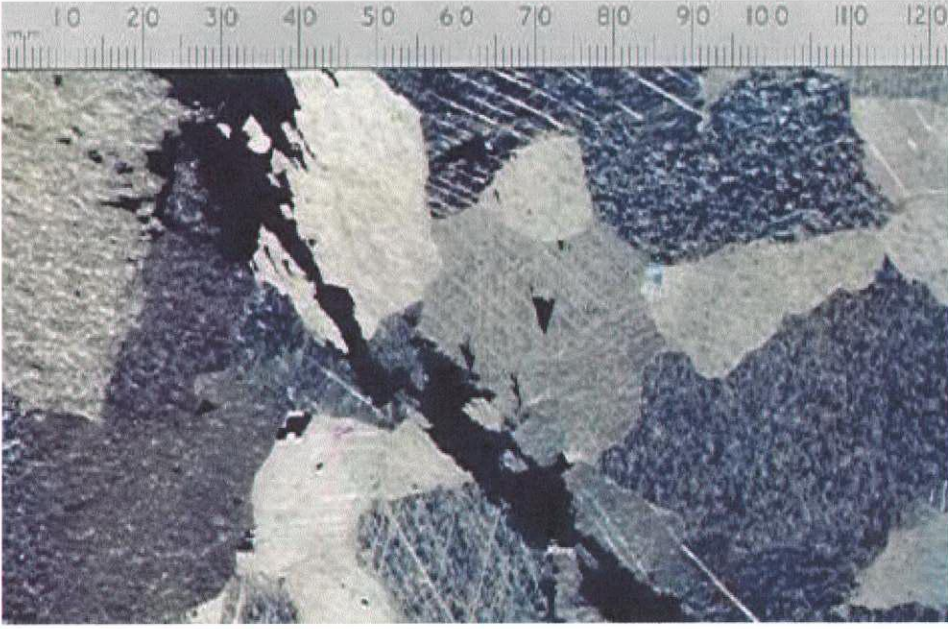
→ : Süreksizlik

Şekil 23 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



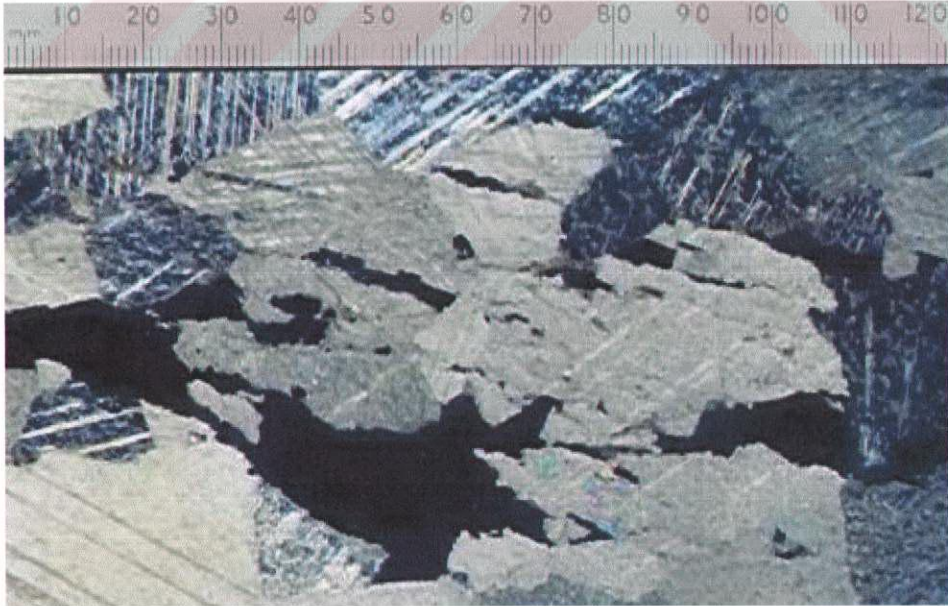
→ : Süreksizlik

Şekil 24 GM2 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 μm

**Şekil 25 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



1 cm: 320 μm

**Şekil 26 GM2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**

Tablo 21 GM3 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	955,13	603,68	954,50	351,45	2,717684	2,715891
2	936,43	591,22	935,94	345,21	2,712639	2,711219
3	960,75	607,95	959,96	352,80	2,723214	2,720975
4	952,39	602,04	951,76	350,35	2,718396	2,716598
5	962,88	608,41	962,18	354,47	2,716393	2,714419
6	947,41	598,20	946,96	349,21	2,713009	2,711721
7	938,35	592,50	937,82	345,85	2,713170	2,711638
8	946,34	597,67	945,96	348,67	2,714142	2,713052
9	959,70	605,74	959,14	353,96	2,711323	2,709741
10	957,57	604,79	957,09	352,78	2,714355	2,712994

Ortalama**2,7154****2,7138****Standart Sapma****0,0025****0,0023****Tablo 22 GM3 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	955,13	603,68	954,50	351,45	0,179579	0,179257	0,066003
2	936,43	591,22	935,94	345,21	0,142144	0,141943	0,052354
3	960,75	607,95	959,96	352,80	0,224425	0,223923	0,082295
4	952,39	602,04	951,76	350,35	0,180144	0,179820	0,066193
5	962,88	608,41	962,18	354,47	0,197869	0,197478	0,072751
6	947,41	598,20	946,96	349,21	0,129029	0,128862	0,047520
7	938,35	592,50	937,82	345,85	0,153481	0,153246	0,056514
8	946,34	597,67	945,96	348,67	0,109104	0,108986	0,040171

9	959,70	605,74	959,14	353,96	0,158461	0,158210	0,058386
10	957,57	604,79	957,09	352,78	0,136248	0,136062	0,050152

Ortalama					0,161	0,161	0,059
Standart Sapma					0,024	0,024	0,009

Tablo 23 GM3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,10	7,04	7,12	30368,17	605,8331
2	7,08	7,05	7,10	35937,50	728,2168
3	7,07	7,07	7,06	27934,34	566,0729
4	7,07	7,07	7,06	32476,13	651,5659
5	7,08	7,09	7,10	31721,64	632,8330
6	7,09	7,06	7,04	32313,17	645,5456
7	7,07	7,00	7,06	26003,11	526,9121
8	7,09	7,07	7,08	29458,15	599,5032
9	7,02	7,09	7,10	34331,15	682,9623
10	7,05	7,10	7,06	20961,87	418,1811

Ortalama	605,76
Standart Sapma	61,42

Tablo 24 GM3 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,10	7,09	7,07	23525,87	469,3459
2	7,07	7,00	7,05	20442,27	408,3962
3	7,05	7,08	6,97	28052,84	562,0212
4	7,05	7,08	7,04	34580,88	692,8065
5	7,08	7,08	7,08	27331,15	542,9419
6	7,07	7,07	7,08	31926,90	642,3613
7	7,06	7,00	7,05	33640,27	680,7015
8	7,08	6,96	7,06	25002,05	499,4856
9	7,09	7,08	7,10	25423,24	505,0406
10	6,93	7,09	7,07	30934,34	617,1316

Ortalama**562,02****Standart Sapma****66,59****Tablo 25 GM3 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,46	2,90	44,76606
2	5,46	2,90	57,55636
3	5,46	2,90	39,64994
4	5,46	2,90	39,64994
5	5,46	2,92	38,10809
6	5,46	2,88	47,65276
7	5,46	2,79	33,23645
8	5,46	2,81	29,0399

9	5,46	2,79	31,90699
10	5,46	2,80	37,09188

Ortalama **39,86**
Standart Sapma **5,91**

Tablo 26 GM3 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,07	10,00	19,95	126,5594
2	4,92	10,00	19,93	116,5806
3	5,00	10,00	19,00	81,07955
4	4,81	10,01	19,00	115,5317
5	5,00	9,99	19,91	102,6062
6	5,08	10,00	19,93	92,78404
7	5,03	10,00	19,91	67,52304
8	5,23	9,99	19,92	81,32140
9	5,07	10,00	19,92	93,09846
10	5,01	10,00	19,00	103,3679

Ortalama **98,04**
Standart Sapma **13,00**

Tablo 27 GM3 Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,09	41,90225
2	4,09	50,28270
3	4,09	38,31063
4	4,09	44,29666
5	4,10	35,74123
6	4,10	47,65497
7	4,07	47,15108
8	4,09	41,90225
9	4,09	34,71901
10	4,09	38,31063

Ortalama**42,03****Standart Sapma****3,73****Tablo 28 GM3 Darbe Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	3,98	4,00	10,24	20
2	3,94	4,01	10,24	20
3	4,01	3,96	12,80	30
4	3,99	4,01	12,80	30
5	4,00	4,01	10,24	20
6	4,02	4,01	10,24	20
7	4,01	4,03	7,68	12
8	4,01	3,99	12,80	30

9	3,97	3,97	7,68	12
10	4,01	4,02	10,24	20

Ortalama**21,40****Standart Sapma****4,75****Tablo 29 GM3 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	7,08	7,07	351,73	330,93	20,77690
2	7,08	7,08	347,2	323,36	23,77988
3	7,10	7,09	355,74	333,06	22,52727
4	7,03	7,04	357,51	337,09	20,62993
5	7,04	7,08	353,70	329,80	23,97519
6	7,06	7,00	347,65	323,90	24,02873
7	7,07	7,08	341,47	317,89	23,55381
8	7,06	7,06	360,20	335,98	24,29600
9	7,09	7,11	355,45	333,05	22,21786
10	7,07	7,08	352,68	331,19	21,46613

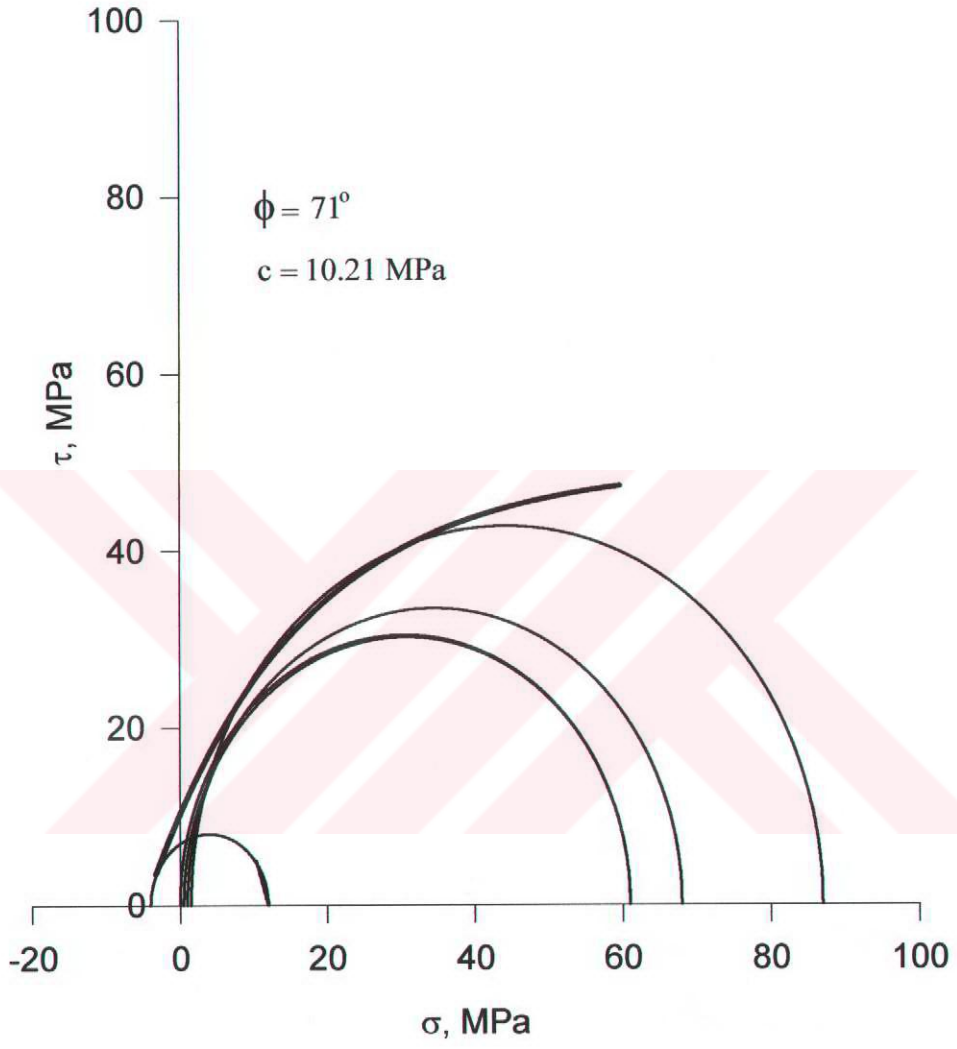
Ortalama**22,72****Standart Sapma****0,99**

