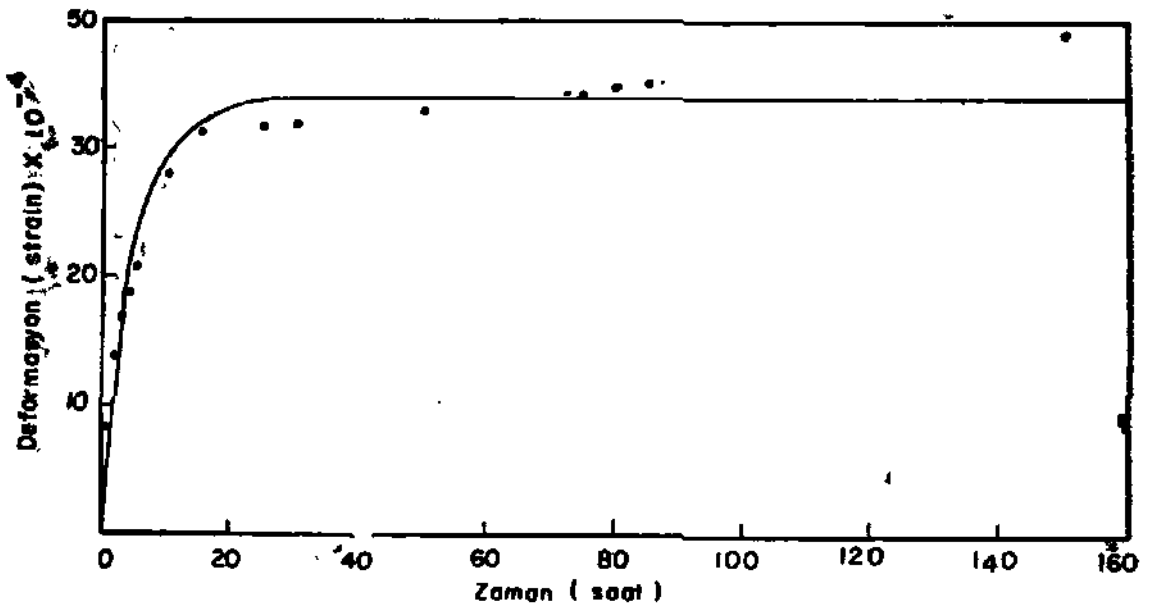


ŞEKİL - 2 -

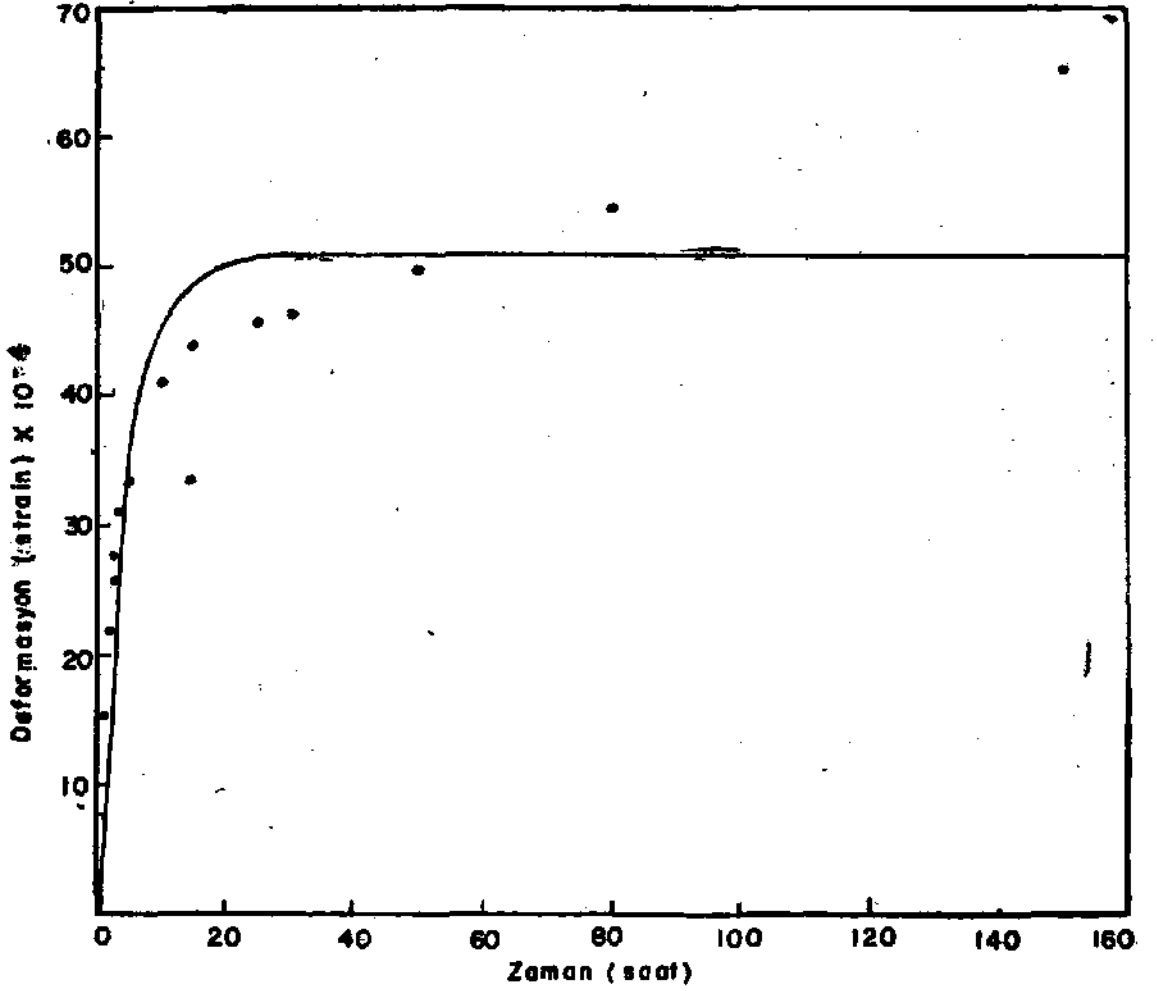


ŞEKİL - 3 -

TABLO : IV

Andezit örneğinin 211.03 kgf/cm<sup>2</sup>lik basınç altında zamana göre gösterdiği gözlenen ve hesaplanan birim uzama (strain) ve farkı.

Zaman Saat	gözlenen birim uzama $\times 10^{-4}$	hesaplanan birim uzama $\times 10^{-4}$	fark $\times 10^{-4}$
0	0	0	0
1	8.14	6.34	1.8
2	13.60	11.50	2.1
3	16.56	15.69	0.87
4	18.85	19.10	-0.25
5	20.79	21.87	-1.08
10	27.91	26.63	-1.72
15	31.32	32.38	-1.06
25	31.75	33.70	-1.95
30	31.79	33.83	-2.04
50	32.98	33.89	-0.90
75	34.28	33.82	0.46
80	34.56	33.82	0.74
85	34.84	33.82	1.02
150	38.68	33.82	4.86



ŞEKİL - I --

TABLO : I.

