

**MERMERLERDE YÜKLEME HIZININ  
TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMINA  
OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**95904**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü**

**Maden İşletme Anabilim Dalı**

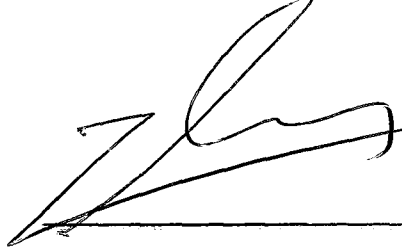
**Kerim KÜÇÜK**

**ZC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
İZMİR MERKEZİ**

**Temmuz, 2000  
İZMİR**

## TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Kerim KÜÇÜK tarafından Doç. Dr. Turgay ONARGAN yönetiminde hazırlanan “Mermerlerde Yükleme Hızının Tek Eksenli Basınç Dayanımına Olan Etkisinin Araştırılması” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Turgay ONARGAN  
(Yönetici)



Prof. Dr. Ercüment YALÇIN  
(Jüri Üyesi)



Doç. Dr. Uğur KÖKTÜRK  
(Jüri Üyesi)



Prof. Dr. Cahit Helvacı  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

---

## TEŞEKKÜR

---

Bu projenin hazırlanması sırasında yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen, duyarlılığını ve ilgisini sonuna kadar devam ettiren, büyük bir sabır ve anlayış örneği sergileyen tezin yöneticisi Sayın Hocam Doç. Dr. Turgay ONARGAN'a; yönlendirme, yardım ve ilgilerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Uğur KÖKTÜRK'e, her türlü konuda bilgisini ve yardımını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hayati YENİCE'ye, emeği geçen tüm arkadaşlarıma ve çalışmalarım sırasında bana moral kaynağı olan, manevi destek ve anlayışlılığıyla her zaman yanımda yer alan eşim Yasemin Gülay KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Kerim KÜÇÜK

---

## ÖZET

---

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, değişik yörelere ait mermer ocaklarından alınan farklı numuneler, laboratuvarında deney standartlarına uygun boyuta (7x7x7 cm) getirilmiş, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneylerle fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. 6 farklı mermer numunesinin laboratuvarında ince kesitleri alınarak petrografik analizleri yapılmış, ayrıca strain gauge ve dijital indikatör yardımıyla deformasyon deneyine tabi tutulmuştur.

Bu tezin asıl amacı, farklı yükleme hızlarında mermer numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarında meydana gelen değişikliklerin belirlenmesidir. Bu amaçla mermer numunelerine sırasıyla 100 kg/sn, 200 kg/sn ve 300 kg/sn'lik yükleme hızlarında seri testler uygulanarak dayanım değişimleri incelenmiştir.

Kırılma sonrası numune kırılma yüzeyleri mini kameradan bilgisayara aktarılmış; farklı yükleme hızlarında, değişik basınçlara maruz kalan kayaç yapısında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.



---

## ABSTRACT

---

In this study that is prepared as a Master of Science thesis, the marble samples belong to different quarries are prepared to fit size for test standarts. The physical and chemical features of these specimens are determined at Rock Mechanics Laboratory of Dokuz Eylul University Mining Engineering Department. The petrographic analysis is done for 6 different marble specimens on thin sections and these specimens is submitted to deformability test with strain gauge and digital indicator.

The aim of this study is to determine the alteration of uniaxial compressive strength that is occurred under the different loading rate. For this purpose the alteration of the uniaxial compressive strength of the marble specimens at the loading rate of 100 kg/sn, 200 kg/sn and 300 kg/sn is determined.

After breaking, the breaking faces are transferred to computer with mini-camera. Than, at the different loding rates, the change at the structures of the rock due to the different pressures are investigated.

---

# İÇİNDEKİLER

---

	<u>Sayfa</u>
İçindekiler.....	VII
Şekiller Listesi.....	IX
Tablolar Listesi.....	XI

## Bölüm 1

### GİRİŞ

1. Giriş.....	1
---------------	---

## Bölüm 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Test Standartları Tarihçesi.....	3
2.2. Geçmişte Yapılan Araştırmalar.....	5

## Bölüm 3

### LABORATUVAR ÇALIŞMASI

3.1. DOĞAL TAŞLARDA DENEY STANDARTLARI.....	8
3.1.1. Özgül Ağırlık Standardı.....	8
3.1.2. Birim Hacim Ağırlık Standardı.....	8
3.1.3. Porozite ve Doluluk Oranı Standardı.....	9
3.1.4. Atmosfer Basıncında Ağırlıkça Su Emme Standardı.....	9
3.1.5. Basınç Dayanımı Standardı.....	9
3.1.6. Kimyasal Özellikler.....	10

3.1.7. Petrografik Özellikler .....	11
<b>3.2. DOĞAL TAŞLARDA DENEY METODLARI .....</b>	<b>12</b>
3.2.1. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi .....	12
3.2.2. Özgül Ağırlık Deneyi .....	13
3.2.3. Doluluk Oranı Komposite Deneyi.....	14
3.2.4. Porozite (Gözeneklilik Derecesi) Deneyi .....	14
3.2.5. Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Yeteneği Deneyi .....	15
3.2.6. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	17
<b>3.3. YAPILAN LABORATUVAR DENEYLERİ .....</b>	<b>18</b>
3.3.1. Deformasyon Deneyi Sonuçları .....	18
3.3.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları .....	36
3.3.3. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonrası Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	43

#### **Bölüm 4**

### **LABORATUVAR TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

4.1. Deformasyon Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	62
4.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	64
4.3. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonrası Kırılma Yüzeylerinin Değerlendirilmesi.....	65
<b>SONUÇ .....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>68</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>69</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Victorian Test Makinası .....	3
Şekil 1.2. Bazı Kayaç Dayanım Terimlerinin Karşılaştırılması .....	4
Şekil 3.1. Deformasyon Deney Düzeneği .....	19
Şekil 3.2. RSL Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	21
Şekil 3.3. RSL Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	23
Şekil 3.4. RSL Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	25
Şekil 3.5. GLK Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	27
Şekil 3.6. GLK Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	29
Şekil 3.7. GLK Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	31
Şekil 3.8. LMR Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	32
Şekil 3.9. LMR Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi .....	33

Şekil 3.10. LMR Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme- Deformasyon Eğrisi.....	34
Şekil 3.11. ELE AutoTest 3000 kN Pres.....	36
Şekil 3.12. RSL İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği .....	37
Şekil 3.13. KMTY İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği .....	38
Şekil 3.14. GLK İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği.....	39
Şekil 3.15. LMR İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği .....	40
Şekil 3.16. MSLY İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği.....	41
Şekil 3.17. MSDF İçin Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği .....	42
Şekil 3.18. Philips Marka Mini Kamera.....	43



## **TABLolar LİSTESİ**

### **Sayfa**

Tablo 2.1. Değişik Otoriteler Tarafından Tavsiye Edilmiş Dayanım Sınırları .....	4
Tablo 3.1. RSL Numunesinin <u>100 Kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi ..	20
Tablo 3.2. RSL Numunesinin <u>200 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi....	22
Tablo 3.3. RSL Numunesinin <u>300 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi....	24
Tablo 3.4. RSL Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler .....	25
Tablo 3.5. GLK Numunesinin <u>100 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi....	26
Tablo 3.6. GLK Numunesinin <u>200 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi ...	28
Tablo 3.7. GLK Numunesinin <u>300 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi ...	30
Tablo 3.8. GLK Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler .....	31
Tablo 3.9. LMR Numunesinin <u>100 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi....	32
Tablo 3.10. LMR Numunesinin <u>200 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi. ....	33
Tablo 3.11. LMR Numunesinin <u>300 kg/sn</u> Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi. ....	34
Tablo 3.12. LMR Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler ...	35
Tablo 3.13. RSL Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi.....	37
Tablo 3.14. KMTY Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi.....	38
Tablo 3.15. GLK Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi ....	39
Tablo 3.16. LMR Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi.....	40
Tablo 3.17. MSLY Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi .....	41
Tablo 3.18. MSDF Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi .....	42
Tablo 4.1. Deformasyon Deneyi Sonuçları .....	62
Tablo 4.2. Numunelerin Farklı Yükleme Hızlarında Ortalama Basınç Değerleri.....	65

---

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

---

#### 1. GİRİŞ

Doğal taşların kullanım alanlarının belirlenebilmesi için, sahip oldukları fiziksel, kimyasal, fiziko-mekanik...v.b. özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Doğal taşların sahip oldukları yapı ve teknik özellikleri onların kullanım alanlarını da belirlemektedir. Bu özellikler, doğal taşlar üzerinde yapılan çeşitli deneyler sonucunda elde edilen veriler sayesinde belirlenmekte ve yapılan deney sonuçlarının belirli standartlar çerçevesinde olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu da doğal taşların kalite ve estetik yönden sınıflandırılmasını mümkün kılmaktadır.

Delme-Patlatma, depremler, heyelanlar ve kaya patlamaları gibi olaylarda kayaçlar çok farklı yükleme hızlarına maruz kalmaktadır. Bu yüzden yükleme hızının kayaç parçaları üzerindeki etkilerini incelemek büyük önem arz etmektedir.

Bir kayaç kütesinin en önemli iki karakteristiği, dayanım ve süreksizlik boşluklarıdır. Mühendislikte kayaç dayanımı, nemli ve kuru olarak belli koşullar altında izotropik kayacın doğal dayanımı olarak tanımlanabilir. Kristalin olmayan kayaçların çoğunluğunun dayanımı, içeriğindeki safsızlık, zayıf zonlar ve/veya süreksizliklerin ve dayanımın uygulandığı doğrultu ile alakalı olarak bu özelliklerin uyumundan etkilenir. Kolayca tanımlanabilen özelliklere ilave olarak tektonik basınç sonucu, sağlam ve daha gevrek kayaçlarda yeni başlamış zayıflıklar oluşabilir. Bu malzemelerde kayaç dayanımı yapısal zayıflığın gelişiminde odak noktası olan yeni başlamış süreksizliklerin varlığından etkilenir. Kayaç sürekli bir basınca maruz kaldığında bunlar görünür çatlaklara dönüşebilir.

---

## BÖLÜM 2

# LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

---

Literatür araştırması yapılırken; abstract, tez, makale, bildiri ve süreli yayınlar olarak internetten Dokuz Eylül Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphaneleri, Yüksek Öğretim Kurulu Tez Sorgulama Motoru, yerli ve yabancı arama siteleri gibi birçok yerde tarama yapılmıştır. Bunlardan birkaçında bulunan kaynaklar ise tez konusunun sadece çok küçük bir bölümünü oluşturmakla kalmıştır. Yapılan bu çalışma, içeriği açısından farklı olup, bu konuda yapılmış benzer bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

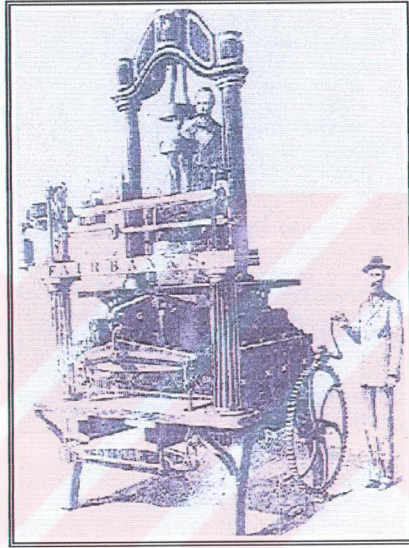
Ayrıca, Beijing Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (Çin) ile Lulea Teknoloji Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü (İsveç) Öğretim Üyelerinden Z.X. Zhang ile internetten yazılı görüşmeler yapılmıştır.

Bu araştırmalar sonucunda bulunan kaynaklardaki yapılan çalışmaların içeriklerine ileriki sayfalarda değinilmektedir.



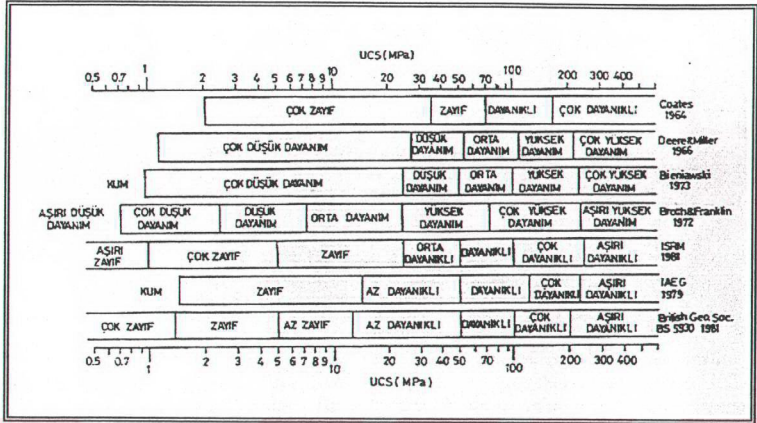
## 2.1. Test Standartları Tarihiçesi

Hudson (1989)'un kayıtlarına göre, kayaç ölçüm cihazları ilk kez 1500'lü yıllarda Leonardo da Vinci tarafından geliştirilmiştir. 20. yy'ın başlarında makineler biraz daha sofistike hale gelmiştir.



Şekil 2.1. Victorian Test Makinası (Hudson, 1989)

1960'lardan itibaren mühendisler çeşitli kayaç dayanımları için terimler bulmayı denemişlerdir. Çeşitli otoritelerin yoğunluk eksikliklerini belirleyen sınırları Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi Amerikan ve İngiliz dayanım tanımlamalarında 50 – 100 MPa arası büyük farklılıklar vardır. Bu kategorideki kayaçlar İngiliz Jeoloji Birliği'nce (1970) ve İngiliz Standart'ı tarafından (BS 5913:1981) "sağlam" olarak nitelendirilirken, Deere&Miller (1966) ve Bieniawski (1973) tarafından "orta sağlamlıkta" olarak nitelendirilmiştir.



Şekil 2.2. Bazı Kayaç Dayanım Terimlerinin Karşılaştırılması (Bieniawski, 1989)

Değişik otoriteler tarafından dayanım tanımlamalarına ara sınırlar getirilmiştir. “Orta sert”, “az sağlam” gibi. Bu sınırlar Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Değişik Otoriteler Tarafından Tavsiye Edilmiş Dayanım Sınırları

TANIMLAMA	Dayanım (MPa)			
	Deere&Miller 1966	IAEG 1979	ISRM 1981	Brit. Geo. Soc., 1972 BS 5930 1981
Aşırı Derecede Zayıf	-	-	0.25-1	-
Çok Zayıf	-	-	1-5	<1.25
Zayıf	-	1.5-15	5-25	1.25-5
Çok Düşük Dayanım	<25	-	-	-
Ortadan Az Zayıf	-	-	-	5-12.5
Ortadan Az Dayanıklı	-	15-50	-	12.5-50
Orta Dayanıklı	-	-	25-50	-
Düşük Dayanım	25-50	-	-	-
Dayanıklı	-	50-120	50-100	50-100
Orta Dayanım	50-100	-	-	-
Çok Dayanıklı	-	120-230	100-250	100-200
Yüksek Dayanım	100-200	-	-	-
Son Derece Dayanıklı	-	>230	>250	>200
Çok Yüksek Dayanım	>200	-	-	-

## 2.2. Geçmişte Yapılan Araştırmalar

Çoğu mühendislik araştırmalarında, sondaj logları kayaç dayanımını nümerik olarak gösterir. Karotlar dikey mesafelerde sıkça mekanik olarak ölçülmez. Ölçüm derinlikleri;

1. Yeteri kadar uzun karot almak
2. Beklenen en yüksek ve en düşük dayanımları saptamak
3. Gerçekleştirilen projeye uygun kayaç dayanımını saptamak amacıyla seçilir.

Karotlar incelendiğinde ve tanımlayıcı dayanımlar görsel olarak belirlendiğinde; tek eksenli basınç dayanımlarının (TEBD) kaydı alınan malzemede belirlenmemesi mümkün değildir. TEBD ölçümü yapılırken, laboratuvarında elde edilen tek eksenli basınç dayanımının tüm arazide uygun (aynı) olup olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bilgilerin tam olarak alınması için belirgin tüm özellikler kaydedilmelidir.

Beton için laboratuvarında hazırlanan test küplerinin aksine , TEBD ölçümü, kayaçlarda silindirik karotlar ve küp numuneleri üzerinde yapılır. Karotlar delme esnasında elde edilir. Eğer karot alma laboratuvarında yapılıyorsa, elde edilen bloklar doğal nemini kaybetmemesi için saklanmalıdır. Çeşitli kodlar ve standartlar (ASTM D 2938 ve ISRM gibi) ölçüm örneği ihtiyaçlarını tanımlarlar. Ortak olarak hepsinin tavsiye ettiği karot çapının kayaç içindeki en iri tanenin 6-10 kat olmasıdır. ISRM boy:çap oranını 2.5'ten 3:1 e kadar önerir. 2:1 numune için yeterli uzunlukta karot almak her zaman mümkün değildir. Bu durumda ASTM dayanım için şu formülü verir:

$$C = Ca / [0.88 + (0.24 d/h)]$$

C= 2:1 boy:çap örneğinde hesaplanan basınç dayanımı

Ca = Ölçüm yapılan örneğin elde edilen basınç dayanımı

d = Karot çapı

h = Karot yüksekliği

2:1'lik karotlar için faktör kullanma tavsiyesi John tarafından gösterilmiştir (1972). John pek çok mühendislik işinde kullanılan ortak bir kayaç olan kuru kumtaşında, boy:çap oranı 2:1 yada daha büyük olan karotlardaki dayanımın neredeyse aynı olduğunu ancak, oranın daha küçük olması durumunda, dayanımda önemli bir artış olduğunu göstermiştir.