Tablo 30 GM3 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

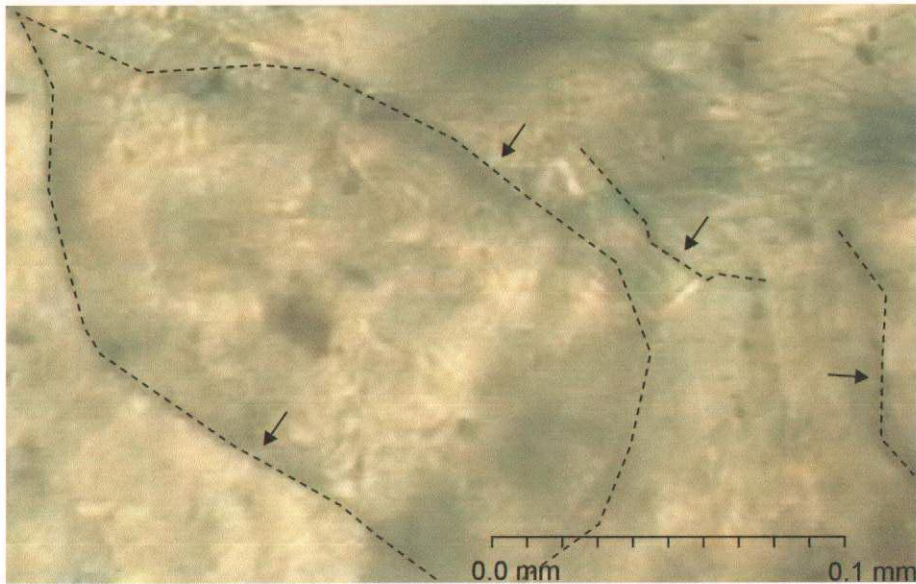
Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm ²	F, MPa	F _{ort} , MPa
1 ¹	0.5	14970	637,3493	62,50361	61,19
2	0.5	14340	610,527	59,87319	61,19
3 ¹	1.0	16290	693,5484	68,01495	68,41
4	1.0	16480	701,6377	68,80824	68,41
5 ¹	1.5	22510	958,3655	93,98505	86,49
6	1.5	18920	805,5209	78,99587	86,49

¹ İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

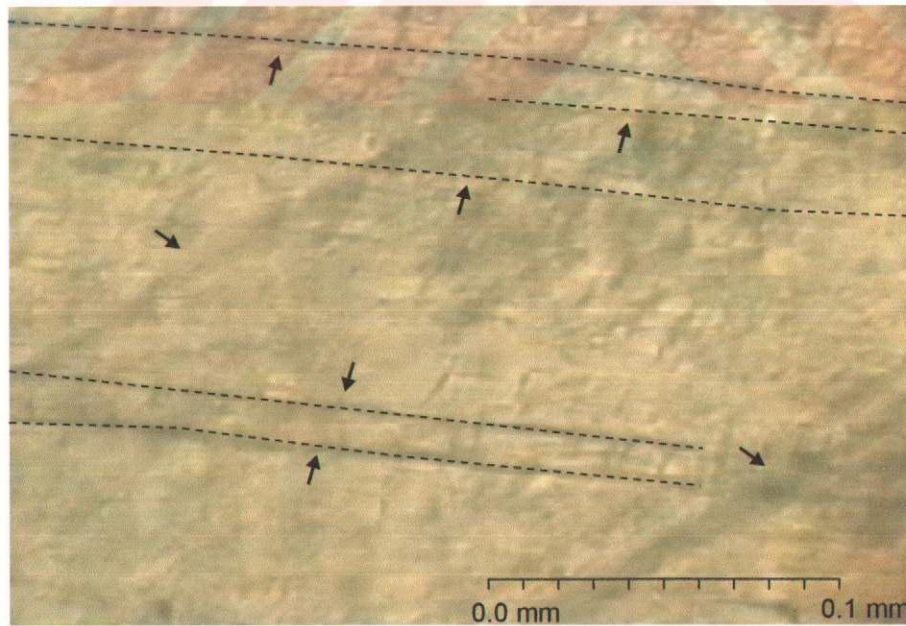


Şekil 27 GM3 Mohr Zarfı



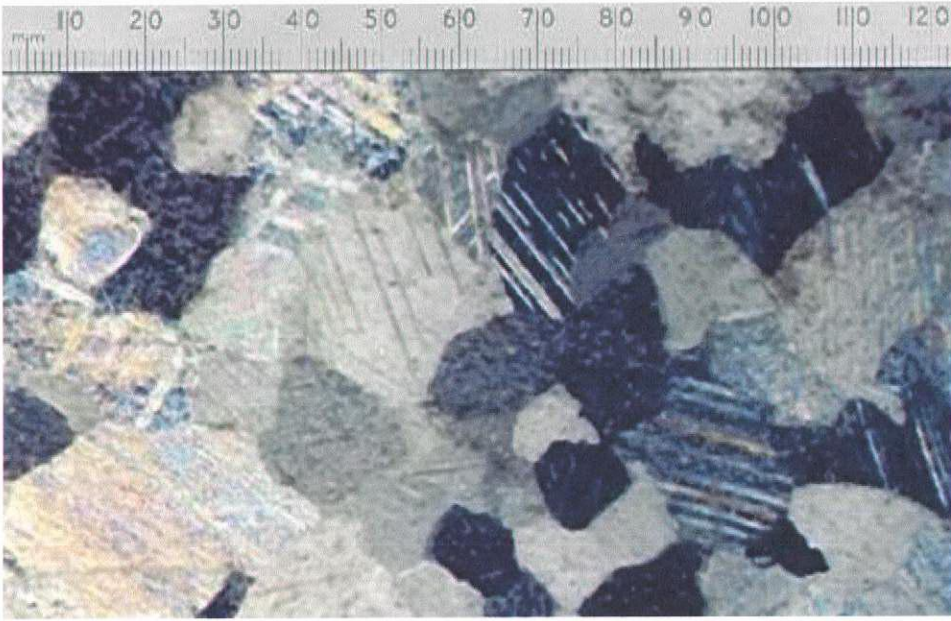
→ : Süreksizlik

Şekil 28 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



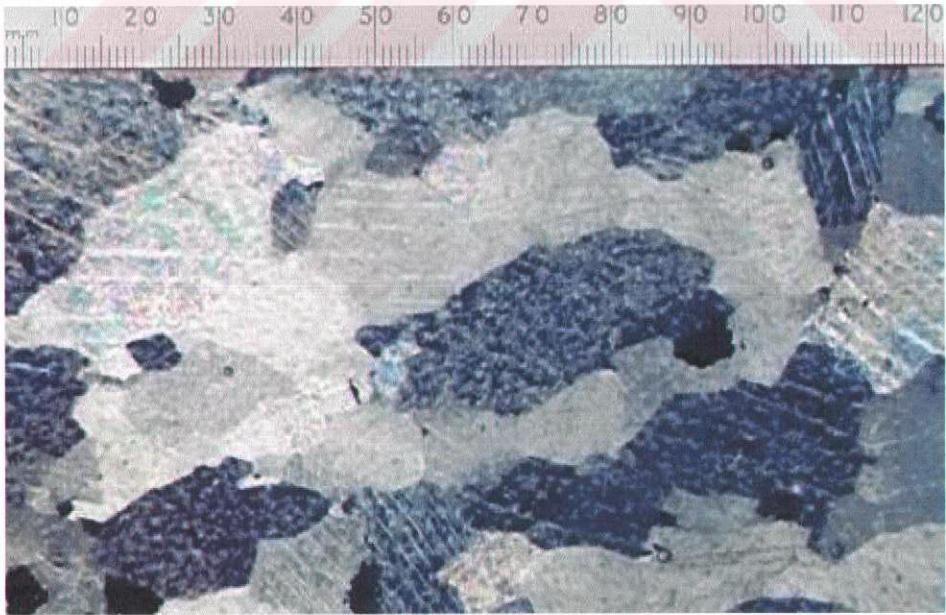
→ : Süreksizlik

Şekil 29 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



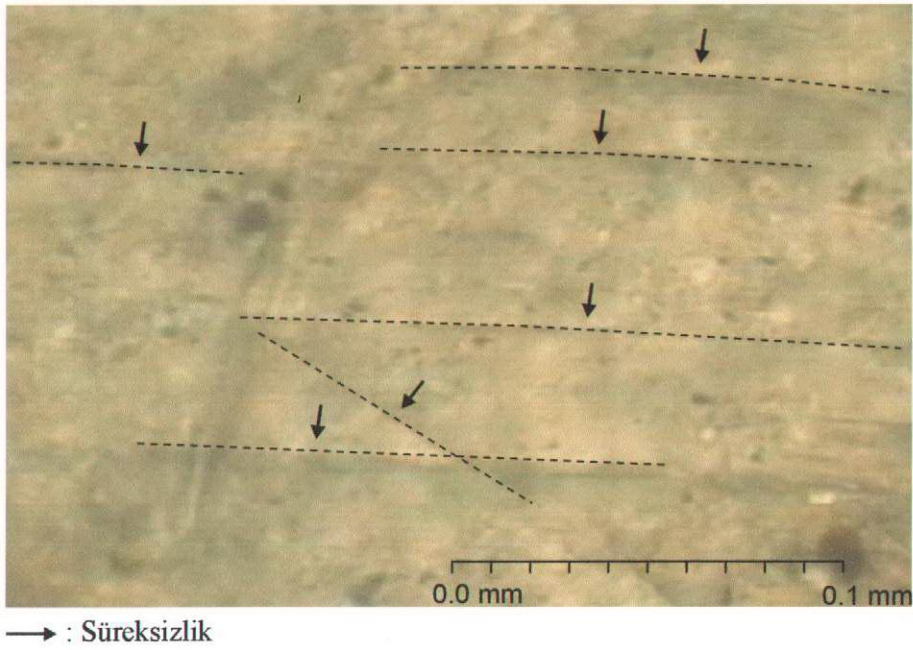
1 cm: 320 μ m

Şekil 30 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

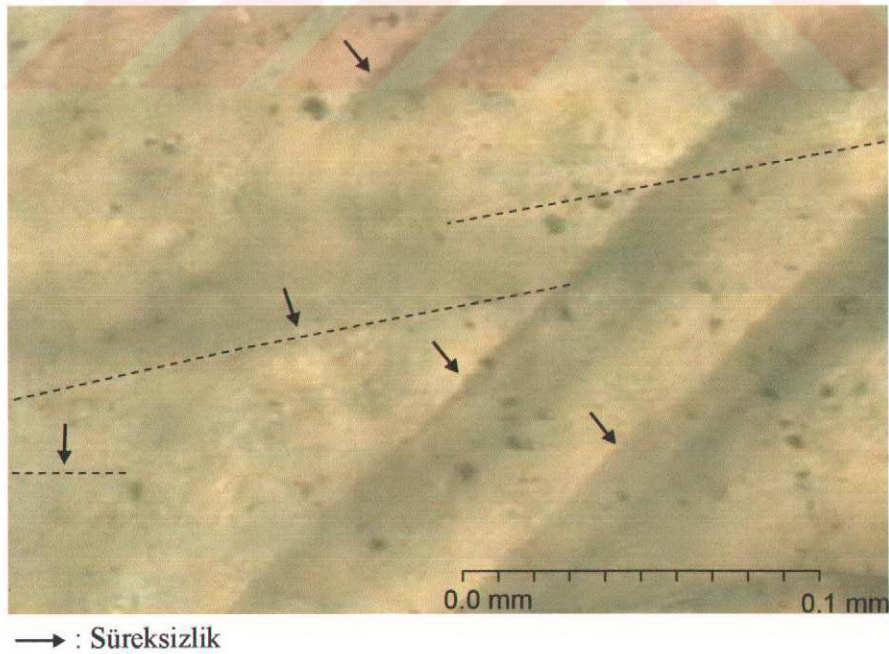


1 cm: 320 μ m

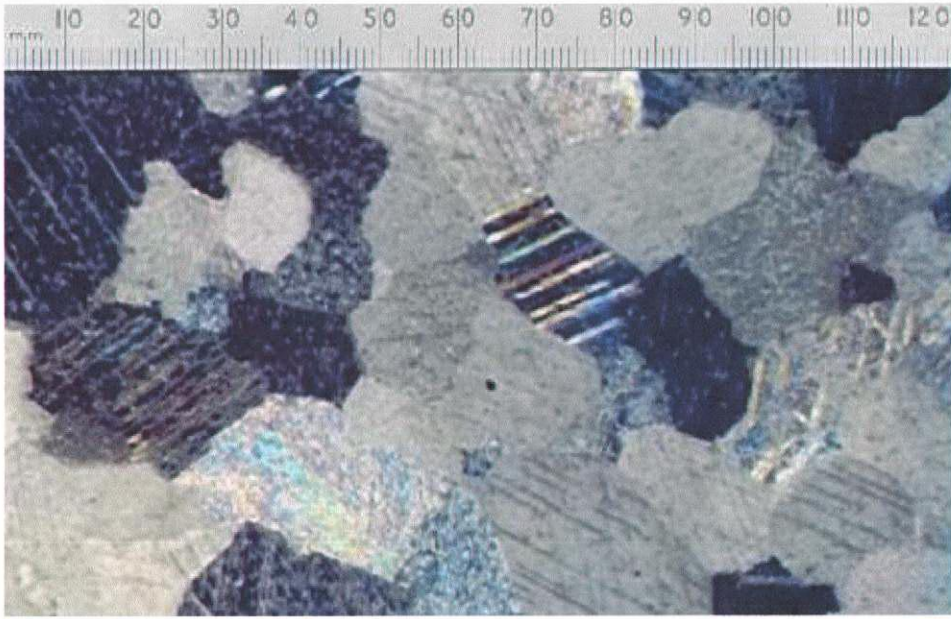
Şekil 31 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 32 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)