Yorulma deneylerimde kullanılan traverten, kireçtaşı ve andezit örnekleri için Kelvin - Voigt modeline göre hesaplanan elâstik modül (E) ve viskozite ( $\nu$ ) değerleri. Uygulanan basınç  $211.03 \text{ kgf/cm}^2$  olup, travertenin kırılma basıncının % 45.8'ine, andezitin %41.8'ine ve kireçtaşının % 41.3'üne eşittir.  
 $C_1 = s/E$  ve  $C_2 = E/\nu$ 'dir. R uyumluluk (korelasyon) katsayısıdır.

	Traverten	Kireçtaşı	Andezit
$C_1$	$50.92 \times 10^{-4}$	$24.52 \times 10^{-4}$	$33.89 \times 10^{-4}$
$C_2$	$0.65 \times 10^{-4}$	$0.71 \times 10^{-4}$	$0.57 \times 10^{-4}$
E (Kgf/cm <sup>2</sup> )	41443	86064	62269
$\nu$ (poise)	$6.25 \times 10^{15}$	$1.18 \times 10^{15}$	$1.06 \times 10^{15}$
R	0.952	0.977	0.987

TABLO : II

Traverten örneğinin  $211.03 \text{ kgf/cm}^2$ lik basınç altında zamana göre gösterdiği gözlenen ve hesaplanan birim uzama (strain) ve farkı.