Hoek ve Brown (1980) numune çapının, malzemenin ölçülen dayanımı üzerindeki etkisini belirtmişlerdir. Kayıtlarına göre “bu veriler, birim dayanım değerlerinin 50 mm çapındaki örneğin dayanımına bölünmesiyle boyutsuza indirgenmiştir. Numune çapı düştükçe, numune dayanımının kademeli olarak arttığını göstermişlerdir. “En uygun” olarak belirledikleri çizgiye dayanarak; Hoek ve Brown, değişik çaplarda ölçülen numuneleri, 50 mm çapındaki örneğe uydurabilmek için aşağıdaki formülü üretmişlerdir.

$$\sigma_{C50} = \sigma_C / [(50/d)]^{0.18}$$

$\sigma_{C50}$  = 50 mm çapındaki numunenin hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı

$\sigma_C$  = Numunede ölçülen tek eksenli basınç dayanımı

d = mm olarak numune çapı

Al Jassar ve Hawkins (1977, 1979) Bristol bölgesindeki karbonifer kireçtaşı sahasından alınan numunelerde, çoğu kayaç bloğunun karakteristik olarak etkin bir biçimde izotropik olduğunu; laboratuvar deneyleri ise, yatağa göre üç açıdan karotlar alındığında bazı litolojilerdeki anizotropiyi vurgulamaktadır (Hawkins, A.B., 1998).

Rinehart'ın ilk çalışmalarından itibaren; kayacın dinamik mukavemetinin statik mukavemetinden bir kat daha fazla olduğu bilinmektedir. Basınç, burulma ve çekme gerilmeleri esas alan dinamik laboratuvar ölçümleri hızla duyarlı kayaç kırılmasını belirlemektedir. Bunun yanı sıra manyetik yükleme metodları da kullanılmıştır. Şu ana kadar, bu konuyla ilgili yürütülen araştırmaların büyük bir bölümü, yükleme hızının özellikle tek eksenli basınç dayanımına etkisi üzerine olmuştur. Dinamik yükleme altında kalan kayaçların dayanımını tanımlamak oldukça güçtür. Çünkü

kayaç çoğunlukla birçok parçaya bölünüp hatta toz hale gelmekte ve bu parçaların boyutları yüklenme hızına dayanmaktadır. Yüklenme hızının kayaç parçalanması üzerine etkisini anlayabilmek için, parçaların boyutları ve parça enerjisinin yüklenme hızıyla ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu oldukça zor bir iştir. Çünkü parça ürünlerinin sayısı ve boyutlarını tesbit etmek bir hayli zordur. Bunun yanısıra, kayacın kırılması esnasındaki enerji tüketimini kestirmekte zordur.

Costin, Wu ve Bazant; şeyl, mermer, granit ve kireçtaşının kırılma dayanımını eğilme ve hızlı yüklenme deney makinaları kullanarak ölçmüşlerdir. Sonuçlar bu 4 kayacın kırılma dayanımının  $k \leq 10^4 \text{ Mpa m}^{1/2} \text{ sn}^{-1}$ 'lik yüklenme hızıyla az bir miktarda arttığını göstermektedir.

Tang ve Xu, bar şeklinde darbe dayanım cihazı kullanarak mermerin dinamik kırılma dayanımını belirlemişler, bu değerın statik dayanımından daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Bununla birlikte; deney şartlarının kısıtlılığına bağlı olarak kırılma dayanımı ve yüklenme hızı arasında sayısal bir bağıntı bulamamışlardır.

Son yıllarda, Zhang kısa çubuk numuneler kullanarak mermer ve gabronun statik ve dinamik kırılma dayanımını ölçmüş ve dayanımla yüklenme hızı arasında geniş bir aralığı kapsayan bir bağıntı geliştirmiştir. (Z.X. Zhang ve diğerleri, 1999)



## BÖLÜM 3

# LABORATUVAR ÇALIŞMASI

### 3.1. DOĞAL TAŞLARDA DENEY STANDARTLARI

Bu bölümde sadece tez kapsamında yapılan deneylerin standartları verilmektedir.

#### 3.1.1. Özgül Ağırlık Standardı

Birim hacimdeki cismin ağırlığının 4 °C'deki aynı hacim saf suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık boyutsuz bir büyüklüktür.

Ham taşın özgül ağırlığı hesaplanırken, toplam hacim kullanılır. Buradaki delikler ve gözenekler hesaplanmaz. Taşın özgül ağırlığı, içerdiği mineral yapılara, dolayısıyla mineralojik içerik yapısına bağlıdır. T.S. 2513'e göre özgül ağırlık mermerlerde en az 2.7 traventerlerde ise 2.3 olmalıdır.

#### 3.1.2. Birim Hacim Ağırlık Standardı

Taşın birim hacim ağırlığı kayaç içerisindeki boşluk, çatlak, ve su miktarına göre değişmekte, mineralojik bileşime, diğer fiziksel ve mekanik özelliklere göre de farklı olmaktadır. Numune ağırlığının, toplam hacime bölünmesi ile bulunmaktadır. Birimi  $\text{gr/cm}^3$  veya  $\text{ton/m}^3$  dür.

T.S. 2513'e göre mermerlerde birim hacim ağırlığı en az 2.55  $\text{gr/cm}^3$  traventerlerde ise 2.3  $\text{gr/cm}^3$  olmalıdır.

### 3.1.3. Porozite ve Doluluk Oranı Standardı

Taşın gözenekliliğini ifade eden porozite değeri taşın ham ve saf özgül ağırlıkları ilişkisinde hesaplanır. Porozite değerinin bilinmesi taşın basınç dayanımı ve su emme yeteneği ile doğrudan ilişkilidir. Porozite ne kadar büyükse mermerin ekonomikliğı o derece azalır. Çünkü atmosfer etkilerine dayanıklılığı, porozitenin artmasıyla azalmaktadır. İyi kalitede mermerin porozitesi % 0,0002 - % 0,5 arasındadır.

T.S. 1910'a göre doğal taşlarda gözeneklilik % 2'yi aşmamalıdır. Travertenler için bu değer en çok % 12 olmalıdır.

### 3.1.4. Atmosfer Basıncında Ağırlıkça Su Emme Oranı Standardı

Ağırlıkça su emme oranı, taşın basınç altında olmaksızın ne kadar su emeceğini bize göstermektedir. Taşın su emme yeteneği aynı zamanda taşın donmaya karşı olan dayanıklılığını da etkilemektedir. T.S. 1910'a göre doğal taşların atmosfer basıncında ağırlıkça su emme yeteneği % 0,75 den çok olmamalıdır. Travertenler için bu değer % 7,5 den çok olmamalıdır.

Bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, kristalleşme derecesi, su emme ve boşluk suyu basıncı, süreksizlikler ve ayrışma derecesi gibi parametreler kayaçların mekanik özelliklerinin davranışına etki etmektedir.

### 3.1.5. Basınç Dayanımı Standardı

Taşın mekanik bir etki altında kırılma olmaksızın dayanabildiğı maksimum basınç değeridir. Taşların basınç direnci, mineral bileşimi, su içeriğı ve ayrışma derecesi ile azalmaktadır. Ayrıca süreksizlikler ve tabaka yüzeylerine dik veya paralel gelen gerilmeler ile de değişmektedir. Süreksizlik yüzeyine dik doğrultuda mukavemet, paralel doğrultuda elde edilen mukavemetten daha fazladır.

Kayaçların basınç dayanımına etki eden jeolojik özellikler:

- Litoloji
- Süreksizlik
- Su içeriği
- Çimentolanma ve kristallenme derecesi
- Homojenite
- İzotropluk
- Ayrışma derecesi

Dayanım özelliklerine, kayacın nicel ve nitel bileşimi kayacın sürekliliği ve aşağıdaki diğer faktörler etki etmektedir:

- Kayacın tipi,
- Kayacın yeri ve çevresi
- Her bir mineralin iç dayanımı
- Kayaç mineral tanelerinin birbiriyle bağı
- Nem içeriği
- Eklem, çatlak ve her türlü boşluklar
- Deney yöntemi
- Yükleme hızı
- Süre

Kayaç dayanımı, bozulmamış kayaç örneklerinin üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile saptanabilir. Bu deneyler her yerde kolaylıkla yapılabilen ve yorumlanabilmektedir.

### 3.1.6. Kimyasal Özellikler

Mermerlerin kimyasal bileşiminin belirlenmesi amacıyla çeşitli kimyasal analizler gerçekleştirilir. Bu deneylerde:

- CaO,
- MgO,
- SiO<sub>2</sub>,



- $Al_2O_3$ ,
- $Fe_2O_3$ ,
- $Na_2O$ ,
- $TiO_2$ ,
- $P_2O_5$

yüzdeleri hesaplanır. Kimyasal bileşimi tespit edilen CaO miktarı 1/0,56 katsayısı ile çarpılarak  $CaCO_3$  'e, MgO miktarı 1/0,48 katsayısı ile çarpılarak  $MgCO_3$  'e dönüşüm yapılır.

### 3.1.7. Petrografik Özellikler

Kayaçların çeşitli iç yapı özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan petrografik analiz, mermerlerde ocaktan kullanım yerine kadar, mermer karakterizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Mermerlerde sertlik, kırılgenlık, kesilebilme, parlatılabilme, cila alma gibi parametreler gerçekte malzemenin iç yapısı ile ilgilidir. Örnek olarak, bir mermer yatağında aynı kimyasal bileşimde fakat farklı mineralojik yapıda olan hakiki mermer ile kalsit kristalleri bir arada bulunabilmektedir. Böyle bir mermer yatağında kalsit kristallerinin büyük kafalar oluşturması halinde, kesilen bloklardan plaka almada zorluklarla karşılaşmaktadır. Petrografik analiz yöntemleri ile bu ve benzeri özelliklerin önceden belirlenmesi ile tedbirler alınabilecektir.

Mikroskop ve X-ışınları yardımı ile petrografik analizler yapılarak mermerlerin makroskobik olarak belirlenemeyen bileşenleri belirlenebilmektedir. Petrografik analiz ile mermerlerde iç yapı özelliklerinin tanınması yanında içerdikleri mineral tür ve boyutları belirlenir. Mermerin renk, sertlik, kırılgenlık gibi bilinmesi gereken özellikleri oluşturan minerallerin belirlenmesi petrografik analizlerle sağlanmaktadır.

### 3.2. DOĞAL TAŞLARDA DENEY METODLARI

Bu bölümdeki deneyler T.S. 699/Ocak 1987 normlarına uygun olarak anlatılmıştır.

#### 3.2.1. Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Bu deneyde doğal yapı taşının gözenekleri ile birlikte birim hacminin ağırlığı bulunur. Deney düzgün olarak küp veya dikdörtgenler prizması veya silindirik biçiminde kesilmiş numunelerle yapılır. Deneyde alet olarak, sıcaklığı  $105 \pm 5$  °C a ayarlanabilen bir etüv, duyarlılığı en az 0,1 gr olan terazi ve uygun büyüklükte bir desikatör kullanılır.

Taş testeresi ile düzgün küpler veya dikdörtgenler prizması şeklinde numuneler kesilerek 3 adet deney numunesi hazırlanır. Deney numunelerinin yüzü bir tel fırça ile fırçalanıp temizlendikten sonra boyutları 0,1 mm duyarlılıkla ölçülür ve hacimleri ( V ) hesaplanır.

Sonra bunlar  $105 \pm 5$  °C sıcaklıktaki bir etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Birbirini izleyen 8'er saatlik kurutmalar sonunda oluşan ağırlık azalması % 0,1 den daha az ise, değişmez ağırlığa ulaştığı kabul edilir ve deney numunesi bir desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulup 0,1 gr duyarlılıkta tartılarak kuru ağırlık bulunur ( $G_k$ ).

Birim hacim ağırlığı;

$$d_h = \frac{G_k}{V} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

formülü ile ve virgülden sonra yüzde hanesine yuvarlatılarak bulunur.

Bu formülde;

$d_h$  = Birim hacim ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ ),

$G_k$  = Numunenin değişmez (kuru) ağırlığı (gr),

V = Numunenin hacmi ( $\text{cm}^3$ ) dir.

Eğer numune düzgün geometrik boyutlu değilse, her birinin ağırlığı 150 gr dan az olmayan 3 adet deney numunesi kullanılarak deney yapılır. Numuneler değişmez ağırlığa kadar kurutulup bir tel fırça ile temizlendikten sonra 0,1 gr duyarlıkta tartılarak kuru ağırlık bulunur ( $G_k$ ). Bu şekilde kurutulmuş deney numunesine atmosfer basıncında su emdirilir ve su emdirilmiş numunenin havadaki ( $V_d$ ) ve su içindeki ( $V_s$ ) ağırlıkları 0,1 gr duyarlıkta tartılarak bulunur. Sonra taşın birim hacim ağırlığı;

$$d_h = \frac{G_k}{V_d - V_s} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

formülü ile ve virgülden sonra yüzde hanesi yuvarlatılarak bulunur.

### 3.2.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Deney üç numune üzerinde yapılmalıdır. En az 0,01 gr duyarlıkta bir terazi, 0,2 mm göz açıklığında bir deney eleği, kurutma etüvü ve desikatör kullanılarak deney yapılır.

Taş numunesi 0,2 mm lik deney eleğinden tamamı geçecek incelikte öğütülerek kurutma etüvünde birim hacim ağırlığı tayini deneyinde açıklandığı şekilde değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Sonra bu kuru tozdan yaklaşık 40 gram 0,01 gr duyarlıkta tartılarak ayrılır ( $G$ ).

Uygun hacimdeki bir piknometre ile, oda sıcaklığındaki hacmi 0,01  $\text{cm}^3$  duyarlıkla tayin edilir ( $V$ ). Öğütülmüş taş tozu arasındaki hava kabarcıklarının çıkması, piknometre zaman zaman sarsılarak ve gerektiğinde ısıtılarak sağlanmalıdır.

Özgül ağırlık;

$$d_0 = \frac{G}{V} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

formülü ile ve virgülden sonra yüzde hanesi yuvarlatılarak bulunur.

Bu formülde;

$d_0$  = Özgül ağırlık ( $gr/cm^3$ )

$G$  = Toz numunenin ağırlığı ( $gr$ )

$V$  = Toz numunenin hacmi ( $cm^3$ ) dir.

### 3.2.3. Doluluk Oranı Komposite Deneyi

Deney üç deney numunesi üzerinde yapılır. Deneyde kullanılan numunelerin her birinin üzerinde birim hacim ağırlığı deneyi ve özgül ağırlık deneyi yapılır. Bulunan birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlık deneyleri sonuçlarından doluluk oranı :

$$k = \frac{d_h}{d_0} \times 100 \text{ (\%)}$$

formülü ile ve tam sayıya yuvarlatılarak bulunur. Bu formülde ;

$k$  = Doluluk oranı (%)

$d_h$  = Birim hacim ağırlığı ( $gr/cm^3$ )

$d_0$  = Özgül ağırlık ( $gr/cm^3$ )

### 3.2.4. Porozite (Gözeneklilik Derecesi) Deneyi

Deney üç deney numunesi üzerinde yapılır. Deneyde kullanılan numunelerinin herbirinin birim hacim ağırlığı deneyi ve özgül ağırlık deneyi yapılır. Bulunan birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlık deney sonuçlarından, gözeneklilik oranı :

$$p = \left( 1 - \frac{d_h}{d_0} \right) \times 100 \text{ (\%)}$$

formülü ile tam sayıya yuvarlatılarak bulunur. Bu formülde ;

$p$  = Gözeneklilik oranı (%)

$d_h$  = Birim hacim ağırlığı ( $gr/cm^3$ )

$d_0$  = Özgül ağırlık ( $gr/cm^3$ )

### 3.2.5. Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Yeteneği Deneyi

Deneyde en az 0,1 gr duyarlılığı olan bir terazi, uygun büyüklükte bir desikatör, sıcaklığı  $105 \pm 5$  °C olan etüv ve paslanmaz malzemedan yapılmış su kabı kullanılır. Deney 5 adet numune ile yapılır. Numunelerin ağırlığı 150-350 gr. arasında olabildiğince yassı parçalar halinde olmalı ve yaklaşık olarak aynı büyüklükte bulunmalıdır.

Numuneler bir tel fırça ile fırçalanarak, saf su ile yıkanıp temizlenir. Temizlenmiş numuneler değişmez ağırlığa kadar kurutulur, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulup 0,1 gr duyarlılıkla tartılarak kuru ağırlıkları bulunur ( $G_k$ ). Kurutulmuş numuneler, içinde  $20 \pm 5$  °C sıcaklıkta saf su bulunan yüksekliklerinin 1/4 ü kadar suya daldırılır. Sonra kaba yavaş yavaş su ilave edilerek su düzeyinin, başlangıçtan 1 saat sonra numunelerin yüksekliklerinin yaklaşık yarısına ve ikinci saatin sonunda ise 3/4 üne ulaşması sağlanır. Bu anda yani numunelerin suya konuluşundan iki saat sonra kaba yeniden su konularak numunelerin tamamen su altında kalmaları temin edilir. Sonra numuneler, tamamen su altında kaldıklarından 22 saat ve deney başlangıcından 24 saat sonra sudan çıkarılır, üzerindeki su damlaları, ısıtılarak sıkılmış bir bez veya sünger parçası ile silinip alındıktan sonra süratle tartılarak numune tekrar su içine konur. Bundan sonra bu tartma işlemi 24 saat aralıklarla tekrarlanır. Tamamen su altında bırakılan numuneye bu şekilde su emdirilmeye devam edilir ve 24 saat aralıklarla yapılan tartılarda bulunacak olan ağırlık artışı bir evvelki tartının % 0,05 inden fazla değil ise son tartım suya doymuş değişmez ağırlık olarak ve 0,1 gr duyarlılıkla tespit edilir ( $G_d$ ).

Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme yeteneği :

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (\%)$$

Sonra suya doymuş numune, su içinde de tartım yapabilen bir terazi (arşimed terazisi) ile su içinde yine 0,1 gr duyarlılıkla tartılarak numunenin su içindeki ağırlığı bulunur ( $G_s$ ).