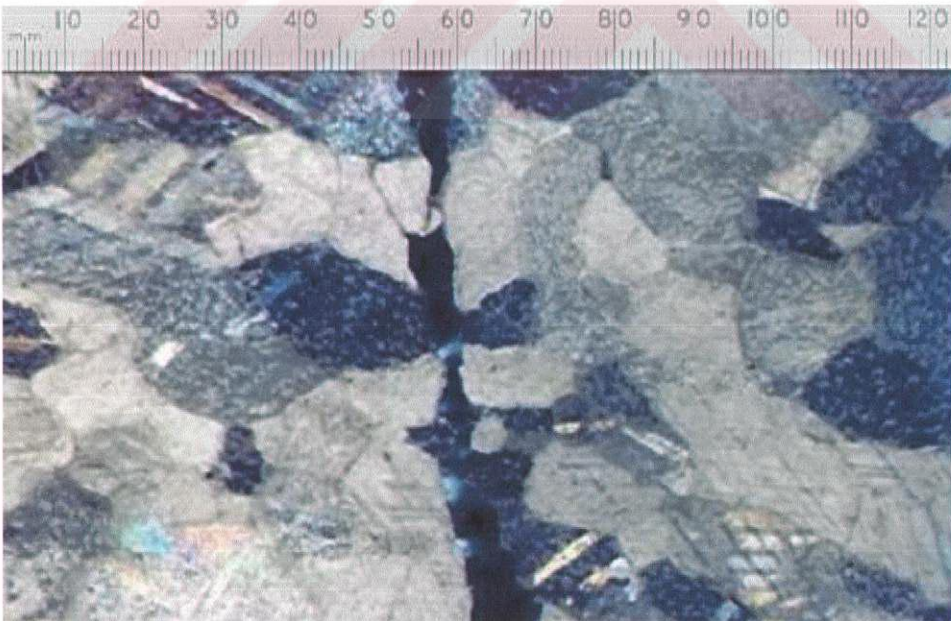


Şekil 33 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



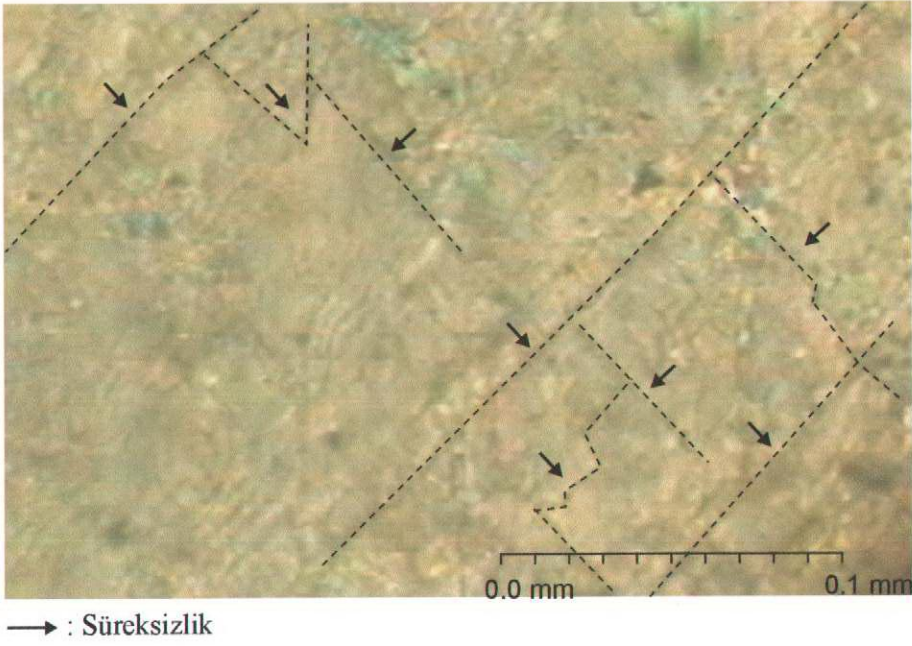
1 cm: 320 μ m

Şekil 34 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

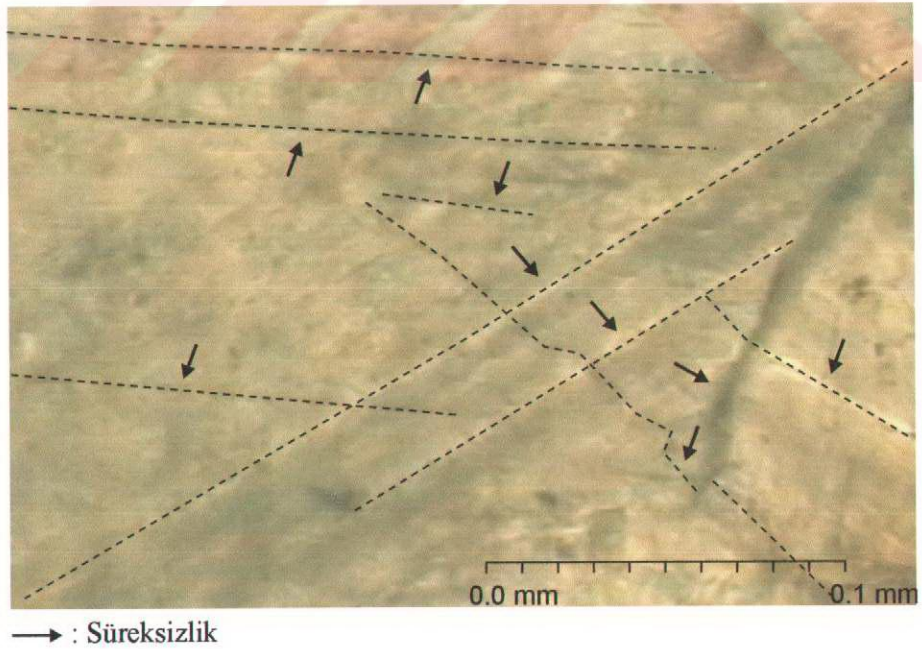


1 cm: 320 μ m

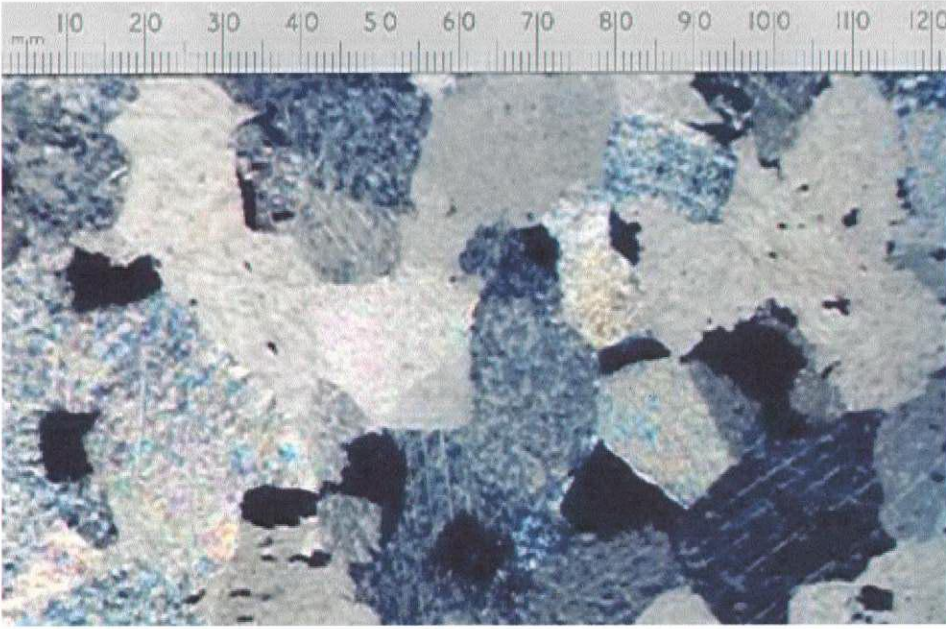
Şekil 35 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



Şekil 36 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)

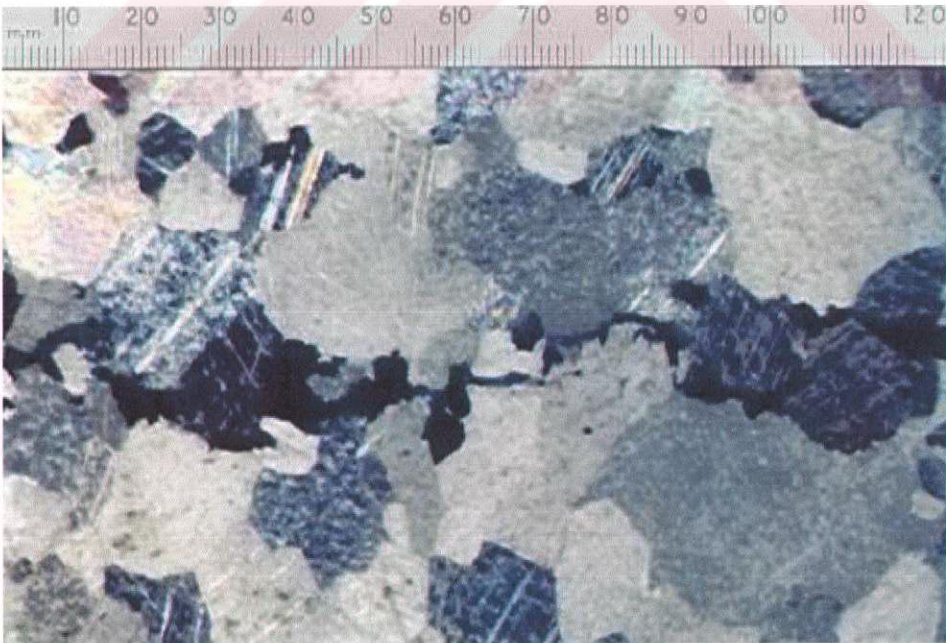


Şekil 37 GM3 Kalsit Kristali Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (1250 Büyültme)



1 cm: 320 μm

Şekil 38 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



1 cm: 320 μm

Şekil 39 GM3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

Tablo 41 KÇT1 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	950,61	598,35	949,60	352,26	2,698603	2,695736
2	955,72	602,23	954,73	353,49	2,703669	2,700868
3	965,36	608,55	964,57	356,81	2,705530	2,703315
4	965,90	608,77	965,18	357,13	2,704617	2,702601
5	955,27	601,71	954,05	353,56	2,701861	2,698410
6	934,13	588,75	933,02	345,38	2,704644	2,701430
7	955,75	602,22	954,93	353,53	2,703448	2,701129
8	923,63	581,76	922,16	341,87	2,701699	2,697400
9	961,66	605,58	960,48	356,08	2,700685	2,697371
10	954,12	601,05	952,88	353,07	2,702354	2,698842

Ortalama**2,7027****2,7000****Standart Sapma****0,0015****0,0018****Tablo 42 KÇT1 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	950,61	598,35	949,60	352,26	0,287544	0,286720	0,106361
2	955,72	602,23	954,73	353,49	0,280851	0,280064	0,103694
3	965,36	608,55	964,57	356,81	0,221898	0,221406	0,081902
4	965,90	608,77	965,18	357,13	0,202015	0,201607	0,074597
5	955,27	601,71	954,05	353,56	0,346256	0,345062	0,127876
6	934,13	588,75	933,02	345,38	0,322421	0,321385	0,118969
7	955,75	602,22	954,93	353,53	0,232486	0,231946	0,085870
8	923,63	581,76	922,16	341,87	0,431845	0,429988	0,159408

9	961,66	605,58	960,48	356,08	0,332488	0,331386	0,122855
10	954,12	601,05	952,88	353,07	0,352443	0,351205	0,130132

Ortalama					0,301	0,300	0,111
Standart Sapma					0,050	0,049	0,018

Tablo 43 KÇT1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,10	6,96	7,11	71104,63	1436,875
2	7,14	7,06	7,15	53667,63	1063,167
3	7,08	7,06	7,09	59151,20	1181,715
4	7,09	7,10	7,13	53405,19	1054,959
5	7,17	7,08	7,04	55989,29	1123,308
6	7,03	7,11	7,17	55734,29	1093,286
7	7,09	7,09	7,06	66789,30	1334,308
8	7,05	7,23	7,11	54563,89	1061,445
9	6,96	7,09	7,09	48916,30	973,1082
10	6,98	7,08	7,18	58194,61	1144,788

Ortalama	1146,70
Standart Sapma	98,76

Tablo 44 KÇT1 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,04	6,99	7,99	52355,46	937,4282
2	7,14	7,12	7,08	50715,25	1006,063
3	7,04	7,10	7,10	55799,89	1106,921
4	7,05	7,27	7,02	50420,02	987,9421
5	7,04	7,07	7,10	60818,94	1211,605
6	7,08	7,10	6,98	84798,79	1711,102
7	7,06	7,10	7,02	49632,72	995,8011
8	7,08	6,96	7,15	19682,50	395,5168
9	7,11	7,08	7,05	21191,50	424,5602
10	7,12	7,09	7,10	30540,69	606,7004

Ortalama**938,36****Standart Sapma****275,81****Tablo 45 KÇT1 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,46	2,81	52,79983
2	5,46	2,8	79,48260
3	5,46	2,8	100,6780
4	5,46	2,76	72,57107
5	5,46	2,79	98,37989
6	5,46	2,8	92,72970
7	5,46	2,7	68,68866
8	5,46	2,8	72,85905

9	5,46	2,8	74,18376
10	5,46	2,79	65,14344

Ortalama 77,75
Standart Sapma 10,78

Tablo 46 KÇT1 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,23	9,98	19,92	144,0205
2	5,21	9,98	19,97	126,5507
3	5,21	9,98	19,93	132,5824
4	5,22	9,95	19,92	154,4658
5	5,21	9,97	19,93	142,1951
6	5,27	10,1	19,93	118,8953
7	5,24	9,99	19,93	93,52675
8	5,24	9,97	19,94	109,3944
9	5,22	9,96	19,93	126,0382
10	5,27	9,91	19,92	170,7923

Ortalama 131,85
Standart Sapma 15,73

Tablo 47 KÇT1 Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,10	77,43932
2	4,10	61,95146
3	4,10	65,52558
4	4,09	61,05756
5	4,10	77,43932
6	4,11	50,98010
7	4,07	70,12213
8	4,08	62,56031
9	4,11	67,57828
10	4,09	77,81846

Ortalama**67,25****Standart Sapma****6,14****Tablo 48 KÇT1 Darbe Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	4,02	4,05	15,36	42
2	4,01	4,01	10,24	20
3	4,00	4,00	10,24	20
4	3,99	4,02	10,24	20
5	3,97	4,01	15,36	42
6	3,98	4,00	10,24	20
7	3,99	3,99	15,36	42
8	4,00	4,02	17,92	56