Zaman Saat	gözlenen birim uzama $\times 10^{-4}$	hesaplanan birim uzama $\times 10^{-4}$	fark $\times 10^{-4}$
0	0	0	0
1	15.25	10.70	4.55
2	22.40	19.16	3.24
3	27.74	25.83	1.90
4	31.06	31.11	-0.04
5	33.36	35.27	-1.91
10	41.00	46.11	-5.11
15	44.40	49.44	-5.04
25	45.99	50.78	-4.79
30	46.76	50.88	-4.12
50	49.81	50.92	-1.11
80	54.38	50.92	3.446
150	65.18	50.92	14.26

TABLO : III

Kireçtaşı örneğinin  $211.03 \text{ kgf/cm}^2$ lik basınç altında zamana göre gösterdiği gözlenen ve hesaplanan birim uzama (strain) ve farkı.

Zaman Saat	gözlenen birim uzama $\times 10^{-4}$	hesaplanan birim uzama $\times 10^{-4}$	fark $\times 10^{-4}$
0	0	0	0
1	8.25	5.53	2.72
2	11.17	9.82	1.35
3	13.59	13.14	0.445
4	15.13	15.71	-0.58
5	16.46	17.70	-1.25
10.0	20.79	22.62	-1.83
15.0	22.81	23.99	-1.18
150.0	27.22	24.52	2.7

E = elâstik modül  
v = viskosite  
t = zaman

olarak alınmıştır. Kelvin - Voigt modeli an-sal birim uzamayı kabul etmediğinden, deneylerde gözlenen an-sal birim uzama, elimine edilmiştir.

Yukarıdaki fonksiyonu her hangi bir dö-nüşürme ile doğrusal duruma getirmeye olanak yoktur. Bu nedenle, parametrele-rin hesabında Gauss - Newton metodu kullanılmıştır. Birim uzama Y, zaman X ile gösterilirse, yukarıdaki ilişki,

$$Y = c_1 (1.0 - \exp(-C_2 X))$$

şeklinde yazılabilir. Burada hesaplanması gerekli iki parametre vardır. Birincisi  $C_1 = s/E$ , ikincisi  $c_2 = E/v$ 'dir. Gerilme miktarı bilineceğine göre, bu parametreler hesaplanırsa, bunlara dayanarak de-neye tabi tutulan kayaların elastik modül ve viskoziteleri de hesap edilebilir.

Bilinmeyen parametrelerin yaklaşık de-ğerleri bulunduktan sonra bu parametre değerleri kullanıldığında, verilen fonksi-yonel ilişkinin gözlemleri ne derece iyi açıkladığı, en küçük kareler metodunda kullanılan çoğul korelasyon katsayısına eşdeğer bir katsayı ile gösterilebilir. .

Deneylerde çapı 5 cm. uzunluğu 10 cm. olan silindirik kayaç örnekleri kullanılmış-tır. Deformasyon jaketi içersine yerleşti-rilen örnekler üzerine, mekanik olarak,  $211.03 \text{ kgf/cm}^3$  (3000 psi)'lik bir basınç uygulanmış ve zamana göre gözlenen birim uzama elektronik aygıtlarla ölçül-müştür. İlk deneyde Eskişehir yöresinden bir traverten, ikinci deneyde Ankara yö-resinden kristalin kireçtaşı, üçüncü de-neyde ise Ankara andeziti kullanılmıştır. Bilgisayar yardımı ile hesaplanan  $c_1$  ve  $c_2$  parametreleri ve bu parametrelere da-yanarak bulunan elastik modül ve visko-site katsayıları ile uyumluluk (korelasyon) katsayısı Tablo Vde gösterilmiştir. Her üç örnek için, zamana göre gözlenen bi-rim uzama değerleri ile hesaplanan birim uzama değerleri Tablo II, III ve IV'de ve-rilmiştir.

## SONUÇLAR :

Deneylerde an-sal birim uzama varlığı ne-deni ile,

$e = s/E_2 - f - s/E$ ,  $(1.0 - \exp(Ei/v) t)$  formülünün kullanılması daha uygun gö-zükebilir. Ancak  $t = 0$  için an-sal defor-masyon  $s/E$  olacak ve bu  $E_1$  ve  $v$  katsayı-larının hesaplanan değerlerini etki leri iye-yecektir.

Bulunan elastik modül değerleri, daha ön-ce buna benzer kayaçlarda yapılan ölçme-lere uygundur. (Farmer, 1968).

