

# Laboratuvarda Üç Boyutlu Deney

Seçkin İNCEEFE\*

Yerkabuğunda, derinlerde bulunan bir kaya birim elementi, üzerindeki tabakaların ağırlığından dolayı sıkışır. Bu dik basınçların etkisiyle birde yan basınçlar vardır. Ayrıca yapının jeolojik oluşumunun da etkisiyle ek basınçlar vardır. Bu basınçlar yapının, onu meydana getiren parçaların nitelikleri ile ve oluşumlarında veya daha sonra geçirmiş olduğu tektonik olaylar ile yakından ilgilidir.

Yeraltındaki basınç miktar ve yönleri bir element üzerinde üç boyutlu olarak incelenebilir. Yeraltındaki koşulları laboratuvarda yaratmaya çalışılabilir. Laboratuvar çalışmaları içinde böyle bir amaca en uygun deney üç boyutlu sıkıştırma deneyidir.

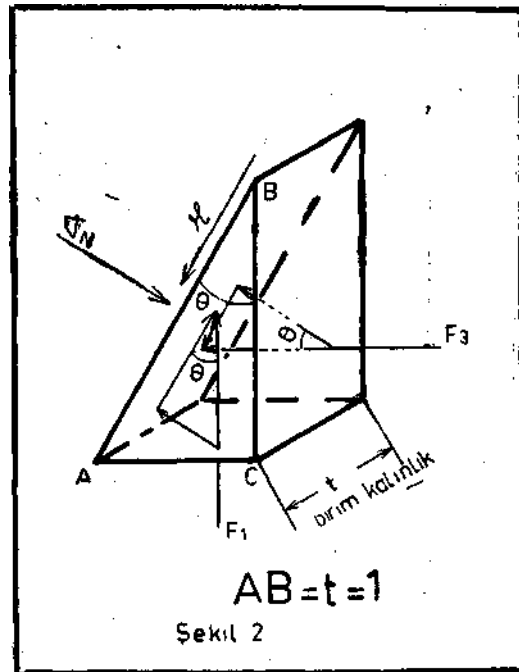
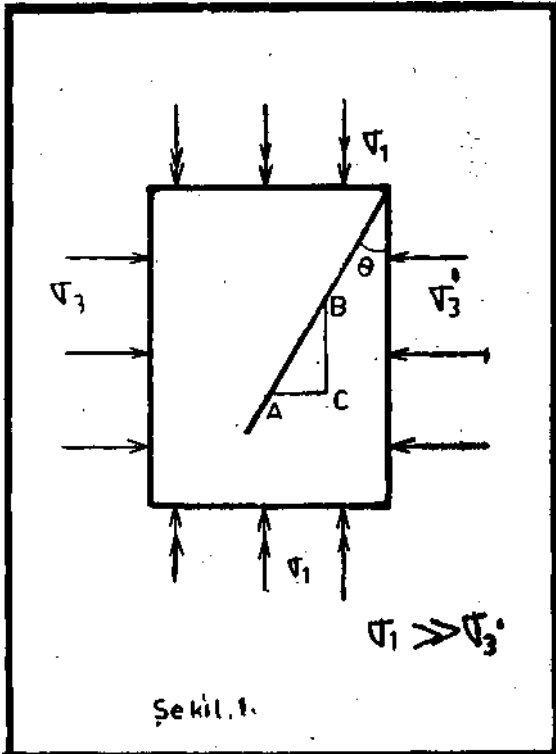
Yazının amacı üç boyutlu sıkıştırma deneyini etraflıca anlatmak, deneyin gerçek duruma benzerliğini, yani gerçek duruma adaptasyon yeteneğini incelemektir. Daha sonraki yazılarda ise üç boyutlu deney sonuçlarından Şev Açısı Dengesi problemlerine atlamak ve somut bir örnek ortaya çıkarmaktır.

Şimdi deneyi bir özetlemlerle tanımlayalım. Bu deneyler için silindirik şeklindeki karotlar kullanılır. Karot bir basınç kutusuna yerleştirilir. Çevresine lastik bir çerçeve takılır. Üstten bir presle baskı verilir. Basınç kutusuna ayrıca hidrolik bir sistemle yan basınç uygulanır. Örnek taş böylece yarıdan eşit miktarda hidrolik baskıya uğrarken üstten de ayrı bir baskıya maruz kalır. Deney kısaca bu. Daha ilerde çok daha etraflıca anlatılacaktır.

Konuyu daha iyi anlatabilmek amacıyla bazı terimleri tanımlayalım:

Kohezyon (c) : Kesilme yüzeyinde, normal basıncın sıfır olduğu andaki kesme basıncına olan dirençtir. Kohezyon kayayı meydana getiren moleküllerin birbirini çekiminden türemiştir.

İçsel Sürtünme : Parçacıkların parçacıklar üzerindeki sürtünmesidir. İçsel Sürtünme  $\tan \theta$  ile tanımlanır. Buradaki  $\theta$  ise içsel sürtünme açısıdır.



