



Kaya Mekaniği Bülteni

6

Ocak 1991

" Barodinamik " ve Madencilik

T.ATAMAN

Bazı Kayaç Türleri İçin Basınç-Çekme
Dayanım Değerleri ile İstatiksel
Büyüklikleri Arasında Çıkarılan İlişkiler

E.ARIOĞLU, N.TOKGÖZ

Selatin Tünelinin Projelendirilmesi

G.K. GRESCHIK



TÜRK ULUSAL KAYA MEKANIĞI DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof. Dr. A. Günhan PAŞAMEHMETOĞLU	(Maden Müh. Böl.,-ODTÜ)
Başkan Yrd.	: Mesut ÇETİNÇELİK	(DSİ Gn. Md..lügü-ANK.)
Genel Sekreter	: Doç. Dr. Abdürrahim ÖZGENOĞLU	(Maden Müh. Böl.,-ODTÜ)
Sayman	: Bülent ERDEM	(Maden Müh. Böl.,-ODTÜ)
Üye	: Prof. Dr. Seyfi KULAKSIZ	(Yerbilimleri Enst.,-H.Ü.)

DENETİM KURULU

Doç.Dr. Aydın BİLGİN	(Maden Müh.Böl.,-ODTÜ)
Dr.Bülent KİPER	(BK Mühendislik, ANK.)
Reşat ULUSAY	(MTA Gn. Md. lügü, ANK.)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

Yazışma Adresleri:

—Doç. Dr. Abdürrahim ÖZGENOĞLU
Genel Sekreter
Maden Müh. Böl. ODTÜ
06531 - ANKARA
Tel: (4) 223 71 00 / 2655

—Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği
P.K. 311 06423 Kızılay - ANKARA

Kaya Mekaniği
Bülteni
Ocak 1991

6

" Barodinamik " ve Madencilik

T.ATAMAN

Bazı Kayaç Türleri İçin Basınç-Çekme
Dayanım Değerleri ile İstatiksel
Büyüklikleri Arasında Çıkarılan İlişkiler

E.ARIOĞLU, N.TOKGÖZ

Selatin Tünelinin Projelendirilmesi

G.K. GRESCHIK

Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği Yayınıdır.

Yazım İlkeleri

"Kaya Mekaniği Bülteninde yayımlanması için gönderilecek olan yazılar teorik ve uygulamalı kaya mekaniği dalında özgün (orjinal) araştırmalar, derleme, eleştiri ve tanıtma amaçlı çalışmalar veya çevirileri kapsayabilir.

Yazılar, şekiller, fotoğraflar ve çizelgeler 2 nüsha olarak gönderilmeli, metin 2 satır aralıkla daktilo ile yazılmış olmalıdır.

Başlıklar kısa, konuyu en iyi belirtebilir ve olabilirse 10 sözcüğü geçmeyecek şekilde seçilmelidir.

Şekiller teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkep ile aydınlatılmış kâğıda veya beyaz kuşe kâğıt üzerine çizilmelidir.

Fotoğraf parlak kartlara siyah-beyaz ve kontrastlı basılmalıdır. Şekil, fotoğraf ve çizelge altları ayrı bir kâğıt üzerine sırasıyla yazılmış olmalıdır.

Yararlanılan kaynaklar alfabetik sıralamayla düzenlenmelidir.

Gönderilen çalışmanın bültende yayımlanabilmesi yayın kurulu'nun olumlu kararına bağlıdır.

Okurlarımıza,

Bilindiği gibi, kaya mekaniğinin madencilik sektörünün yanı sıra inşaat, jeoloji, jeofizik gibi mühendislik dallarında da yapılan çalışmalarda önemli tartışılmaz boyutlara ulaşmıştır. Diğerlerine göre yeni sayılabilecek kaya mekaniği bilimi, özellikle ülkemizde, 60'lı yıllardan sonra benimsenip araştırma ve projelerin içinde yer almaya başlamıştır. Ayrıca, bu bilim dalı ile ilgilenenlerin anımsayacakları gibi, kaya mekaniği konusunda diğer ülkelerde yapılan çalışmalardan geri kalınmaması düşüncesiyle oluşturulan Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği'nin kuruluşu da aynı yıllara rastlamaktadır. Çalışmalarını gittikçe yoğunlaştıran derneğimizin son yıllarda gerçekleştirdiği faaliyetler küçümsenemeyecek boyutlara ulaşmıştır.

İlgili mühendislik disiplinleri içerisinde bir bilim dalına dönüşmeden önce de konu olarak bilinen ve çalışmalar içinde yer alan kaya mekaniği, özellikle madencilik sektöründe, üretimlerin yerin yüzlerce metre derinliklerine indiği günümüzde "olmazsa olmaz" düşüncesinin çalışanların zihinlerine her an yer aldığı konuma ulaşmıştır. İşte bu düşüncüyü her zaman benimsemiş olan ve ülkemiz madenciliğinin gelişmesine olan katkılarıyla her zaman anımsayacağımız merhum Prof. Dr. Tacettin ATAMAN'ın kaleme aldığı ve 1945-46 yıllarında MTA dergisinde üç ayrı bölüm halinde yayımlanan "Barodinamik ve Madencilik" başlıklı yazısı yukarıda anlatmaya çalıştıklarımızı somut olarak gözler önüne getirmektedir. Bütünlüğün bozulmaması açısından ilgili yazının tümünü yayımlamayı uygun gördük. Bu vesile ile sayın hocamızı bir kez daha rahmet ve saygı ile anıyoruz.

İstatistiki bilgilerin kaya mekaniği çalışmalarındaki kullanımına bir örnek teşkil edebilecek içerikte olan ve sayın Prof. Dr. Ergin ARIÖĞLU ve Araştırma Görevlisi sayın Nuray TOKGÖZ tarafından kaleme alınan özgün bir yazı bültenimizin diğer sayfalarında yer almaktadır.

Bültenimizin bu sayısında yer alan son yazı sayın Dr. G.K. GRESCHIK tarafından kaleme alınmıştır. Özellikle tünellerde çalışmalar ile uğraşanların ilgisini çekeceğini düşündüğümüz yazıda İzmir - Aydın otoyolu üzerinde yer alacak olan 3 km. boyundaki bir tünelin projelendirilmesi çalışmalarını anlatmaktadır.

Anımsanacağı gibi bültenimizin 5. sayısında başlattığımız bir çalışmaya bu sayımızdaki sayfa yoğunluğu nedeniyle ara vermek zorunda kaldık. ISRM tarafından belirlenen kaya mekaniği deney standartlarının Türkçe olarak yayımlanmasına gelecek sayılarımızda devam edeceğiz. Bu erteleme için okurlarımızdan özür dileriz.

Bilindiği gibi derneğimizin 11. Olağan Genel Kurulu 15 Kasım 1990 günü yapılmış ve yeni dönem için Yönetim ve Denetleme Kurulu üyeleri seçilmiştir. Bu kurullara seçilen üyelerimizin adları ve adresleri Bülten'in iç kapağında yer almaktadır.

Tüm üye ve okurlarımızın yeni yılını kutlar.. gelecek sayımızda buluşmak dileğiyle saygılarımızı sunarız.

Yönetim kurulu

"BARODİNAMİK" VE MADENCİLİK (*)

Tacettin ATAMAN (**)

"Baro" basınç ve "dinamik" hareket demek olduğuna göre, basınç altında hareket manasına gelen bu kelime, yeraltında kayalardaki basınç dağılışı ve hareketlerden bahseden çok yeni bir tatik mevzuudur. Bugünün madenciliğinde tahkimat esaslarını yalnız tecrübe ve tahmine değil de daha çok hesaba dayanarak tayin etme yolunu tutmak zarureti kendini göstermektedir. Diğer taraftan, tahkimat hesapları, bu tahkimatı lüzumlu kılan tavan, duvar ve taban basınçlarının bilinmesiyle mümkündür. O halde, bu meseleyi önleyebilmemiz için:

A- Kayalarda basınç dağılışı,

B- Elastik limitin berisinde kayalarda "deformation",

C- Elastik limitin ötesinde kayaların "deformation" ve kırılma hallerini birer birer tetkik etmemiz icabeder.

Birinci şıkta: Kayaların statik vaziyeti bahis mevzuu olup bacalardaki tahkimatın esaslarını bize verir.

İkinci şıkta ise ayakların arkasını göçertmek, göçükler ve açılmaları gibi meseleleri tahlil edeceğiz.

A- KAYALARDA BASINÇ DAĞILIŞI

Yeraltında, kayaların maruz kaldığı basıncın başlıca sebebi üstteki kaya ve toprakların ağırlığıdır. Her ne kadar g = yer çekmesi miktarı tacili "acceleration" mevzuubahis noktanın arz derecesi ve

(*) MTA Dergisi, Ekim 1945, s. 407-419

(**) Prof. Dr.

rakımına tabi ise de, gerek maden ocaklarındaki azami rakım tahavvülünün azlığı ve gerekse bir maden ocağında arz derecesinin değişmesi bize "g" için 9.81 m/sa^2 kıymetini çok cüzi bir hata ile verir. Evler formülü yer çekmesinde:

$$P = M. g$$

olup M. üstteki kayalar yığınının kitesidir. Vahit satha düşen p basıncı ise:

$$p = H. m. g. \text{ olur.}$$

Burada:

$p = -p_2$: şakuli ekzen boyunca basınç,

H = "0" noktasında, üstteki kaya ve toprağın yüksekliği,

$$g = 9.81 \text{ m/saniye}^2$$

m = "0" noktası üstündeki kayaların vasati özel kitesidir.