Hacimce su emme yeteneği:

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_s} \times 100 \quad (\%)$$

formülü ile ve virgülden sonra onda bir hanesine yuvarlanarak bulunur. Bu formüllerde

$S_k$  = Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme yeteneği (%)

$S_h$  = Atmosfer basıncı altında hacimce su emme yeteneği (%)

$G_k$  = Değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş numune ağırlığı (gr)

$G_d$  = Değişmez ağırlığa kadar su emdirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

$G_s$  = Değişmez ağırlığa kadar su emdirilmiş numunenin su içindeki ağırlığı (gr)

### 3.2.6. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Deney için numune taş bloklardan taş testeresi ile kesilmek sureti ile küp veya silindir şeklinde 10 tane deney numunesi hazırlanır. Tabakalı ve şist yapıları taşlar ile tabakalaşma doğrultusu belirli olan tortul taşlarda basınç dayanımı deneyi, hem tabakalaşma doğrultusuna dik ve hem de doğrultuya paralel olarak yapılır. Bu nedenle bu tür taşlarda hazırlanması gereken numune sayısı 15 adet olmalıdır. Bu numunelerden 10 tanesinde, küp şeklindeki numunelerde küpün birbirine paralel olan dört kenarı ve silindir şeklindeki numunelerde ise silindir yüksekliği tabakalaşma yüzeyine dik tutularak, numunelerin basınç uygulanacak yüzlerinin tabakalaşma yüzeyine paralel olması sağlanmalıdır. Diğer 5 deney numunesi ise küp şeklindekilerde küpün birbirine paralel dört kenarı ve silindir şeklindeki numunelerde silindirin yüksekliği tabakalaşma yüzeyine paralel düzenlenerek, basınç uygulanacak numune yüzleri tabakalaşma yüzeyine dik olacak şekilde düzeltilmelidir.

Deney numunelerin boyutları kompasla 0,1 mm duyarlılıkla ölçülerek basınç uygulanacak yüzeyin alanı 0,1 cm<sup>2</sup> ye yuvarlatılarak hesaplanır. Deney numunesi basınç deney presinin tabakalarının arasına ve alttaki tabakanın tam ortasına yerleştirilir. Bu işlemden önce aletin tablaları iyice silinerek temizlenmiş olması gerekir. Yük deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanır. Kırılma anındaki P<sub>max</sub> kaydedilir. Basınç dayanımı değeri:

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

formülü ile ve tam sayıya yuvarlatılarak bulunur.

Bu formülde:

$\sigma_b$  = Basınç dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>max</sub> = Kırılma anındaki yük (kg)

A = Deney numunesinin basınç uygulanan yüzeyinin alanı (cm<sup>2</sup>) dir.

### 3.3. YAPILAN LABORATUVAR DENEYLERİ

#### 3.3.1. Deformasyon Deneyi Sonuçları

Genel olarak kayaçların elastisite modülleri kayaç tipi, porozite, tane büyüklüğü ve su muhtevasından etkilenmektedir. Elastisite modülü tabakalanmaya ve çatlaklara dik olarak ölçüldüğünde, paralel olarak ölçülenden daha büyük değerdedir. Kayaçların elastisite modülünün değişik değerlerde oluşu, kısmen homojenite ve anizotropilerine, kısmen de deney yöntemine bağlıdır.

Elastisite modülünün (E) hesaplanmasında kullanılan değişik yöntemler aşağıda verilmiştir.

- Basınç dayanımının ( $\sigma$ ) belirli bir yüzdesine ait gerilme düzeyindeki teğet modülü
- Gerilme-birim deformasyon eğrisinin doğruya en yakın olan kısmının ortalama eğimi
- Eğri üzerinde sıfır gerilme düzeyi ile basma dayanımının belirli bir yüzdesine ait noktaların birleştirilmesi ile elde edilen kiriş modülü tayin edilir.

Poisson oranı, yatay deformasyonun düşey deformasyona oranıdır. Değeri genellikle küçüktür. Yerinde kayaç özelliklerine bağlı olarak elastisite modülü ve poisson oranı değişik değerler göstermektedir. Kayaçlar homojen olmayan anizotrop malzemeler olduğundan bu değerler değişik yönlerde farklılıklar gösterir. Elastisite Modülü ve Poisson Oranı aşağıdaki eşitliklerle bulunur:

$$\text{Elastisite Modülü} \quad : \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_a} \quad (\text{MPa})$$

$$\text{Poisson Oranı} \quad : \quad \nu = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_a}$$

$\sigma$  : Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)

$\epsilon_a$  : Düşey Deformasyon

$\epsilon_r$  : Yatay Deformasyon



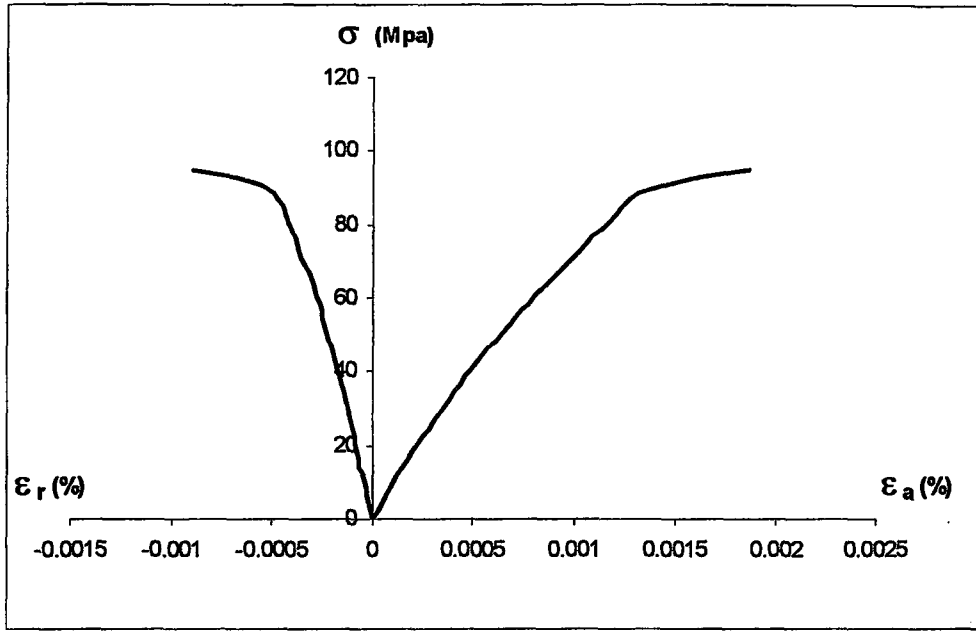
Deformasyon deneyi sırasında her bir mermer numunesinin üzerine yatay ve düşey şekilde strain gaugeler yapıştırılarak, digital indikatör ile 100, 200 ve 300 kg/sn<sup>2</sup>lik yükleme hızlarında numunelerin tanjant, secant elastisite modülleri ve poisson oranları hesaplanmıştır. Bulunan deney sonuçları her bir numune için aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.1. Deformasyon Deney Düzeneği

Tablo 3.1. RSL numunesinin 100 kg/sn yükleme hızındaki deformasyon deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_n$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1150	49.7	2.31	0.000032	0.000008	72308.85	0.25
2030	49.7	4.08	0.000051	0.000014	80088.37	0.27
3090	49.7	6.22	0.000075	0.000021	82897.38	0.28
4050	49.7	8.15	0.000095	0.000028	85777.82	0.29
5000	49.7	10.06	0.000115	0.000036	87481.41	0.31
6020	49.7	12.11	0.000134	0.000045	90393.10	0.34
7030	49.7	14.14	0.000153	0.00006	92450.13	0.39
8070	49.7	16.24	0.000177	0.000065	91736.86	0.37
9020	49.7	18.15	0.000202	0.00007	89846.01	0.35
10040	49.7	20.20	0.00023	0.000078	87831.34	0.34
11060	49.7	22.25	0.000258	0.000084	86253.96	0.33
12050	49.7	24.25	0.000285	0.000096	85071.83	0.34
13060	49.7	26.28	0.00031	0.000104	84766.66	0.34
14060	49.7	28.29	0.000334	0.000114	84699.82	0.34
15010	49.7	30.20	0.000357	0.000125	84597.22	0.35
16050	49.7	32.29	0.000386	0.000133	83662.60	0.34
17200	49.7	34.61	0.000415	0.000142	83391.92	0.34
18070	49.7	36.36	0.00044	0.000152	82632.16	0.35
19070	49.7	38.37	0.000466	0.000163	82339.53	0.35
20040	49.7	40.32	0.000492	0.000171	81955.15	0.35
21150	49.7	42.56	0.000524	0.000182	81212.47	0.35
22060	49.7	44.39	0.00055	0.00019	80702.40	0.35
23060	49.7	46.40	0.00058	0.000201	79997.22	0.35
24030	49.7	48.35	0.000612	0.000214	79003.43	0.35
24990	49.7	50.28	0.000643	0.000227	78198.58	0.35
26120	49.7	52.56	0.00068	0.000239	77287.25	0.35
27070	49.7	54.47	0.000712	0.000245	76498.32	0.34
28100	49.7	56.54	0.000746	0.000252	75789.86	0.34
28970	49.7	58.29	0.000778	0.000262	74922.54	0.34
30070	49.7	60.50	0.000812	0.000275	74511.11	0.34
31150	49.7	62.68	0.000848	0.000286	73910.44	0.34
32020	49.7	64.43	0.000882	0.000298	73045.99	0.34
33150	49.7	66.70	0.000924	0.00032	72186.36	0.35
34100	49.7	68.61	0.00096	0.000338	71470.49	0.35
35070	49.7	70.56	0.000996	0.000352	70846.77	0.35
36020	49.7	72.47	0.001028	0.000362	70500.83	0.35
37100	49.7	74.65	0.001062	0.000373	70289.91	0.35
38050	49.7	76.56	0.001097	0.000384	69789.75	0.35
39000	49.7	78.47	0.001132	0.000402	69320.52	0.36
40050	49.7	80.58	0.001172	0.00042	68757.25	0.36
41050	49.7	82.60	0.001206	0.000432	68487.21	0.36
42000	49.7	84.51	0.001238	0.000446	68260.94	0.36
43000	49.7	86.52	0.001274	0.000468	67911.39	0.37
44000	49.7	88.53	0.00132	0.000489	67069.08	0.37
45080	49.7	90.70	0.00145	0.000546	62554.64	0.38
46000	49.7	92.56	0.001602	0.000668	57774.86	0.42
47070	49.7	94.71	0.001865	0.000885	50781.90	0.47

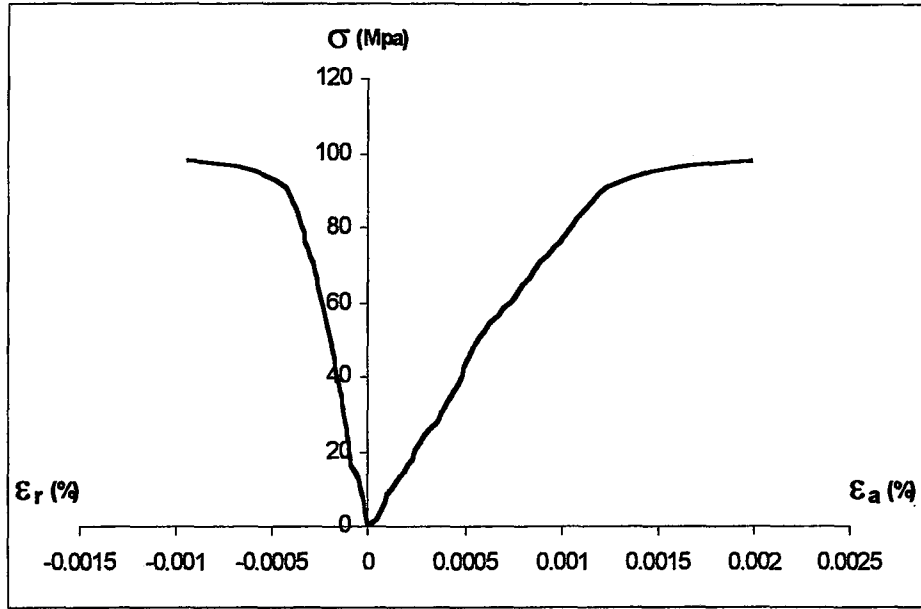


**Şekil 3.2.** RSL Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi



Tablo 3.2. RSL Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

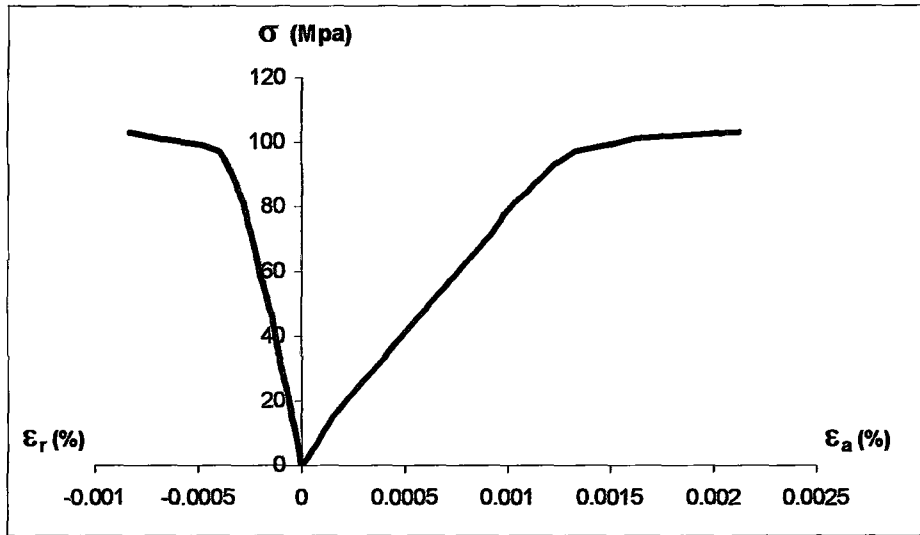
P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	49.7	0	0	0	0	0
1170	49.7	2.35	0.00004	0.00001	58853.119	0.25
2270	49.7	4.57	0.000066	0.000017	69203.097	0.26
3150	49.7	6.34	0.000082	0.000022	77293.026	0.27
4120	49.7	8.29	0.000098	0.000028	84589.168	0.29
5070	49.7	10.20	0.000122	0.000038	83616.453	0.31
6350	49.7	12.78	0.00016	0.000052	79854.125	0.33
7250	49.7	14.59	0.00018	0.000068	81041.806	0.38
8270	49.7	16.64	0.000201	0.000089	82785.269	0.44
9100	49.7	18.31	0.000224	0.000095	81740.443	0.42
10100	49.7	20.32	0.000241	0.0001	84323.368	0.41
11250	49.7	22.64	0.00026	0.000105	87060.826	0.40
12280	49.7	24.71	0.000289	0.000111	85495.673	0.38
13050	49.7	26.26	0.000315	0.000114	83357.287	0.36
14080	49.7	28.33	0.000364	0.000121	77829.615	0.33
15150	49.7	30.48	0.00038	0.000127	80218.151	0.33
16200	49.7	32.60	0.000402	0.000133	81083.516	0.33
17200	49.7	34.61	0.000421	0.000141	82203.434	0.33
18020	49.7	36.26	0.000443	0.000148	81845.475	0.33
19120	49.7	38.47	0.000466	0.000157	82555.418	0.34
20140	49.7	40.52	0.000485	0.000165	83552.864	0.34
21250	49.7	42.76	0.000498	0.00017	85856.504	0.34
22150	49.7	44.57	0.000509	0.000175	87558.751	0.34
23150	49.7	46.58	0.00053	0.000182	87885.805	0.34
24070	49.7	48.43	0.000552	0.000188	87736.564	0.34
25050	49.7	50.40	0.000574	0.000199	87809.084	0.35
26010	49.7	52.33	0.000602	0.000208	86933.562	0.35
27030	49.7	54.39	0.000631	0.000217	86190.678	0.34
28050	49.7	56.44	0.000675	0.000224	83612.788	0.33
29040	49.7	58.43	0.0007	0.000233	83472.262	0.33
30010	49.7	60.38	0.000742	0.000241	81377.754	0.32
31070	49.7	62.52	0.000772	0.000251	80978.097	0.33
32040	49.7	64.47	0.000798	0.000259	80785.465	0.32
33110	49.7	66.62	0.00083	0.000268	80264.721	0.32
34050	49.7	68.51	0.000856	0.000278	80036.293	0.32
35170	49.7	70.76	0.00089	0.000291	79510.773	0.33
36040	49.7	72.52	0.000925	0.000305	78394.692	0.33
37060	49.7	74.57	0.000962	0.000319	77512.894	0.33
38010	49.7	76.48	0.000992	0.000329	77095.638	0.33
39140	49.7	78.75	0.001026	0.000337	76756.837	0.33
40040	49.7	80.56	0.001054	0.000348	76435.845	0.33
41060	49.7	82.62	0.001085	0.000361	76143.497	0.33
42160	49.7	84.83	0.001121	0.00038	75672.59	0.34
43080	49.7	86.68	0.001158	0.000397	74853.265	0.34
44190	49.7	88.91	0.00119	0.000412	74717.211	0.35
45020	49.7	90.58	0.001229	0.000431	73705.046	0.35
46050	49.7	92.66	0.00132	0.000482	70193.891	0.37
47100	49.7	94.77	0.001456	0.000579	65088.332	0.40
48090	49.7	96.76	0.00163	0.000692	59362.309	0.42
48900	49.7	98.39	0.001987	0.000942	49517.032	0.47