\* Maden Mühendisi, MTA Enstitüsü — ANKARA

Şu örnekleri belirtmekte yarar vardır : Kil çamurunda (saturated clay) içsel bir sürtünme yoktur. Fakat bir kohezyon kuvveti vardır. Yani  $\phi = 0$  ve  $\tan \phi = 0$  dir. Oysa  $c \neq 0$  dir. Pulverize maddelerde ise  $\phi \neq 0$  ve  $\tan \phi \neq 0$  dir. Oysa  $c = 0$  dir. Kayalarda ise hem  $\phi \neq 0$  dir, hemde  $c \neq 0$  dir.

#### Üç Boyutlu Sıkıştırma Teorisi

Şekil 1, üç boyutlu sıkıştırılan bir karotu göstermektedir. Kesilme yüzeyindeki elementer bir parçayı da Şekil 2 de görmekteyiz.

Şekil 2 deki AB düzleminin alanını bir olarak kabul edersek;

$$F_1 = AC \text{ düzlemine etki eden dik kuvvet}$$

$$F_3 = CB \text{ " " " " " "}$$

$$FN = AB \text{ " " " " " "}$$

(Normal)

$$AC \cdot AB = \sin \theta \text{ ve } BC \cdot AB = \cos \theta$$

$$AC = AB \sin \theta \text{ ve } BC = AB \cos \theta$$

$$F_1 = \sigma_1 \sin \theta = \sigma_1 \cdot (AC \cdot AB) = AC$$

$$F_3 = \sigma_3 \cos \theta = \sigma_3 \cdot (BC \cdot AB) = BC$$

Ayrıca

$$F_N = F_1 \sin \theta + F_3 \cos \theta$$

$$F_N = \sigma_N / AB. \quad t = \sigma_N$$

$F_1$  ve  $F_3$  ün değerlerini yukarıdaki formül-

de yerlerine korskak;

$\sigma_N = \sigma_1 \sin^2 \theta + \sigma_3 \cos^2 \theta$  olur. Buradan giderek formülü elde edilir.

$$\sigma_N = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$

Kesme kuvveti ise;

$$F_t = F_1 \cos \theta - F_3 \sin \theta$$

$$F_t = \tau / A \cdot B \cdot t = \tau$$

Burada  $F_1$ ,  $F_3$  değerlerini kesme kuvveti formülünde yerine korskak;

$$\tau = \sigma_1 \cos \theta \sin \theta - \sigma_3 \cos \theta \sin \theta$$

olur. Buradan da

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$

elde edilir.

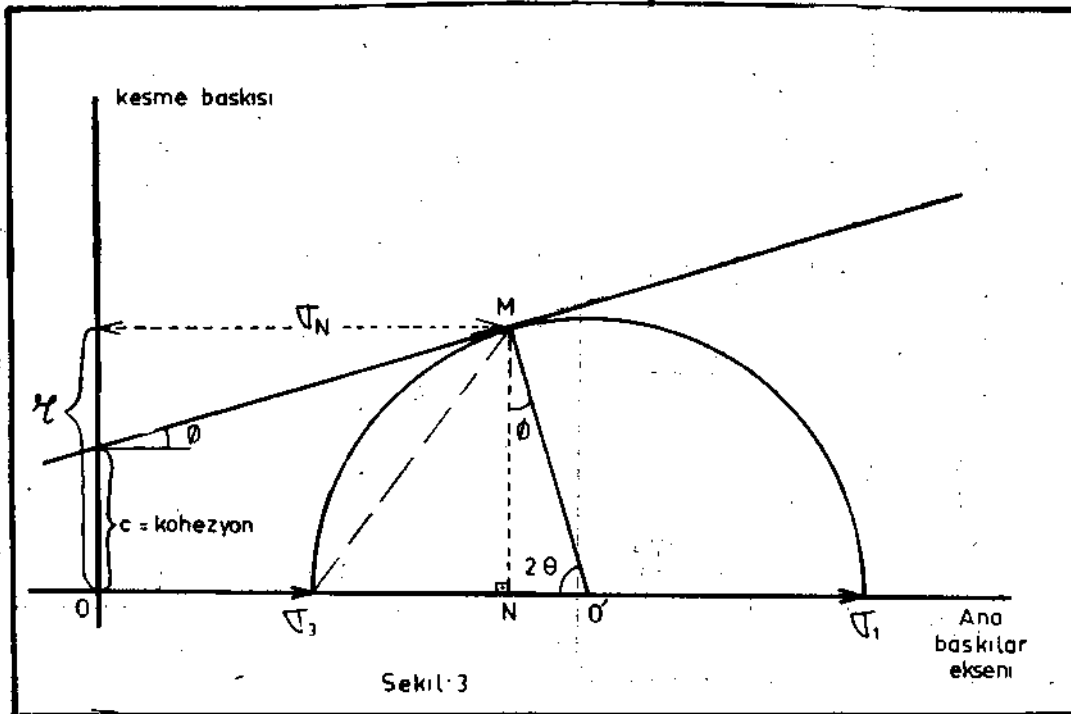
Böylece kesme ve normal kuvveti dolayısıyla da kesme ve normal basınçlarını ana eksen basınçları ve kırılma açısının fonksiyonları olarak elde ettik.