9	4,03	4,04	10,24	20
10	3,97	4,00	15,36	42

Ortalama **32,40**
Standart Sapma **9,67**

Tablo 49 KÇT1 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	6,98	7,14	351,95	344,17	7,805414
2	7,08	7,10	351,05	342,90	8,106549
3	7,28	7,12	367,71	358,49	8,893845
4	7,03	7,16	357,13	344,34	12,70493
5	7,06	7,12	353,56	342,21	11,28967
6	7,06	6,92	345,38	334,17	11,47268
7	7,04	7,08	353,53	342,79	10,77379
8	6,99	7,09	341,87	332,08	9,877096
9	7,10	7,11	356,08	347,81	8,191201
10	7,12	7,02	353,07	343,54	9,533356

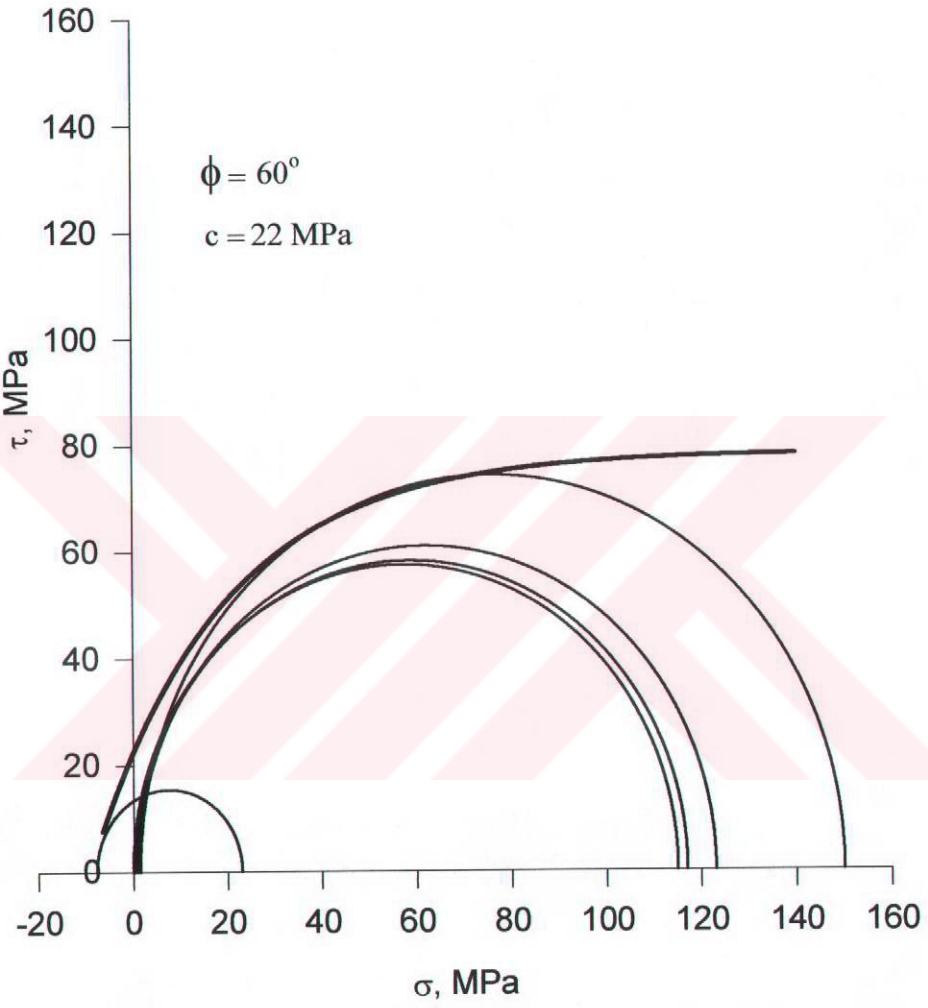
Ortalama **9,86**
Standart Sapma **1,17**

Tablo 50 KÇT1 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

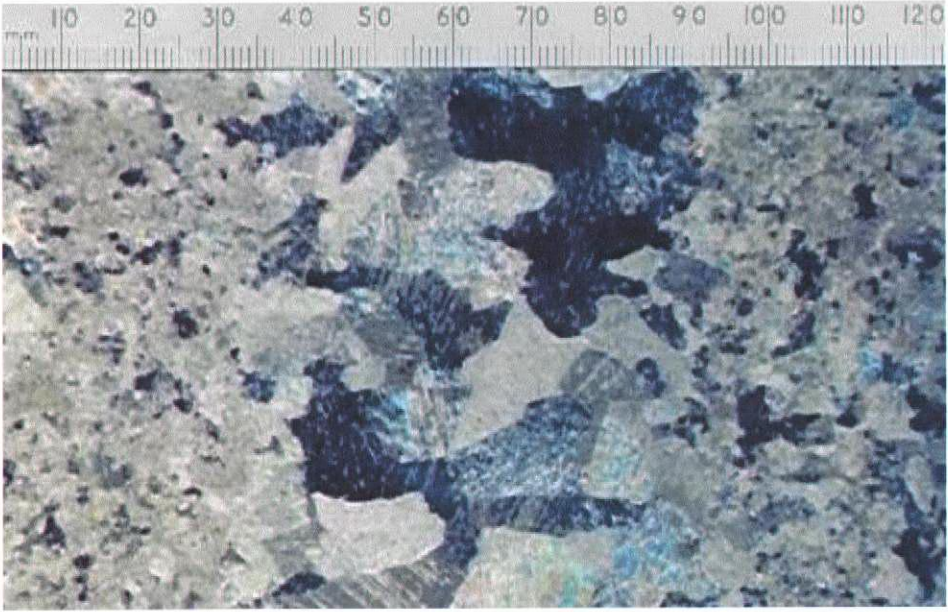
Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm ²	F, MPa	F _{ort} , MPa
1 ¹	0.5	27670	1178,053	115,5294	116,95
2	0.5	28350	1207,004	118,3686	116,95
3	1.0	29330	1248,728	122,4603	122,75
4 ¹	1.0	29470	1254,688	123,0448	122,75
5 ¹	1.5	36970	1574,001	154,3593	149,77
6	1.5	34770	1480,336	145,1737	149,77