**Şekil 3.3.** RSL Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Tablo 3.3. RSL Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	49.6	0	0	0	0	0
1010	49.6	2.04	0.000027	0.000007	75418.16	0.26
2110	49.6	4.25	0.000051	0.00001	83412.4	0.20
3270	49.6	6.59	0.000076	0.000015	86746.6	0.20
4270	49.6	8.61	0.000092	0.000021	93574.68	0.23
5260	49.6	10.60	0.00011	0.000027	96407.62	0.25
6200	49.6	12.50	0.00013	0.000034	96153.85	0.26
7220	49.6	14.56	0.000152	0.000042	95766.13	0.28
8180	49.6	16.49	0.000175	0.000048	94239.63	0.27
9280	49.6	18.71	0.0002	0.000054	93548.39	0.27
10270	49.6	20.71	0.000224	0.000062	92435.92	0.28
11230	49.6	22.64	0.000252	0.000068	89845.75	0.27
12240	49.6	24.68	0.000281	0.000075	87820	0.27
13070	49.6	26.35	0.000305	0.000084	86396.09	0.28
14200	49.6	28.63	0.000338	0.000091	84701.28	0.27
15210	49.6	30.67	0.000367	0.000099	83556.74	0.27
16250	49.6	32.76	0.000397	0.000105	82524.17	0.26
17130	49.6	34.54	0.000415	0.000111	83219.98	0.27
18070	49.6	36.43	0.00044	0.000117	82798.75	0.27
19160	49.6	38.63	0.000468	0.000122	82540.67	0.26
20440	49.6	41.21	0.000508	0.000127	81121.41	0.25
21280	49.6	42.90	0.00053	0.000133	80949.48	0.25
22410	49.6	45.18	0.000562	0.000138	80394.04	0.25
23280	49.6	46.94	0.000587	0.000144	79958.23	0.25
23960	49.6	48.31	0.000605	0.00015	79845.37	0.25
24650	49.6	49.70	0.000624	0.000157	79643.56	0.25
25280	49.6	50.97	0.000642	0.000164	79389.01	0.26
26140	49.6	52.70	0.000666	0.000173	79131.55	0.26
27140	49.6	54.72	0.000692	0.000181	79071.88	0.26
28200	49.6	56.85	0.000721	0.000189	78855.53	0.26
29030	49.6	58.53	0.000745	0.000197	78561.38	0.26
30240	49.6	60.97	0.000778	0.000205	78364.71	0.26
31210	49.6	62.92	0.000804	0.000214	78262.92	0.27
32240	49.6	65.00	0.000832	0.000221	78125	0.27
33320	49.6	67.18	0.000861	0.000228	78022.55	0.26
34320	49.6	69.19	0.000889	0.000236	77833.01	0.27
35320	49.6	71.21	0.000917	0.000243	77655.05	0.26
36260	49.6	73.10	0.000942	0.000251	77605.99	0.27
37260	49.6	75.12	0.00096	0.000259	78251.01	0.27
38350	49.6	77.32	0.000982	0.000267	78735.79	0.27
39290	49.6	79.21	0.001005	0.000274	78819.61	0.27
40270	49.6	81.19	0.001035	0.000282	78443.98	0.27
41180	49.6	83.02	0.001067	0.000293	77810.87	0.27
42080	49.6	84.84	0.001098	0.000308	77266.58	0.28
43190	49.6	87.08	0.001129	0.000319	77127.2	0.28
44020	49.6	88.75	0.001162	0.000331	76376.94	0.28
45050	49.6	90.83	0.001193	0.000345	76132.95	0.29
46100	49.6	92.94	0.001225	0.00036	75872.28	0.29
47090	49.6	94.94	0.001276	0.000374	74404.01	0.29
48100	49.6	96.98	0.001328	0.000395	73023.95	0.30
49180	49.6	99.15	0.001496	0.000476	66278.89	0.32
50060	49.6	100.93	0.001618	0.000687	62377.89	0.42
51130	49.6	103.08	0.002126	0.000832	48487.62	0.39



Şekil 3.4. RSL Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Tablo 3.4. RSL Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler

Hesaplanmış Değerler	Yükleme Hızları		
	100 kg/sn	200kg/sn	300 kg/sn
Kırılma Yüğü (kg)	47730	49150	51800
Tanjant Elastisite Modülü $E_{tan}$ (MPa)	58647	63545	72904
Secant Elastisite Modülü $E_{sec}$ (MPa)	66667	70769	77391
Poisson Oranı $\nu$	0.63	0.43	0.32



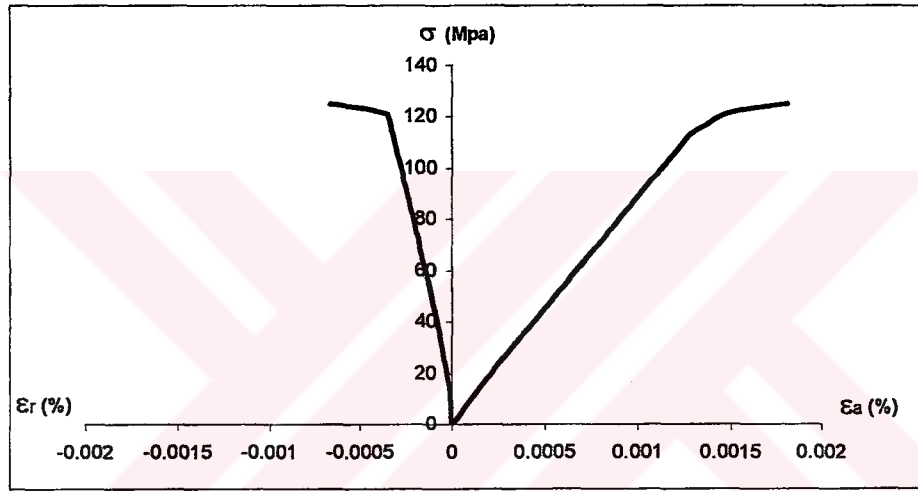
Tablo 3.5. GLK Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1120	50.48	2.22	0.000027	0.000002	82174.092	0.07
2050	50.48	4.06	0.000045	0.000002	90244.761	0.04
3000	50.48	5.94	0.000063	0.000003	94332.503	0.05
4090	50.48	8.10	0.000084	0.000004	96454.985	0.05
5040	50.48	9.98	0.000103	0.000006	96933.516	0.06
6050	50.48	11.98	0.000124	0.000008	96652.778	0.06
7010	50.48	13.89	0.000144	0.000011	96435.332	0.08
8040	50.48	15.93	0.000166	0.000015	95946.385	0.09
9050	50.48	17.93	0.000188	0.000019	95361.129	0.10
10050	50.48	19.91	0.00021	0.000024	94804.166	0.11
10960	50.48	21.71	0.000229	0.000028	94810.345	0.12
12010	50.48	23.79	0.000252	0.000034	94411.114	0.13
13030	50.48	25.81	0.000275	0.000039	93862.556	0.14
14030	50.48	27.79	0.000297	0.000045	93579.749	0.15
15060	50.48	29.83	0.000321	0.00005	92939.556	0.16
16040	50.48	31.77	0.000343	0.000056	92638.368	0.16
17060	50.48	33.80	0.000366	0.000062	92337.603	0.17
17980	50.48	35.62	0.000388	0.000067	91799.141	0.17
19030	50.48	37.70	0.000412	0.000073	91500.238	0.18
20030	50.48	39.68	0.000435	0.000079	91216.278	0.18
21040	50.48	41.68	0.000458	0.000085	91004.090	0.19
22010	50.48	43.60	0.00048	0.000091	90836.305	0.19
23020	50.48	45.60	0.000504	0.000097	90480.593	0.19
24080	50.48	47.70	0.000528	0.000104	90344.811	0.20
25030	50.48	49.58	0.000549	0.00011	90316.928	0.20
26030	50.48	51.56	0.000572	0.000116	90148.560	0.20
27060	50.48	53.61	0.000596	0.000122	89941.927	0.20
28030	50.48	55.53	0.000619	0.000128	89704.267	0.21
29020	50.48	57.49	0.000641	0.000134	89685.045	0.21
30070	50.48	59.57	0.000665	0.000141	89576.159	0.21
31080	50.48	61.57	0.000688	0.000148	89489.736	0.22
32020	50.48	63.43	0.00071	0.000153	89339.524	0.22
33070	50.48	65.51	0.000734	0.00016	89252.171	0.22
34070	50.48	67.49	0.000757	0.000166	89157.300	0.22
35070	50.48	69.47	0.00078	0.000173	89068.024	0.22
36080	50.48	71.47	0.000803	0.000179	89008.532	0.22
37030	50.48	73.36	0.000824	0.000185	89024.010	0.22
38000	50.48	75.28	0.000847	0.000192	88875.251	0.23
39040	50.48	77.34	0.000871	0.000199	88791.687	0.23
39990	50.48	79.22	0.000892	0.000205	88811.091	0.23
41020	50.48	81.26	0.000916	0.000212	88711.687	0.23
42090	50.48	83.38	0.000939	0.000219	88796.120	0.23
43030	50.48	85.24	0.000962	0.000225	88608.815	0.23
44020	50.48	87.20	0.000985	0.000231	88530.815	0.23
45180	50.48	89.50	0.001011	0.000239	88526.995	0.24
46100	50.48	91.32	0.001031	0.000245	88577.397	0.24
46980	50.48	93.07	0.001051	0.000251	88550.486	0.24
48050	50.48	95.19	0.001075	0.000259	88545.314	0.24
49050	50.48	97.17	0.001098	0.000265	88494.713	0.24



Tablo 3.5.'in devamı

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
50040	50.48	99.13	0.001121	0.000272	88428.517	0.24
51050	50.48	101.13	0.001144	0.000279	88399.615	0.24
52060	50.48	103.13	0.001166	0.000286	88447.644	0.25
53050	50.48	105.09	0.001188	0.000293	88460.543	0.25
54040	50.48	107.05	0.00121	0.0003	88472.974	0.25
55000	50.48	108.95	0.001232	0.000306	88436.722	0.25
56190	50.48	111.31	0.001259	0.000314	88412.558	0.25
56990	50.48	112.90	0.001276	0.000318	88476.643	0.25
58040	50.48	114.98	0.00132	0.000325	87103.203	0.25
59050	50.48	116.98	0.001378	0.000332	84888.984	0.24
60020	50.48	118.90	0.001412	0.000339	84205.789	0.24
61030	50.48	120.90	0.00147	0.000348	82244.467	0.24
62040	50.48	122.90	0.001589	0.000455	77344.341	0.29
63050	50.48	124.90	0.001814	0.000662	68853.887	0.36



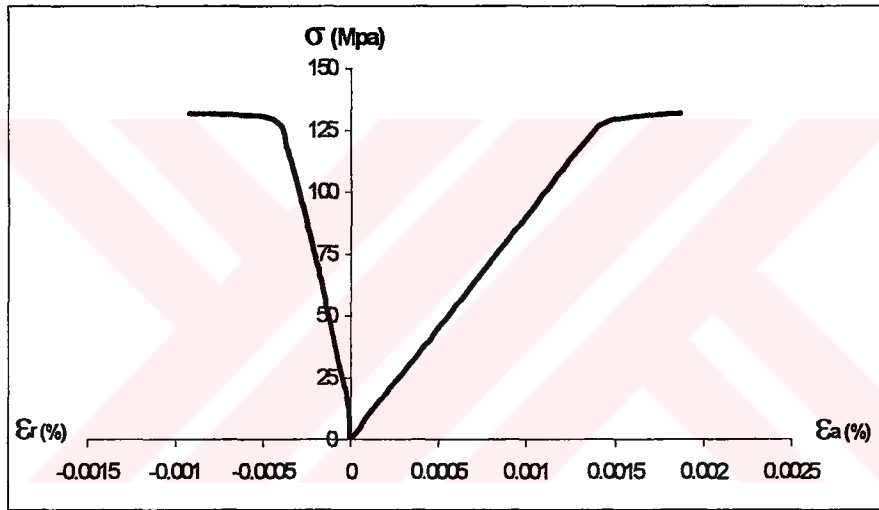
Şekil 3.5. GLK Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Tablo 3.6. GLK Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1090	49.84	2.19	0.000028	0.000003	78107.09	0.11
2520	49.84	5.06	0.00006	0.000005	84269.66	0.08
3250	49.84	6.52	0.000068	0.000007	95895.10	0.10
4080	49.84	8.19	0.000085	0.000008	96308.19	0.09
5110	49.84	10.25	0.000106	0.000009	96724.61	0.08
6100	49.84	12.24	0.000128	0.00001	95618.48	0.08
7100	49.84	14.25	0.00015	0.000013	94970.57	0.09
8080	49.84	16.21	0.000173	0.000018	93710.28	0.10
9080	49.84	18.22	0.000197	0.000024	92478.67	0.12
10100	49.84	20.26	0.000217	0.000032	93386.39	0.15
11120	49.84	22.31	0.000241	0.000039	92578.41	0.16
12100	49.84	24.28	0.000266	0.000046	91269.51	0.17
13050	49.84	26.18	0.000288	0.000052	90915.93	0.18
14070	49.84	28.23	0.000312	0.000059	90481.85	0.19
15060	49.84	30.22	0.000334	0.000066	90469.14	0.20
16060	49.84	32.22	0.000357	0.000072	90260.82	0.20
17000	49.84	34.11	0.000379	0.000078	89997.76	0.21
18140	49.84	36.40	0.000404	0.000085	90090.27	0.21
19080	49.84	38.28	0.000426	0.000092	89865.03	0.22
20080	49.84	40.29	0.000448	0.000098	89930.64	0.22
21030	49.84	42.20	0.00047	0.000103	89776.65	0.22
22230	49.84	44.60	0.000494	0.000111	90288.92	0.22
23000	49.84	46.15	0.000513	0.000116	89956.48	0.23
24050	49.84	48.25	0.000536	0.000122	90026.89	0.23
25060	49.84	50.28	0.000559	0.000129	89947.94	0.23
26050	49.84	52.27	0.00058	0.000135	90115.96	0.23
27130	49.84	54.43	0.000604	0.000142	90122.83	0.24
28040	49.84	56.26	0.000624	0.000147	90160.31	0.24
29020	49.84	58.23	0.000646	0.000154	90133.63	0.24
30030	49.84	60.25	0.000668	0.00016	90198.82	0.24
31050	49.84	62.30	0.000691	0.000167	90158.26	0.24
32030	49.84	64.27	0.000711	0.000173	90387.69	0.24
33200	49.84	66.61	0.000737	0.000181	90384.21	0.25
34020	49.84	68.26	0.000756	0.000186	90288.92	0.25
35120	49.84	70.47	0.000781	0.000194	90224.70	0.25
36150	49.84	72.53	0.000803	0.0002	90326.40	0.25
37100	49.84	74.44	0.000824	0.000207	90337.62	0.25
38090	49.84	76.42	0.000845	0.000214	90443.26	0.25
39170	49.84	78.59	0.000871	0.000222	90231.33	0.25
39970	49.84	80.20	0.000889	0.000227	90209.93	0.26
41120	49.84	82.50	0.000914	0.000235	90266.97	0.26
42070	49.84	84.41	0.000935	0.000243	90278.20	0.26
43050	49.84	86.38	0.000958	0.00025	90163.26	0.26
44120	49.84	88.52	0.000979	0.000257	90422.14	0.26
45120	49.84	90.53	0.001002	0.000264	90349.00	0.26
46050	49.84	92.40	0.001024	0.000271	90230.14	0.26
47160	49.84	94.62	0.001048	0.000279	90288.92	0.27
48110	49.84	96.53	0.001069	0.000286	90298.31	0.27
49060	49.84	98.43	0.001088	0.000293	90473.34	0.27

Tablo 3.6.'nın devamı

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r(-)$	E (Mpa)	$\nu$
50060	49.84	100.44	0.001111	0.0003	90406.31	0.27
51030	49.84	102.39	0.001133	0.000307	90368.61	0.27
52130	49.84	104.59	0.001156	0.000315	90479.85	0.27
53170	49.84	106.68	0.00118	0.000322	90407.95	0.27
54130	49.84	108.61	0.0012	0.00033	90506.29	0.28
55120	49.84	110.59	0.001222	0.000337	90502.37	0.28
56040	49.84	112.44	0.00124	0.000344	90677.26	0.28
57140	49.84	114.65	0.001265	0.000353	90629.94	0.28
58080	49.84	116.53	0.001286	0.000361	90616.57	0.28
58910	49.84	118.20	0.001305	0.000369	90573.36	0.28
60910	49.84	122.21	0.001358	0.000375	89993.43	0.28
62050	49.84	124.50	0.001382	0.000385	90085.67	0.28
63050	49.84	126.50	0.001402	0.000392	90231.68	0.28
64240	49.84	128.89	0.001485	0.000438	86796.27	0.29
64990	49.84	130.40	0.001645	0.000518	79268.86	0.31
65520	49.84	131.46	0.001867	0.000917	70412.79	0.49



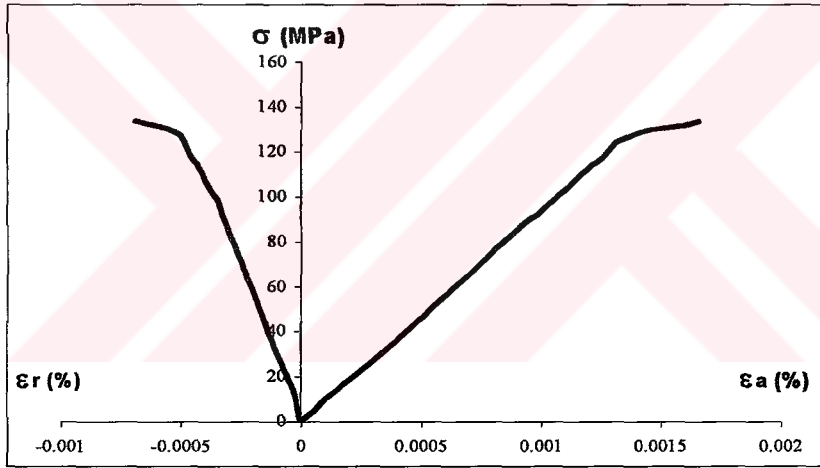
Şekil 3.6. GLK Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