$\sin 2\theta = 1$  iken maksimum olur.

$$\sin 2\theta = \sin 90 = 1$$

$\theta = 45^\circ$  kesme kuvvetinin maksimum olduğu açı.

Burada biraz duralım ve Mohr Diagramını inceleyelim.  $a_N$  ve a yukarıdaki formüllerden hesaplamak mümkündür. Ancak bunları Mohr Diagramda anlatalım ve bu formülleri diagramdan çıkaralım. Şekil 3 te Mohr Diagram görülmektedir.



Taş kırıldığı andaki maksimum  $a_{\pm}$  ve  $CT_3$  ana baskıları yatay eksende işaretlenir.  $\sigma_1 - \sigma_3$  çap olacak şekilde bir çember çizilir. O' bu çemberin merkezidir. Bu çemberin yarıçapı  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  dir.

$$\tau = MN = MO' \sin \theta = (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \sin 2\theta = (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \cos \theta$$

$$\sigma_N = OO_1 - NO_1 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 - MO' \cos 2\theta$$

$$\sigma_N = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 - (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \cos 2\theta = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 - (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \sin \theta \text{ elde edilir.}$$

Bu çembere teğet olan doğru denklemi ise  $y = mx + n$  den

$l = \tan \theta$  er + c Burada c taşın kohezyonu,  $\tan \theta$  ise içsel sürtünmeyi gösterir.

Kırılma noktasını, yani doğrunun çembere teğet olduğu noktadaki özel durumu incelediğimizde;

$$a = (l - c)/\cos \theta$$

$0 < a < (\sigma_1 + \sigma_3)/2 - (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \sin \theta$  Bu değerleri teğet denkleminde yerlerine korsak;

$$(\sigma_1 - \sigma_3)/2 \cos \theta = \tan \theta K + c + (\sigma_1 - \sigma_3) 2 \sin \theta + c \text{ buradan}$$

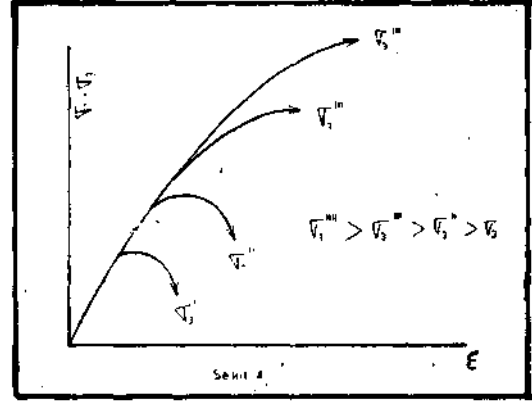
$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} + \sigma_3 \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta}$$

formülü elde edilir.

Üç boyutlu baskı deneyi belli bir yerden toplanan örnekler üzerinde mümkün, olduğu kadar çok yapılır. Mümkün olduğu kadar çok Mohr çemberi ve bunların teğetleri, yani Mohr zarfları çizilir. Elde ne kadar çok sonuç olursa deney kaya mekaniği felsefesine de o kadar uyumlu olur. Elde edilen değerlerin (örneğin c, 0, 20 istatistik ortalamaları alınır. Böylece belli bir bölgedeki yapının mekanik katsayıları (parametreleri) ortaya çıkar.

Şimdi de deneyi etki eden çeşitli etkenleri inceleyelim.

**Yan Basınç :** Yapılan deneyler göstermiştir ki yan basınç artmasıyla taşın kırılma kuvveti de artmıştır. Artan yan basınç taşın dağılmasını önlemiştir. Paterson, deneylerinden şu sonucu çıkarmıştır: Artan yan baskı gevrek olarak kırılabilen bir taşın gevrekliğinin azalmasına, buna mukabil kırılmadan önceki deformasyonun artmasına sebep olmuştur. Şekil 4 te basınç ve deformasyon ilişkisi (değişik yan basınçlarda) gösterilmiştir. Yan basıncın sıfır olduğu deneylerde; yani tek eksenli baskı deneylerinde gevrek çatlaklıklar, detayda düzensiz ama genel olarak baskı yönünde oluşurlar. Yan baskı arttıkça düzgün kırılma yüzeyleri belirlenmeye başlar. Yükselen yan baskı ile kesilme düzlemlerinin de simetrik olarak iki düzlem boyunca oluşumunu sağlar, Şekil 5 a—B—c.