Burada vasati tabirinin manası aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi $H_1, \dots, H_6$ "0" noktasının üstündeki tabakaların metre cinsinden

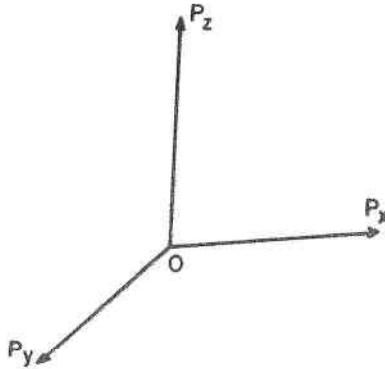
H_6	m_6
H_5	m_5
H_4	m_4
H_3	m_3
H_2	m_2
H_1	m_1

kalınlığı ve $m_1, \dots, m_6$ bu tabakaların mütekabil özel kitleleri olduğuna göre:

$$m = \frac{m_1 \cdot H_1 + m_2 \cdot H_2 + \dots + m_6 \cdot H_6}{H_1 + H_2 + \dots + H_6} =$$

$$\begin{aligned} i &= 6 \\ \sum_{i=1} m_i H_i \\ &= \frac{\quad}{H} \end{aligned}$$

olduğu görülür. Bilhassa kömür havzalarında rastlanan gre, şist ve konglomera gibi kayaların özel kitleleri birbirlerine çok yakın olup $\frac{0.3}{9.81}$ civarındadır. O halde $H. g. m = \frac{0.3}{9.81} \times H \times 9.81 = 0.3 H = p$ olur. p , Kg/cm^2 ile ölçülür. "0" noktasında p basıncına eşit fakat aksi istikamette ($\bar{p} = -\bar{p}_z$) p_z reaksiyonu doğar. Kayaları birer elastik materyel olarak kabul ettiğimizden $-p_z - p$ basıncı Ox ve Oy istikametlerinde $\bar{p}_x$ ve p_y basınçlarını doğurur.



μ = kayalara ait "Poisson emsali", δ_x , δ_y , δ_z kıymetleri de $\overline{ox}$, $\overline{oy}$, $\overline{oz}$ ekzenleri boyunca "0" noktasındaki vahit kenarlı bir kübün "deformation" ları, E ise bu kayaların, aynı kabul edilen elastik modülü olduğuna göre:

$$\frac{dl_x}{l_x} = \delta_x = \frac{P_x}{E} - \left[\mu \frac{P_y}{E} + \mu \frac{P_z}{E} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dl_y}{l_y} = \delta_y = \frac{P_y}{E} - \left[\mu \frac{P_x}{E} + \mu \frac{P_z}{E} \right] \dots\dots\dots (2)$$

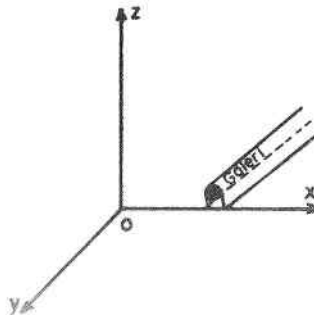
$$\frac{dl_z}{l_z} = \delta_z = \frac{P_z}{E} - \left[\mu \frac{P_x}{E} + \mu \frac{P_y}{E} \right] \dots\dots\dots (3)$$

münasebetleri mevcuttur. Bu denklemlerin istihraçları her klasik mukavemet kitabında vardır. İşte yeraltında, kayalar içinde basınç dağılışı bu üç denklemin tayin ettiği şekilde olur. Şimdi bazı hususi hallerde bu üç münasebetin ne şekil alacağını görelim:

1- Yeraltında hiçbir açıklık olmadığı zaman: $\delta_x - \delta_y = 0$ zira kayaların yanlara doğru (ox, oy eksenleri boyunca) "deformation" imkanı mevcut değildir. (1), (2), (3) No'lu denklemlerinde $\delta_x = 0, \delta_y = 0$ konursa:

$$P_x = P_y = P_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \text{ olur. } \dots\dots\dots (4)$$

2- $\overline{Oy}$ mihverine paralel bir galeri (ufki açıklık) açıldığına göre:



$\delta_x \neq 0$, $p_x = 0$, $\delta_y = 0$, $p \neq 0$, olur. Ve (1), (2) ve (3) No'lu denklemleri:

$$\delta_y = 0 = \frac{p_y}{E} - \left[\mu \frac{p_x}{E} + \mu \frac{p_z}{E} \right] =$$

$$= 0 = \frac{p_y}{E} + \mu \frac{p_z}{E}$$

$$\delta_z = \frac{p_z}{E} - \mu \frac{p_y}{E} \quad \text{ve buradan da:}$$

$$p_y = \mu p_z \dots\dots\dots (5)$$

$$\delta_z = \frac{p_z}{E} [1 - \mu^2] \dots\dots\dots (6)$$

çıkarılır.

3- $\overline{ox}$ ve $\overline{oy}$ eksenlerine paralel galeriler açıldıkça:

$$\delta_y = 0$$

$$\delta_x = 0$$

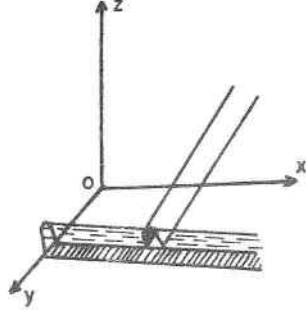
$$p_x = p_y = 0 \text{ olur.}$$

ve (1), (2) ve (3) No'lu denklemler

$$\delta_x = \delta_y = -\mu \frac{p_z}{E} \dots\dots\dots (7)$$

$$\delta_z = \frac{p_z}{E} \dots\dots\dots (8)$$

şeklinde basitleşir.



μ = Poisson emsalinin ve E elastik modülün tayini laboratuvar tecrübeleriyle yapılır. Bu hususları ayrı bir yazımızda göreceğiz.

B- ELASTİK LİMİT BERİSİNDE KAYALAR

1- Kayalarda "Compression" ve "Tension" (sıkışma ve gerilme)

Kayaları elastik bir materyal olarak kabul ettiğimizden, taşıyıcı "deformation" arasında Hook kanunu mevcuttur.

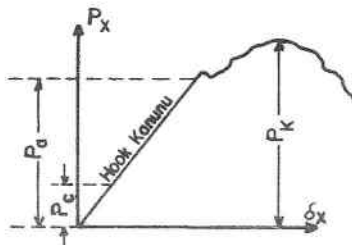
$$\delta_x = \frac{dl_x}{l_x} = \frac{P_x}{E} \dots\dots\dots (9)$$

Bir germe (tension) tecrübesinde:

p_k = kırılma "tension" u

p_e = numunenin elastik limiti

p_c = numunenin herhangi bir çalışma "tension" u (emin tension).



Yukarda vazettiğimiz tarifleri gördükten sonra: Emniyet emsali=
 $n = \frac{p_e}{p_\zeta}$ olduğu emniyet emsalinin tarifi icabındandır.

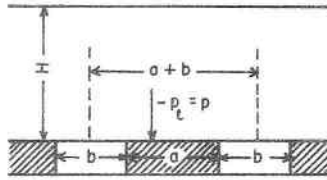
2- Tatbikat

a- Topuk hesapları

$$p_\zeta = \frac{p(a+b)}{a} = \frac{-p_z(a+b)}{a}$$

$$p_\zeta = \frac{0. H(a+b)}{a} \dots\dots\dots (10)$$

formülü bize $\frac{a}{b}$ nisbetini verir. b için alacağımız kıymet ise "kayalarda flexion" bahsinde görüleceği üzere en büyük emin açıklık hesap edilerek taayyün eder. Oradan a hesaplanır. p_ζ ise, bir n emniyet emsali alınarak $p_\zeta = \frac{p_e}{n}$ formülü ile hesaplanır. p_e ise laboratuvarlarda germe aletleri veya santrifüj makinesi ile tayin edilir.



İhtar:

Yukardaki topuk hesabında eğer cevherin kesilmeye olan mukavemeti diğer mukavemetlerinden daha küçükse, topuk genişliği kesilme formülü ile hesaplanır. Bu hususu "kayalarda kesilme" bahsinde göreceğiz.

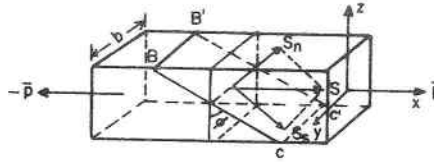
3- Kayalarda kesilme (cisaillement = sheering). Bir kenarı b uzunluğunda olan bir kare prizması alalım. Bu prizmaya iki ucundan bir eşit fakat aksi cihette p kuvvetini tatbik edelim. (Germe veya sıkıştırma) $\frac{p}{b^2} = S_z$ = prizmanın gerilmesi. $BB'C'C$, prizmanın mihveri ile ϕ açısını yapan bir herhangi düzlemle kesiti olsun. Aşağıdaki münasebetler kolayca çıkarılır:

$$p = \frac{Sb^2}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{p \cos \phi}{b^2} = \frac{p}{b^2} \cos \phi = S_x \cos \phi \quad \text{oradan da}$$

$$S_n = S \cos \phi = S_x \cos^2 \phi$$

$$S_x = S \sin \phi = S_x \cos \phi \cdot \sin \phi = S_x \sin 2 \phi$$



Şimdi S_n ve S_s kıymetlerinin ϕ açısı değıştiğı zaman alacakları azami kıymetleri bulalım.

$$(S_n)_{\max} = S_x \quad \phi=0 \text{ için}$$

$$(S_s)_{\max} = \frac{S_x}{2} \quad \phi=45^\circ \text{ için}$$

İşte burdan anlıyoruz ki, gerilme veya sıkışma altında kayalarda, bu gerilme veya sıkışma kuvveti istikametiyle 45° bir açı yapan bir düzlem içinde azami bir kesilme vukua gelir.

Eğer bir de S_y gerilmesi S_x ile beraber prizmaya tesir etse:

Aynı metodu kullanarak:

$$S_n = \frac{S_x + S_y}{2} + \frac{S_x - S_y}{2} \cos 2\phi$$

$$S_s = \frac{S_x - S_y}{2} \sin 2\phi \text{ olur. Bu kıymetlerin}$$

azamisi:

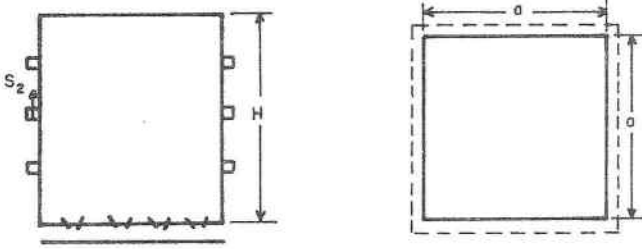
$$(S_n)_{\max} = S_x \quad \phi=0 \text{ için}$$

$$(S_s)_{\max} = \frac{S_x - S_y}{2} \quad \phi=45^\circ \text{ için}$$

4- Tatbikat: 1-(Block caving) kitle halinde cevheri göçertme Birleşik Amerika devletlerinde büyük mikyasta, az tenörlü cevherlerin istihsalinde kullanılan bu metot madencilik tarihinde büyük bir yeniliktir.