**Tablo 3.7.** GLK Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r(-)$	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1470	51.05	2.88	0.000038	0.000007	75777.10	0.18
2350	51.05	4.60	0.000054	0.000011	85246.85	0.20
3430	51.05	6.72	0.000072	0.000014	93318.10	0.19
4180	51.05	8.19	0.000086	0.000015	95209.89	0.17
5080	51.05	9.95	0.000101	0.000017	98525.03	0.17
6070	51.05	11.89	0.000125	0.000022	95122.43	0.18
7130	51.05	13.97	0.000148	0.00003	94369.59	0.20
8120	51.05	15.91	0.000169	0.000038	94118.19	0.22
9110	51.05	17.85	0.000192	0.000048	92944.01	0.25
10130	51.05	19.84	0.000218	0.000056	91024.27	0.26
11300	51.05	22.14	0.000244	0.000066	90717.88	0.27
12150	51.05	23.80	0.000264	0.000072	90152.26	0.27
12970	51.05	25.41	0.000283	0.000078	89775.49	0.28
14090	51.05	27.60	0.000307	0.000087	89903.56	0.28
15120	51.05	29.62	0.000328	0.000095	90298.85	0.29
16150	51.05	31.64	0.00035	0.000103	90387.58	0.29
17120	51.05	33.54	0.000371	0.000111	90392.86	0.30
18170	51.05	35.59	0.000393	0.000118	90566.30	0.30
19100	51.05	37.41	0.000412	0.000125	90811.41	0.30
20150	51.05	39.47	0.000434	0.000133	90947.25	0.31
21310	51.05	41.74	0.000458	0.000141	91142.77	0.31
22100	51.05	43.29	0.000474	0.000147	91330.99	0.31
23030	51.05	45.11	0.000492	0.000153	91692.35	0.31
24030	51.05	47.07	0.000512	0.00016	91936.52	0.31
25120	51.05	49.21	0.000532	0.000168	92493.72	0.32
26100	51.05	51.13	0.000552	0.000175	92620.19	0.32
27150	51.05	53.18	0.000573	0.000182	92815.28	0.32
28170	51.05	55.18	0.000593	0.000189	93054.29	0.32
29250	51.05	57.30	0.000617	0.000197	92863.48	0.32
30110	51.05	58.98	0.000635	0.000203	92884.08	0.32
31170	51.05	61.06	0.000657	0.00021	92934.23	0.32
32220	51.05	63.11	0.000678	0.000219	93089.37	0.32
33200	51.05	65.03	0.000697	0.000226	93306.00	0.32
34120	51.05	66.84	0.000712	0.000234	93871.40	0.33
35110	51.05	68.78	0.000732	0.000242	93955.89	0.33
36210	51.05	70.93	0.000754	0.000249	94072.23	0.33
37150	51.05	72.77	0.000772	0.000256	94263.98	0.33
38150	51.05	74.73	0.000791	0.000263	94476.18	0.33
39400	51.05	77.18	0.000814	0.000272	94814.79	0.33
40170	51.05	78.69	0.000832	0.000277	94576.40	0.33
41170	51.05	80.65	0.000851	0.000286	94766.66	0.34
42100	51.05	82.47	0.00087	0.000293	94791.00	0.34
43100	51.05	84.43	0.000892	0.0003	94649.14	0.34
44080	51.05	86.35	0.000911	0.000306	94782.35	0.34
45100	51.05	88.34	0.000935	0.000313	94486.37	0.33
46100	51.05	90.30	0.000961	0.00032	93968.39	0.33
47100	51.05	92.26	0.000988	0.000326	93383.08	0.33
48070	51.05	94.16	0.00101	0.00033	93230.28	0.33
49100	51.05	96.18	0.001029	0.000338	93469.60	0.33

Tablo 3.7.'nin devamı

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r(-)$	E (Mpa)	$\nu$
50210	51.05	98.35	0.00105	0.000346	93671.00	0.33
51200	51.05	100.29	0.001069	0.000362	93820.23	0.34
52090	51.05	102.04	0.001092	0.000372	93440.68	0.34
53120	51.05	104.05	0.001112	0.000385	93574.50	0.35
54140	51.05	106.05	0.001132	0.000394	93686.30	0.35
55220	51.05	108.17	0.001154	0.000402	93733.50	0.35
56250	51.05	110.19	0.001173	0.000411	93935.29	0.35
57220	51.05	112.09	0.001191	0.000421	94110.99	0.35
58210	51.05	114.03	0.00121	0.00043	94235.92	0.36
58980	51.05	115.53	0.001237	0.000444	93398.38	0.36
59990	51.05	117.51	0.001261	0.000455	93189.72	0.36
61150	51.05	119.78	0.00128	0.000466	93581.66	0.36
62250	51.05	121.94	0.001295	0.000475	94161.60	0.37
63200	51.05	123.80	0.001312	0.000483	94359.91	0.37
64040	51.05	125.45	0.001346	0.000491	93198.84	0.36
65060	51.05	127.44	0.001389	0.000544	91752.11	0.36
66220	51.05	129.72	0.00145	0.000591	89459.29	0.38
67280	51.05	131.79	0.001598	0.00062	82473.32	0.38
68180	51.05	133.56	0.001657	0.00135	80600.69	0.42



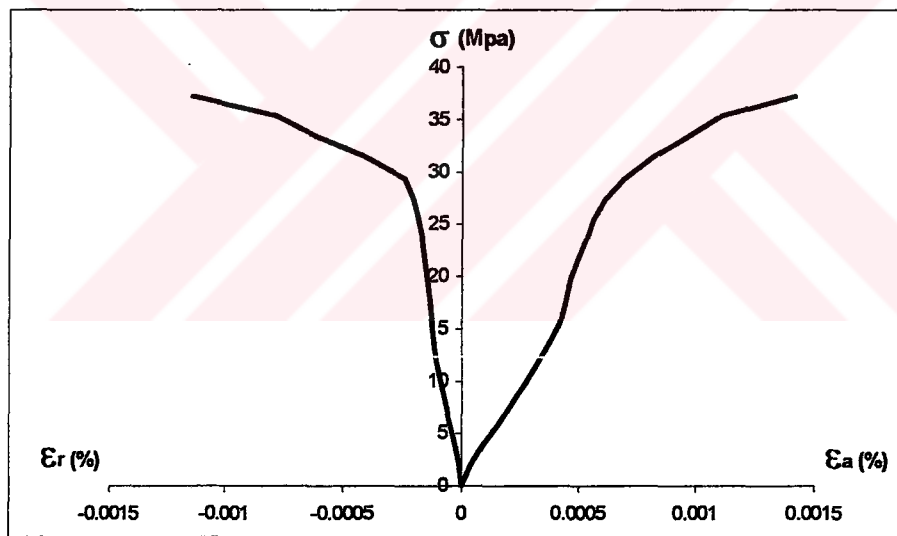
Şekil 3.7. GLK Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Tablo 3.8. GLK Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler

Hesaplanmış Değerler	Yükleme Hızları		
	100 kg/sn	200kg/sn	300 kg/sn
Kırılma Yüğü (kg)	63050	65910	68860
Tanjant Elastisite Modülü $E_{tan}$ (MPa)	88567	91980	95333
Secant Elastisite Modülü $E_{sec}$ (MPa)	91060	92985	94197
Poisson Oranı $\nu$	0.27	0.24	0.22

Tablo 3.9. LMR Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

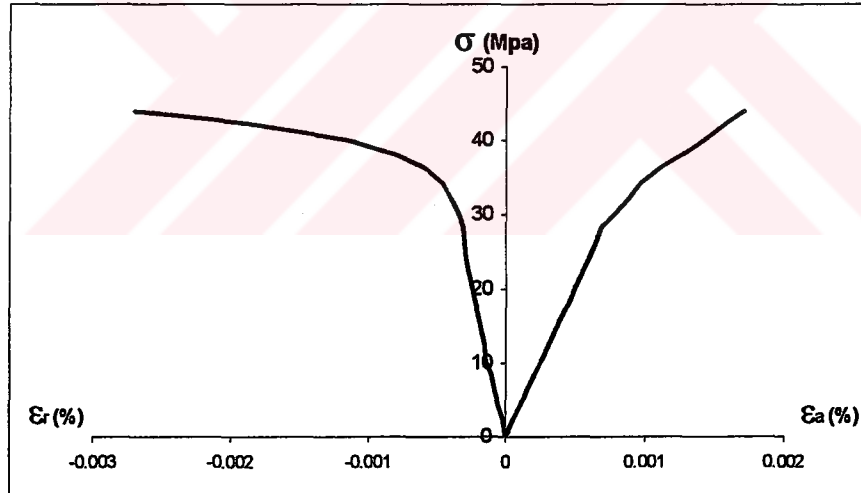
P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1170	51.33	2.28	0.000045	0.000011	50652.640	0.24
2050	51.33	3.99	0.000096	0.000028	41601.727	0.29
3070	51.33	5.98	0.000159	0.000049	37615.773	0.31
4050	51.33	7.89	0.000217	0.000068	36360.013	0.31
5020	51.33	9.78	0.000272	0.000088	35955.352	0.32
6070	51.33	11.83	0.000326	0.000108	36274.366	0.33
7100	51.33	13.83	0.000377	0.000117	36689.833	0.31
8040	51.33	15.66	0.000423	0.000126	37029.207	0.30
9020	51.33	17.57	0.000444	0.000136	39577.860	0.31
10080	51.33	19.64	0.000464	0.000146	42322.497	0.32
11010	51.33	21.45	0.000494	0.000156	43419.929	0.32
12040	51.33	23.46	0.000533	0.000167	44007.633	0.31
13130	51.33	25.58	0.000564	0.000185	45353.871	0.33
14020	51.33	27.31	0.000611	0.000205	44702.884	0.34
15030	51.33	29.28	0.000691	0.000239	42374.996	0.35
16090	51.33	31.35	0.000818	0.000407	38320.527	0.49
17060	51.33	33.24	0.00096	0.000608	34620.755	0.63
18060	51.33	35.18	0.001103	0.000777	31898.552	0.70
19050	51.33	37.11	0.001417	0.001142	26191.108	0.81



Şekil 3.8. LMR Numunesinin 100 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi

**Tablo 3.10.** LMR Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

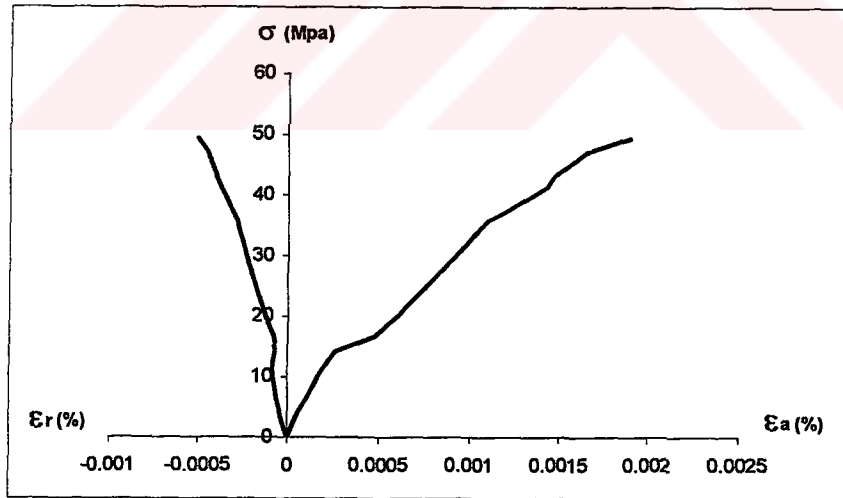
P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1190	50.12	2.37	0.000052	0.000021	45659.648	0.404
2170	50.12	4.33	0.000107	0.000058	40463.635	0.542
3130	50.12	6.25	0.000155	0.000082	40290.400	0.529
4190	50.12	8.36	0.000209	0.000107	39999.695	0.512
5090	50.12	10.16	0.000255	0.000149	39825.986	0.584
6140	50.12	12.25	0.000308	0.000154	39774.671	0.500
7130	50.12	14.23	0.000358	0.000178	39737.033	0.497
8160	50.12	16.28	0.000408	0.000202	39904.230	0.495
9220	50.12	18.40	0.000461	0.000227	39904.230	0.492
10050	50.12	20.05	0.000501	0.000246	40023.704	0.491
11170	50.12	22.29	0.000555	0.000272	40155.878	0.490
12110	50.12	24.16	0.000601	0.000292	40203.014	0.486
13100	50.12	26.14	0.000648	0.000302	40335.294	0.466
14160	50.12	28.25	0.000691	0.00031	40885.955	0.449
15080	50.12	30.09	0.00078	0.000347	38574.089	0.445
16080	50.12	32.08	0.000877	0.000402	36582.669	0.458
17130	50.12	34.18	0.000965	0.000464	35417.588	0.481
18190	50.12	36.29	0.001111	0.000601	32666.874	0.541
19040	50.12	37.99	0.001259	0.0008	30173.810	0.635
20050	50.12	40.00	0.001422	0.00116	28132.201	0.816
21130	50.12	42.16	0.001573	0.001853	26801.538	1.178
22050	50.12	43.99	0.00171	0.0027	25727.727	1.579

**Şekil 3.9.** LMR Numunesinin 200 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi



**Tablo 3.11.** LMR Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Deformasyon Deneyi

P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon_a$	$\epsilon_r$ (-)	E (Mpa)	$\nu$
0	0	0	0	0	0	0
1180	51.26	2.30	0.000031	0.000023	74257.74	0.7419
2380	51.26	4.64	0.000067	0.000048	69298.46	0.7164
3260	51.26	6.36	0.000101	0.00006	62967.67	0.5941
4200	51.26	8.19	0.000132	0.000071	62072.15	0.5379
5040	51.26	9.83	0.000163	0.000078	60320.42	0.4785
6200	51.26	12.10	0.000209	0.00008	57871.77	0.3828
7200	51.26	14.05	0.000257	0.000068	54653.85	0.2646
8500	51.26	16.58	0.000475	0.000075	34909.75	0.1579
9540	51.26	18.61	0.000546	0.000103	34086.09	0.1886
10340	51.26	20.17	0.000605	0.000125	33341.61	0.2066
11190	51.26	21.83	0.000659	0.000143	33125.78	0.2170
12200	51.26	23.80	0.000724	0.000165	32873.25	0.2279
13250	51.26	25.85	0.000789	0.000188	32761.24	0.2383
14170	51.26	27.64	0.000845	0.000208	32714.07	0.2462
15100	51.26	29.46	0.000904	0.000227	32585.91	0.2511
16220	51.26	31.64	0.000971	0.000248	32587.65	0.2554
17140	51.26	33.44	0.001026	0.000265	32590.04	0.2583
18270	51.26	35.64	0.001091	0.000284	32668.95	0.2603
19170	51.26	37.40	0.001205	0.000317	31035.34	0.2631
20170	51.26	39.35	0.001315	0.000344	29922.75	0.2616
21170	51.26	41.30	0.00143	0.000375	28880.60	0.2622
22100	51.26	43.11	0.00147	0.000403	29328.94	0.2741
23000	51.26	44.87	0.001554	0.000424	28873.42	0.2728
24070	51.26	46.96	0.001648	0.000451	28493.14	0.2737
25240	51.26	49.24	0.001895	0.000504	25983.73	0.2660

**Şekil 3.10.** LMR Numunesinin 300 kg/sn Yükleme Hızındaki Gerilme-Deformasyon Eğrisi



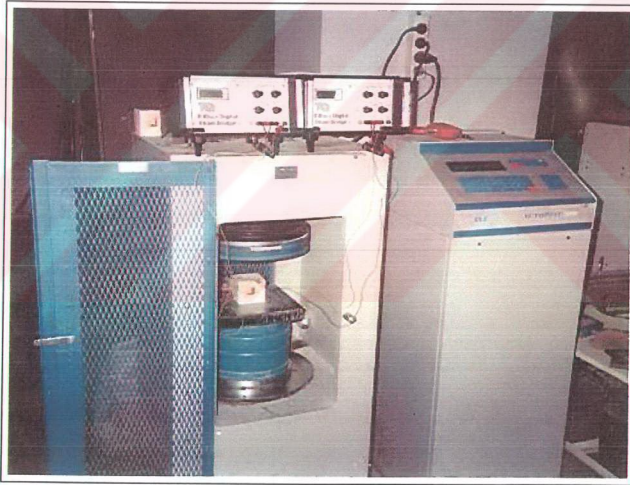
**Tablo 3.12. LMR Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarında Hesaplanmış Değerler**

<b>Hesaplanmış Değerler</b>	<b>Yükleme Hızları</b>		
	<b>100 kg/sn</b>	<b>200kg/sn</b>	<b>300 kg/sn</b>
<b>Kırılma Yüğü (kg)</b>	19850	22170	25300
<b>Tanjant Elastisite Modülü <math>E_{tan}</math> (MPa)</b>	36870	41206	55157
<b>Secant Elastisite Modülü <math>E_{sec}</math> (MPa)</b>	43155	45660	48883
<b>Poisson Oranı <math>\nu</math></b>	0.55	0.47	0.34

### 3.3.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

6 farklı mermer numunesinin kumpas yardımıyla basınç uygulanacak yüzeyinin kenar uzunlukları ölçülerek yüzey alanı hesaplanmıştır. Daha sonra bu numunelere Kaya Mekanîği Laboratuvarımızda bulunan ELE AutoTest 3000 kN'luk preste (Şekil 3.11) 100, 200 ve 300 kg/sn'lik farklı yükleme hızları uygulanmıştır.

Tek Eksenli Basınç Dayanımları belirlenen numunelerin yükleme hızına bağlı olarak basınç dayanımlarındaki değişimi görmek amacıyla bu değerler grafiğe aktarılmıştır.

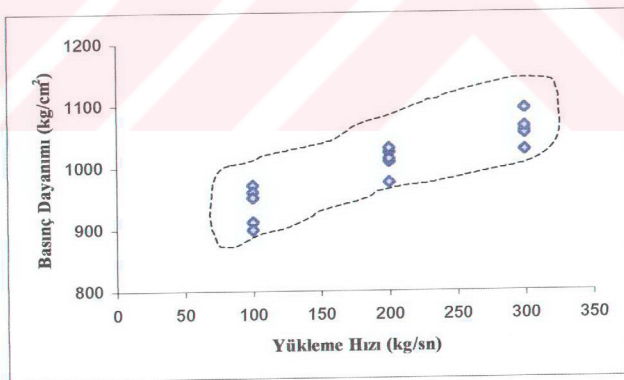


Şekil 3.11. ELE AutoTest 3000 kN Pres

**3.3.2.1. RSL Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları**  
Deney sonuçları Tablo 3.13 'de verilmektedir.

**Tablo 3.13.** RSL Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
RSL -1	47610	972	49560	1024	49810	1027
RSL -2	45320	912	48720	1008.7	52590	1058.1
RSL -3	46950	960	51090	1013.5	51870	1054.3
RSL -4	46050	951	49890	1030.8	54210	1065
RSL -5	43540	900	46980	975.5	52080	1094.1
		<b>938.9</b>		<b>1010.5</b>		<b>1059.7</b>



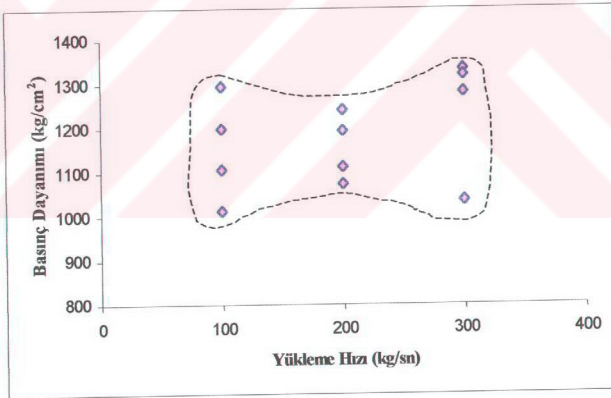
**Şekil 3.12.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafığı

### 3.3.2.2. KMTY Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları

Deney sonuçları Tablo 3.14'de verilmektedir.