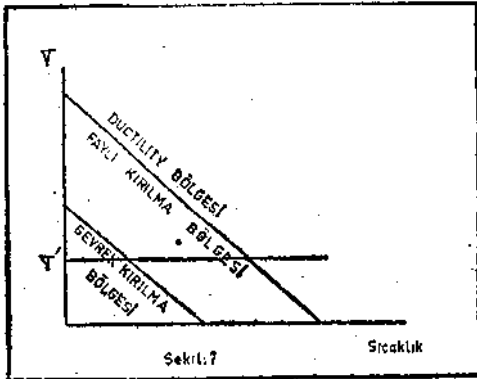
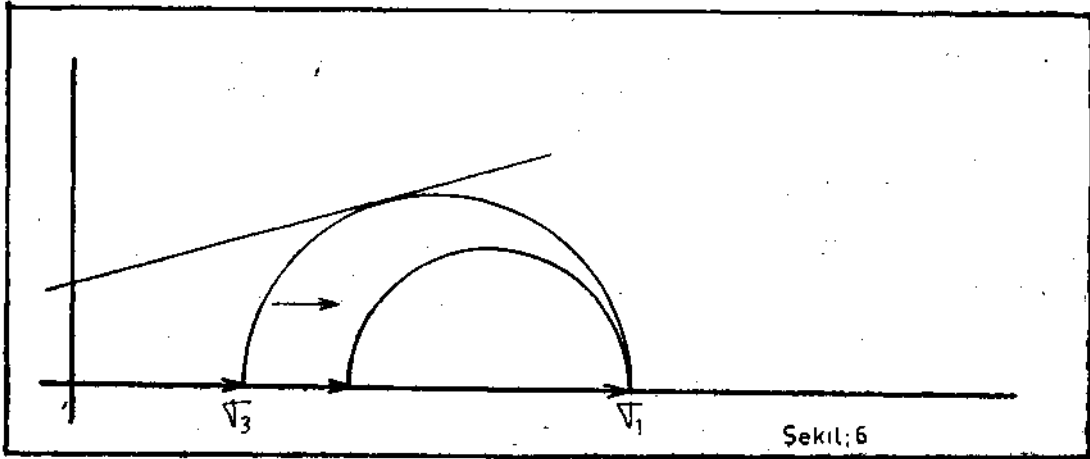
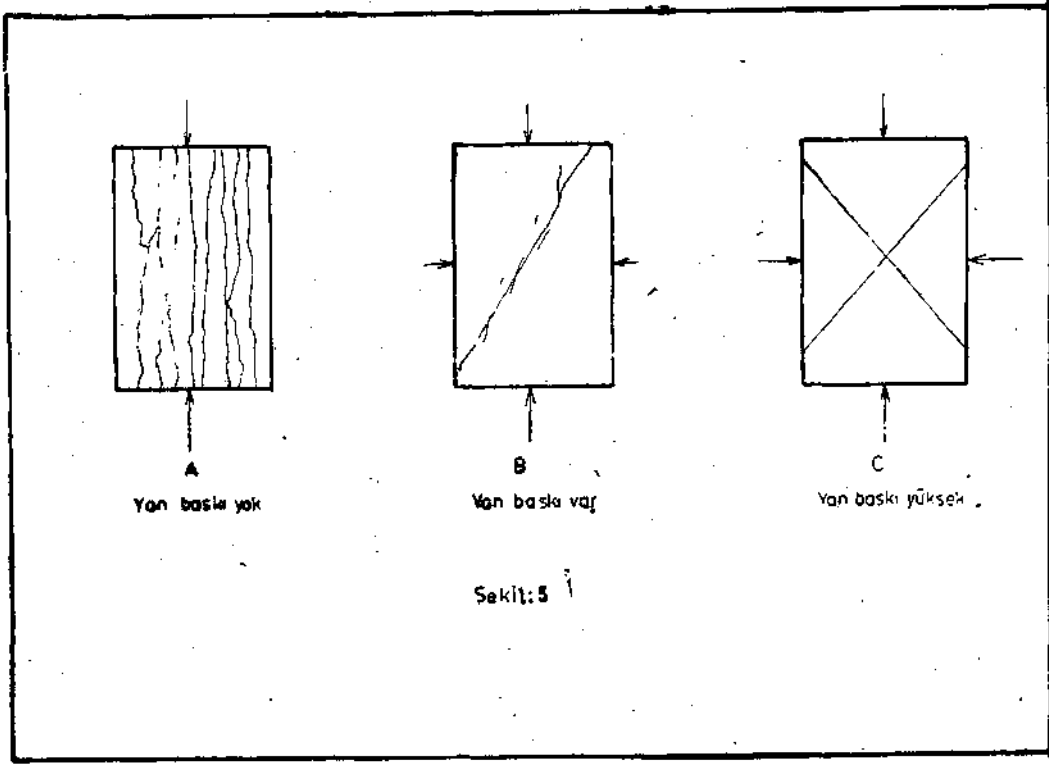
Şimdi de bu etkiyi Mohr Çemberinde inceleyelim. Diyelim ki örnek  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  basınçlarında kırıldı.  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  çaplı çember çizilir. Taş bu değerlerde kırıldığından Mohr Zarfına teğettir. Şimdi  $\sigma_x$  i değiştirmeden ( $\sigma_y$  ü yani yan basıncı arttıralım. Yeni çizilen çember zarfa değmeyecek, emniyetli sınırdaki kalacaktır. Yani taş kırılmayacaktır. Görülüyor ki yan basınç artırılınca taşın dayanıklılığı da artmaktadır. Şekil: 6.