¹ İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

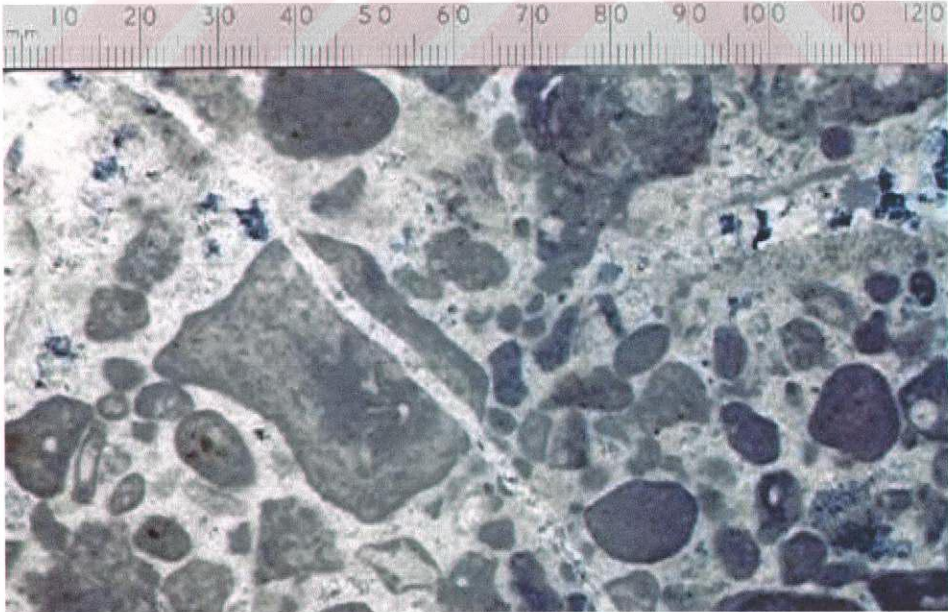


Şekil 40 KÇT1 Mohr Zarfı



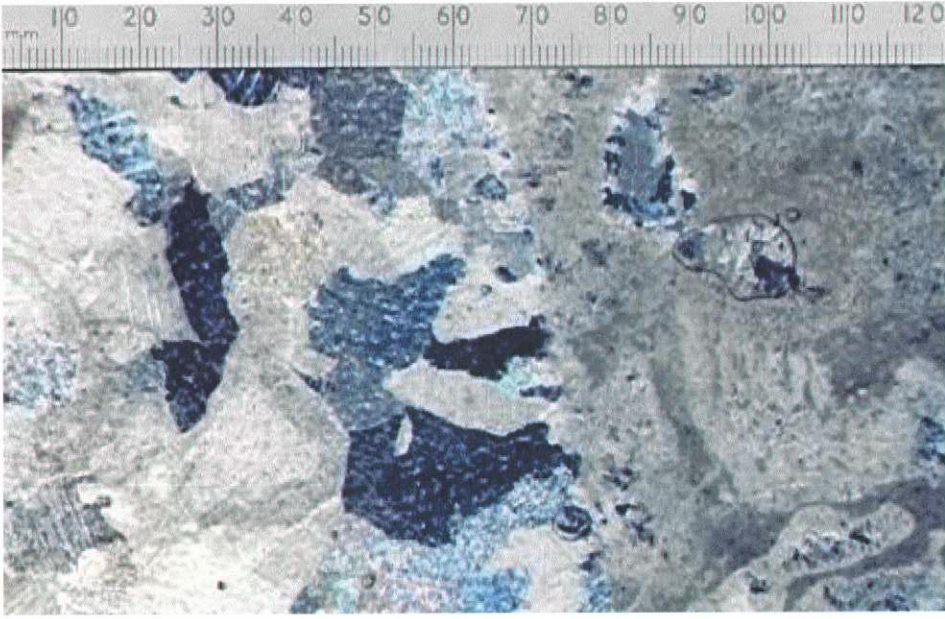
1 cm: 320 μ m

Şekil 41 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



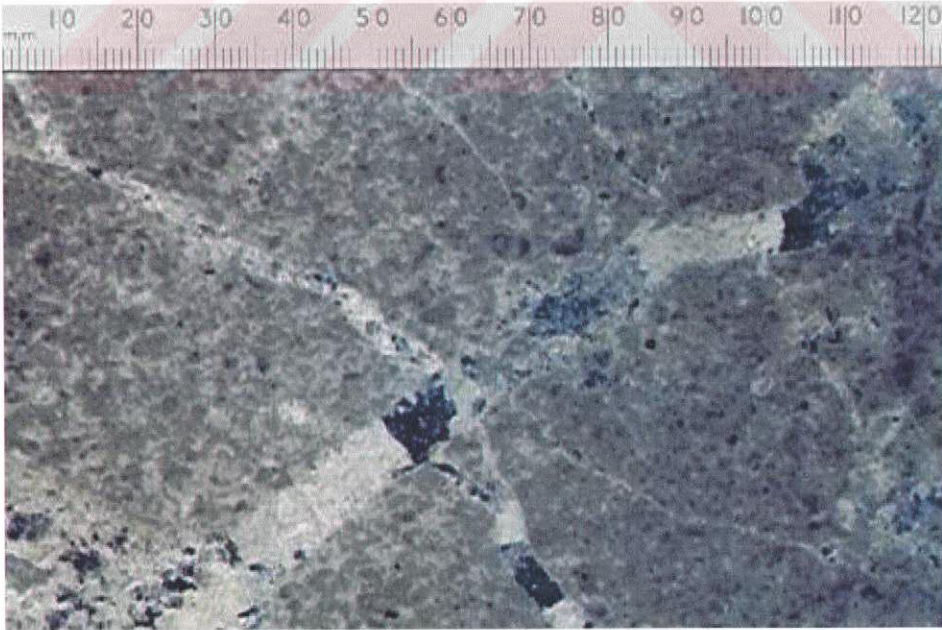
1 cm: 320 μ m

Şekil 42 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



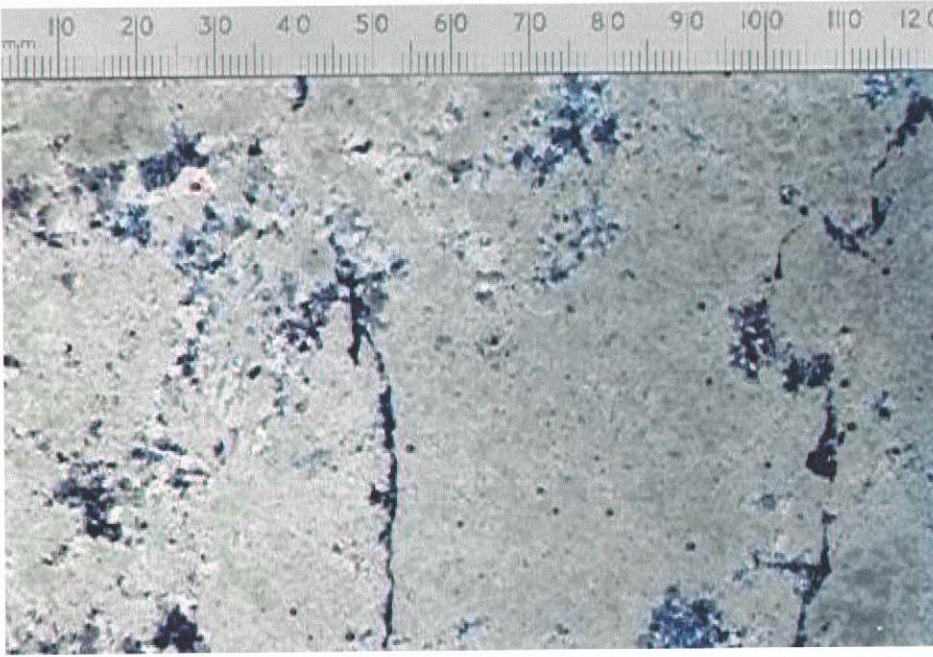
1 cm: 320 μ m

**Şekil 43 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



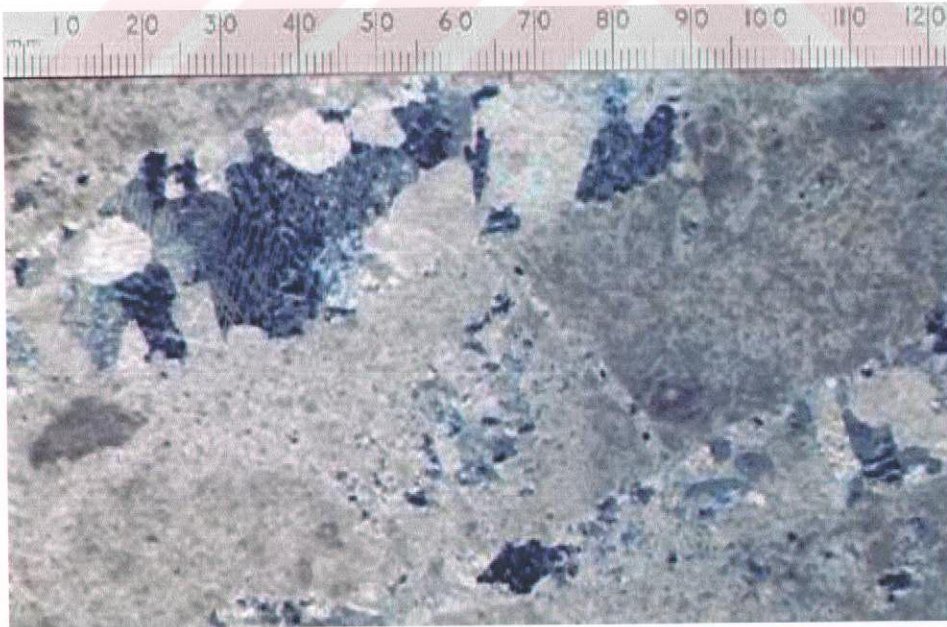
1 cm: 320 μ m

**Şekil 44 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 45 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

**Şekil 46 KÇT1 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**

Tablo 51 KÇT2 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	939,31	592,70	938,88	346,61	2,709991	2,70875
2	1009,73	637,32	1009,32	372,41	2,711340	2,710239
3	955,43	604,38	955,03	351,05	2,721635	2,720496
4	932,43	588,28	931,85	344,15	2,709371	2,707686
5	953,66	602,28	953,18	351,38	2,714042	2,712676
6	924,56	583,34	924,06	341,22	2,709572	2,708106
7	1009,86	637,32	1009,47	372,54	2,710742	2,709696
8	955,96	603,26	955,37	352,70	2,710405	2,708733
9	933,85	589,21	933,37	344,64	2,709639	2,708246
10	954,26	602,13	953,75	352,13	2,709965	2,708517

Ortalama**2,7107****2,7103****Standart Sapma****0,0038****0,0038****Tablo 52 KÇT2 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	939,31	592,70	938,88	346,61	0,124213	0,124059	0,045799
2	1009,73	637,32	1009,32	372,41	0,110215	0,110094	0,040621
3	955,43	604,38	955,03	351,05	0,114074	0,113944	0,418840
4	932,43	588,28	931,85	344,15	0,168816	0,168531	0,062242
5	953,66	602,28	953,18	351,38	0,136791	0,136604	0,050358
6	924,56	583,34	924,06	341,22	0,146748	0,146533	0,054109
7	1009,86	637,32	1009,47	372,54	0,104796	0,104687	0,038634
8	955,96	603,26	955,37	352,70	0,167561	0,167281	0,061756

9	933,85	589,21	933,37	344,64	0,139470	0,139276	0,051427
10	954,26	602,13	953,75	352,13	0,145043	0,144833	0,053473

Ortalama					0,136	0,136	0,050
Standart Sapma					0,022	0,022	0,008

Tablo 53 KÇT2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	7,17	7,19	6,99	55045,4	1095,254
2	7,14	7,05	7,02	59998,83	1212,318
3	6,98	7,18	6,98	49599,91	989,6942
4	7,03	7,52	6,94	72497,22	1389,134
5	7,16	7,49	6,98	51436,95	983,8706
6	7,00	7,04	7,05	56160,74	1131,543
7	7,00	7,06	7,02	84306,73	1701,063
8	7,00	7,00	7,03	64689,83	1314,567
9	7,04	7,02	7,17	74039,02	1470,972
10	7,12	7,07	7,03	42809,45	861,3207

Ortalama	1214,97
Standart Sapma	180,79

Tablo 54 KÇT2 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	6,88	7,05	7,02	62984,01	1272,636
2	6,86	7,04	7,00	74203,04	1505,744
3	6,99	6,92	7,03	33165,02	681,7401
4	6,89	6,97	7,04	69019,88	1406,594
5	6,89	7,03	7,00	63804,12	1296,568
6	6,98	7,05	7,06	63279,25	1271,357
7	6,9	7,02	7,00	45335,37	922,5757
8	6,97	6,98	6,97	51174,52	1051,878
9	7,00	7,00	7,02	20338,59	413,8907
10	7,38	7,02	6,98	23750,22	484,7023

Ortalama**1030,77****Standart Sapma****274,54****Tablo 55 KÇT2 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,47	2,78	99,88508
2	5,47	2,82	78,77461
3	5,47	2,74	43,23979
4	5,47	2,77	80,19654
5	5,47	2,79	59,71624
6	5,47	2,78	77,24446
7	5,47	2,70	47,99416
8	5,47	2,82	76,14879

9	5,47	2,80	59,50297
10	5,47	2,81	50,06814

Ortalama **67,28**
Standart Sapma **12,65**

Tablo 56 KÇT2 Eğilme Dayanımı Deneysel Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,13	9,95	20,01	144,3348
2	5,00	10,00	20,01	147,7422
3	5,13	9,97	20,01	124,4027
4	5,05	9,97	20,00	158,6919
5	5,12	9,94	20,02	148,4237
6	5,17	9,96	20,00	125,7648
7	5,14	9,96	20,01	120,7792
8	5,23	9,93	20,02	126,5682
9	5,13	9,95	20,00	124,5835
10	5,05	9,97	20,01	135,1320

Ortalama **135,64**
Standart Sapma **9,29**

Tablo 57 KÇT2 Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	4,01	56,04536
2	4,01	73,48169
3	4,02	64,44172
4	3,99	75,47817
5	4,00	61,33269
6	3,98	54,36485
7	4,02	70,63804
8	4,04	69,94039
9	4,00	71,34619
10	4,01	64,76353

Ortalama**66,18****Standart Sapma****5,10****Tablo 58 KÇT2 Darbe Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	3,97	4,02	10,24	20
2	4,00	4,02	12,80	30
3	3,97	4,02	10,24	20
4	3,98	4,02	7,68	12
5	4,00	4,02	12,80	30
6	3,96	4,03	12,80	30
7	3,98	4,01	12,80	30
8	4,00	4,01	15,36	42

9	4,00	4,01	10,24	20
10	4,02	3,97	12,80	30

Ortalama**26,40****Standart Sapma****5,93****Tablo 59 KÇT2 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	7,02	7,07	343,88	328,63	15,36326
2	7,00	6,96	357,59	342,95	15,02463
3	7,06	6,88	342,46	326,08	16,86129
4	6,91	6,81	325,95	309,68	17,28751
5	6,98	6,99	337,90	322,95	15,32070
6	6,97	6,96	338,11	323,91	14,63580
7	6,95	6,90	333,57	317,71	16,53634
8	7,05	6,98	341,97	327,60	14,60099
9	7,05	7,00	340,34	327,07	13,44478
10	7,03	7,01	343,88	330,50	13,57540

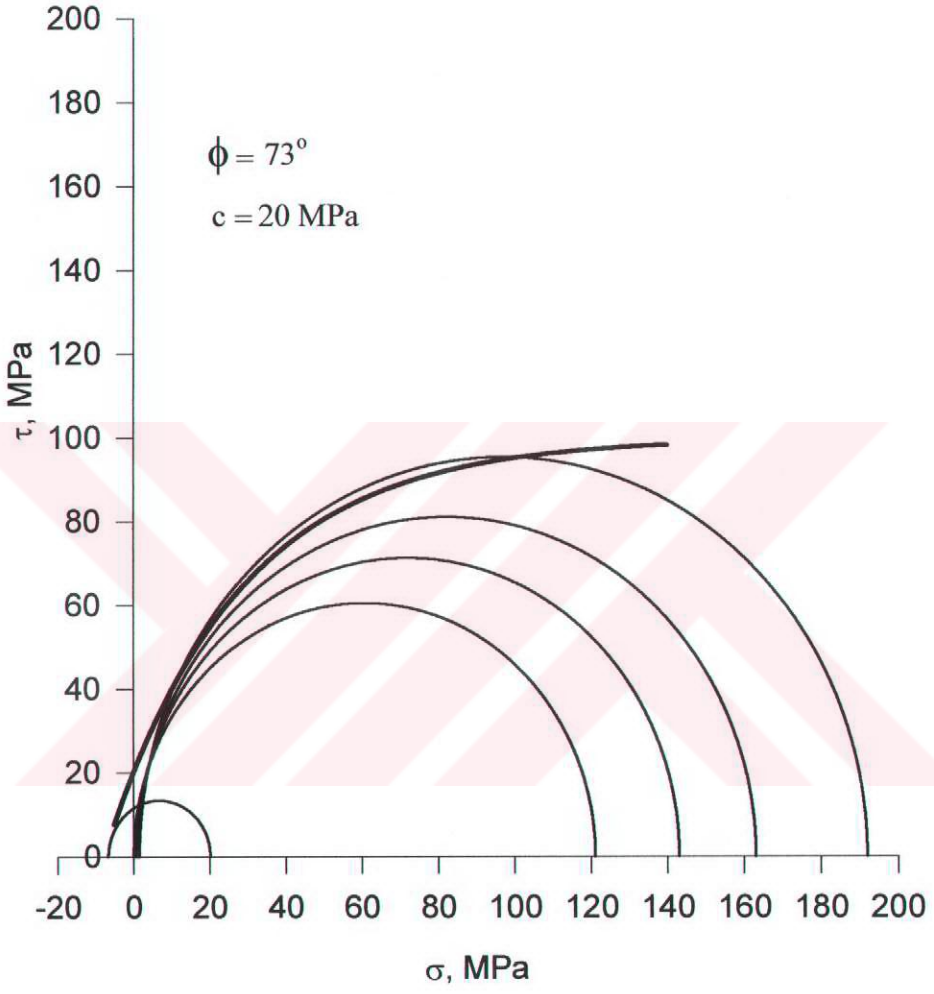
Ortalama**15,26****Standart Sapma****0,92**

Tablo 60 KÇT2 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

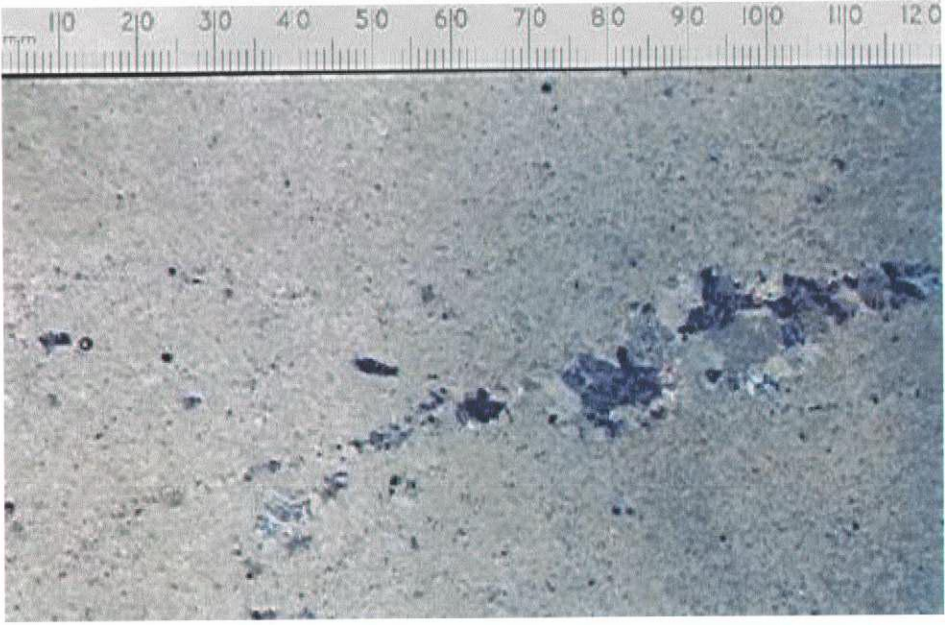
Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm ²	F, MPa	F _{ort} , MPa
1	0.5	33340	1419,454	139,2031	143,38
2*	0.5	35340	1504,604	147,5536	143,38
3	1.0	39300	1673,201	164,0876	163,48
4*	1.0	39010	1660,855	162,8768	163,48
5*	1.5	49410	2103,636	206,2995	191,66
6	1.5	42400	1805,184	177,0309	191,66