**Tablo 3.14.** KMTY Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
KMTY-1	27120	1107	26850	1074	31770	1281
KMTY-2	29370	1199	29490	1194	33680	1334
KMTY-3	24440	1012	31100	1241	25690	1036
KMTY-4	31820	1296	22650	1112	32670	1320
KMTY-5						
		1153,5		1167		1242,75



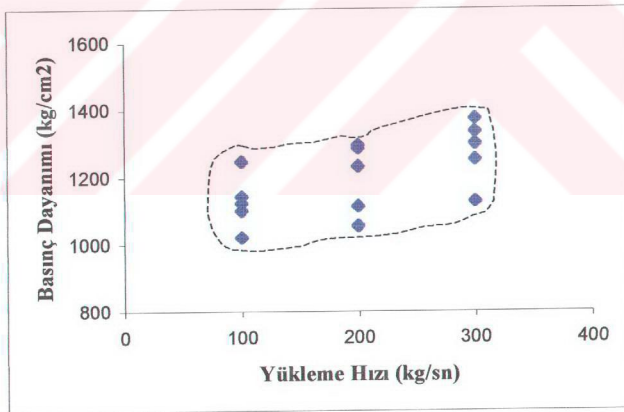
**Şekil 3.13.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği

### 3.3.2.3. GLK Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları

Deney sonuçları Tablo 3.15'de verilmektedir.

**Tablo 3.15.** GLK Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
GLK-1	21950	1101	21760	1056	27050	1301
GLK-2	23070	1124	27220	1296	23300	1128
GLK-3	26170	1248	23060	1114	29310	1375
GLK-4	20860	1021	26400	1287	25620	1254
GLK-5	23290	1144	24970	1233	27590	1336
		1127.5		1197.1		1278.8



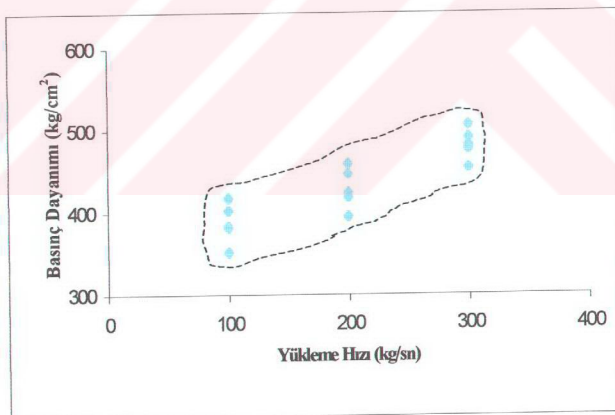
**Şekil 3.14.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği

### 3.3.2.4. LMR Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları

Deney sonuçları Tablo 3.16'da verilmektedir.

**Tablo 3.16.** LMR Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
LMR-1	18720	382	20540	419	22580	454
LMR-2	17250	352	21380	424	23360	477
LMR-3	20470	418	19620	395	24530	506
LMR-4	19070	383	21730	447	23890	481
LMR-5	20040	403	22210	460	24050	491
		387.6		429		481.7



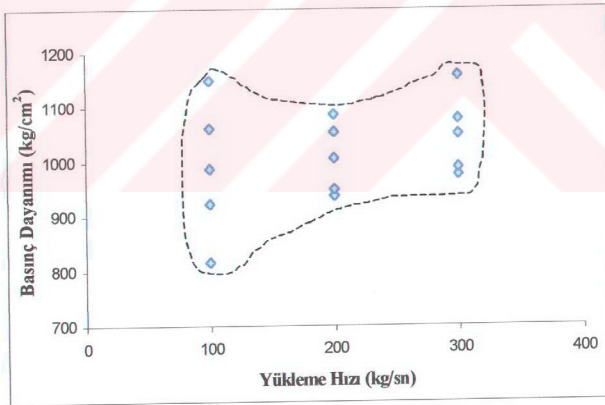
**Şekil 3.15.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği

### 3.3.2.5. MSLY Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları

Deney sonuçları Tablo 3.17'de verilmektedir.

**Tablo 3.17.** MSLY Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
MSLY -1	23880	923.6	27530	1086	24930	975.7
MSLY -2	29480	1149	24210	949.3	24220	988.6
MSLY -3	26680	1061	24010	937.7	29440	1157
MSLY -4	20960	816.9	26400	1054	26610	1077
MSLY -5	24690	987.6	25820	1006.5	26540	1049
		<b>1234.53</b>		<b>1258.38</b>		<b>1311.83</b>



**Şekil 3.16.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği

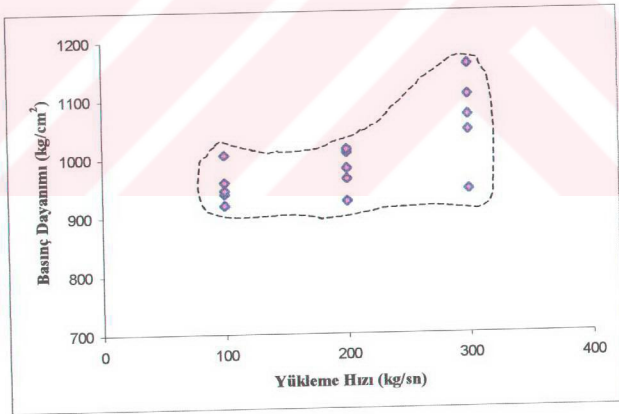


### 3.3.2.6. MSDF Numunesi İçin Farklı Yükleme Hızlarındaki Deney Sonuçları

Deney sonuçları Tablo 3.18'de verilmektedir.

**Tablo 3.18.** MSDF Numunesinde Farklı Yükleme Hızları İçin T.E.B.D. Değişimi

NUMUNE	YÜKLEME HIZI					
	100 kg/sn		200 kg/sn		300 kg/sn	
	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüğü (kg)	T.E.B.D. (kg/cm <sup>2</sup> )
MSDF -1	22600	919.9	24020	1008.7	27120	1072
MSDF -2	22360	939.4	23620	964.1	26920	1106
MSDF -3	24950	945.2	23700	926.4	29520	1158
MSDF -4	23020	1006	23970	982.4	26440	1061.9
MSDF -5	23680	958.67	24250	945.1	26030	1045.4
		<b>953.83</b>		<b>979.14</b>		<b>1065.24</b>



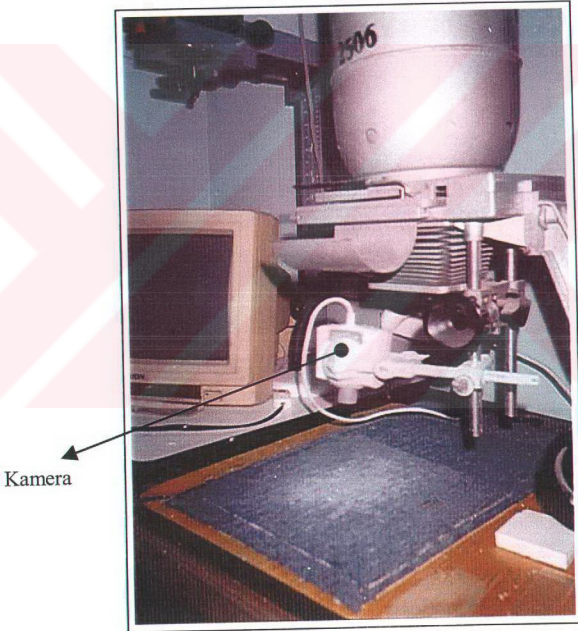
**Şekil 3.17.** Yükleme Hızı - Basınç Dayanımı Değişim Grafiği



### 3.3.3. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonrası Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Farklı yükleme hızlarında tek eksenli basınç deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüzeyleri Bölümümüz mikroskopi laboratuvarında bulunan Philips marka mini kameradan (Şekil 3.18) en iyi görüntüyü elde edip, bu görüntü yakalanarak bilgisayara jpeg formatında aktarılmıştır.

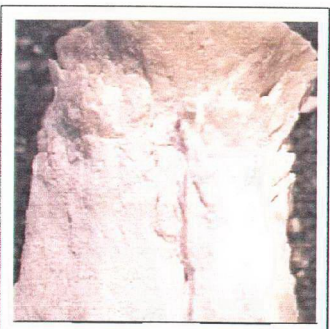
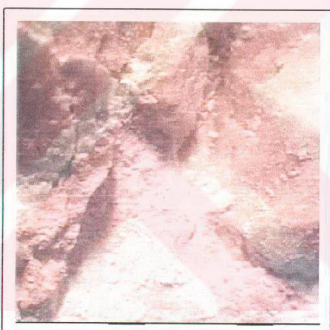
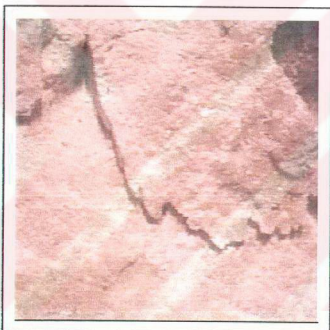
Aktarılan bu fotoğraflar üzerinde farklı yükleme hızlarında meydana gelen farklı kırılmalar, parça kopmaları, ezilme ve ufalanmalar incelenmiştir.



Şekil 3.18. Philips Marka Mini Kamera

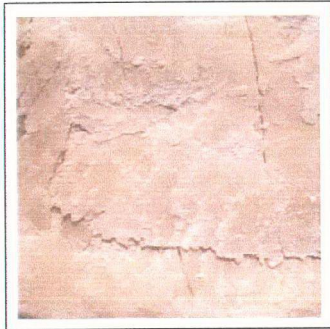
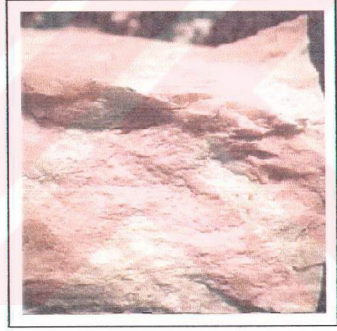
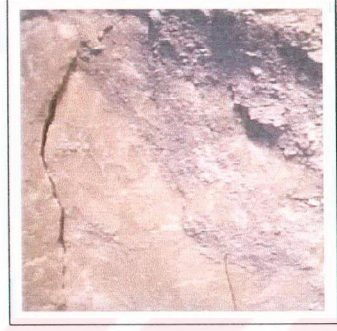
Numune : RSL

Yükleme Hızı : 100 kg/sn



Numune : RSL

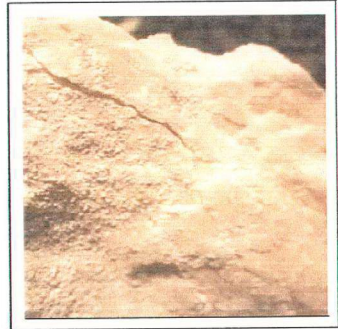
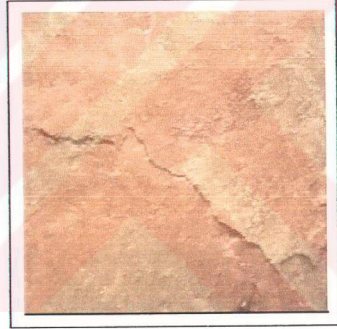
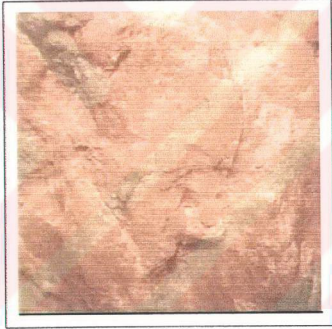
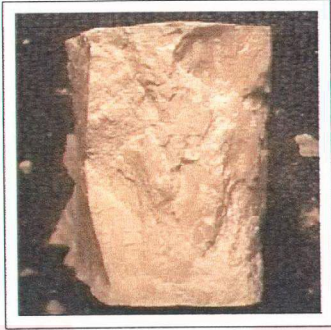
Yükleme Hızı : 200 kg/sn





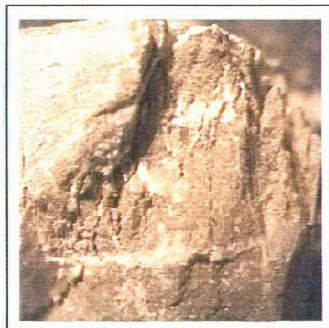
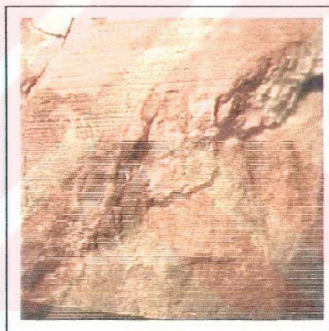
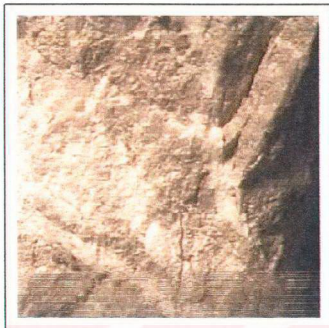
Numune : RSL

Yükleme Hızı : 300 kg/sn



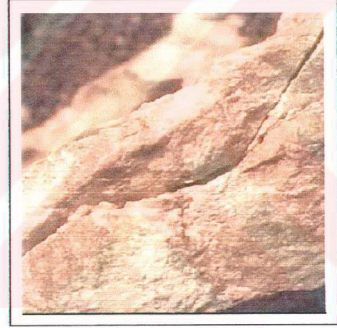
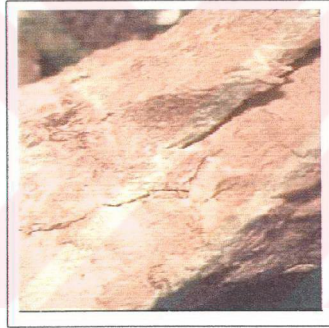
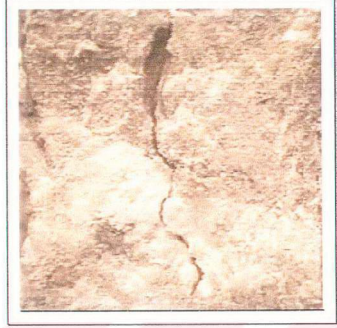
Numune : KMTY

Yükleme Hızı : 100 kg/sn



Numune : KMTY

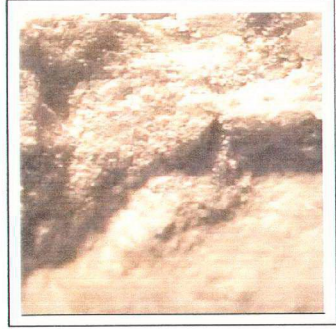
Yükleme Hızı : 200 kg/sn





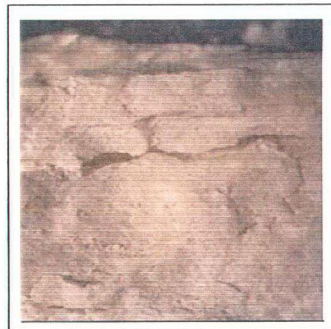
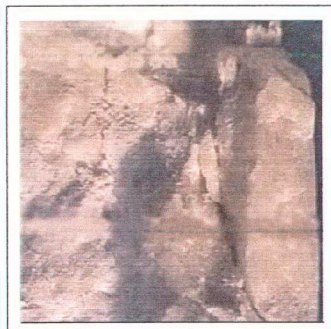
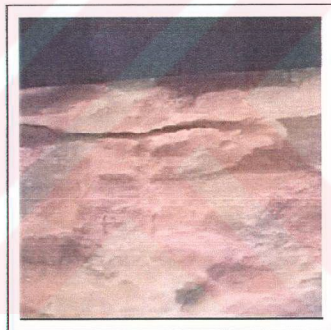
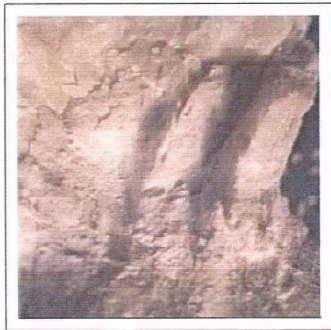
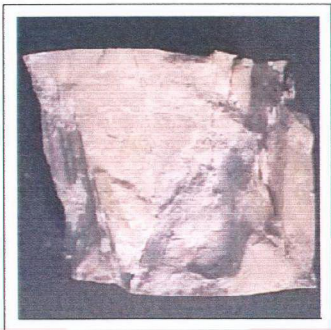
Numune : **KMTY**

Yükleme Hızı : **300 kg/sn**



Numune : GLK

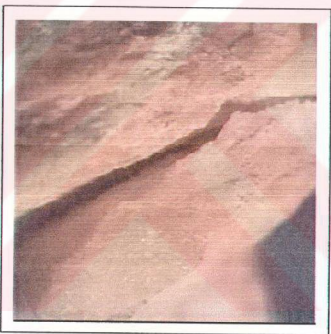
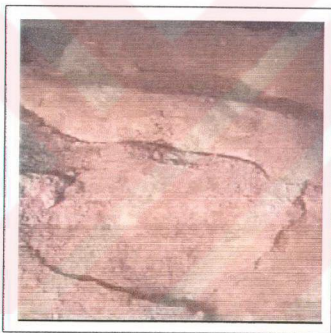
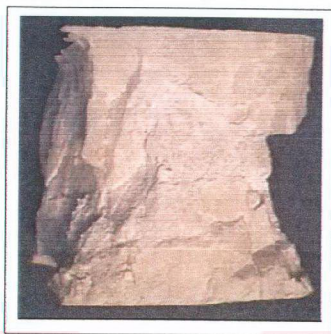
Yükleme Hızı : 100 kg/sn





