

## MADENCİLİK TEKNİĞİNDE MODEL ETUDLERİ

Tacettin ATAMAN\*\*

### Önsöz:

Medencilik, arzın kabuğunda bulunan cevherlerin kazılıp alınması ve kıymetlendirilmesi olduğuna göre ve arzın kabuğunu ise kayaların teşkil ettiği düşünülürse, cevherin ve komşu kayaların fizikî özelliklerinin madencileri yakından ilgilendirdiği görülür. Kayalar ise özgül ağırlıkları elastik limitleri, elastik modülleri ve Poisson kat sayıları ile tanınırlar.

Kayalar içinde açılmış olan boşluklar (kuyular, galeriler, cevher kazı yerleri ve saire) daha önce mevcut olan basınç dağılışı ve düzenini bozarlar. Ekseriya açık kalması icabından boşluklar bir müddet sonra kendiliğinden kapanmamaları için tahkim edilirler. Bazı özel şartlarda bu tahkimata lüzum kalmaz. İçinde boşluk açılan cevher veya kayalar kendi mukavemetleriyle, açılan boşluk dolayısıyla değişen basınç dağılışının yeni düzenine uyarlar, işte en esaslı dava, tahkimatın asgarî hadde indirilmesi için gerekli çalışma metodu-

dunu en emin şartlar içinde tatbik edebilmektir.

Böyle metodların araştırılmasında baro dinamik ilminin ışığından istifade edilir. Bu ilim kolu ise basınç altında bulunan kayaların hareketlerini, deformasyonlarını ve bu kayaların, açılan boşlukların istenilen müddet zarfında açık tutulabilmesi için adeta bir tahkimat unsuru olarak kullanılabilmelerini temin etmeye çalışan yeni doğmuş bir bilim şubesidir. Bu ilmi her zaman yeraltında arzu edilen şartlarda ve istenilen anda tatbik etmeye imkân olmadığına göre, mevzu bahis kayalardan alınan numunelerden veya o kayaları fizik bakımından temsil edebilen bir takım materyelden (ekivalent materyel) laboratuvarında imal edilen modeller ile deneyler yaparak elde edilen neticelerin yeraltındaki benzerine teşmili suretile, yeraltı çalışmalarında yapılan ölçme ve müşahadelere yardımcı ve tamamlayıcı incelemeler madencilik tekniğinde kullanılan model etüdlerini teşkil etmektedir. Fizik eb'adın, bir boyut analizi aşağıdaki denklemleri bize verir:

$$\psi_1 \left( \frac{\sigma L_0^2}{P_0}, \frac{P_0}{WL_0}, \frac{P}{P_0}, \frac{L}{L_0}, \frac{U}{L_0}, \frac{E}{WL_0}, \gamma, \varepsilon \right) = 0$$

veya,

$$\psi_2 \left\{ \frac{\sigma}{WL_0}, \frac{P_0}{EL_0}, \frac{P}{P_0}, \frac{L}{L_0}, \frac{U}{L_0}, \frac{E}{WL_0}, \frac{\gamma E}{\sigma}, \varepsilon \right\} = 0$$

Burada:  $\hat{\psi}_1$  ve  $\hat{\psi}_2$  fonksiyonları aşağıdaki parametrelerin arasındaki bağlantıları tesbit etmektedir.

$L_0$  = tipik bir mesafe, meselâ ada genişliği  
 $L$  = diğer bir uzunluk, mesalâ damar yüksekliği

$P_0$  = tipik bir yük, mesalâ tahkimat direklerine gelen yük

$P$  = diğer bir yük

$W$  = kayaların özgül ağırlığı

$E$  = Kayaların elastik modulu.

$\gamma$  = Kayaların Poisson kat sayısı

$d$  = Kayalarda rastlanan bir basınç

$z$  = herhangi bir deformation

$u$  = herhangi bir hareket

$\frac{P}{P_0}, \frac{L}{L_0}, \frac{U}{L_0}$  misbetleri modelde ve prototipte aynı kıymetleri haizdirler.

$S_p$  = yük ölçüğü dış yükler için aynı olurken ve  $S_l$  = uzunluklar ölçüğü  $L, L_0$  uzunlukları için aynı kalırken basınç ölçüğü  $S_e$  de aynı ka-

\*) Dr. Müh.; Maden Yük. Müh.  
 O.D.T.Ü. Öğretim Görevlisi

lir. U hareket miktarları boyutlarla orantılı olduğu için  $\xi$  izafi deformasyon modelde ve prototipte aym kalır.