¹ İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

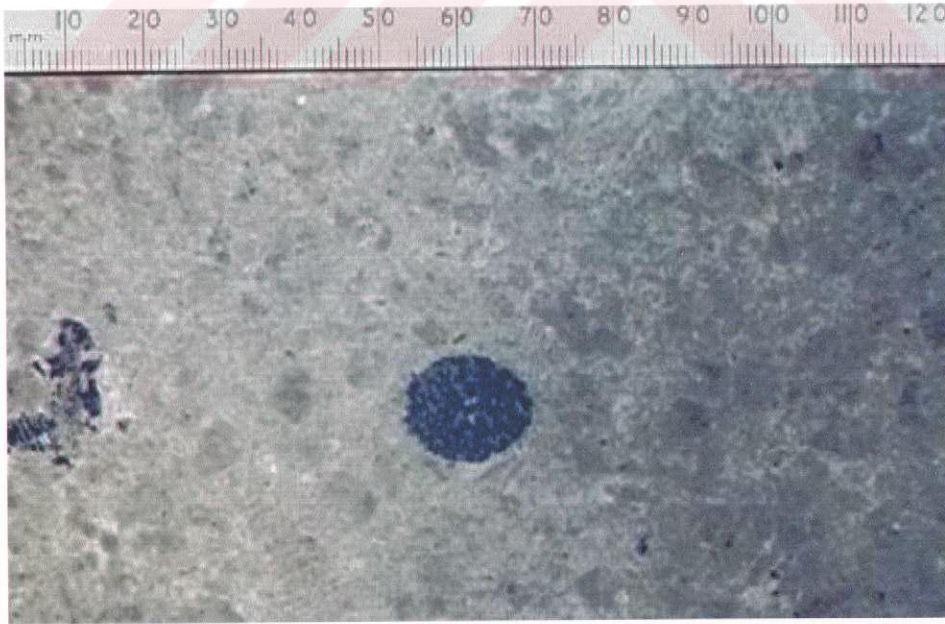


Şekil 47 KÇT2 Mohr Zarfı



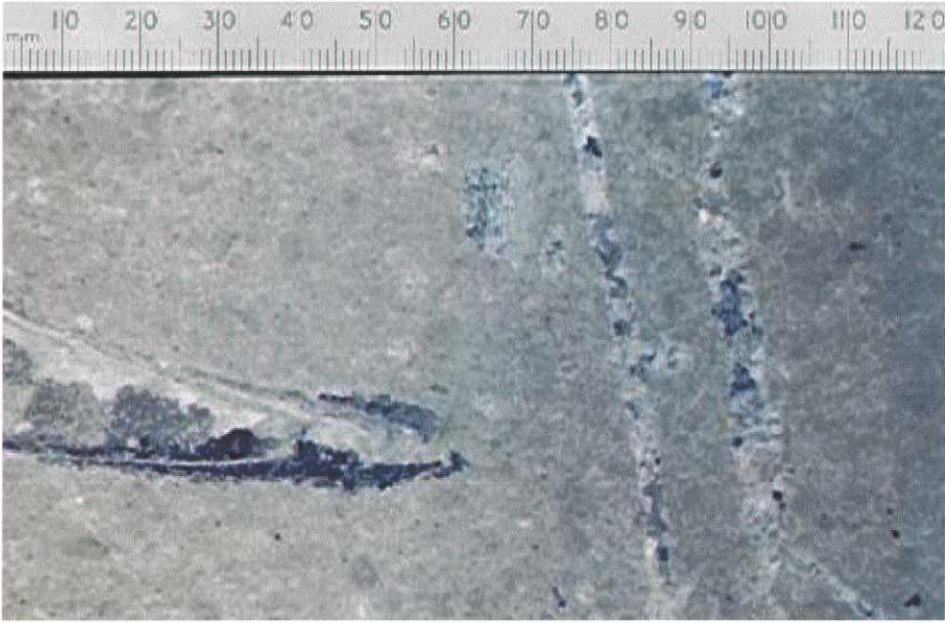
1 cm: 320 μ m

**Şekil 48 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



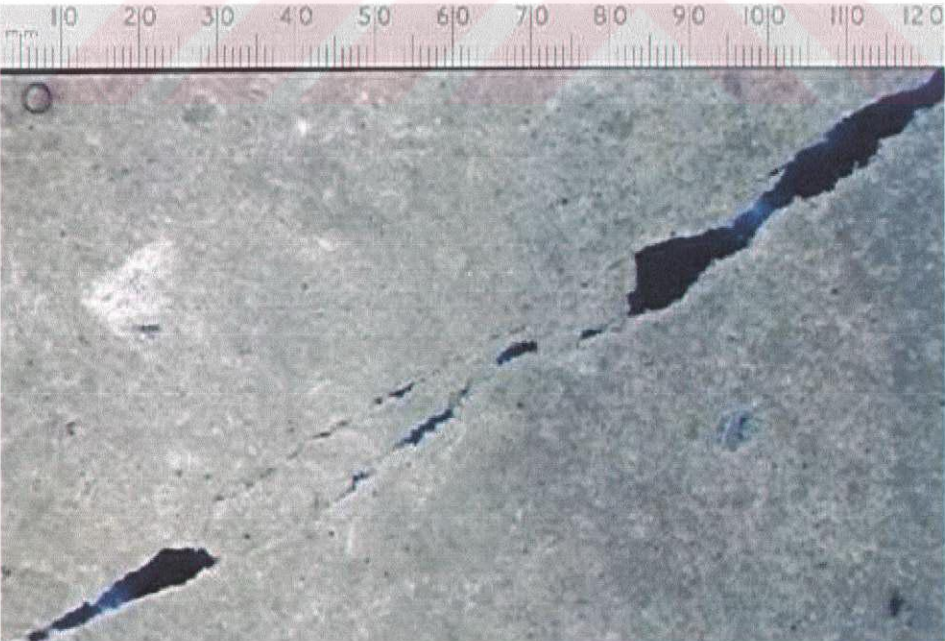
1 cm: 320 μ m

**Şekil 49 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



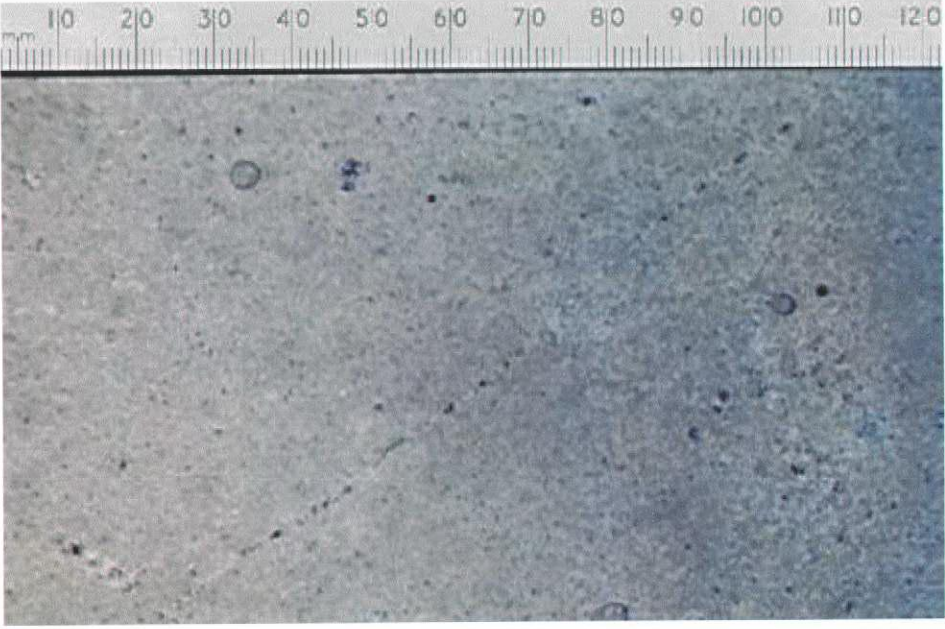
1 cm: 320 μ m

**Şekil 50 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



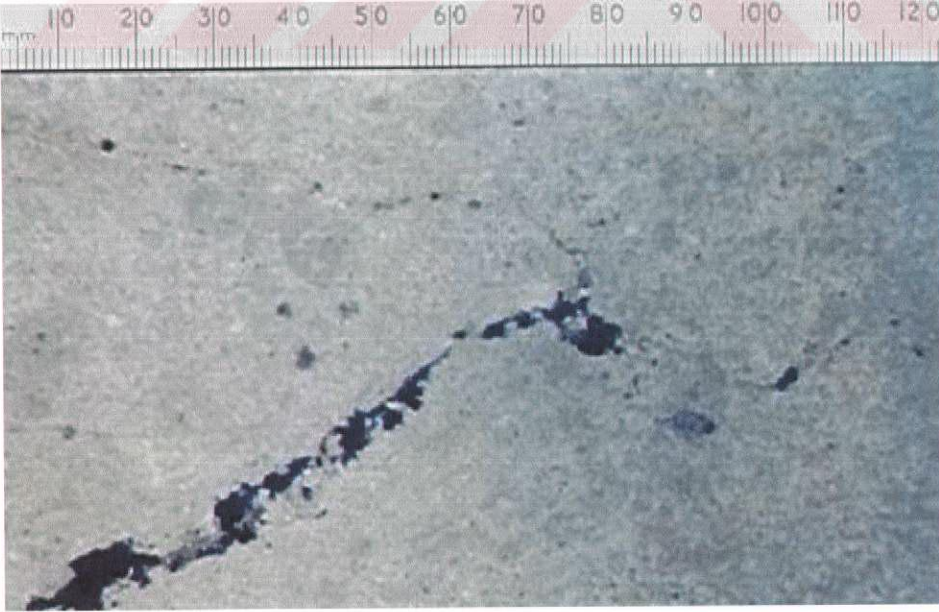
1 cm: 320 μ m

**Şekil 51 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



1 cm: 320 μ m

Şekil 52 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



1 cm: 320 μ m

Şekil 53 KÇT2 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)

Tablo 61 KÇT3 Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deney Sonuçları

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	d _d , gr/cm ³	d _k , gr/cm ³
1	906,37	567,60	904,24	338,77	2,675473	2,669186
2	896,77	561,48	893,87	335,29	2,674610	2,665961
3	890,10	557,96	887,46	332,14	2,679894	2,671946
4	891,69	558,64	889,39	333,05	2,677346	2,670440
5	900,19	564,00	897,58	336,19	2,677623	2,669859
6	866,11	542,55	864,09	323,56	2,676814	2,670571
7	873,00	547,04	870,65	325,96	2,678243	2,671033
8	892,30	559,43	889,60	332,87	2,680626	2,672515
9	887,12	555,65	884,58	331,47	2,676321	2,668658
10	913,09	571,17	910,55	341,92	2,670478	2,663050

Ortalama**2,6767****2,6693****Standart Sapma****0,0029****0,0029****Tablo 62 KÇT3 Boşluk Oranı, Porozite, Ağırlıkça Su Emme Oranı Verileri**

Örnek	M _d , gr	M _s , gr	M _k , gr	V, cm ³	B, %	Pr, %	SE, %
1	906,37	567,60	904,24	338,77	0,632723	0,628745	0,235557
2	896,77	561,48	893,87	335,29	0,872469	0,864923	0,324432
3	890,10	557,96	887,46	332,14	0,801214	0,794840	0,297478
4	891,69	558,64	889,39	333,05	0,695389	0,690587	0,258604
5	900,19	564,00	897,58	336,19	0,782421	0,776347	0,290782
6	866,11	542,55	864,09	323,56	0,628227	0,624305	0,233772
7	873,00	547,04	870,65	325,96	0,726183	0,720947	0,269913
8	892,30	559,43	889,60	332,87	0,817761	0,811127	0,303507

9	887,12	555,65	884,58	331,47	0,772201	0,766284	0,287142
10	913,09	571,17	910,55	341,92	0,748424	0,742864	0,278952

Ortalama	0,748	0,742	0,278
Standart Sapma	0,079	0,078	0,029

Tablo 63 KÇT3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	6,93	6,84	6,98	67084,53	1405,112
2	6,92	6,98	6,84	63935,34	1339,151
3	6,94	6,84	7,04	61606,23	1279,369
4	6,96	6,84	6,98	74465,48	1559,709
5	6,93	6,85	6,97	64821,04	1357,665
6	6,85	6,98	6,92	62163,91	1286,995
7	6,81	6,98	6,85	72234,79	1510,777
8	6,83	6,97	6,86	64296,18	1344,709
9	6,91	6,99	6,85	58489,84	1221,554
10	6,89	7,03	6,85	50190,39	1042,257

Ortalama	1334,73
Standart Sapma	102,61

Tablo 64 KÇT3 Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	b, cm	P, kgf	F, kgf/cm ²
1	6,93	6,82	6,98	61999,89	1302,420
2	7,00	6,84	6,97	74170,23	1555,753
3	6,93	6,82	6,97	46745,95	983,3924
4	6,91	6,84	6,98	65083,48	1363,199
5	6,93	6,84	6,97	49632,72	1041,068
6	7,00	6,84	6,97	49370,29	1035,564
7	6,90	6,97	6,84	45466,59	953,6818
8	6,96	6,97	6,84	65378,71	1371,347
9	6,91	6,84	6,97	57243,28	1200,703
10	6,91	6,82	6,97	42022,15	884,0180

Ortalama**1169,12****Standart Sapma****156,35****Tablo 65 KÇT3 Çekme (İndirekt) Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	R, cm	h, cm	Çekme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,44	2,79	100,0759
2	5,44	2,79	90,73551
3	5,44	2,76	94,41946
4	5,44	2,77	60,47910
5	5,44	2,80	79,77481
6	5,44	2,64	94,48077
7	5,44	2,78	87,04446
8	5,44	2,77	60,47910

9	5,44	2,79	82,72943
10	5,44	2,78	87,04446

Ortalama 83,73
Standart Sapma 9,58

Tablo 66 KÇT3 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	a, cm	L, cm	Eğilme Dayanımı, kgf/cm ²
1	5,08	9,98	20,07	127,1587
2	5,09	9,99	20,09	110,0054
3	5,08	9,87	20,08	138,8034
4	5,32	9,87	20,08	148,1705
5	5,14	9,89	20,08	128,7072
6	5,06	9,89	20,12	109,2127
7	5,14	9,88	20,16	132,7257
8	5,32	9,87	20,08	123,4754
9	5,31	9,87	20,07	117,6787
10	5,31	9,88	20,06	120,5865