Prensip

Cevherin içinde öyle bir kitle çevresinde kesilmeyi kolaylaştıracak galeriler açarak kitleyi, kendi ağırlığı ile, bu çevre imtidadınca göçertmektedir. Kitlenin ebadı tamamille cevherin kesilme mukavemetine tabidir: Bizce bir kitlenin kolayca kesilip göçebilmesi için, o kitlenin kesilme mukavemetinin, ağırlığından az olması yani kesilme sathının kitle ağırlığına nispetinin asgari olması lazımdır. Bu şart kitlenin üstüvani olmasıyla temin edilir. Fakat pratikte galerileri dairevi yapmanın mahzurlu olması dolayısıyla biz kitleyi tabanı kare olan bir prizma şeklinde alacağız.



Bir kenarı a metre olan bu kare prizmasının kenar yüzleri boyunca kayması, yani:

H. $a^2 \cdot m \cdot g \geq 4a \cdot H \cdot S_z$ olması lazımdır. Burada S_z , cevherin z mihveri (şakuli ekzen) boyunca arzedeceği kesilme mukavemetidir. Bu münasebet bize a'yı tayin eder:

$$a \geq \frac{4 S_z}{m \cdot g}$$

İhtar:

Cevherin kesilme mukavemeti arttıkça "a" büyür. Hakikatte, bu prizma göçürülüp bitince diğer komşu prizmalara 3 kesilme yüzü kalır. O halde a kenarını:

$$a \geq \frac{3 S_z}{m \cdot g} \text{ almak en doğrusudur.}$$

Bir cevherin S_z kesilme mukavemeti laboratuvarında tayin edilir.

5- Kayalarda "Flexion":

Kayalarda Flexion, ancak bu kayalar tabakalar halinde oldukları zaman bahis mevzuu olabilir. Bilhassa kömür ocaklarında raslanan şist, gre ve konglomera tabakalarında, altlarındaki kömür

alınarak bir boşluk açıldığı zaman bu tabakalar içinde alt tarafta gerilme ve üst tarafta tazyik (sıkışma) görülür. Flexion bahsini iyice tetkik edebilmemiz için bu bahse yeni ve mücerret bir mefhum ithal ediyoruz:

N = mukavemet emsali. Bu emsalin tarifi şudur: Herhangi bir materyelden mamul bir kırıste, kirişin muayyen bir kalınlığı ve açıklığı için:

$$N = \frac{\text{Kirişin kırılma gerilmesi}}{\text{Kendi ağırlığından doğan gerilme}}$$

Burada N emsali, buutsuz, alelade bir adet olup daima $N > 0$ 'dır. (Materyal kırık olmadığına göre). Bu emsal bize materyali mukavemeti bakımından tanıtmaya yarar. Aynı açıklık ve kiriş kalınlığı için muhtelif materyeller için N muhteliftir.

N emsalinin bu muhtelif kıymetleri için aşağıdaki halleri görelim:

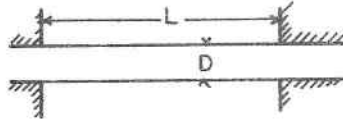
1- $0 < N < 1$ hal: kiriş o açıklıkta, sadece kendi ağırlığının doğurduğu tazyikle hemen göçecektir.

2- $1 < N < n$ (n - emniyet emsali) halinde, kiriş, o açıklıkta bir müddet durabilir, fakat bu duruş emin değildir ve kendi ağırlığı ile göçebilir.

3- $N \geq n$ halinde ise, kiriş o vaziyette, yalnız kendi ağırlığının tesiri altında uzun müddet emin olarak durur.

N = mukavemet emsalinin hesabı

D kalınlığında bir tabaka altında L açıklığında bir boşluk olduğunu düşünelim. Bu tabakanın üstünde hiçbir yük olmadığını ka-



bul edelim. (İlerde aksi haldeki vaziyeti göreceğiz). Bu halde, iki ucu "encastrement" bir kiriş vaziyetinde olup kendi ağırlığının doğurduğu gerilme:

$$S_a = \frac{WL^2}{2D^2} = \frac{GL^2}{2D} \dots\dots\dots (10)$$

burada:

S_k ile tabakanın kırılma gerilme tazyikini gösterirsek:

G = tabakanın hususi vezni gr/cm^3

S_a = kendi ağırlığından doğan kırılma gerilme Kg/cm^2

D = tabaka kalınlığı cm

W = kendi ağırlığının doğurduğu yük: Kg/cm

$$W = G \cdot D.$$

$$N = \frac{S_k}{S_a} = \frac{S_k}{\frac{WL^2}{2D^2}} = \frac{S_k}{\frac{GL^2}{2D}} = \frac{2D S_k}{L^2 G} \dots\dots\dots (11)$$

bulunur. Boşluk α derece meyilli ise:

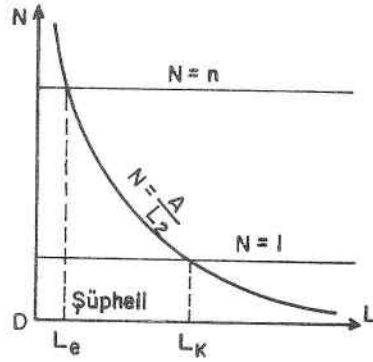
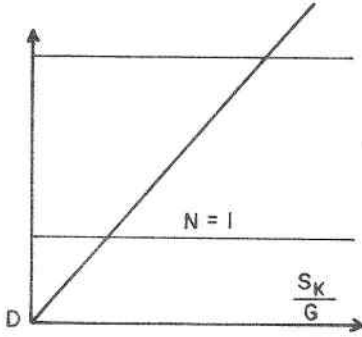
$$S_a = \frac{G \cdot L^2 \cos \alpha}{2D} \text{ olup}$$

$$N = \frac{2D \cdot S_k}{L^2 \cdot G \cdot \cos \alpha} \text{ olur.}$$

N emsalinin münakaşası:

$$N = \frac{2D S_k}{L^2 \cdot G} \text{ formülünde:}$$

1.inci hal $\frac{D}{L^2} = \text{sabit}$ tutulursa: $\frac{S_k}{G}$ mütehavvil olur. N emsali $\frac{S_k}{G}$ nin hattı bir tabii olur. G=sabit olursa (aynı kuvvet sahasında) N emsali S_k ile mütenasibe artar. S_k emsali ise o tabakadan alınan bir numune üzerinde bir germe veya "flexion" tecrübesiyle taayyün eder.



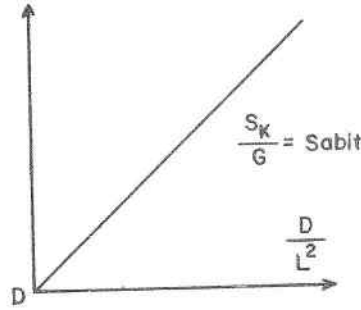
2.inci hal $\frac{D \cdot S_k}{G} = \text{sabit}$ A olsun. L = mütehavvil

$N = \frac{A}{L^2}$ olduğu görülür ki bu da üçüncü derecelik bir hiperboldur. $N = n$ olduğu zaman L_e = en büyük emin açıklık olur. $L_e < L < L_k$ şüpheli, L_k = kati kırılma açıklığı olduğu görülür. Burdan da: $N \geq n$ (=emniyet emsali) emin sahayı

$1 < N < n$ ise şüpheli sahayı

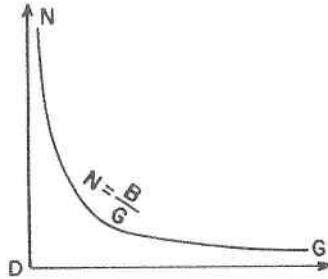
$N < 1$ ise kırılma sahasını gösterir.

3.üncü hal $\frac{S_k}{G} = \text{sabit}$, $\frac{D}{L^2}$ mütehavvil

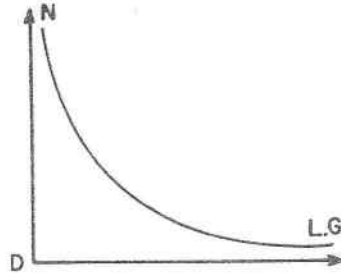


Aynı materyaller ve aynı kuvvet sahaları için de N emsali $\frac{D}{L^2}$ ile mütenasiben artar.

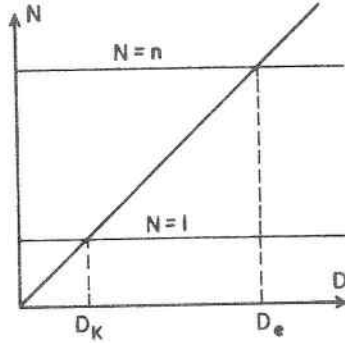
4 üncü hal $\frac{D \cdot S_k}{L^2} = \text{sabit} = B$, G mütehavvil. Bu vaziyet, ilerde göreceğimiz "centrifuge" makinesinde, şiddetli değişebilen bir kuvvet sahası için bahis mevzuudur. N emsali G ile ters orantılıdır (makusen mütenasip), ikinci dereceden bir hiperbolik tabiidir.



5 inci hal $\frac{L}{D} = \text{sabit}$ tutulup $\frac{S_k}{LG}$ mütehavvil olursa: (ilerde model ve prototip meselelerinde bahis mevzuu olacaktır). Burda aynı materyel için $S_k = \text{sabit}$ olduğundan N emsali L. G. ile ters orantılıdır.



6 ncı hal $\frac{2 S_k}{L^2 \cdot G} = \text{sabit}$ olup yalnız D mütehavvil olursa: N emsali D ile doğru orantılıdır. Burda, açıkça görülüyor ki, her verilen bir L açıklığına bir kırılma kalınlığı (aynı materyal aynı kuvvet sahasında) ve bir de emin kalınlık (sırasile D_k ve D_e) tekabül eder. Burda: $n = \frac{D_e}{D_k}$ olduğu kolayca görülür. Yukardaki muhtelif halleri gördükten sonra şu aşağıdaki mühim mefhumların tariflerini kolayca yaparız:



YALANCI TAVAN:

Gerek ayaklarda ve gerekse bacalarda, muttat bir açıklık için ($L = \text{sabit}$) N mukavemet emsali $n = \text{emniyet emsalinden}$ küçük olan ilk basit veya mürekkep tavan tabakasına yalancı tavan denir.