Modeli teşkil eden materyelin  $\nu =$  poisson katsayısının esas prototipi teşkil eden kayaların poisson kat sayısına eşit olması gerekmektedir. Boyut analizinde kuvvet ve uzunluk ölçekleri diğerlerine hakim olacaklardır. Geri kalan ( $P_0, L_0, u, a, j, t$ ) altı faktör, alttaki tabloda görüldüğü gibi hesapla tâyin edileceklerdir. Bu tablo yakından incelendiğinde, mükemmel bir benzerlik (similitude) tahakkukunun ne kadar zor olduğu görülür.

Meselâ uzunluklar ölçeği 1/100 alınır ve  $S_E$  modül elastikler orantısı 1/5 olursa Özgül

$$S^{\wedge} = \frac{S_E}{S_g} \cdot \frac{1/5}{1/100} = 20$$

olması gerekir. Halbuki bu kadar ağır bir madde henüz bulunamamıştır. Ancak bu özgül ağırlık, modelin santrifüj bir makinede döndürülmesi suretile sunî olarak elde edilebilir.

Yeraltı çalışmalarında açılan boşlukların eb'adı derinlikleri yanında kabili ihmal olduğu ve bu derinliklerde bulunan basınçlar yanında ölü ağırlıklarından doğan basınçların da çok küçük oldukları görülür. Böylece elastik modülü herhangi bir E kıymetini haiz olan bir maddeden belli bir uzunluk ölçeğine göre bir model yapmak mümkündür. Bu model ufki veya şakuli bir vaziyette yüklenir. Yükleme ölçeği:

$$S_7 = S_E \cdot S_L^2 \text{ denklemini tahkik kılması şarttır.}$$

Halen modellerde vaki olan basınçların, deformasyonların ve hareketlerin ölçülebilmesi sayesinde problemler, model nasıl yüklense, çözülebilmektedirler. Model ve prototip materyallerinin aym Poisson kat sayısını haiz olmaları şartının tahakkuku ise ufak ve kabili ihmal hatalar ile mümkün olmaktadır.

## Modeller Hakkında

### 1 — Genel Bilgiler:

Diğer teknik sahalarda olduğu gibi madencilik alanında da prototip üzerinde tetkiki çok güç veya imkânsız olan bazı problemlerin modellerle incelenmesi ve alman sonuçlarının "similitude" prensipleri yardımı ile prototiplere teşmili, yirminci yüz yılın başından beri bir çok araştırmacıları meşgul kılmış ve bu

gün hu etüdüleri sayesinde bir çok güç problemler çözülebilmektedir. Bu günkü teknik imkânlar içinde belli bir oratıda küçültülen modeller:

- 1 — Ekvivalent maddelerden
- 2 — Foto elastik „
- 3 — Hem ekivalent ve hem de foto elastik olan maddelerden
- 4 — Prototipi teşkil eden orijinal taşlardan olmak üzere dört türlü olarak yapılabilmektedir.

### I — Ekvivalent Maddelerden yapılan modeller

Genel olarak karbon devri taşların temsil etmek üzere hazırlanan model tabakalar muhtelif % delerle dökülen alçı-kum karışımı sunî taşlardır. Kömür tabakasını teşkil eden ekivalent materyel: %30 alçı, %30 ince kum, %40 orta kum gibi bir terkibi haizdir. Şistler için %4- - 50 Alçı gerisi ince kum, Greler için %60 alçı gerisi orta kum olarak alınır. Bu maddelerin poisson emsalleri, en yüksek basınç mukavemetleri ve elastik limit ve elastik modülleri ve bir sade basınç tecrübesinde elde edilen yük-deformasyon eyri-leri, original karbon devri taşlarınkine belli nisbetler dahilinde çok benzerler. Bunun için aynı nisbette küçültülmüş boyutlarda yapılan modeller hesapla tâyin edilen yükler altında tıpkı temsil ettikleri orijinal taşlar gibi davrandıkları için bunlara Ekvivalent materyel denilmektedir.

### Misaller:

#### I — Bir uzun ayak modeli

İncelenecek problem: alında hızlı ilerlemenin üstteki tavan tabakaları üzerindeki tesirleri. T. Ataman

2 — ' Uzun ayaklarda basınç tezahürleri üzerinde, kullanılan tahkimatın etkileri. AJIstein Rusya

Bu gibi modellerde limit elastik dahilinde kalmak şart değildir. İcabederse modelin kırılmasına kadar gidilir ve reolojik safhada vaki olan hadiseler incelenir: Arazi göçmeleri ve kırılma açılarının tayini gibi. Model mukavemetinden prototip mukavemetine geçmek için ve prototip üzerindeki deformasyonlar (similitude) prensiplerine dayanarak hesaplanmaktadır.