Viskosite değerleri için karşılaştırma yap-mak mümkün olmamıştı. Gözlenen ve hesaplanan birim uzama değerleri ara-sındaki farkların incelenmesi (Tablo II, III, IV, Şekil 1, 2, 3), baş ve sondadaki ölçmelerde farkların artı, ortalarda ise eksi değerleri olduğunu göstermektedir. Uyumluluk katsayıları yüksek olmakla bir-likte, bu deney sonuçlarına uygulanan Kelvin-Voigt modeli ile gözlemler arasın-da sistematik bir uyumsuzluğa işaret ola-bilir. Kelvin modelinde birim uzama  $C_1 = s/E$  değerine asimptotiktir. Deney-lerde ise, deformasyon azalarak da olsa, zamanla sürekli olarak artmaktadır.

## FAYDALANILAN KAYNAKLAR :

- Griggs, D. T., 1939, Creep of Rocks : Journal of Geology, 47, 225-251.
- Farmer, I.W., 1968, Engineering Properties of Rocks : E and F. N. Spon Ltd. Londra, 180 s.
- İnceefe S., 1975, Ankara Andeziti, Kireç-taşı ve aBzı Trävertenlerin Yorulma Ka-rakteristikleri : Türkiye 4. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 253-283.
- Jaeger, J. C. ve Cook, N. G. W. 1969 Fundamentals of Rock Mechanics, Met-huen and Co. Londra, 513 s.
- McCalla, T. R., 1967, Introduction to Nu-merical Methods and Fortran Program-ming : Jonh Wiley and Sons Inc. Lond-ra 359 s.
- McCammon R. R., 1969, Fortran IV Prog-ram for Nonlinear Estimation : Compu-ter Contribution 34, The University of Kansas, Lawrence, 19 s.

# *Yorulma (creep) Deneyleri ile Kayalarda Viskosite Hesaplanması*

İsmail Ozkaya\*

Seçkin İnceefe\*

ÖZ : Ankara andeziti, traverten ve kireçtaşı örnekleri üzerinde yorulma (creep) deneyleri yapılmış ve sonuçlardan, bu kayalara ilişkin elâstik modül ve viskosite katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalar da Kelvin - Voigt modeli esas alınmıştır. Bu modele göre zamanla birim uzama (strain) arasındaki ilişki doğrusal olmadığı için, parametreler Gauss - Newton metodu ile bulunmuştur. Yorulma deneyleri, seçilen modellere uygun olarak yürütüldüğü taktirde, kayaların viskositelerinin bulunmasında etkin bir yöntem olarak kullanılabilir.

GİRİŞ :

Kayalar lâstik limitlerin altında, gerilmeye (stress) uzun süre tabi tutuldukları zaman, yorulma (creep) olarak anılan bir deformasyona uğrarlar (Griggs, 1939) Yorulma olayı, maden işletmeciliğinde ve kayaların\* yapısal jeolojik davranışlarının anlaşılmasında önemlidir. Yorulmayı kontrol eden faktörlerden biri olan viskosite hesaplanması zor bir parametredir. Yorulma deneyleri, kayaların küçük gerilmeler altında zamanla gösterecekleri deformasyonun anlaşılmasına yardımcı olduğu gibi, kayaların viskositelerinin hesaplanmasında da kullanılabilir.

\*Yardımcı profesör  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Ankara

Kurulan deney modellerine göre, kayalarda küçük gerilmeler altında gözlenen birim uzama zamanın değişik fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Zamanla birim uzama arasındaki ilişkinin polinomial olmadığı veya doğrusala indirgenemediği durumlarda, parametre hesaplamaları Gauss - Newton metodu ile yapılmalıdır. (McCalla, 1967, McCammon, 1969).

YORULMA DENEYLERİ VE VİSKOSİTE HESAPLANMASI :

Andezit, traverten ve kireçtaşı örnekleri ile yirmi değişik yorulma deneyi yapılmıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılan bu deneylerin sonuçları geniş teknik açıklama ile birlikte yayınlanmıştır. (İnceefe, 1974). Burada viskosite hesaplamaları için yalnızca üç deneyin sonuçları alınmıştır.

Viskosite hesaplamaları için zaman ve deformasyon arasındaki bağıntıyı.

$$e = (s/E) (1.0 - \exp(-E/v) t)$$

şeklinde gösteren Kelvin - Voigt modeli esas alınmıştır, (Jaeger ve Cook, 1,969). Burada

$$e = \text{Birim uzama (strain)}$$

$$s = \text{gerilme (stress)}$$

\*Maden Yüksek Mühendisi  
Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü  
Ankara