Ortalama 125,65
Standart Sapma 8,63

Tablo 67 KÇT3 Nokta Yük Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	h, cm	Nokta Yük Dayanımı, kgf/cm ²
1	3,95	77,01458
2	4,12	68,43046
3	4,01	68,49988
4	3,99	67,93035
5	3,97	63,53381
6	4,02	73,11657
7	3,91	74,66847
8	4,02	60,72393
9	3,99	75,47817
10	4,01	77,21805

Ortalama**70,66****Standart Sapma****4,04****Tablo 68 KÇT3 Darbe Dayanımı Deney Sonuçları**

Örnek	a, cm	b, cm	Deformasyon Yük., cm	Darbe D., kgf.cm/cm ³
1	4,00	4,02	10,24	20
2	4,00	4,00	15,36	42
3	4,00	4,02	17,92	56
4	4,02	4,03	10,24	20
5	4,00	4,01	12,80	30
6	4,03	3,95	15,36	42
7	4,00	4,01	12,80	30
8	4,00	4,02	12,80	30

9	3,99	4,01	10,24	20
10	4,00	4,01	10,24	20

Ortalama	31,00
Standart Sapma	8,64

Tablo 69 KÇT3 Yüzeysel (Böhme) Aşınma Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	a, cm	b, cm	V_{ilk}, cm^3	V_{son}, cm^3	Aşınma D., $cm^3/50 cm^2$
1	6,83	6,97	326,64	313,38	13,92708
2	6,97	6,85	328,49	315,37	13,73980
3	7,01	7,07	347,99	336,21	11,88442
4	7,00	7,07	329,22	315,96	13,39665
5	7,05	7,01	336,08	323,44	12,78822
6	7,03	6,87	331,06	318,82	12,67183
7	6,96	6,83	327,06	314,56	13,14771
8	6,97	6,85	331,34	319,14	12,77634
9	7,14	7,04	359,29	347,71	11,51881
10	6,83	7,03	336,48	323,87	13,13134

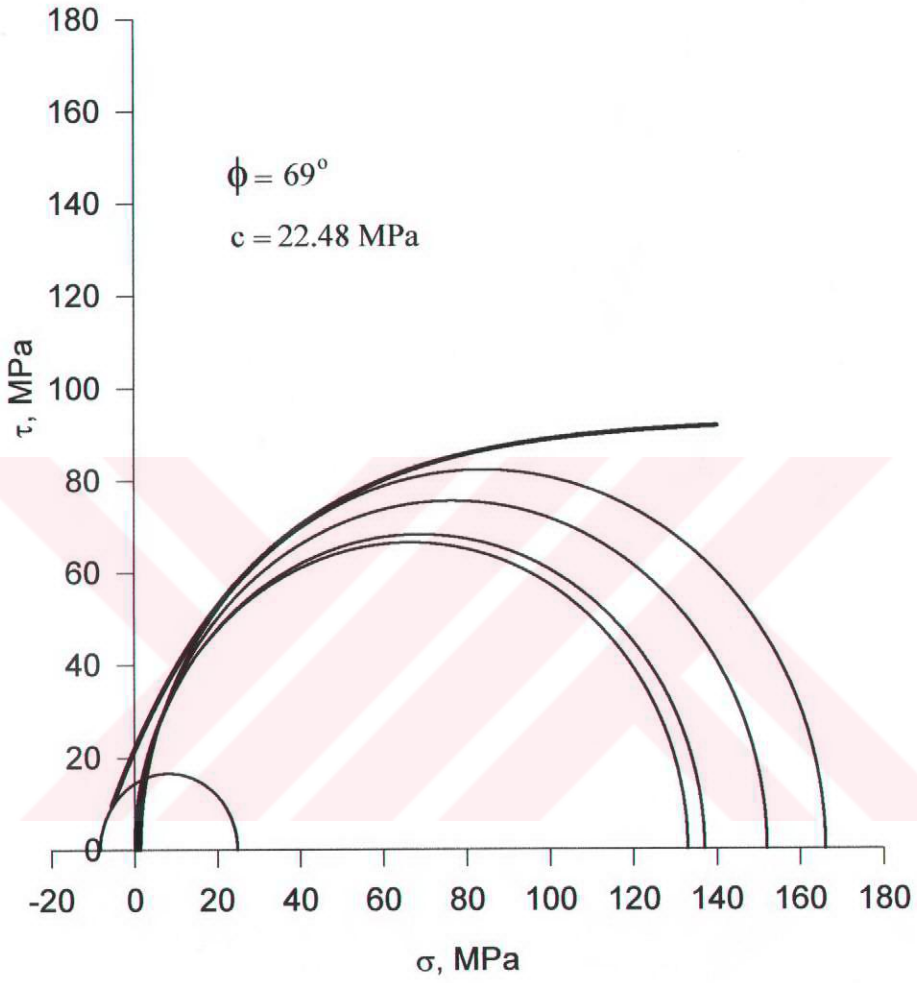
Ortalama	12,90
Standart Sapma	0,54

Tablo 70 KÇT3 Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnek	Yanal Basınç, MPa	P, kgf	F, kgf/cm ²	F, MPa	F _{ort} , MPa
1	0.5	32630	1389,226	136,2387	136,88
2 ¹	0.5	32940	1402,424	137,533	136,88
3 ¹	1.0	36420	1550,585	152,0629	152,33
4	1.0	36550	1556,12	152,6057	152,33
5 ¹	1.5	36670	1561,229	153,1067	165,75
6	1.5	42725	1819,021	178,3879	165,75

¹ İnce kesitleri alınan ve fotoğraflanan örnekler

1 MPa= 10.197 kgf/cm²

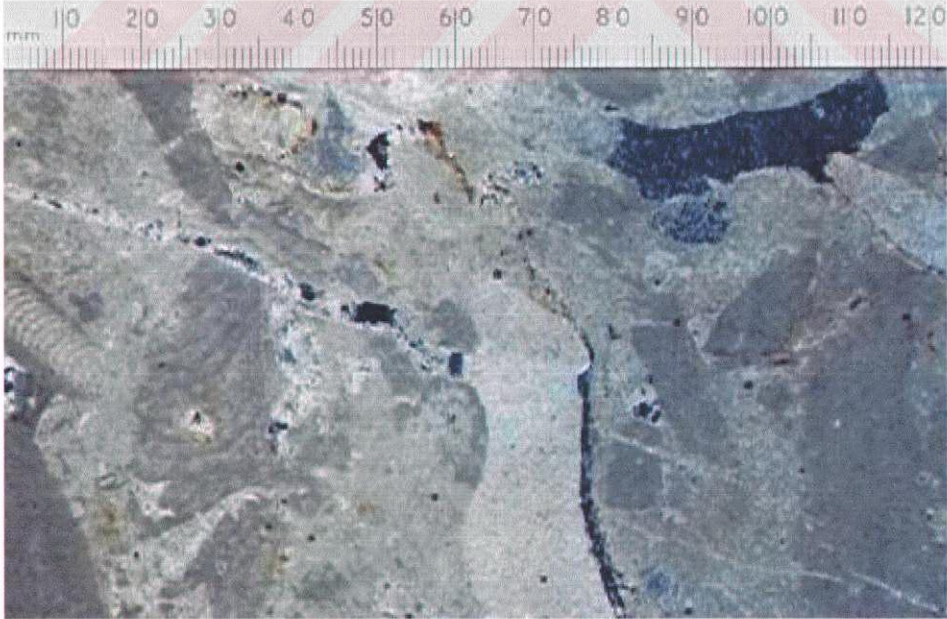


Şekil 54 KÇT3 Mohr Zarfı



1 cm: 320 μ m

**Şekil 55 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basıncı: 0.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



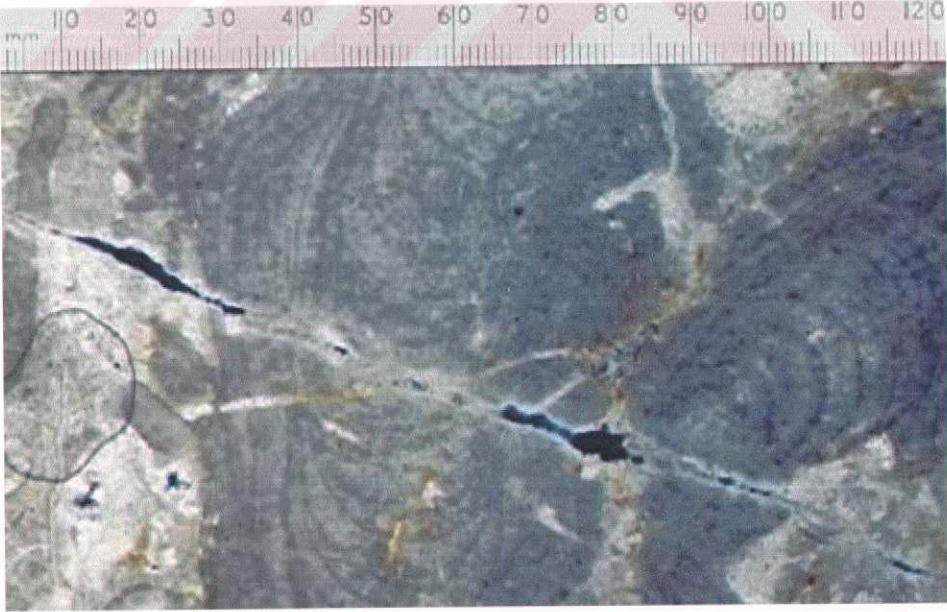
1 cm: 320 μ m

**Şekil 56 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basıncı: 0.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



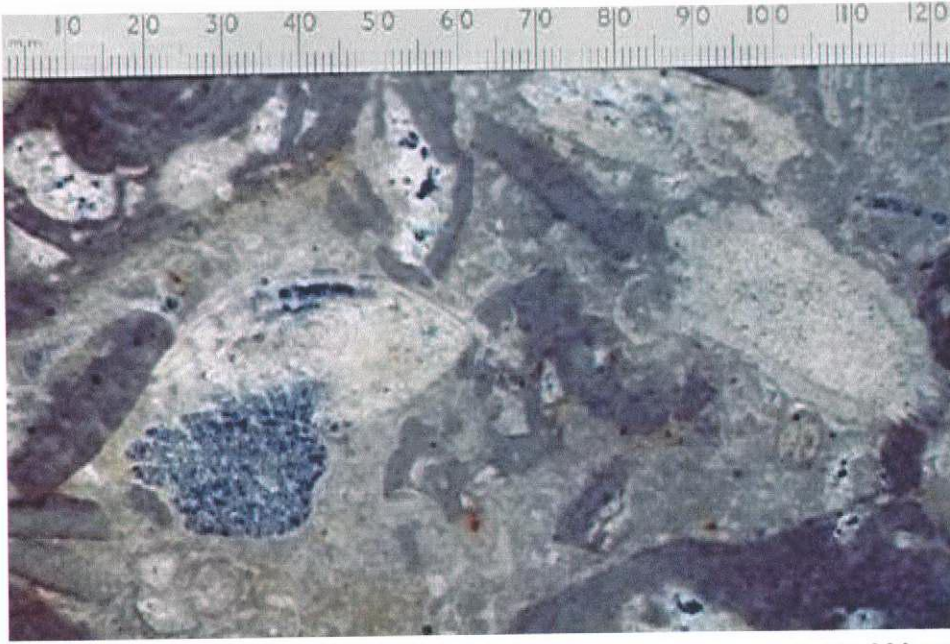
1 cm: 320 μ m

Şekil 57 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



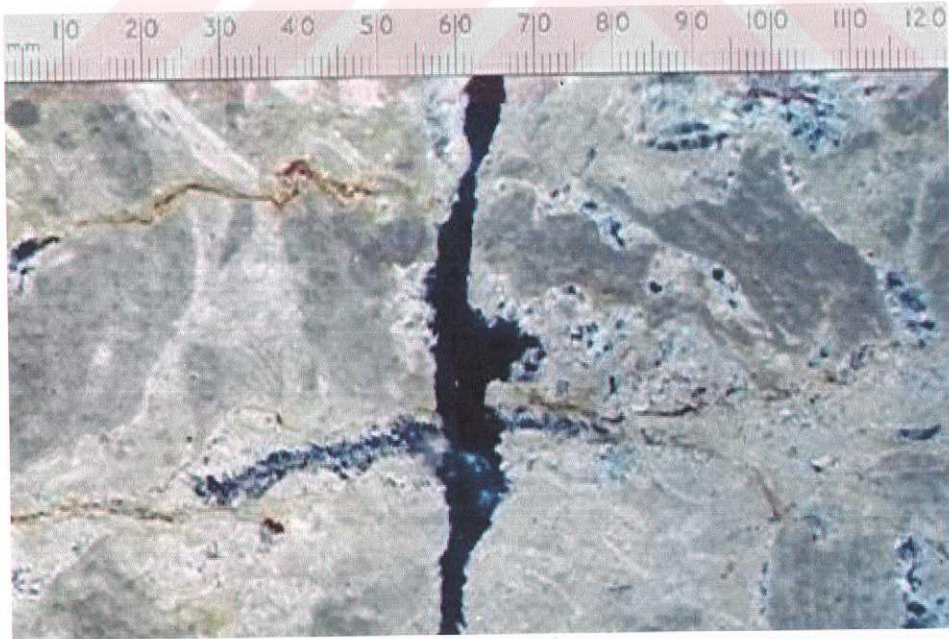
1 cm: 320 μ m

Şekil 58 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)