Yukardaki 6 ncı halde, yalancı tavan kalınlığı $= a < D_e$ olduğu aşikardır. D_e ise, aynı açıklık için yalancı tavan materyelinden

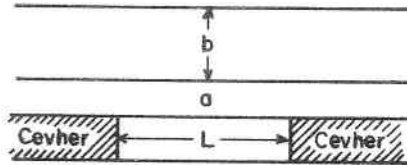
yapılmış muhayyel bir tabaka kalınlığıdır.

ANA TAVAN:

Yukardaki şartlar içinde $N \geq n$ olan her tabaka, mezkur L açıklığı için bir ana tavadır. Yalnız burda, açıklık üstünde hemence-cik bulunan ana tavan 1 No lu ve onun üstündekiler ise sıra ile 2, 3 m No'lu ana tavanlardır. Bir ana tavan boşluğun hemen üstünde olmayıp, yalancı bir tavan üstünde de olabilir.

BASİT TAVAN:

Verilen bir açıklık üstünde olup kendi üstündeki diğer tabakaların emniyet emsalinden daha küçük bir emniyet emsali olan bir tavan tabakasıdır yani: $N_a < N_b$ a ve b tabakaları aynı materyelden iseler, (gre, şist veya konglomera) $N_a < N_b$ demek $a < b$ demek olur.



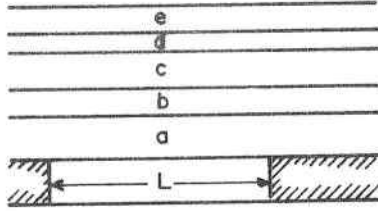
6 ıncı hal, N in münakaşası:

Eğer $N_a \geq n$ ise, bu tavan basit bir ana tavadır. Yok eğer $N_a < n$ ise, o zaman a tabakası basit bir yalancı tavan olur.

MÜREKKEP TAVAN:

Mürekkep tavanlar bir tabakadan fazla tabakaları ihtiva eder. Bunu iyice anlayabilmek için şu misali alalım: cevher içinde

L açıklığı, ve bunun üstünde de sırasıyla a, b, c, d, e, ... tabakaları mevcut olsun. Bu a, b, c, d, e, ... tabakaları muhtelif kalınlık ve cinsten olsunlar. Karşılıklı olarak N_a , N_b , N_c , N_d ve N_e mukavemet emsalleri, bu tabakaların L açıklığına göre mukavemet emsalleri olsunlar.



n de bizim seçtiğimiz bir emniyet emsali olsun. Eğer:

$$n < N_a < N_b < N_c < N_d < N_e \dots\dots\dots$$

ise, bu a, b, c ... d, e tabakaları mezkur L açıklığı için birer basit ana tavan olurlar. Eğer $N_a < n < N_b < N_c < N_d < N_e$ olursa a tabakası L açıklığı için bir yalancı tavan, b, c, d, e tabakaları da 1, 2, ve 4 No'lu ana tavan olurlar (basit ana tavan). Bir de:

$$N_a > n, N_b < n, n < N_c < N_d < N_e \dots\dots$$

olduğunu düşünelim. L açıklığı için a tabakası kendini kolayca taşır, fakat b tabakası bu açıklık için kırılır zira $N_b < n$ dir. O halde kırılan b tabakası da a tabakasına yüklenir. İşte a ve b tabakaları mürekkep bir tabaka teşkil ederler. Bu mürekkep tavanın en geniş emin açıklığı $L_{abc} > L$ ise bu mürekkep tavan L açıklığı için ilk mürekkep ana tavan olmuş olur.

Eğer: $N_a > n, N_b < N_c < n$ olursa ve $N_c < N_{ab}$ ise a, b ve c tabakaları bir mürekkep tavan teşkil ederler ve $L_{abc} > L$ ise bu mürekkep tavan L açıklığı için ilk mürekkep ana tavan, aksi halde

ilk mürekkep yalancı tavan olur. Bu muhakemeyi teşmil ederek birçok tabakalardan ibaret mürekkep tavanlar bulunur.

İKİ TABAKADAN MÜTEŞEKKİL MÜREKKEP TAVAN

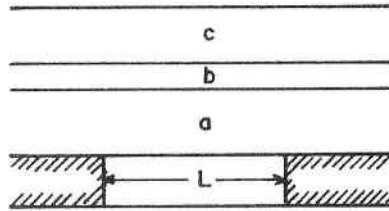
N_{ab} = a ve b tabakalarından müteşekkıl mürekkep tavanın mukavemet emsali olsun. Biz N_{ab} nin nasıl hesaplanacağını göreceğiz. Eğer,

$$N_c > N_{ab} > n > N_b \quad \text{ve} \quad N_a > n$$

olursa a ve b tabakaları L açıklığı için mürekkep ana tavan olur.

$N_c > n > N_{ab}$ olursa a ve b tabakalar L açıklığı için mürekkep yalancı tavan olur.

$(L_e)_{\max}$ = en büyük emin açıklığın hesabı: aradığımız $(L_e)_{\max}$ açıklığı için 1) $N_b < n$ olduğu için ve $N_a > n$ olduğundan a tabakası



kendi ağırlığını taşıyamayan b tabakasının, kısmen, yükünü taşır, bunun için de a ve b tabakalarında aynı deflection = sarkma olması lazımdır. 2) a ve b tabakaları, kendi kudretleri nispetinde, yani vahit enlilikteki maktalarının atalet vezniyetleriyle mütenasiben müşterek olan kendi ağırlıklarının yükünü taşırlar. Eğer bu iki tabakanın gerilme mukavemetleri aynı ise, yukardaki hususları şu denklemlerle ifade ederiz:

$$\delta = \frac{(L_e)_{\max}^4}{384 E_a} \frac{W_a + x_1}{I_a} = \frac{(L_e)_{\max}^4}{384 E_b} \frac{W_b - x_1}{I_b}$$

Eğer a ve b aynı gerilme mukavemetini haiz iseler, elastik modülleri de aynı olmak icabeder: $E_a = E_b$ ve

$$I_a = \frac{a^3 \cdot I}{12}$$

$$I_b = \frac{b^3 \cdot I}{12} \text{ olduğundan yukarıdaki denklem:}$$

$$\frac{W_a + x_1}{a^3} = \frac{W_b - x_1}{b^3} \text{ olur ve}$$

$$(L_e)_{\max} \sqrt{\frac{2a^2 S_e}{W_a + x_1}} = \sqrt{\frac{2b^2 S_e}{W_b - x_1}} \text{ olur (12)}$$

x_1 dediğimiz şey a tabakasının fazla olarak b tabakasının yükünden alıp kendi ağırlığının doğurduğu W_a yüküne ilave olarak taşıdığı kısmi yüküdür.

$\frac{W_a + x_1}{a^3} = \frac{W_b - x_1}{b^3}$ denkleminden x_1 hesaplanarak (12) denkleminde kıymeti yerine konursa $(L_e)_{\max}$ hesaplanır. (12) denkleminde:

S_e = a ve b tabakalarının emin gerilme tazyiki.

δ = müşterek sarkmaları

W_a = G. a.

a = a tabakasının kalınlığı

W_b = G. b.

b = b tabakasının kalınlığı.

İKİDEN FAZLA TABAKALARDAN MÜTEŞEKKİL MÜREKKEP TAVAN

Verilen bir L açıklığı için:

$$N_a > N_b$$

$$N_{ab} > N_c$$

$$N_{abc} > N_d$$

$$N_{abcd} > N_e$$

$$N_{abcde} > N_f$$

$\vdots$

$N_{ab...l} > N_m$ olursa bu m adet tabakalar heyeti bir mürekkep

tavan olur. $N_a > N_b > n$ olursa bu mürekkep tavan L açıklığı için aynı zamanda bir ana tavan da olmuş olur. $m=2$ için yukardaki iki tabakalı mürekkep tavan hali elde edilir.



Yukardaki gayri müsavat bize, riyazi olarak, her tabakanın, altındaki tabakalardan müteşekkıl mürekkep tavandan daha az mukavim olup ona yük olduğunu ifade eder.

$(L_e)_{\max}$ = en büyük emîn açıklığın hesabı aşağıdaki esasları riyazi olarak ifade edeceğiz:

1- Bu tabakalardan, kuvvetli olanlar zayıf olan tabakalara yardım edeceklerdir. Bu yardım her tabakanın maktalarının atalet vezniyetleriyle mütenasip yük yüklemekle yapılacaktır.

2- Bu tabakalar, daima temasta kalabilmeleri için aynı sarkmayı haiz olacaklardır.

3- En büyük emin açıklık, bu tabakalardan herhangi birine göre hesaplanacaktır.

Şimdi biz: $W_a, W_b, W_c, \dots, W_l, W_m$ bu tabakaların mütekabil kendi ağırlık yükleri, $I_a, I_b, I_c, \dots, I_l, I_m$ kıymetleri ise bu tabakaların taşıma mecbur tutuldukları yükleri olsun:

$$\delta = \frac{I_a (L_e)_{\max}^4}{384 E_a I_a} = \frac{I_b (L_e)_{\max}^4}{384 E_b I_b} = \frac{I_c (L_e)_{\max}^4}{384 E_c I_c} = \dots =$$

$$\frac{I_l (L_e)_{\max}^4}{384 E_l I_l} = \frac{I_m (L_e)_{\max}^4}{384 E_m I_m}$$

Bu tabakaların elastik modüllerini aynı kabul edersek:

$E_a = E_b = E_c = \dots = E_l = E_m$ olur ve yukardaki denklemler:

$$\frac{I_a}{I_a} = \frac{I_b}{I_b} = \frac{I_c}{I_c} = \dots = \frac{I_l}{I_l} = \frac{I_m}{I_m}$$

olur. Diğer taraftan yükler toplamı sabit olduğundan:

$$W_a + W_b + W_c + \dots + W_l + W_m =$$

$$= \sum_{i=a}^{i=m} W_i = \sum_{i=a}^{i=m} I_i = W \text{ olur.}$$

Buradan

$$I_c = \frac{I_a I_c}{I_a}, I_b = \frac{I_a I_b}{I_a}, \dots$$

$$I_l = \frac{I_a I_l}{I_a}, I_m = \frac{I_a I_m}{I_a} \text{ çıkarılır.}$$

Diğer taraftan:

$$I_a = W - I_b - I_c - \dots - I_l - I_m =$$

$$= \frac{W I_a - I_a I_b - I_a I_c - \dots - I_a I_l - I_a I_m}{I_a}$$

$$I_a = \frac{W_a}{a^3 + b^3 + c^3 + \dots + l^3 + m^3} \text{ olur. Zira}$$

$$I_a = \frac{a^3}{12}, \quad I_b = \frac{b^3}{12} \dots$$

Bu şekilde:

$$I_a = \frac{W_a^3}{\sum_{a=a}^{a=m} a^3}$$

$$I_b = \frac{W_b^3}{\sum_{a=a}^{a=m} a^3}$$

$$I_c = \frac{W_c^3}{\sum_{a=a}^{a=m} a^3}$$

$$\vdots$$

$$I_l = \frac{W_l^3}{\sum_{a=a}^{a=m} a^3}$$

$$I_m = \frac{W_m^3}{\sum_{a=a}^{a=m} a^3} \text{ olur.}$$

Diğer taraftan:

$$(L_e)_{\max} = \sqrt{\frac{2^2 a^2 S_e}{W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b)}} \text{ olur.}$$

Burda:

$$\begin{aligned} & \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b) = (W_b - I_b) + (W_c - I_c) + \\ & \dots + (W_1 - I_1) + (W_m - I_m) \end{aligned}$$

olup diğer tabakaların alttaki en mukavim a tabakasına yüklendikleri kısmi yükleridir.