## II — Fotoelastik maddelerden yapılmış modeller

Polarize ışık geçirilen ve yük altındaki bir foto elastik model içinde bir takım franj dediğimiz hatlar teşekkül eder. Bu hatların sayısı ile o noktadaki **stress** arasında bir orantı mevcuttur. Bu orantı ise belli bir ebattaki bir numune belli bir yük altında tutularak teşekkül eden franj sayısına göre bir franjin tekabül ettiği **stress** kolaylıkla hesaplanır. Buna o **foto elastik** maddenin etalonajı veya "calibration" u denir.

Bu cins modellerle bir düzlem içinde çözülecek stress dağılışı incelendiği gibi, üç boyut içinde çözülmesi gereken problemler de çözülebilir. Ancak bunun için özel bir foto elastik maddeden yapılan model önce 70°-80° kadar ısıtıldıktan sonra santrifüj bir yüklemeye makinasında çevrilerek yüklenir. Bu esnada soğuyan model içinde teşekkül eden franj lar donar kalır. Onun için bu usulün adı **dondurma** (freezing) usulüdür. Sonra muayyen dilimlere kesilerek polarize ışığa arz edilen bu dilimlerde **stress** dağılışı bildiğimiz iki boyutlu problemler gibi tayin edilir.

Her iki metotta limit elastik içinde kalmak ve modeli kırmamak esastır.

### Misaller :

- 1 — Yuvarlak (çember) kesitli odalar arasında kalan topluluklarda stress dağılışı T. Ataman
- 2 — Stress ve R (= alman cevherin %/c si) arasındaki bağlantının incelenmesi. T. Ataman
- 3 — Uzun ayaklarda "abutment pressure, in statik (pressuere) e göre kaç misli olduğunun tayini T. Ataman
- 4 — Uzun ayaklarda demir direklerin taban taşı üzerindeki etkileri: taban taşıdaki tazyik dağılışının etüdü: (yeni bir araştırma mevzuu).

## III — Ektivalent - Foto elastik maddeler

(Igdantine = gliserin + jelatin) maddesi tabakalar halinde model imâline müsaittir.

Kendi ağırlığının tesirile içinde bir takım franjlar teşekkül etmekte olup polarize ışıkla bu franjlar tesbit edilmektedir. Çeşitli nisbette gliserin ve jelatin karışımı ile yapılan bu tabakaların mukavemet hassaları temsil ettikleri çeşitli taşlarınki ile orantılı oldukları için aynı zamanda ekivalent materyel vasfını da haizdirler. V.F. Troumbatchev J.R.S.S. ilimler akademisi Maden Enstitüsünde bu madde ile topuklarda basınç dağılışını incelemiştir. (Pression de Terrain Paris Kongresi 1960).

## IV — Prototipi teşkil eden maddeden yapılan modeller:

Bu modeller prototip ile aynı maddeden yapılır. Ancak prototip genel olarak gravite sahası içinde çalışır. Halbuki model santrifüj bir makinede sunî olarak yaratılan santrifüj bir kuvvet sahası içinde tecrübe edilirler. Bu santrifüj kuvvet sahasının şiddeti, model üzerine tatbik edilen kurşun plakaların kalınlığı ve dönüş hızının bir "tâbi"i olarak değişir.

Bazan bu tip modellere hidrolik sistemlerle yük verilir.

Santrifüj makinelerde dönen kısım ile kontak teşkili suretile modelin stroboskopik aydınlatma ile müşahedesi ve fotoğrafının alınması suretile incelemeler kolaylıkla yapılır.

Bu esaslar dahilinde yapılmış olan belli inceleme metodları şunlardır:

- 1 ^- "Loose material" etüdüleri: dik damarlarda ramble basınçları H. Jans, G. Brauner, 1960 Paris Kongresi
- 2 — Galeri ve klavuzlarda yapılan çeşitli tahkimat çeşitlerinin incelenmesi. OJacobi, G. Everling. 1960 Paris Konresi.
- 3 — Oda ve topuk çalışmalarında tavan tabakalarının birbirine sapslamalarla (roof bolting) bağlanması. U.S.A. LA Panek Bureau of mines. Report of Investigations: 5154.
- 4 — Oda ve topuk çalışmalarında oda genişliğinin hesaplanması P.B. Bucky. Columbia Univ., New York.