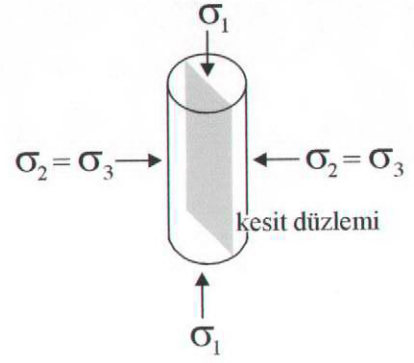
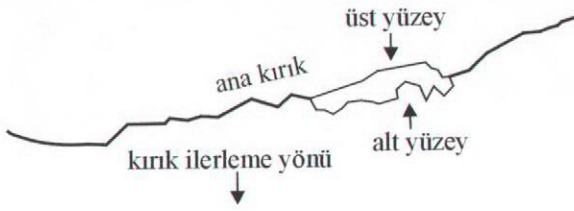
1 cm: 320 μ m

**Şekil 59 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Yatay Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**

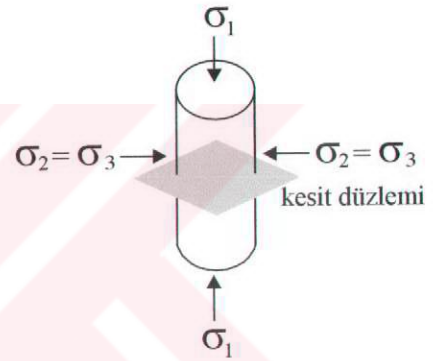


1 cm: 320 μ m

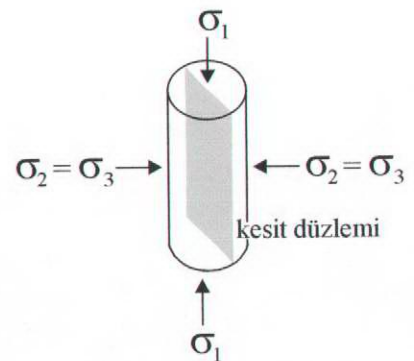
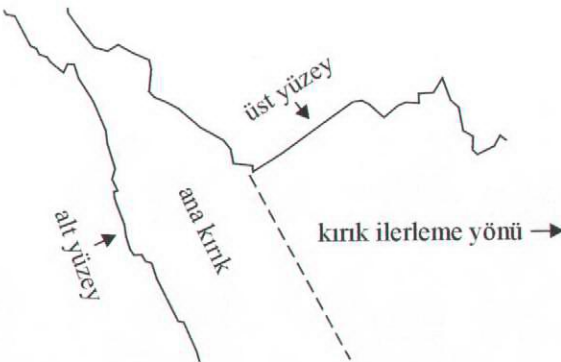
**Şekil 60 KÇT3 Üç Eksenli (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Deney Sonrası Dikey Kesit
Mikroskop Görüntüsü (400 Büyültme)**



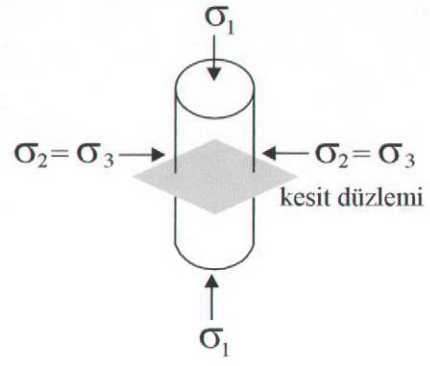
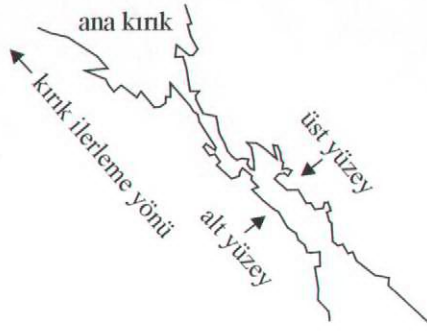
a. GM1 (Yanal Basınç: 0.5 MPa) Dikey Kesit (Şekil 5)



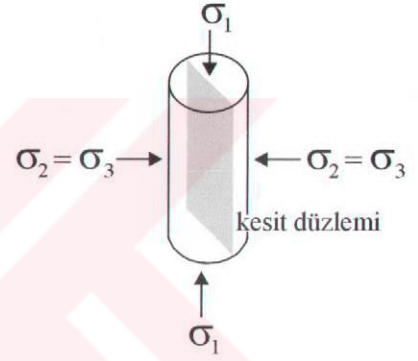
b. GM1 (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Yatay Kesit (Şekil 8)



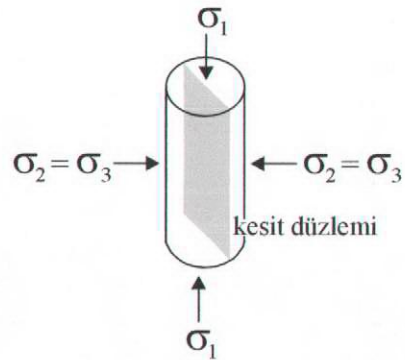
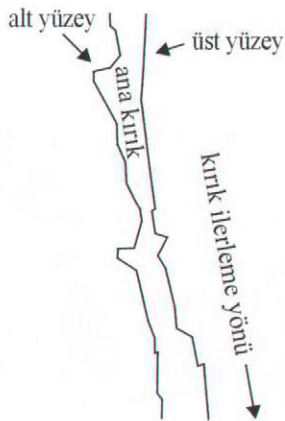
c. GM2 (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Dikey Kesit (Şekil 22)



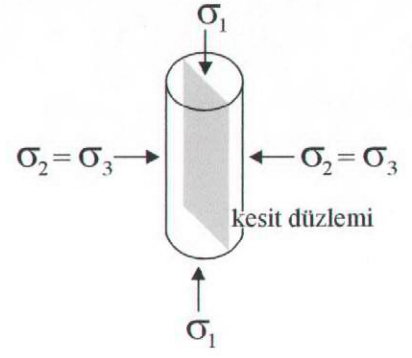
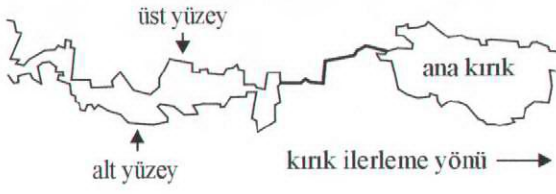
d. GM2 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Yatay Kesit (Şekil 25)



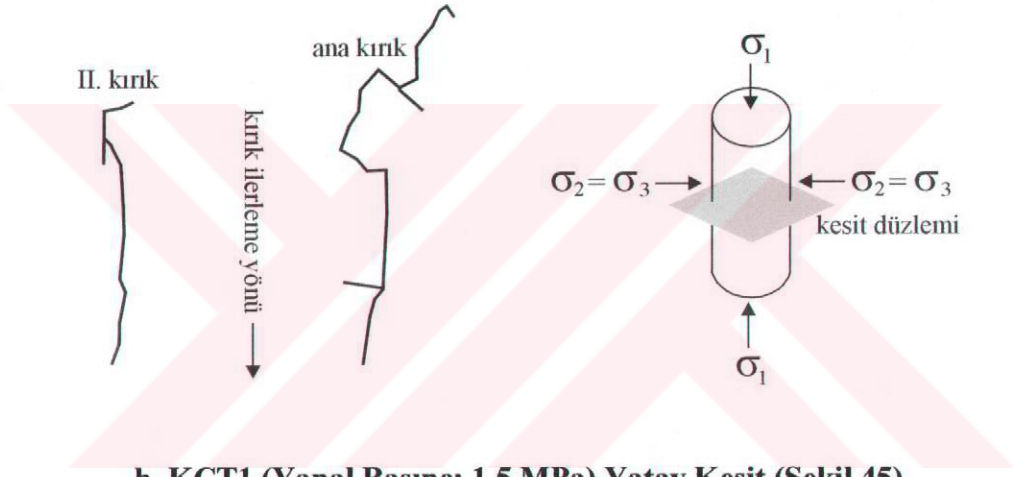
e. GM2 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Dikey Kesit (Şekil 26)



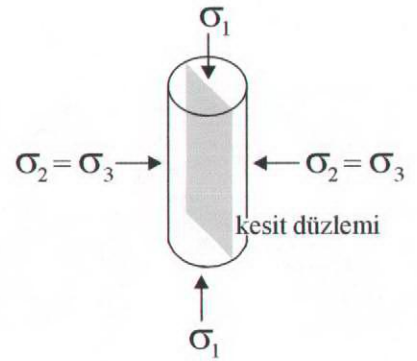
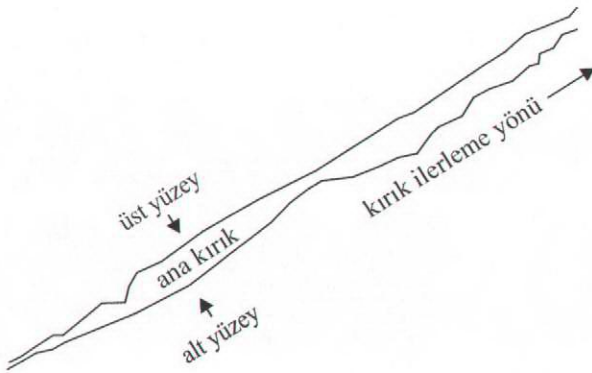
f. GM3 (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Dikey Kesit (Şekil 35)



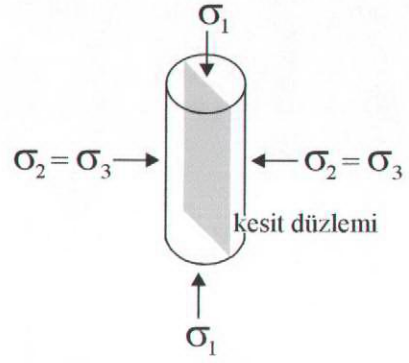
g. GM3 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Dikey Kesit (Şekil 39)



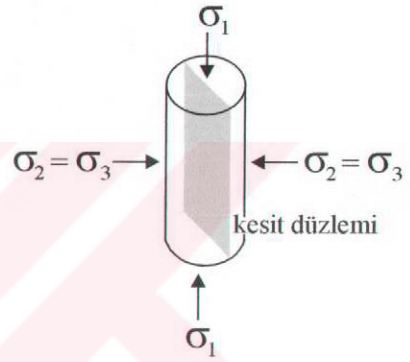
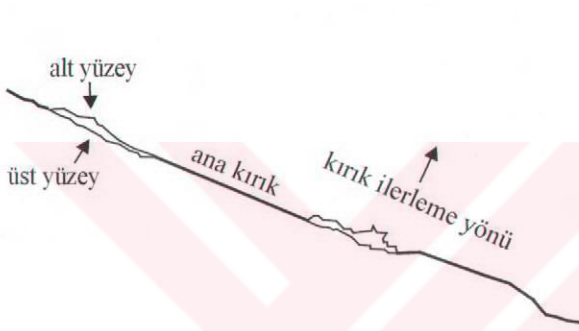
h. KÇT1 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Yatay Kesit (Şekil 45)



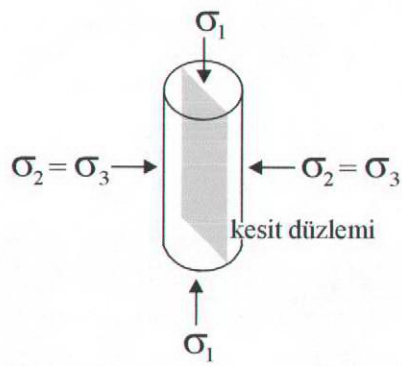
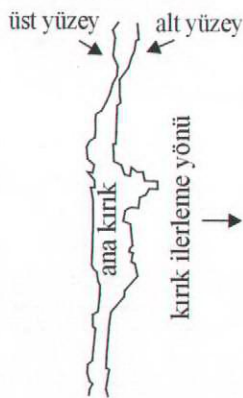
i. KÇT2 (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Dikey Kesit (Şekil 51)



k. KÇT2 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Dikey Kesit (Şekil 53)



l. KÇT3 (Yanal Basınç: 1.0 MPa) Dikey Kesit (Şekil 58)



m. KÇT3 (Yanal Basınç: 1.5 MPa) Dikey Kesit (Şekil 60)

Şekil 61 Örneklerin Üç Eksenli Deneyleri Sonrası 400 Büyütmeli İnce Kesit Fotoğraflarına Uygun Kırık Krokileri

Ek 2. Deformasyon Grafiğinde (Şekil 2. 8) Kullanılan Semboller

- σ_0 : Düşey deformasyon bölgesinde, başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren doğrunun orta noktasının grafikte kestiği yük değeri
- σ_1 : Düşey deformasyon bölgesinde seçilmiş doğrusal ve en uzun bölümün başlangıç yük değeri
- σ_2 : Düşey deformasyon bölgesinde seçilmiş doğrusal ve en uzun bölümün son yük değeri
- σ_3 : Düşey deformasyon bölgesinde, başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren doğrunun son yük değeri
- ϵ_{a_0} : Düşey deformasyon bölgesinde σ_0 değerine karşılık gelen deformasyon değeri
- ϵ_{a_1} : Düşey deformasyon bölgesinde σ_1 değerine karşılık gelen deformasyon değeri
- ϵ_{a_2} : Düşey deformasyon bölgesinde σ_2 değerine karşılık gelen deformasyon değeri
- ϵ_{a_3} : Düşey deformasyon bölgesinde σ_3 değerine karşılık gelen deformasyon değeri
- ϵ_{r_1} : Yatay deformasyon bölgesinde σ_1 değerine karşılık gelen deformasyon değeri
- ϵ_{r_2} : Yatay deformasyon bölgesinde σ_2 değerine karşılık gelen deformasyon değeri