Kaide: Herhangi bir açıklık üstündeki tabakaların jeolojikmakta verildiği zaman alttan üste doğru: $a > b > c > \dots > l > m$ şartını tahkik eden her m tabaka bir mürekkep tavan teşkil eder.

Mürekkep tavanlarda N mukavemet emsalinin hesabı: Bu hesabı kolaylaştırmak için aşağıdaki tarifi yapacağız:

Muadil basit tavan: Bir mürekkep tavan heyetine muadil o tavanların vasati terkiibini haiz öyle bir tavandır ki, en büyük emin açıklığı, mezkur mürekkep tavanın en büyük emin açıklığına müsavi olur.

Yani:

$$\begin{aligned} (L_e)_{\max} &= \sqrt{\frac{2 a^2 S_e}{W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b)}} = \\ &= \sqrt{\frac{2 x^2 S_e}{Gx}} = \sqrt{\frac{2 x S_e}{G}} \end{aligned}$$

Burda x = muadil tavan kalınlığı kolaylıkla hesap edilir:

$$\begin{aligned} x &= \frac{2 a^2 S_e G}{2 S_e W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b)} = \\ &= \frac{G^2 a^2}{W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b)} \text{ olur.} \end{aligned}$$

$N_{abc...lm}$ = mürekkep tavanın mukavemet emsaline gelince:

$$N_{abc...lm} = \frac{2 \times S_k}{(L_e)_{\max}^2 G} =$$

$$= \frac{2 G_a^2 n S_e}{\left[W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b) \right] (L_e)_{\max}^2 G}$$

en nihayet:

$$N_{abc...lm} = \frac{2 a^2 n S_e}{\left[W_a + \sum_{b=b}^{b=m} (W_b - I_b) \right] (L_e)_{\max}^2}$$

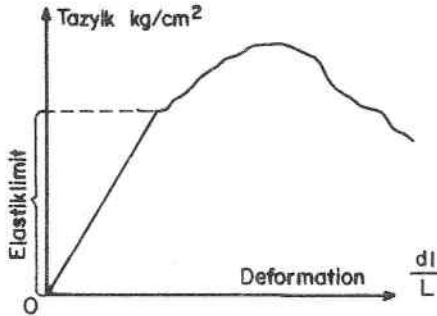
olur.

İhtar: Muadil tavan mefhumu, ilerde, modellerle mürekkep tavan üzerine tecrübe yapacağımız zaman bize çok yarıyacaktır.

Elastik Limitin Ötesinde Kayalar

Kilin mayi ve plastik halleri istisna edilirse diğer sahreler aşağı yukarı birer elastiki materyel olarak kabul edilmişti. Yumuşak sist veya plastik halde bir kil tabakası, üstündeki sabit bir tazyike rağmen mütemadiyen deforme olmaktadır. Biz bu olaya Plastiklik diyoruz. Kilin ve toprağın plastikleşmesine sebep de "bipolaire" dediğimiz bir mayii ihtiva etmelerindendir. Su, iki pollu bir mayi olup içinde bulunduğu kil veya toprağı plastikleştirir. Buna mukabil $C Cl_4$ mayii iki pollu olmadığından kili veya toprağı plastikleştirmez.

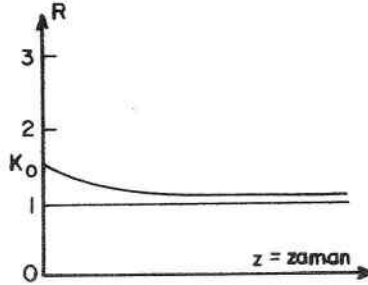
Elastik dediğimiz kayalar acaba elastik limitin ötesinde nasıl dururlar? Bunu yakından görelim: Bir cer tecrübesinde, gerilme, elastik limitin ötesine geçtiğinde, elastiki materyel adeta plastikleşir. Aynı şekilde, daha yeni demarraj yapmış bir ayağın alını



ilerledikçe arkada kalan havelerin üstündeki tavan yavaş yavaş sarkacak ve bu tavan içindeki kendi ağırlığından mütevellit gerilme, tavanı teşkil eden kayanın elastik limitini geçince yani $N < 1$ olunca (N =mukavemet emsali) tavan birden, fazla sarkarak kırılıp düşecektir.

Kayalar göçtükten sonra teşkil ettikleri kalınlık, ihtiva ettikleri fazla parça arası boşluklarından ötürü kırılmadan önceki kalınlığından büyüktür. Bunu biz $K = \frac{D_k}{D_s}$ ile ifade ederiz. $K > 1$ olup kıymeti, kayanın tabaka kalınlığına, cinsine, içindeki bölüm satırlarının kesafet ve istikametine tabidir.

Yalnız göçen kaya tabakası, mukavemetine göre, göçtükten sonra, üstündeki tabakaların tazyiki altında kırılarak boşlukları yavaş yavaş dolar ve "K" emsali de vahit kıymetine doğru yaklaşır:



Bu keyfiyeti biz aşağıdaki grafikte gösterebiliriz. Kayanın kırılması anında zaman = 0 olsun ve $K = K_0$ olsun. ($K = \text{foisonnement emsali}$). O halde $K = f(t)$ dir yani K zamanın bir tabiidir. (K) emsalinin vahit hattına çabuk veya geç yaklaşması, kaya parçalarının "compression" ın mukavemetinin az veya çok olmasına tabidir. Neticede, az veya çok, bir zaman sonra boşluklar kapanacak ve $K = 1$ olacaktır. Bu suretle, göçen bu kaya tabakasının üstündeki diğer tabakalar yavaş yavaş oturacaklardır. "Foudroyage" veya "caving" denilen ramb-leyaj usulü bu esaslara dayanmaktadır.

Birbirlerine yakın olan damarlarda, bu göçertme usulü ile alttaki damarın önceden alınması, üstteki damarın tabanını ve dolayısıyla tavanını bozacağından, evvela üstteki damarın alınması ve

muayyen bir zaman sonra alt damarın alınması en muvafık bir çalışma tarzı olur.

T a t b i k a t

I- UZUN AYAKLARDA GÖÇERTME

1- Ayak ilerlerken tavan vaziyetinin tetkiki ve kontrolü:

Umumi Hal:

a = Yalancı tavan

b = 1 No.lu ana tavan

c = 2 No.lu ana tavan

olsun. Bu tavanların her birisi basit veya mürekkep birer tavandırılar.

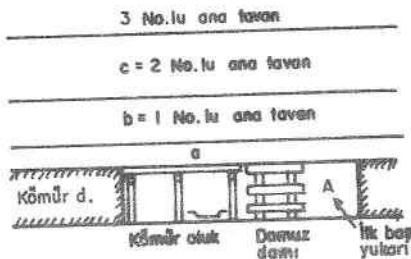
d = Kömür damarının kalınlığı olsun. K_a , K_b , K_c emsalleri de, karşılıklı olarak a, b ve c tabakalarının, kırıldıkları zaman haiz olacakları "foisonnement" emsalleri olsun. Burada şu ihtimaller mevcuttur:

A- $aXK_a + bXK_b + cXK_c - (a + b + c) < d$

B- $aXK_a + bXK_b + cXK_c - (a + b + c) \leq d$,

C- $aXK_a + bXK_b - (a + b) \geq d$,

D- $aXK_a - a \geq d$



Bunlardan birinci ihtimal, bu ayağın arkası göçürülürken 3 No.lu ana tavanın bile kırılmaya maruz olduğunu gösterir.

İkinci ihtimal ise 3 No.lu ana tavanın sağlam kalacağını ve 2 No.lu ana tavanın kırılabileceğini,

Üçüncü ihtimal ise 2 No.lu ana tavanın sağlam kalacağını ve 1 No.lu ana tavanın kırılabileceğini,

Dördüncü ihtimal ise 1 No.lu ana tavanın sağlam kalacağını ve yalancı tavanın ayak arkasını doldurmaya yettiğini gösterir.

II- GÖÇERTME USULONDE EN UYGUN İŞLETME USULONUN SEÇİLMESİ

Yukarda tavan hususiyetlerine göre göçertmede kullanılacak en uygun (en emin ve ekonomik) bir işletme usulü seçelim: Prensibimiz şu olacaktır: ana tavanların, ayak ilerlemesinden ötürü, muhakkak kırılacağı yerlerde "Rabatan", kırılmayacağı yerlerde ise "Şasan" uzun ayak sistemi kabul edilecektir. Oda ve topuk usulünün tetkiki sonradan yapılacaktır.

O halde yukardaki A, B, C ve D ihtimallerinin izahına bakılırsa görülür ki yalnız D ihtimalinde yani:

$$a \times K_a + b \times K_b - (a + b) < d$$

$$a \times K_a - a < d$$

$$a \times K_a - a \geq d \text{ olduğu zaman Şasan ayak tatbik edilebilir.}$$

Zira ana tavanların hiçbirisi kırılmamakta ve bu suretle kılavuzların tamiri ucuz ve vaziyeti emin bulunmaktadır.

Diğer ihtimallerde ise Rabatan ayak tatbik edilmesi icabet-
mektedir.