| Sistem I  |                |                                    |                |         | Sistem II  |   |                                 |                |        |
|---|----------------|------------------------------------|----------------|---------|--|---|---------------------------------|----------------|--------|
| Ekivalent materyel kullanılan modellerde Similitüd esasına göre   |                |                                    |                |         | Hem modelde ve hem de prototipte: yoğunluk aynı  |   |                                 |                |        |
| Yer çekimine tâbi olan kuvvetler hem modelde ve hem de prototipte aynıdır. Yine yoğunluklar da aynıdır. |                |                                    |                |         | Elastik modül E aynı (santrifüj makinelerde kullanılan modeller)   |   |                                 |                |        |
| Yer çekimi ivmesi   | g              | cm/sa. <sup>2</sup>                | 1              | 1/1     | Elastik modül  | E | Kg/cm <sup>2</sup>              | 1              | 1:1    |
| Yoğunluk  | δ              | kg/cm <sup>3</sup>                 | 1              | 1:1     | Yoğunluk   | δ | kg/cm <sup>3</sup>              | 1              | 1:1    |
| Özgül ağırlık   | s              | Kgcm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> | 1              | 1:1     | Yer çekimi ivmesi  | g | cm/S <sup>2</sup> <sub>cm</sub> | 1:M            | 10:1   |
| Basınç (compression)  | σ              |                                    |                |         | Özgül ağırlık  | s | Kg/cm <sup>3</sup>              | 1:M            | 10:1   |
| Çekme ve makaslama  | τ              | Kg/cm <sup>2</sup>                 | M              | 1/10    | Kompressiyon   | σ |                                 |                |        |
| Elastik modül   | E              | Kg/cm <sup>2</sup>                 | M <sup>2</sup> | 1/10    | Kompressiyon basıncı   | σ | Kg/cm <sup>2</sup>              | 1              | 1:1    |
| Bir metresinin ağırlığı   | q              | Kg/cm                              | M              | 1/100   | Çekme ve makaslama   | τ | Kg cm                           | 1              | 1:1    |
| Kendi ağırlığı, dış kuvvetler   | G              | Kg                                 | M <sup>3</sup> | 1/1000  | Fetre boy ağırlığı   | q | Kg/cm                           | M              | 1:10   |
| Kitle   | P <sub>m</sub> | Kg/S <sup>2</sup>                  | M <sup>3</sup> | 1/1000  | Kendi ağırlığı   | G |                                 |                |        |
| Bükme momenti   | m              | Kg cm                              | M <sup>4</sup> | 1/10000 | Dış kuvvetler  | P | Kg                              | M <sup>2</sup> | 1:100  |
| Sürtünme kat sayısı   | μ              | Kg/kg                              | 1              | 1:1     | Kitle  | M | KgS <sup>2</sup> /cm            | M <sup>3</sup> | 1:1000 |
|   |                |                                    |                |         | Bükme momenti  | m | Kg cm                           | M <sup>3</sup> | 1:1000 |
|   |                |                                    |                |         | Sürtünme emsali  | μ | Kg/Kg                           | 1              | 1:1    |
| Çeşitli kıymetler   | İşaretler      | ölçek                              | misal          |         | Santrifüj makineler  |   |                                 |                |        |
| Uzunluklar ve de-ğişmeleri  | L,             | L Cm                               | M              | 1/10    | Bir elektrik motorunun rotoru şakulî bir shaft etrafında 100 devir/dak. dan 2000 devir/dak. ya kadar ayarlanabilen bir hızla döndürülebilmektedir. Bu makinede döndürülen bir model üzerine tatbik edilen yük K kat sayısı ile karakterize edilir. |   |                                 |                |        |
| Alanlar, kesitler   |                | F cm*                              | M.2            | 1100    | K = 4,2rnVg  |   |                                 |                |        |
| Hacim, direnme momenti  | V, W           | cm <sup>4</sup>                    | M3             | 1/1000  |  |   |                                 |                |        |
| Atalet momenti  | J              | cm <sup>3</sup>                    | M <sup>4</sup> | 1/10000 |  |   |                                 |                |        |

### MADEN MÜHENDİSLERİ ODASINDAN

• TJVLM.O.B.'den alınan bir yazıda U. N. D. F. Birleşmiş Milletler Geliştirme programı projelerinin özel fondan geliştirilmesi için Birleşmiş Milletler Güvernörler Konseyi muhtelif milletlerle yapılacak mühendislik projelerinin geliştirilmesinde çeşitli süreler için müşavir uzman mühendis istemektedir.

Maden mühendisliği ile ilgili kısım aşağıda belirtilmiştir.

Investigation of Porphyry Copper Type Mineralisation in the province of Mondoza and Neuquen (Çalışacağı yer: Arjantin)

Detailed mineral investigations of selec-

ted zone sin Atacama and Coquimbo provinces (Çalışacağı yer: Şili)

Establishment of a mineral exploration unit (Çalışacağı yer: Ürdün)

Mineral resources survey (Çalışacağı yer: Senegal)

Mineral resources survey (Çalışacağı yer: İngiliz Ginesi)

Feasibility surveys for mineral development in the north-east and associated transport factors (Çalışacağı yer: Yukarı Volta)

Fazla bilgi için tek kopya olan projelerin Odalar Birliğinde görülmesi mümkündür.