**Sıcaklık:** Sıcaklığın artması hemen her maddenin elastik baskı sınırını düşürür. Örneğin ısıtılması, onun kohezyon kuvvetini azaltmadan deformasyon yeteneğini artırır. Basınç ile sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 7 de görülmektedir. Değişmez bir  $\sigma_1$  basıncında düşük sıcaklıkta örnek gevrekçe kırılabilir durumdadır. Artan sıcaklık örneğin gevrekliğini azaltır, yani elastik sınırını düşürür ama örneğin «ductility» yeteneğini artırır. Şekil 7.

**Eriyikler ve Pore Basıncı :** Bu konuda ilk çalışmalar Alabaster üzerinde 1940'larda Grigg tarafından yapılmıştır, örnek taşın pore boşluklarına giren eriyikler deformasyon hızını arttırmalar. Bu eriyikler taşın maksimum direnç gücünü düşürürler. Elastik sınır da düşer. Şekil 8 de bu açıkça görülmektedir.

Görülüyor ki kuru, eriyiksiz örneğin gösterdiği eğri diğerlerinden dik. Değişik oranlardaki ve özellikteki eriyikler eğriyi daha aşağıya indiriyor. Yani taşın direnme gücü düşüyor ve elastik sınır azalıyor.

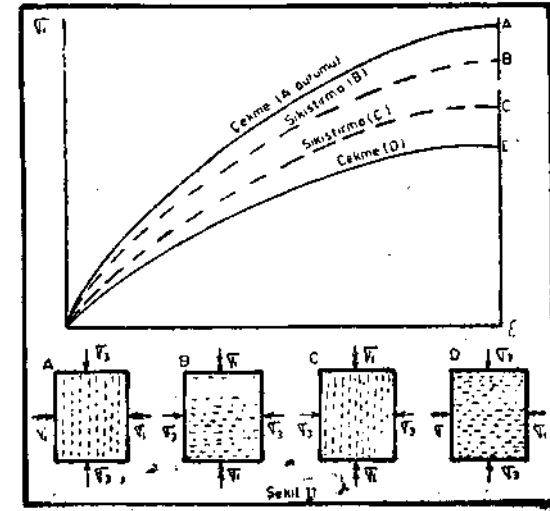
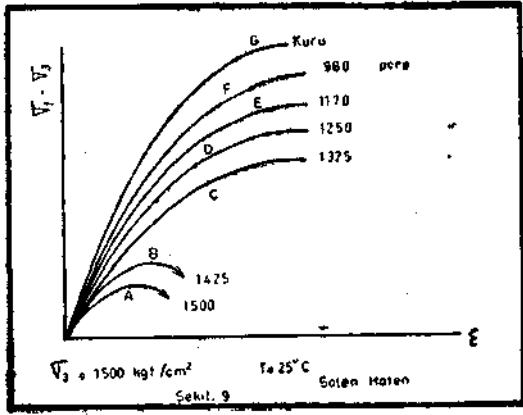
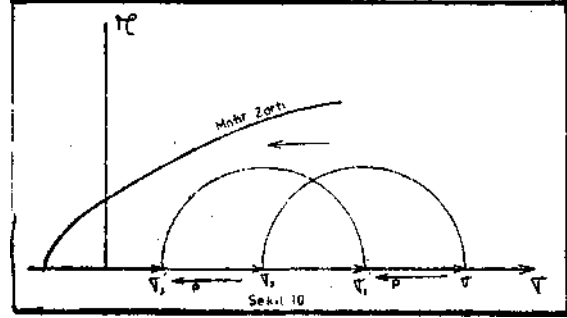
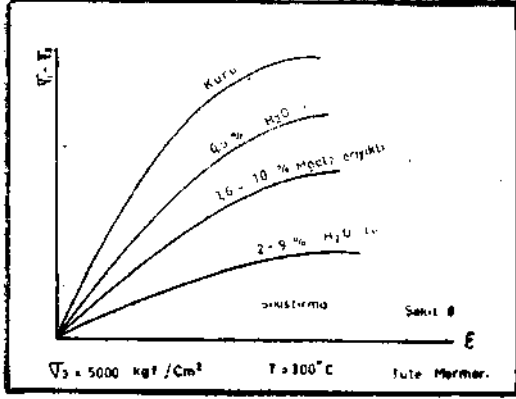
Pore basıncına artması ise taşın daha da gevrek bir şekilde kırılmasına yol açıyor. Düşük pore basıncında ductility daha fazladır. Pore basıncı yan basınca ters yönde ve ona karşıdır. Bu nedenle pore basıncının yan basınca eşit olduğu anda yan basıncın etkisi kaimi\* yor ve taş sanki tek eksenli sıkıştırılıyormuş



gibi oluyor, ve kırılma gevrekleşiyor. Şekil 5. Pore basıncının sıfır ve yan basıncın yüksek olması durumunda ise taş, deformasyon yeteneği daha fazla bir durum gösteriyor. Şimdi Şekil 9 a bakalım. A—B—C—D—E—F—G elastik sınırlardır. Şekilden görülüyor ki elastik sınırlar, pore basınçlar azaldıkça artmaktadır.