III- UZUN AYAKLARDA TAHKİMAT

A- Yalancı tavan tahkimatı

a Yalancı tavanı tarifi icabı, iki have açıklığında kendi
ağırlığına dayanamayacağı için onu her have açıklığında bir sarma
çatal direk tahkimatı ile takviye ederiz. Tek have açıklığında bile
kendini tutamıyan yalancı tavanlar sık kamalarla takviye edilmeye
muhtaçtırlar. O halde şu iki neticeye varıyoruz:

I- İki have boyunca yalancı tavanın bütün ağırlığı üç sarma
ve dolayısıyla bu üç sarma altındaki çatal direklere ve onlar va-
sıtasıyla tabana dayanmaktadır. O halde yalancı tavan kalın oldukça
sarma ve çatal direkler kalın olmalıdır.

II- Yalancı tavan çürük ve akıcı olduğu nispette kamalar sık
olmalıdır, hatta icabederse bu kamaların arasına çalı demetleri bile
konur.

B- Ana tavan tahkimatı

Tarifi icabı, oluk ve kömür haveleri boyunca kendini tutabi-
len ana tavan oluk havesi yanında tahkim edilmeğe muhtaçtır. Biz bu-
nu domuz damı dediğimiz tahkimat ile yapıyoruz. Bir domuz damına
gelen yük o halde:

2 i eninde ve 2 i boyunda bir 1 No.lu ana tavan yükü, i eninde
ve 2 i boyunda bir yalancı tavan yükü. Hepsî bu kadar. Zira:

$K_a \times a + K_b \times b - (a+b) \gg d$ farzedilmiştir. Diğer ihtimallerde, kırılan bütün ana tavanlar nazarı itibara alınacaktır. Vahit satha gelen kuvvet $P \text{ kg/cm}^2$ olsun. Damarın meyli α olsun. Bu yüklerin $\cos \alpha$ lı olan mürekkipleri domuz damını "compression" a ve $\sin \alpha$ lı olan mürekkipleri ise domuz damlarını kaydırmaya çalıştırır.

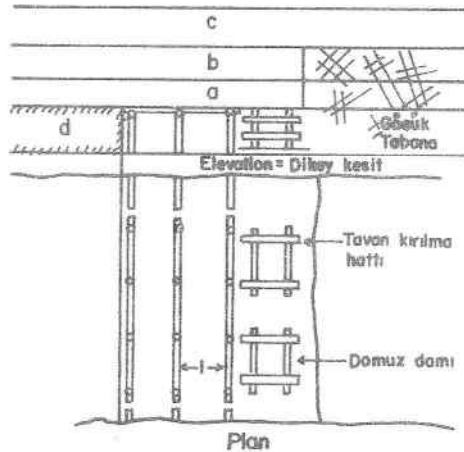
1- $P \cos \alpha$ kuvvetine karşı kullanılan domuz damı direklerinin genişliği Δ ise ve bu direklerin emin kompresyon mukavemeti S ise:

$$P \cos \alpha \leq 4 \Delta^2 S \text{ olması icabeder.}$$

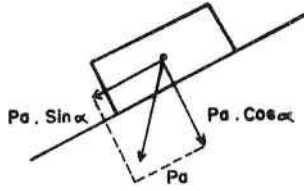
Buradan

$$\Delta \geq \sqrt{\frac{P \cos \alpha}{4 S}} \text{ domuz dam direğinin eni hesaplanır.}$$

İhtar: Bir domuz damı, compression'a çalışan ve maktayı Δ^2 olan dört direğe muadildir. Bunun için tavana (yalancı veya ana) domuz damların batmaması lazımdır. Bunun için domuz dam direğinin Δ eni çok, yani yassı olması lazımdır.



2- $P \sin \alpha$, kaydıran kuvvete karşı:



γ = domuz dam direği ile taban arasındaki sürtünme emsali olduğuna göre:

$P \cos \alpha \cdot \gamma$ veya

$P \cos \alpha \cdot 2 \Delta \cdot i \cdot \gamma > P \sin \alpha$ veya

$2 \Delta \cdot i \cdot \gamma > \tan \alpha$ olması icabeder.

İhtar: Meyli büyük olan damarlarda bu son şart tahakkuk edemediğinden domuz damı kullanılamaz. Onun için rambleyaj yapılır.

Domuz dam direklerinin: 2x2 konmasında 4 direk muadili

2x3 " 6 direk muadili

3x3 " 9 direk muadili

Birer domuz damı elde edilir: Buna mukabil:

2 x 2 vaziyetine göre 2 x 3 te %25

3 x 3 te ise %50

bir direk fazlalığı vardır. Yani bu son iki tipte domuz damın mukavemeti, kullanılan direk miktarından daha fazla olarak artmaktadır. Bu da, birden fazla ana tavanı kırılan ayağı kırılan bir tek ana tavanı çok kalın olan ayaklarda kullanılması tavsiye edilmeğe değer.

IV- UZUN AYAKLARDA ANA TAVAN DÜŞMESİNDE PERYODİSİTE

Altında yalancı tavanı olmıyan veyahut $a \times K_a$ - $a < d$ olan bir damar olsun.

Ana tavadaki gerilme tazyiki N mukavemet emsali ile ters orantılı olup:

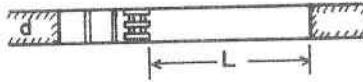
$$N = \frac{2 D \cdot E}{L^2 G}$$

formülünde görüldüğü gibi L büyüdükçe, yani kömür havesi ilk baş yukarıdan ileriye doğru açıldıkça N küçülür ve tavan tazyiki artar.

N=1 olunca bu ana tavan kırılır. L_1 açıklığı bu N=1 e ait açıklık olsun.

Bu L_1 açıklığına bu tavanın kırılma açıklığı deriz.

c = 2 No.lu ana tavan
D = b olacak b = 1 No.lu ana tavan
a = Yalancı tavan



Eğer $b \times K_b + a \times K_a - (a+b) \geq d$ olursa

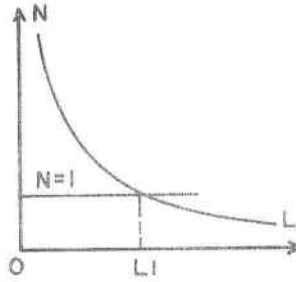
c = 2 No.lu ana tavan hiçbir vakit kırılmıyacaktır.

Eğer $b \times K_b + a \times K_a - (a+b) < d$ ise o zaman:

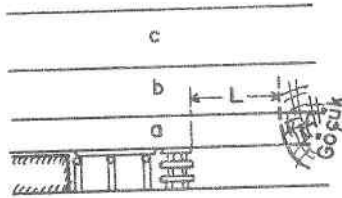
D = c yapılarak N=1 için $L=L_2$ olur. İşte bu L_2 kıymeti 2 No.lu ana tavanın kırılma açıklığıdır.

Bu ana tavanlar bir defa kırıldıktan sonra artık alın taraf kenetli (arcanstré) bir kiriş gibi çalışırlar, ve her muayyen bir L açıklığı için kırılırlar. İşte bu hadise ana tavan düşmesindeki "periyodisite" dir.

2 No. Ana tavan da kırılırsa o zaman onun da kendine ait bir kırılma peryodu olup altındaki 1 No.lu ana tavanın kırılmasında da amil olabilir.



Umumiyetle bir ayak tavanının değişen bir takım tazyiklere maruz kalışına: ayak basması diyoruz. Tavanlarının bünye ve kalınlığı malum olan bir ayağın tavanlarının L_1 ve L_2 kırılma açıklıkları yukardaki formülle hesaplanabildiği gibi tecrübi olarak da tesbit edilebilir.

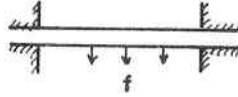


Kayaların Mukavemetlerinin Tayini

A- SANTRİFÜJ MAKİNE

1- Santrifüj Makinede "Flexion" Tecrübesi

Şiddetini değiştirebileceğimiz bir kuvvet sahası düşünelim ve bu saha dahilinde, mukavemetini ölçmek istediğimiz materyelden bir model-kiriş'i, muayyen bir açıklık ve kalınlığı haiz olmak üzere, it-hal edelim. Bu kirişin sabit uzunluktaki kısmının kitlesi "m" ise:



$$f = m \cdot \gamma \quad \text{olur.}$$

Burada f vahit uzunluğa tesir eden kuvvet, γ ise, bu kuvvet sahasının o andaki akselerasyonudur.

Şimdi bu f kuvvetini, bir santrifüj kuvvet olarak düşünelim ve bunu da iki tarafı tevzin edilmiş bu ucu kıvrık profilin, ortasından geçen şakuli bir mihver etrafında döndürülmesiyle elde edelim.

Model kiriş'in vaziyeti, dönüş mihverine muvazi, yani şakuli olsun.

0 halde:

$$f = m \omega^2 r \quad \text{olur.}$$

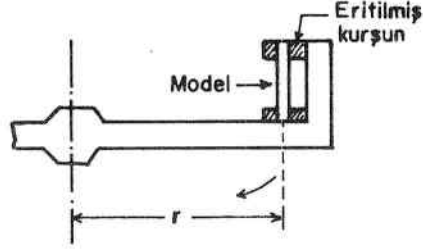
Burada:

$$f = \text{model-kiriş'in vahit uzunluğu üzerine tesir eden kuvvet}$$

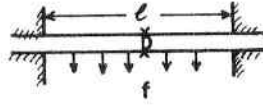
m = model-kiriş'in vahit uzunluğunun kitlesi

ω dönüşün açısal hızı

r = model-kiriş'in dönüş mihverine olan mesafesidir;



Model-kiriş eritilmiş kurşun ile, makinenin dönen kolunun bir tarafına "encastéré" olarak, şekilde görüldüğü üzere tesbit edilmiştir. İki ucu "encastéré" bir kiriş'te gerilme tazyiki



$$S = \frac{M}{I/v} = \frac{f I^2}{2 D^2}$$

$$\text{Diğer taraftan, } f = m \omega^2 r = m(2\pi N)^2 r = m 4 \pi^2 N^2 r$$

$$\text{olduğundan: } S = \frac{4 \pi^2 m N^2 r I^2}{2 D^2} \text{ olur.}$$

Model-kiriş'in hususi kitlesi m_1 ile gösterilirse ve kalınlığı D ise:

$$m = D \cdot m_1 \text{ ve}$$

$$S = \frac{4 \pi^2 m_1 N^2 r I^2}{2 D} \text{ olur.}$$

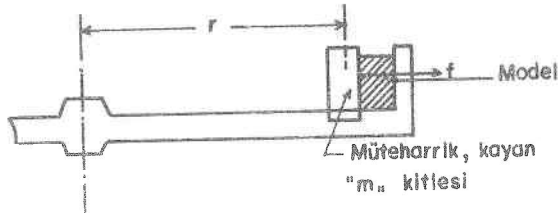
Verilmiş bir model-kiriş için m_1 , D ve I sabittir, ve eldeki bir santrifüjde " r " sabit olduğundan:

$$S = K N^2 \text{ olur,}$$

N , dönüşün saniyedeki adedidir. Diğer taraftan, bir elektrik motoru ile döndürülen cihazın dönüş hızı, motorün harcadığı amperaja tabidir. Ampermetre taksimatı bize N yi verir. Oradan da S bulunur.