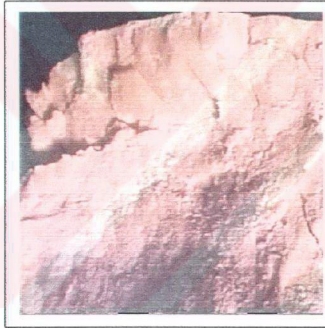
Numune : GLK

Yükleme Hızı : 200 kg/sn



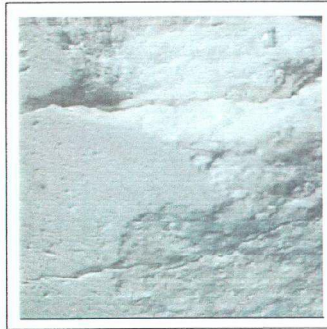
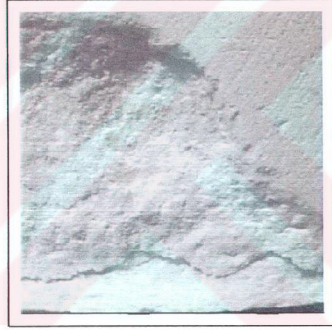
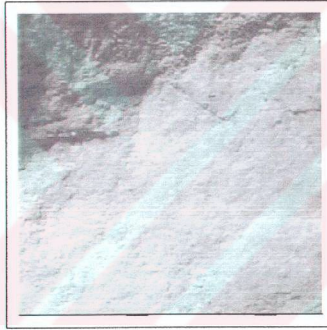
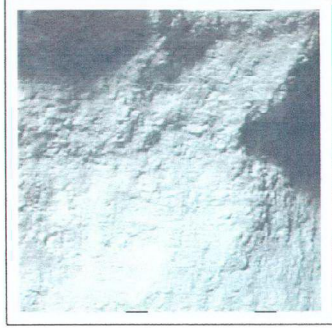
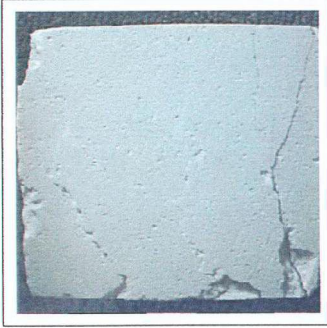
Numune : GLK

Yükleme Hızı : 300 kg/sn



Numune : LMR

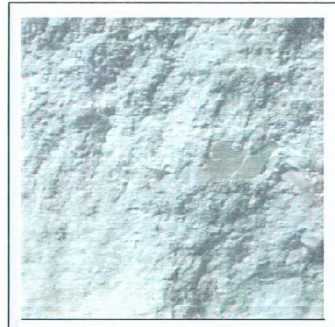
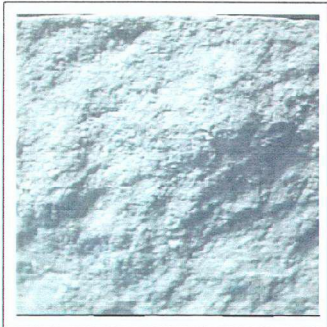
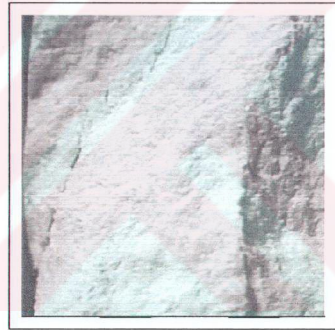
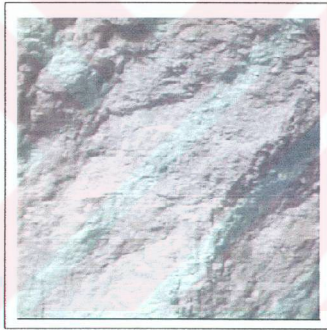
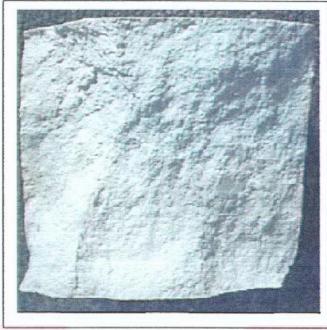
Yükleme Hızı : 100 kg/sn





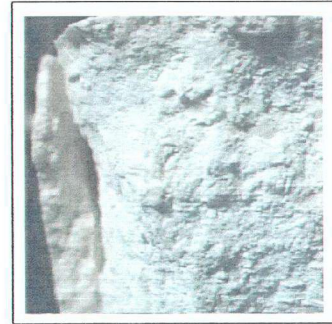
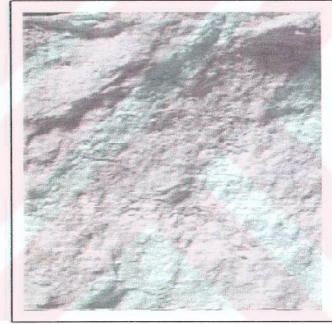
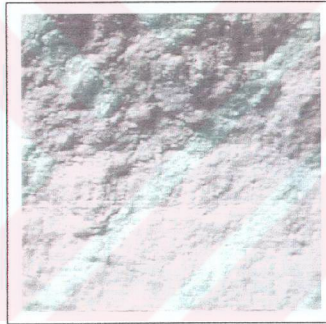
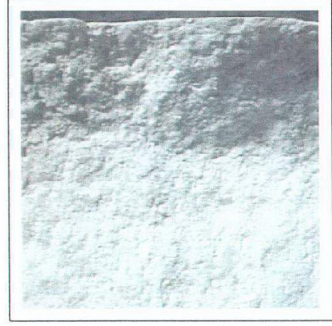
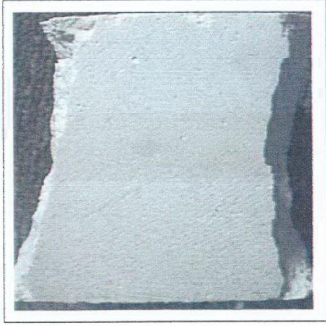
Numune : LMR

Yükleme Hızı : 200 kg/sn



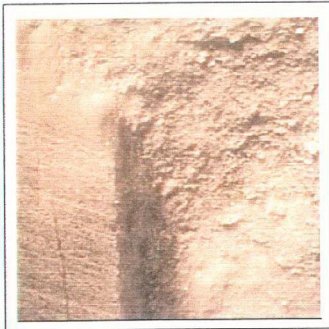
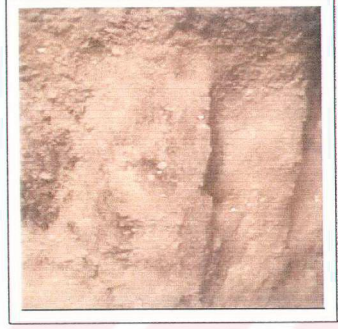
Numune : LMR

Yükleme Hızı : 300 kg/sn



Numune : MSLY

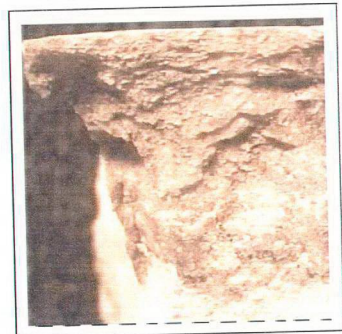
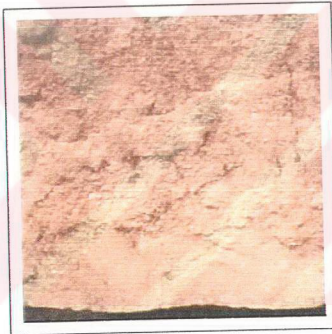
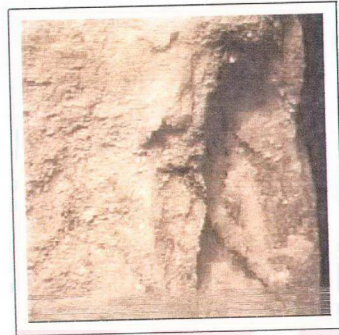
Yükleme Hızı : 100 kg/sn





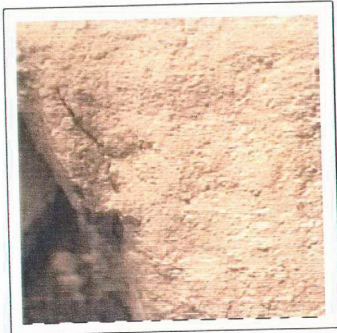
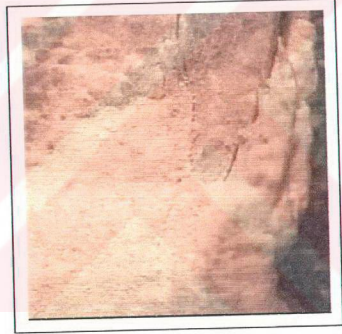
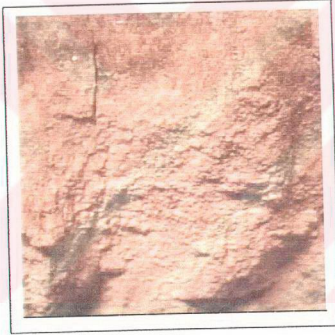
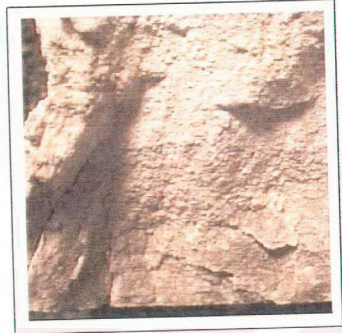
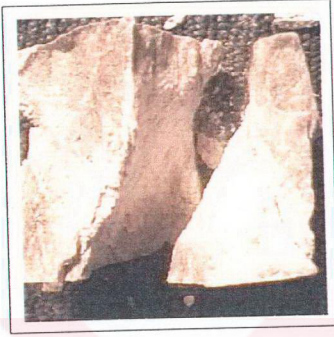
Numune : MSLY

Yükleme Hızı : 200 kg/sn



Numune : MSLY

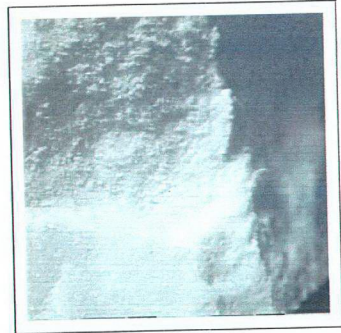
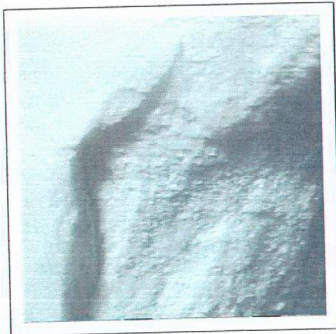
Yükleme Hızı : 300 kg/sn





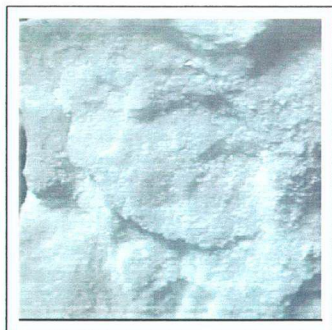
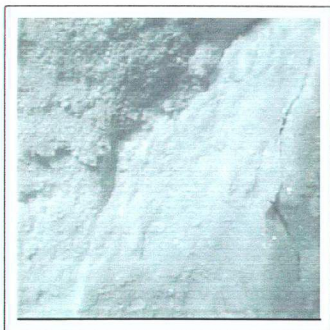
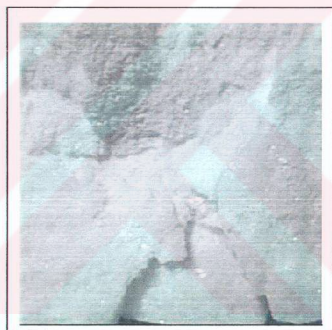
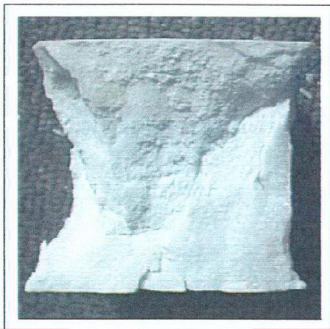
Numune : MSDF

Yükleme Hızı : 100 kg/sn



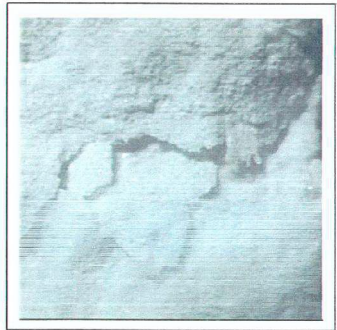
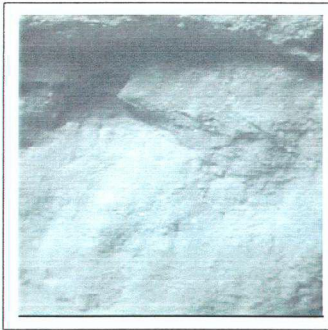
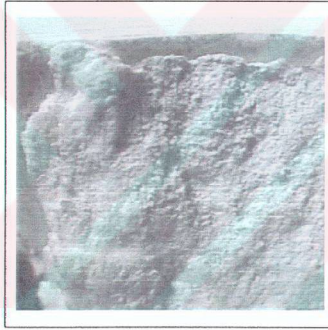
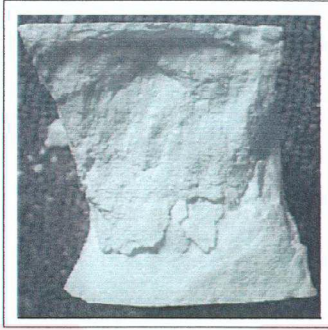
Numune : MSDF

Yükleme Hızı : 200 kg/sn



Numune : MSDF

Yükleme Hızı : 300 kg/sn



## BÖLÜM 4

### LABORATUVAR TEST

### SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 4.1. Deformasyon Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de toplu halde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Deformasyon Deneyi Sonuçları

Hesaplanmış Değerler		Yüklem Hızları		
		100 kg/sn	200kg/sn	300 kg/sn
RSL	Kırılma Yüğü (kg)	47730	49150	51800
	Tanjant Elast.Modülü $E_{tan}$ (MPa)	58647	63545	72904
	Secant Elast.Modülü $E_{sec}$ (MPa)	66667	70769	77391
	Poisson Oranı, $\nu$	0.63	0.43	0.32
GLK	Kırılma Yüğü (kg)	63050	65910	68860
	Tanjant Elast.Modülü $E_{tan}$ (MPa)	88567	91980	95333
	Secant Elast. Modülü $E_{sec}$ (MPa)	91060	92985	94197
	Poisson Oranı, $\nu$	0.27	0.24	0.22
LMR	Kırılma Yüğü (kg)	19850	22170	25300
	Tanjant Elast.Modülü $E_{tan}$ (MPa)	36870	41206	55157
	Secant Elast. Modülü $E_{sec}$ (MPa)	43155	45660	48883
	Poisson Oranı, $\nu$	0.55	0.47	0.34



- Tablodan da görüldüğü gibi burada elastisite modülünün artan tek eksenli basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir.
- Elastisite Modülü ile Poisson Oranı ters orantılı olup, deneylerde elastisite modülünün artmasıyla poisson oranının düştüğü görülmektedir.
- Aynı şekilde, artan tek eksenli basınç dayanımı ile secant elastisite modülü de artış göstermektedir.

Hesaplanan Tanjant Elastisite Modüllerinin yükleme hızına bağlı olarak artış %'leri farklılık göstermektedir. Buna göre;

- RSL numunesinde yükleme hızı 100 kg/sn'den 200 kg/sn'ye çıkarıldığında Tanjant Elastisite Modülü % 8.5, 200 kg/sn'den 300 kg/sn'ye çıkarıldığında ise % 14.73 artış göstermektedir.
- GLK numunesinde yükleme hızı 100 kg/sn'den 200 kg/sn'ye çıkarıldığında Tanjant Elastisite Modülü % 3.85, 200 kg/sn'den 300 kg/sn'ye çıkarıldığında ise % 3.65 artış göstermektedir.
- LMR numunesinde ise yükleme hızı 100 kg/sn'den 200 kg/sn'ye çıkarıldığında Tanjant Elastisite Modülü % 11.76, 200 kg/sn'den 300 kg/sn'ye çıkarıldığında ise % 33.86 artış göstermektedir.

#### 4.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre; yükleme hızının artmasıyla tek eksenli basınç dayanımında da artış olduğu görülmektedir. Ortalama tek eksenli basınç dayanımları ile farklı yükleme hızları aşağıda verilmektedir.

Tablo 1.'de ISRM tarafından tavsiye edilmiş dayanım sınırları ile bulunan tek eksenli basınç dayanımları göz önüne alındığında;

- RSL numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 100,3 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **ÇOK DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.
- KMTY numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 118,78 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **ÇOK DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.
- GLK numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 120,1 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **ÇOK DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.
- LMR numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 43,28 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **ORTA DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.
- MSLY numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 126,8 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **ÇOK DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.
- MSDF numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 99,77 MPa olduğundan dayanım sınıflandırmasında **DAYANIKLI** sınıfa girmektedir.



**Tablo 4.2.** Numunelerin Farklı Yükleme Hızlarında Ortalama Basınç Değerleri

NUMUNE	YÜKLEME HIZI		
	100 kg/sn	200 kg/sn	300 kg/sn
<b>RSL</b>	938.9	1010.5	1059.7
<b>KMTY</b>	1153.5	1167	1242.75
<b>GLK</b>	1127.5	1197.1	1278.8
<b>LMR</b>	387.6	429	481.7
<b>MSLY</b>	1234.53	1258.38	1311.83
<b>MSDF</b>	953.83	979.14	1065.24

#### 4.3. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonrası Kırılma Yüzeylerinin Değerlendirilmesi

Kırılma yüzeylerinin incelenmesinden sonra aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Damar dolgusu olan numunelerde ( RSL, KMTY ve GLK) basınç arttıkça kırılma yüzeyleri damar doğrultusunda meydana gelmiştir. Yani çatlak dolguları kırılma yüzeylerini oluşturmaktadır.
- İnce tane içeren numunelerde basınç arttıkça, kırılma yüzeylerinde ezilme, ufanma ve parça kopmaları oluşmuştur.
- İri taneli numunelerde daha düşük basınçlarda kırılma görülmektedir.