Şimdi aynı durumu Mohr Diagramından inceleyelim. Şekil 10.

Pore basıncı diğer basınçlara karşı olduğundan Mohr Çemberinde :



$$\sigma_1^1 = \sigma_1 - P$$

$$\sigma_3^1 = \sigma_3 - P$$

Burada : ( $r_x$  = pore basınçsız ana basınç (pozitif yönde)

$\langle J_0 = \rangle \rangle$  yan  $\rangle \rangle$

$p ! = \rangle$  basıncı (pozitif yönde)

$Oi^1$  — etkin ana basınç

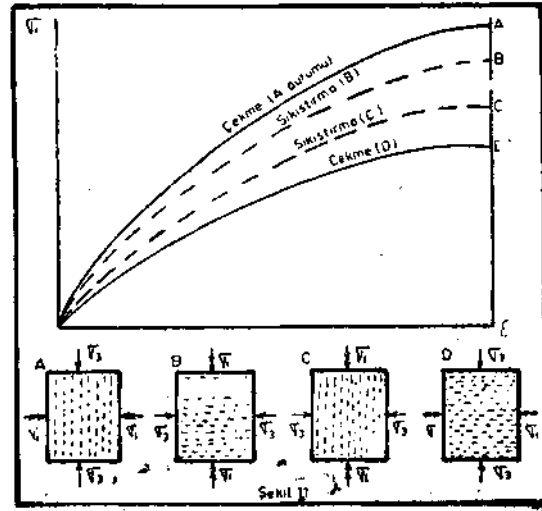
$(T^1 = \rangle$  yan  $\rangle$

$r_{j_x}$  ve  $e_r$  aynı miktarda ( $p$  kadar) sola kayar. Yeni durumda çizilen çember zarfa daha yakındır. Bu durumda taşın kırılması daha kolaydır.

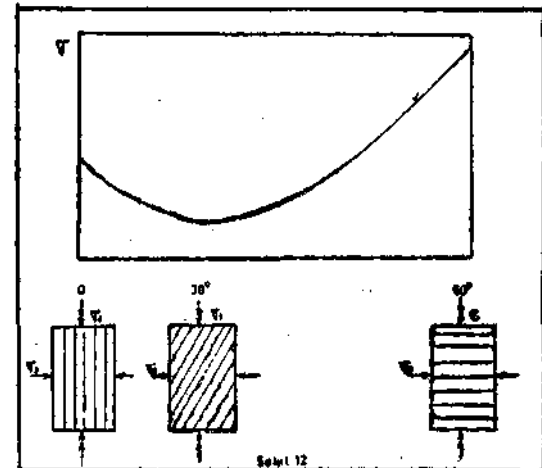
Kayaların Ve Tabakaların Birbiçimli Olması : Yer altında kayalar ve tabakalar bir biçimli değildir. Gerek oluşumlarında gerekse oluşuktan sonraki tektonik olaylar onların çatlamalarına, zayıflık düzlem, yüzey ve bölgeler göstermesine sebep olmuştur. Şimdi bu durumları bugüne kadar yapılan deneylerin ışığı altında inceleyelim.