Stroboskopik bir aydınlatma sistemi ile model-kiriş, daimi bir müşahade altında tutulabilmekte ve fotoğrafı alınabilmektedir.

Santrifüj makinenin bir krokisini aşağıda görüyoruz. Motor, bir demeraj mukavemeti ile yavaş yavaş hızlandırılır. Her hız arttırılmasından sonra, modele bir deformasyon vakti bırakılır ve ondan sonra daha yüksek bir hıza geçilir.



2- Santrifüj Makine ile "Compression" Tecrübesi

Model, devvar kol ile müteharrik ve serbestçe kayan bir m kitlesi arasına konmuştur. Bu, müteharrik m kitlesi üstüne kaydığı kola kenetlidir. Bu kitlenin model üzerine tesir ettireceği santrifüj kuvvet f ise:

$$f = m \omega^2 r = 4 \pi^2 N^2 m r \text{ olur.}$$

N = saniyede devir adedi.

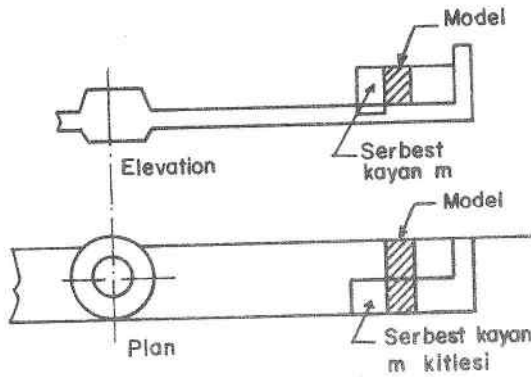
Verilen bir makine için: m, r sabit olduğuna göre:

$$f = A N^2 \text{ olur } (A = 4 \pi^2 m r)$$

Modelin bu kuvvete arzettiği satha "S" dersek:

$$S_c = \text{compression tazyiki} \approx \frac{f}{s}$$

$$\frac{4 \pi^2 m r N^2}{s} \text{ olur.}$$



3- Santrifüj Makine ile "Cisaillement" Tecrübesi

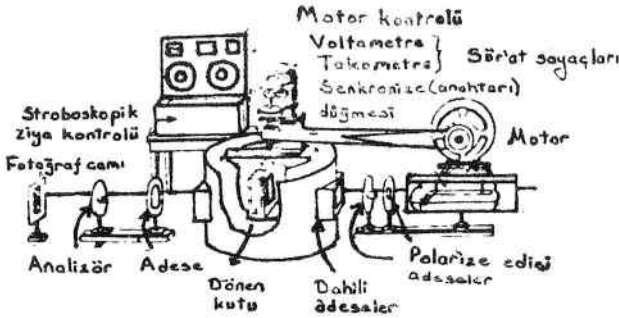
Aynı prensiplere dayanarak:

$$S_z = \frac{f}{s} = \frac{4 \pi^2 m r N^2}{s} \text{ olur.}$$

Bu suretle görüyoruz ki, bu makine ile, her hangi bir materiyelin muhtelif kırılma mukavemetlerini tayin edebileceğiz.

Dönen kolun bir tarafına model konurken diğer tarafı da mukabil ağırlıklara tevizin edilmektedir,

Aşağıdaki kroki bize bir santrifüj makine ile ona eklenmiş bir foto elastisite cihazını göstermektedir.



BAZI KAYAÇ TÜRLERİ İÇİN BASINÇ-ÇEKME DAYANIM DEĞERLERİ İLE İSTATİSTİKSEL BÜYÜKLÜKLERİ ARASINDA ÇIKARTILAN İLİŞKİLER

Ergin ARIÖĞLU (*)

Nuray TOKGÖZ

1. GİRİŞ

Mühendislik yapılarının gerçekçi, güvenilir ve ekonomik olarak tasarlanabilmeleri için tasarım büyüklükleri arasında diğerlerine (geometrik boyutlar) kıyasla dağılımları çok daha az kontrol edilebilen kayaç malzemelerine ilişkin jeo-mekanik büyüklükler; (basınç, çekme dirençleri, kohezyon, içsel sürtünme açısı vb.), "toplum değerleri"ni önceden belirlenen hata miktarları içinde kalacak şekilde temsil etmeleri gerekmektedir. Daha açık bir anlatımla, tasarımda kullanılacak jeo-mekanik büyüklükler çalışılan projenin özelliklerine göre kabul edilen presizyon sınırları içinde bulunmalıdırlar. Uygulamada, laboratuvar ve saha çalışmalarından elde edilen verilerin "İstatistiksel Büyüklükleri" (dağılım aralığı, standart sapma, standart hata, değişkenlik katsayısı, ortalamanın alt ve üst sınırları) belirlenmek suretiyle söz konusu sonuçların "toplum değerleri"ni temsil edip etmedikleri özenle tahkik edilirler.

Bu çalışmada; basınç ve çekme dirençlerine ait istatistiksel büyüklükler (standart sapma, standart hata, değişkenlik katsayısı) ile dayanım değerleri arasında yapılan regrasyon analizlerinin sonuçları verilmiştir. Böylelikle ortalama direnç büyüklüklerinin ve numune boyutlarının belirlediği hacmin ve numune sayısının "İstatistiksel büyüklükler" üzerindeki etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. (Araştırma kapsamında kullanılan direnç değerleri ve bunlara ait "İstatistiksel büyüklükler" (Standart sapma ve değişkenlik katsayısı [1,2,3,4,5,6,7,8] kaynaklarından alınmıştır) .

(*)Prof.Dr.Müh. Öğretim Üyesi-İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Ayazağa/İstanbul

2. İSTATİSTİKSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI

2.1. Bazı Kayaç Türlerine Alt Basınç Direnci Değerleri İle Standart Sapmaları Arasında İstatistiksel İlişki

Söz konusu büyüklükler arasında:

$$S = A \sigma_b + B \quad \dots \dots \dots (1)$$

ile ifade edilen regresyon doğrusu çıkartılmıştır.

$B = 6.05 \text{ kg/cm}^2$ değerinin küçük bir değerde olduğu gözönünde tutulursa ifade

$$S = A \sigma_b$$

şeklinde yazılabilir. Dikkat edileceği üzere doğrunun eğimi "A" olup, bu değer bir anlamda "değişkenlik katsayısı"na(*) eşdeğerdir. 8 farklı kayaçtan ve birbirinden farklı özen düzeylerinde çalışan laboratuvarlarda elde edilen verilerin değişkenlik katsayısı $V=0.12$ (%12)'dir. Diğer kelimelerle, 36 adet deneysel verinin ortalama değişkenlik katsayısı % 12 mertebesinde dir.

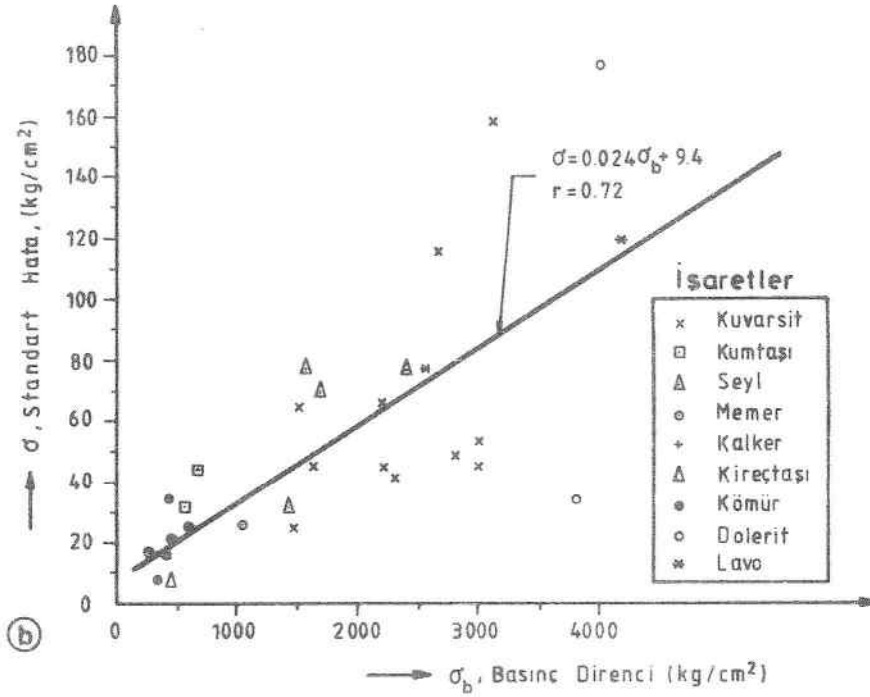
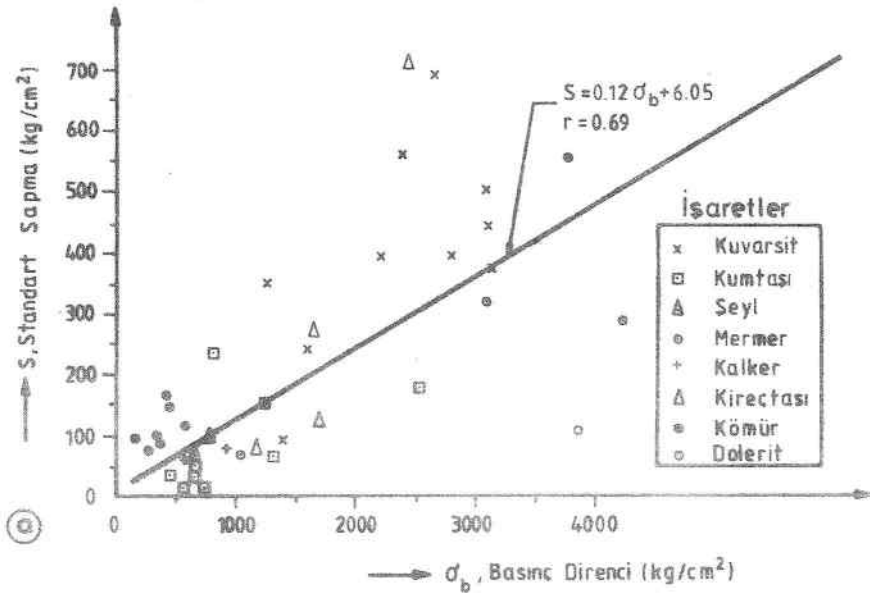
Sembollerin anlamları ekte topluca açıklanmıştır. Regresyon analizlerinde kullanılan data sayısı $n=36$, belirlenen korelasyon katsayısı $r=0.69$ ve 0.001 anlamlılık düzeyi için "student sayısı" $t=5.87$ hesaplanmıştır. $t=5.87 > t_{n-1=35, 0.001}=3.291$ olduğundan, iki rastgele değişken (ortalama basınç direnci-standart sapma) arasında kurulan regresyon ifadesi "çok ileri düzeyde" anlamlıdır. Başka bir anlatımla, artan "standart sapma" ile ortalama basınç direnci de lineer bir şekilde artmaktadır. Benzer değişimler laboratuvar da değişik (su/çimento) oranlarında üretilen beton [9] ve çeşitli anhidrit [10]