## SONUÇ

Yapılan bu tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Kayaçalarda, porozitenin artmasıyla basınç dayanımı düşmektedir. Boşluk bölgelerindeki bağ noksanlığı dayanımın düşmesinin en önemli sebebidir.
- Tek eksenli basınç dayanımının artmasıyla elastisite modülü de artmaktadır.
- Elastisite Modülü ile Poisson Oranı ters orantılı olup, deneylerde elastisite modülünün artmasıyla poisson oranının düştüğü görülmektedir.
- Tek eksenli basınç dayanımının artmasıyla secant elastisite modülü de artış göstermektedir.
- Yükleme hızının artması basınç dayanımının da artmasına sebep olmaktadır.
- Numuneler 100 kg/sn yükleme hızında normal bir kırılma gösterirken; 200 kg/sn'de numuneden kopan parçalar ve kırılma çatlakları büyümekte, 300 kg/sn yükleme hızında ise numune elma yeniği şeklinde kırılıp parçalanmaktadır. Yani yükleme hızı arttıkça numunenin kırılma şekli değişmekte ve daha fazla sayıda parçaya ayrılmaktadır.
- Bu numuneler öncelikle yapısında bulunan ana çatlakları boyunca iki ayrılırken, daha sonra ikincil birtakım çatlaklar dolayısıyla daha küçük parçacıklar halinde dağılmaktadır.

- Yükleme hızı arttıkça basınç altındaki numune tarafından absorbe edilen enerjinin bir kısmı daha çok parça oluşturmak için kullanılmaktadır.

Kırılma yüzeyleri incelendiğinde;

- Damar dolgusu olan numunelerde ( RSL, KMTY ve GLK) basınç arttıkça kırılma yüzeyleri damar doğrultusunda meydana gelmektedir. Yani çatlak dolguları kırılma yüzeylerini oluşturmaktadır.
- İnce taneli numunelerde yükleme hızı ve basınç arttıkça, kırılma yüzeylerinde ezilme, ufanma ve daha fazla parça kopmaları oluşmuştur.
- İri taneli numunelerde daha düşük basınçlarda kırılma görülmektedir.

---

## KAYNAKLAR

---

Al Jassar, SH., Hawkins, AB., (1977), Some Geotechnical Properties of the Main Carbonate Lithologies within the Carboniferous Limestone Formation of the Clifton Gorge, Bristol. In: Proc. Conf. Rock Engineering Newcastle upon Tyne, pp. 393-405

Al Jassar, SH., Hawkins, AB., (1977), Geotechnical Properties of the Carboniferous Limestone of the Bristol Area – the Influence of Petrography and Chemistry, 4<sup>th</sup> Conf. Int. Soc. Rock Mechanics, Montreaux, 1:3-4

Bieniawski, ZT., (1973), Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng., 15:335-344

Costin LS., (1981), Static and Dynamic Fracture Behaviour of Oil Shale. Fracture Mechanics for Ceramics, Rock and Concrete, ASTM STP745, p.169-84

Deere, DU., Miller, RP., (1966), Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock. Air Force Lab. Tech. Rep., AFNLTR-65-116, Albuquerque NM.

Hawkins, A.B., (1998), Aspects of Rock Strength, Bulletin of Engineering Geology Environmental, 57, 17-30

Hoek, E., Brown, ET., (1980), Underground Excavations in Rock, Inst. Min. Metall, London

- Hudson, J.A., (1989), Rock Mechanics Principles in Engineering Practice, CIRIA Ground Engineering Report: Underground Construction, Butterworths, Oxford
- John, M., (1972), The Influence of Length to Diameter Ratio on Rock Properties in Uniaxial Compression; A Contribution to Standardization in Rock Mechanics Testing. Rep S. Afr. CSIR No ME1083/5
- Köktürk, U., (2000), Kişisel Görüşmeler
- Onargan, T.& Köse, H., (1997), Mermer, (II. Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:220
- Palchik, V., (1999). Influence of Porosity and Elastic Modulus on Uniaxial Compressive Strength in Soft Brittle Porous Sandstones, Rock Mechanics and Rock Engineering, 32, 303-309
- Tang, C.A, Xu X.A, (1990), A new Method for Measuring Dynamic Fracture Toughness of Rock, Eng. Fract. Mech. 35(4/5)
- TS 699, (1987) “Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları
- TS 2513, (1977) “Doğal Yapı Taşları”
- Wu, M.B, (1986), Effects of Loading Rates on Fracture Toughness of Rock, Mech. Practice, 10(2):21-3
- Yenice, H., (2000), Kişisel Görüşmeler
- 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, 36, 597-611
- Zhang, Z.X., (2000, Nisan-Mayıs-Haziran), İnternette e-mail yazışmaları

---

## EKLER

---





Numune : **MİLAS SEDEF**

Kayaç Tipi : **Mermer**

Bulunduğu Yer : **Muğla**

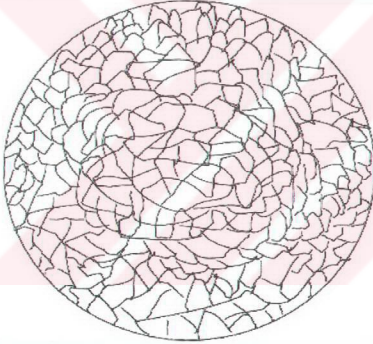
Kodu : **MSDF**

**Fiziko-Mekanik Özellikler :**

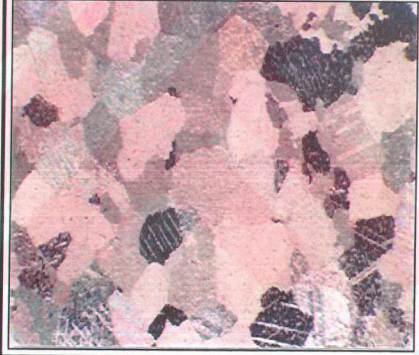
Özellik	Değer
Sertlik	3 - 4 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Özgü Ağırlığı	2.74 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	0.15 %
Porozite	0.73 %
Doluluk Oranı	99.27 %
Basınç Dayanımı	999.40 kg/cm <sup>2</sup>



**Taneler Arası Bağ Oluşumu :**



**İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )**



**Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.33 %
CaCO <sub>3</sub>	91.27 %
MgCO <sub>3</sub>	8.08 %
DiĞER	0.32 %

**Makroskobik Tanımlama :**

İri taneli, beyaz renkli, iyi kristalleşmiş bir yapıya sahiptir.

**Petrografik Yapı :**

Metamorfik kireçtaşı; tane iriliği 600-800 mikron arasındadır, iyi dilimlenme göstermektedir.

Numune : **MİLAS LEYLAĞ**

Kayaç Tipi : **Mermer**

Bulunduğu Yer : **Muğla**

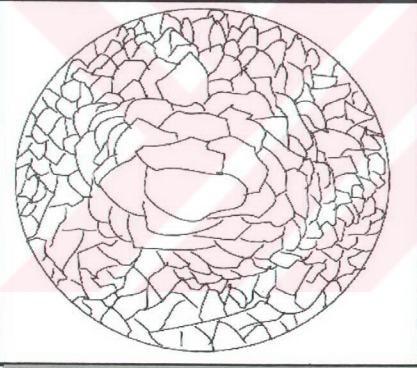
Kodu : **MSLY**

**Fiziko-Mekanik Özellikler :**

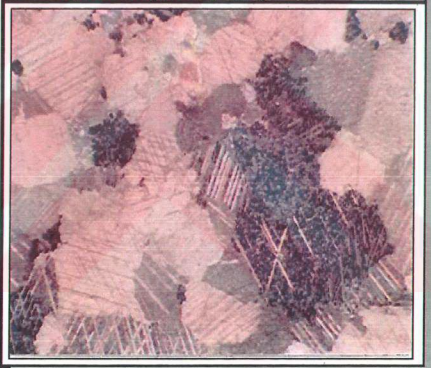
Özellik	Değer
Sertlik	3 - 4 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Ağırlığı	2.74 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	0.15 %
Porozite	0.73 %
Doluluk Oranı	99.27 %
Basınç Dayanımı	1268.25 kg/cm <sup>2</sup>



**Taneler Arası Bağ Oluşumu :**



**İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )**



**Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.30 %
CaCO <sub>3</sub>	91.80 %
MgCO <sub>3</sub>	7.64 %
DİĞER	0.26 %

**Makroskobik Tanımlama :**

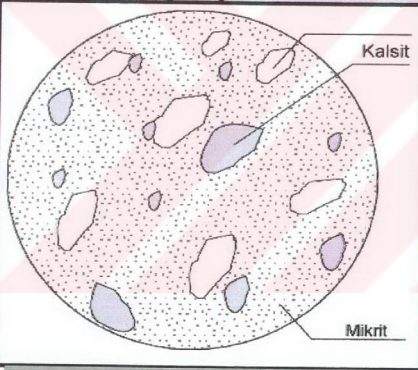
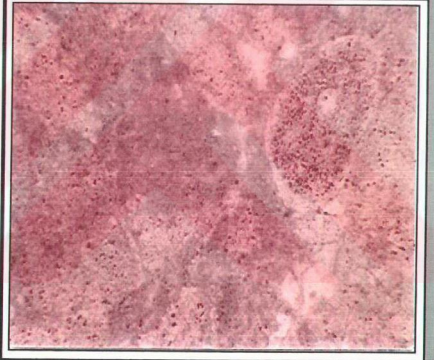
Gözle görülebilir tane iriliğine sahip, beyaz kalsit tanecikleri arasında menekşe renkli dolgular mevcuttur.

**Petrografik Yapı :**

Metamorfik kireçtaşı; tamamen kristal yapı, iyi dilimlenme göstermekte, tane iriliği 800-1200 mikron arasındadır. Granoblastik doku mevcut olup, ikizlenme lameli ve dilinimler görülmektedir. Kalsit kristalleri yaklaşık eşit boyutlarda, birbirine girmiş ve şekilsiz olarak gözlenmektedir.

Numune : **LİMRA BEYAZ**Kayaç Tipi : **Kireçtaşı**Bulunduğu Yer : **Antalya**Kodu : **LMR****Fiziko-Mekanik Özellikler :**

Özellik	Değer
Sertlik	3 - 4 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.38 gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Ağırlığı	2.45 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	2.78 %
Porozite	2.85 %
Doluluk Oranı	97.14 %
Basınç Dayanımı	432.80 kg/cm <sup>2</sup>

**Taneler Arası Bağ Oluşumu :****İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )****Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.74 %
CaCO <sub>3</sub>	95.73 %
MgCO <sub>3</sub>	0.48 %
DİĞER	3.05 %

**Makroskobik Tanımlama :**

Beyaz renkli, gözenekli ve iri taneli yapıya sahiptir.

**Petrografik Yapı :**

Sedimanter kökenli; mikritik çimento içerisinde yeniden kristalize olmuş kalsit çakılları bulunmaktadır. İri taneli (800-1000 mikron arasında), tamamı kalsit taneciklerinden oluşmuştur. Çok az dilimlenme göstermektedir. Gölsel kireçtaşı niteliğinde olduğundan fosilleşmiş bitki kırıntıları mevcuttur.



Numune : **GÜLKA BEJ**

Kayaç Tipi : **Kireçtaşı**

Bulunduğu Yer : **Antalya**

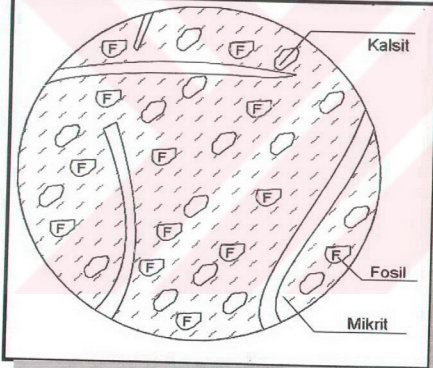
Kodu : **GLK**

**Fiziko-Mekanik Özellikler :**

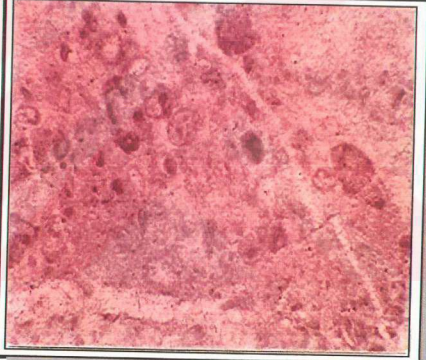
Özellik	Değer
Sertlik	4,5 - 5 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Ağırlığı	2.69 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	0.33 %
Porozite	0.37 %
Doluluk Oranı	99.63 %
Basınç Dayanımı	1201.13 kg/cm <sup>2</sup>



**Taneler Arası Bağ Oluşumu :**



**İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )**



**Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.14 %
CaCO <sub>3</sub>	92.08 %
MgCO <sub>3</sub>	5.15 %
DiĞER	2.63 %

**Makroskobik Tanımlama :**

Bej renginde, bol çatlaklı, kalsitle doldurulmuş damarcıklar içermektedir. Farklı tane iriliğine sahiptir.

**Petrografik Yapı :**

Fosilli kireçtaşı olup; 2 farklı tane iriliği mevcuttur. Bir kısmı 30-40 mikron, bir kısmı 300-400 mikron büyüklüğündedir. Fosilli, killi; iri taneler dilimlenme göstermektedir. Tane yapısı homojen olmayıp; aynı yerde değişik tane irilikleri bulunmakta ve küresel tanecikler halinde fosiller görülmektedir.

Numune : **KUMRU TÜYÜ**

Kayaç Tipi : **Mermer**

Bulunduğu Yer : **Balıkesir**

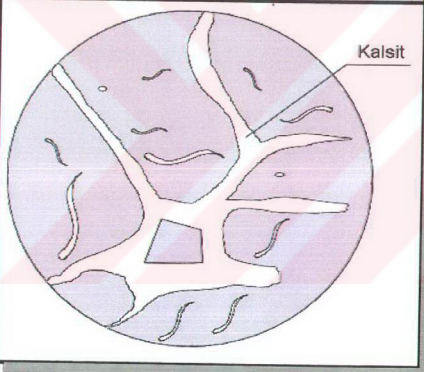
Kodu : **KMTY**

**Fiziko-Mekanik Özellikler :**

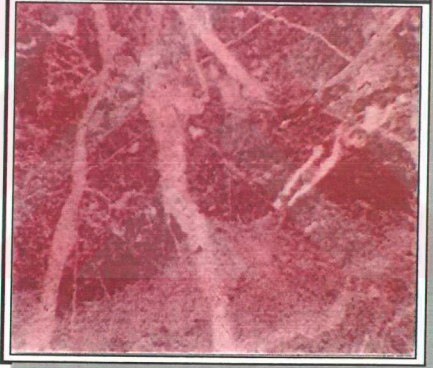
Özellik	Değer
Sertlik	3 - 4 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Ağırlığı	2.75 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	0.90 %
Porozite	0.70 %
Doluluk Oranı	98.90 %
Basınç Dayanımı	1187.75 kg/cm <sup>2</sup>



**Taneler Arası Bağ Oluşumu :**



**İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )**



**Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.61 %
CaCO <sub>3</sub>	88.75 %
MgCO <sub>3</sub>	10.20 %
DİĞER	0.44 %

**Makroskobik Tanımlama :**

Gri renkli, damarcıklar şeklinde kalsit dolguları içermektedir. Bol çatlaklı yapı mevcuttur.

**Petrografik Yapı :**

Mikritik kireçtaşı olup; ince mikritik yapı içinde sonradan büyümüş damar içerisinde kalsit parçaları ve demir oksit sıvamaları görülmektedir. Bol çatlaklı; çatlak ve çatlak dolguları desen oluşturmaktadır.



Numune : **ROSALIA**

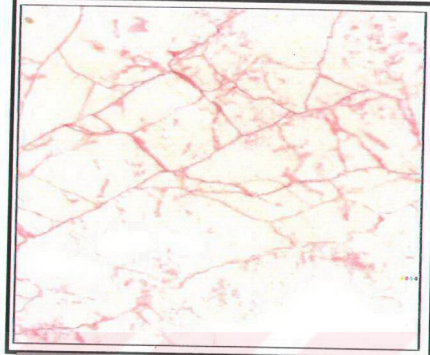
Kayaç Tipi : **Kireçtaşı**

Bulunduğu Yer : **Bilecik**

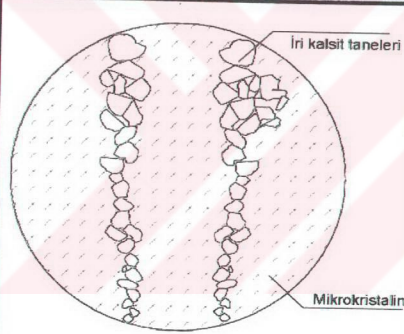
Kodu : **RSL**

**Fiziko-Mekanik Özellikler :**

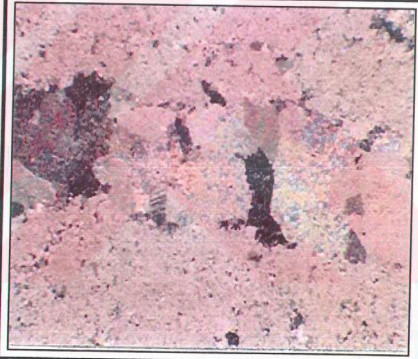
Özellik	Değer
Sertlik	4 Mohs
Birim Hacim Ağırlığı	2.69 gr/cm <sup>3</sup>
Özgül Ağırlığı	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Atm.Bas. Ağır. Su Emme	0.13 %
Porozite	0.37 %
Doluluk Oranı	99.63 %
Basınç Dayanımı	1003.00 kg/cm <sup>2</sup>



**Taneler Arası Bağ Oluşumu :**



**İnce Kesit Fotoğrafı : ( 40x )**



**Kimyasal Analiz :**

SiO <sub>2</sub>	0.89 %
CaCO <sub>3</sub>	96.38 %
MgCO <sub>3</sub>	0.79 %
DİĞER	1.94 %

**Makroskobik Tanımlama :**

Mikritik yapıda olup içinde iri kalsit kristalleri mevcuttur.

**Petrografik Yapı :**

Mikritik kireçtaşı; 2 farklı irilikte kalsit taneleri bulunmaktadır. Bir kısmı 20 mikron civarında, bir kısmı 200-300 mikron civarındadır. Çatlaklar kalsit dolgulu, iri taneler dilimlenme göstermekte ve küresel tanecikler halinde fosiller görülmektedir.