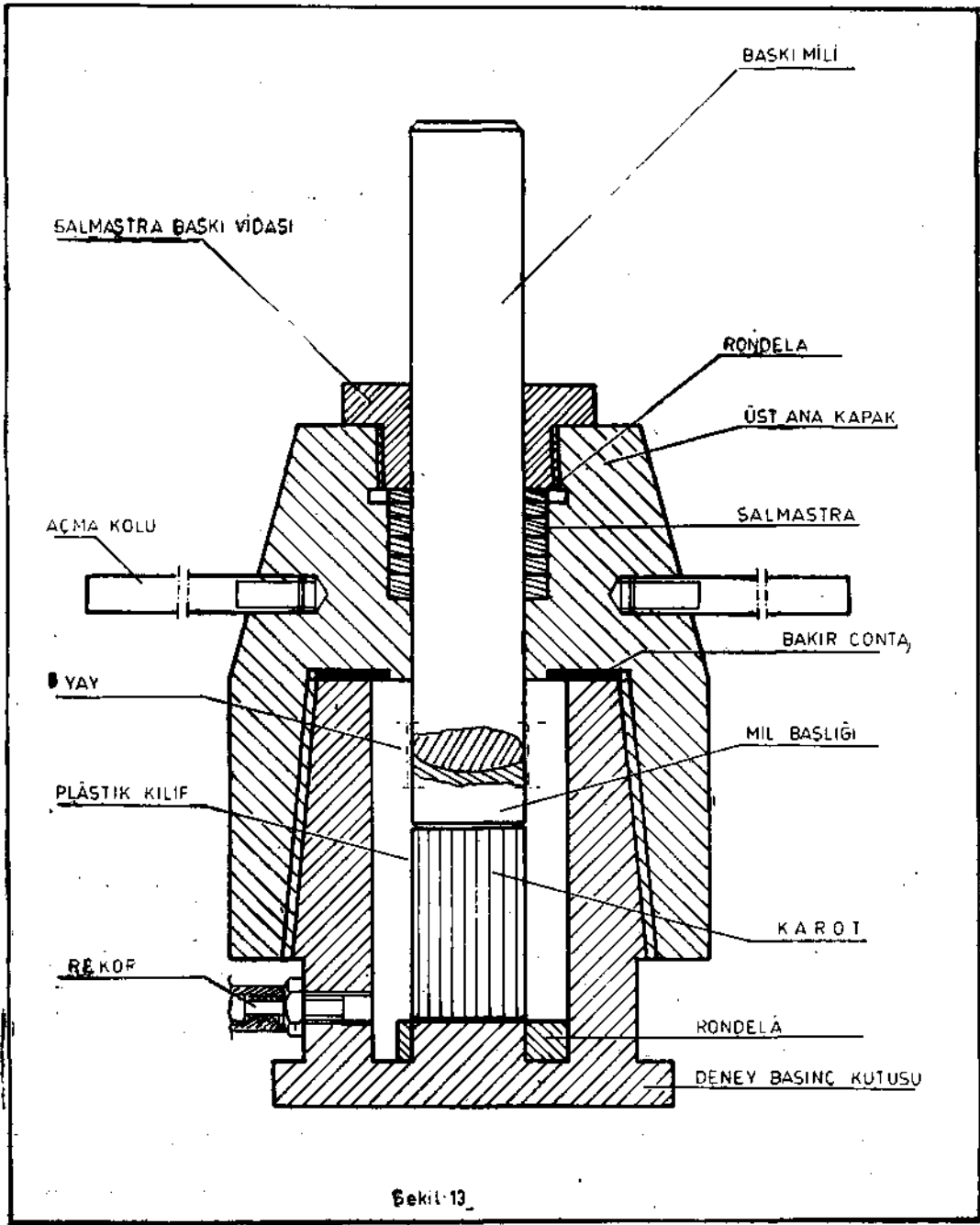
Sıkıştırma : Büyük baskı yönü zayıflık çizgilerine dikse, taşın gösterdiği direnç paralel olma durumundan daha fazladır.

Çekmede: Büyük baskı yönü zayıflık çizgilerine paralelse taşın gösterdiği direnç dik olma durumundan daha fazladır. Şimdi bunları aşağıda şekil 11 de görelim.



Şimdi de hem yan baskı, hem zayıflık düzlemleri ile büyük baskı yönü arasındaki ilişkiyi, Şekil 12.





Görülüyor ki en zayıf durum, açının 30° olduğu zamandır. Taşın direncinin maksimum olduğu yer büyük baskı ile zayıflık düzenlerinin bir birine dik olduğu andır.

### Deneyin Eleştirisi

Mevcut laboratuvar deneylerinin içinde yeraltındaki şartlara en uygun olan üç boyutlu sıkıştırma deneyidir. Ancak bu deneyin de bazı zayıf noktaları vardır. Şimdi bunları tartışalım. Deneyi yapılan örnekler nihayet küçük taşlardır. Silindirik şeklindeki karotlardır (boy 8 cm., çap 4 cm.). Bu taşlar yapıyı (formasyonu) ne ölçüde temsil edebilir? Bu akla gelen ilk sorudur. Yapı çok büyük değişiklikler gösterebilir. Sert ve dayanıklı olduğu kadar yumuşak yerler de vardır. Fay bölgeleri vardır. Gerilim veya sıkışım alanları vardır. Taş belli bir yerden alınmıştır. Yapının tüm özelliklerini yansıtmaz. Olsa olsa ancak bir bölgenin özelliklerini çıkarır ortaya. Bu zayıflığı gidermek içinde yapılacak tek şey değişik yerlerden çok sayıda örnek toplamak ve istatistiksel sonuçlara gitmektir. Böylece gerçek duruma daha yakınlaşmış oluruz.

İkincisi, deneyde yan basınçları yani  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  ü aynı alıyoruz.  $\sigma_2 = \sigma_3$  oluyor. Bunu da hidrolik bir sistemle sağlıyoruz. Oysa yeraltında bu hiçte böyle olmayabilir. Bir birim elementin üstüne yanlardan eşit olmayan basınç gelebilir. Bunda en büyük etken tektonik olaylardır. Örneğin bir fayın meydana getirebileceği tek yönde aşırı bir basınç olabilir. Deneyimizde ise yan basınçları farklı tutmak olanaksızdır. Bundan doğacak hataları gidermek içinde yerinde (arazide) fotoelastik veya diğer tip over - coring deneyleri yapılır.

Üçüncüsü, örnek karot alındığında karot yeraltından çıktıktan sonra bir basınç gevşemesi olur. Bu ise karotun mekanik özelliğini azçok değiştirir. Ama bundan kaçınmakta olanaksızdır.

Son bir şey daha, bu deneylerde kayanın ancak mekanik durumunu belirtebiliriz. Yapının genel jeolojisi, hidrojeolojisi, tektoniği ve sair diğer bilgiler ile mekanik sonuçlar korele edilmelidir. Bu tip bir çalışma halen M.T.A. Enstitüsünde yapılmaktadır. Genel Direktör sayın Doç. Dr. Sedrettin Alpan'ın üzerinde titizlikle durduğu bir projedir. Hasaңçelebi verimlilik projesi çerçevesi içinde Maden Yük. Müh.

Turhan Armutçu yönetiminde çalışmalar yapılagelmektedir. Şev açısının belirlenmesi için yapının mekanik katsayılarının belirlenmesi, üç boyutlu sıkıştırma deneyleri ile tespit edilmektedir. Bu ön yazıdan sonra diğer yazılarda deney tekniği, mekanik katsayıların bulunuşu, sonuçların jeolojik verilerle korelasyonu ve kesin sonucun bulunması anlatılacaktır.

Şimdi yalnızca deneylerimizde kullandığımız aygıttan bahsedelim kısaca. Aygıtın 1/? ölçekli şematik görünüşü şekil 13 te verilmiş\* tir. Basınç kutusu olarak adlandırdığımız bu aygıt tamamen Türk Mühendis, teknisyen ve işçisinin emeği ürünüdür. Detaylı bir çalışmadan sonra amaç için en uygun şekilde taslak lan f|ân Proje Şubesinde çizildi. Mukavemet ve dış hesapları Makine Yük. Müh. Orhan Mert-oğlu tarafından hesaplandı. Makina İkmal Şubesi atölyelerinde çok kısa bir süre içinde yapıldı. Şu anda deneyler devam etmektedir.

Şekil 13 te görüldüğü gibi piston vasıtasıyla büyük yük karota verilir. Bu yük verecek ayrı bir pres var. Yan basıncı verecek bir hidrolik pompa vardır. Hidrolik pompa 700 kg/cm<sup>2</sup> lik bir yan basınç verebilecek güçte. Bu, tip deneyler için oldukça yüksek bir değerdir. Karotun etrafında lâstik Dir muhafaza vardır. Bunun görevi, basıncı olduğu gibi iletip, hidrolik sıvının taşa sızmasını önlemektir. Büyük yük ve yan basıncını deciişik değerlerinde taş kırılacaktır. Elde edilen değerlere Mohr çemberleri ve zarfı çizilecek. i.«:taististiksel sonuçlar çıkarılacaktır.

### Bibliyografik tanıtım :

- 1) Seth D. WOODRUFF, Methods Of Working Coal And Metal Mines Volume : 1,2
- 2) B. BOKY Mining
- 3) N. MELKINOV, Safety In Opencast Mining
- 4) D. F. COATES, Rock Mechanics Principles
- 5)..... International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences
- 6).....Lizbon ve Belgrad'taki Kaya Mekaniği Konferanslarından çeşitli makaleler.

## D Ü Z E L T M E

Madencilik mecmuası Cilt XII, Temmuz 1973 sayılı dergide yayınlanan «Ultrabazik Masiflerin Tanımı, Yapısal Etüdü, Teşekkül Tarzı, Birbiriyle Olan Münasebetleri ve Ultrabazik Masifler içerisinde Teşekkül Eden Krom Cevherinin Jenezi» adlı derlemenin hazırlanmasında Sayın Dr. O. ÖZKOÇAK'm eserinden yararlanılmıştır.

Adı geçen yazının 21. sayfası 3. paragrafında verilen «Ultrabazik masifler genellikle fay zonlarında bulunmaktadır. Kuzey Anadolu fay zonu ile Batı Afrika'dan başlayıp Maraş'a kadar uzanan fay zonu bunlara birer misaldir. Münferit faylardan müteşekkil olan bu fay zonlarında her biri büyük bir ihtimalle Simaya kadar inen derin bir çatlağın satıhtaki belirtisidir. Ultrabazik magma bu çatlak boyunca satha kadar gelmiş olabilir» adlı bölüm STİLLE'ye atfedilmiştir. Bu bölümün Sayın O. ÖZKOÇAK'a ait olduğunu ayrıca referans bölümünde Sayın B. Kıraçoğlu 1952 kromit isimli eserin zikredilmemiş olduğunu beyan ederim.

MUSA İSKİT