(*) Deneylere alt değişkenlik katsayısı ile ortalama basınç dirençleri arasında "anlamlı" sayılabilecek bir ilişki elde edilmemiştir. Bu sonuç ise yukarıda belirli bir kabul altında ileriye sürülen $A=S/\sigma_b$ ifadesini geçerli kılmaktadır.[9,10]

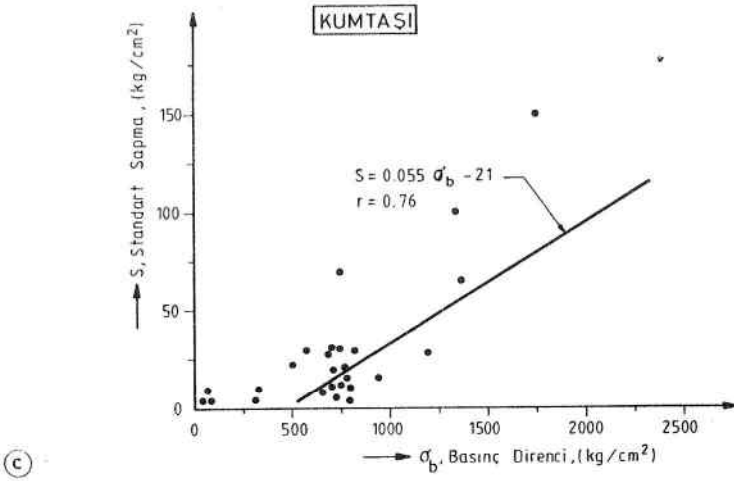
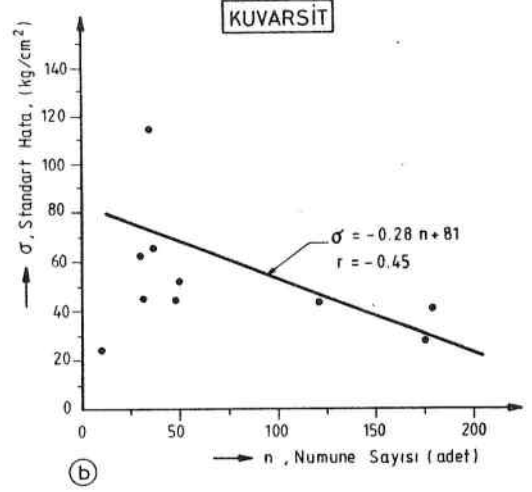
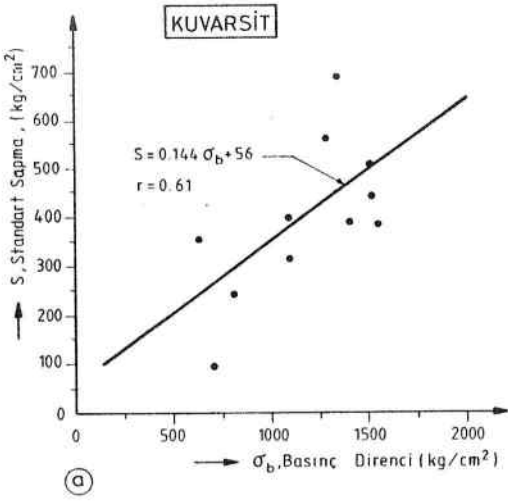
karışımları içinde rapor edilmiştir. Bu tür malzemeler kayalara kıyasla daha homojen yapıda olmaları nedeniyle (basınç direnci-standart sapma) arasında çıkartılan bağıntıların korelasyon katsayıları ($r > 0.80$) daha yüksektirler. Öte yandan, şantiye bazında üretilen beton karışımlarında ilginçtir ki $0-350 \text{ kg/cm}^2$ direnç aralığında (basınç direnci-standart sapma) doğrusal olarak artar iken yaklaşık olarak 350 kg/cm^2 'den daha büyük direnç değerlerinde ise standart sapma pratik olarak değişmemektedir. ($S = 50-70 \text{ kg/cm}^2$) [11]

Uygulamalı istatistikte kullanılan diğer bir dağılım parametresi de "standart hata" olup, bu büyüklük ile ortalama basınç direnci değerleri arasında çıkartılan regresyon ifadesi Şekil 1-b'de çizilmiştir. Keza, yukarıda verilen değerler ve $r=0.72$ için hesaplanan student sayısı $t=5.77 > t_{35,0.001}=3.291$ bulunduğundan iki rastgele değişken arasında güçlü bir ilişki sözkonusudur.

Analizde "kayaç" bazında benzer değişimin olup olmadığı keza araştırılmıştır ve elde edilen regresyon ifadeleri ise Şekil-2'de topluca belirtilmiştir. Görüldüğü üzere kayaç bazında da (basınç direnci - standart sapma) arasında benzer modda bir değişim sözkonusudur ($t=6.05 > t_{n-1}=25,0.001=3.725$). İlginçtir ki Kumtaşı için çıkartılan ifadenin korelasyon katsayısı ($r=0.76$) verilen diğer değişimlerin korelasyon katsayısından biraz daha yüksektir. (Şekil 1.a-Şekil 2.a) Bu sonuç, büyük ölçüde kumtaşının malzeme yapısının daha "homojen" olması ile açıklanabilir. Nitekim, Zonguldak Havzasındaki kumtaşı formasyonundan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı çalışmanın [8] standart sapma ve ortalama basınç direnç değerleri ayrıca değerlendirildiğinde $S=0.052\sigma_p-35$, $r=0.79$ regresyon ifadesi belirlenmiştir. 0.001 anlamlılık düzeyi için $t=4.095 > t=3.106$, "ileri düzeyde" anlamlı bir ilişkiyi göstermektedir. İlginçtir ki, oldukça uniform yapı arzeden tek tür bir kayaç için çıkartılan doğrunun eğimi azaltmaktadır. Daha açık bir deyişle, "değişkenlik katsayısı" küçülmektedir. Buradan, regresyon ifadesinin A ve B sabitlerinin büyük ölçüde kayacın türüne ve yapısal özelliklerine, deneylerde gösterilen özenin düzeyine bağlı olduğu söylenebilir.



Sekil-1 Bazı Kayalar için Basınc Dirençlerinin Standart Sapma ve Standart Hata Büyüklükleri ile Değişimleri.



Şekil-2 Kuvarsit ve Kumtaşı için Basınc Direnci - Standart Sapma ve Numune Sayısı - Standart Hata Değişimleri.

2.2. Bazı Kayaç Türlerine Ait Çekme Direnci Değerleri İle Standart Sapmaları Arasındaki İstatistiksel İlişki

2.1. bölümünde belirtilen regresyon ifadesi (Ortalama çekme direnci-standart sapma) değişimi için de denenmiş ve belirlenen bağıntı Şekil-3'te çizilmiştir. Analizde kullanılan data sayısı $n=28$ ve hesaplanan korelasyon katsayısı $r=0.68$ için $t=4.5$ olmaktadır. $t=4.5 > t_{27, 0.001}=3.659$ bulunduğundan, incelenen "rastgele değişkenler" arasında çok anlamlı düzeyde bir ilinti vardır. Bu sonuca göre, artan çekme direnci ile deney sonuçlarının "ortalama" etrafında dağılımının büyüklüğünü ifade eden "Standart Sapma" da doğrusal bir biçimde artmaktadır.

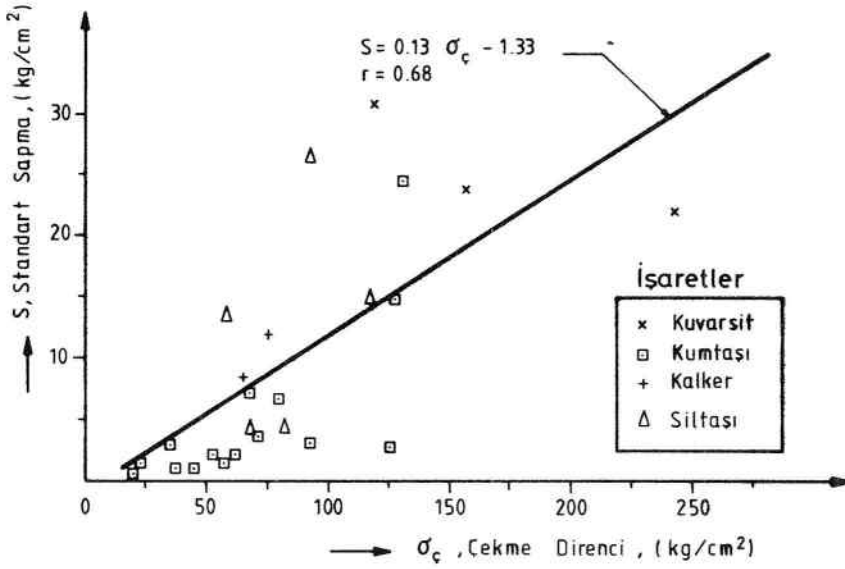
2.3. Deney Sayısı İle Değişkenlik Katsayısı Arasındaki İstatistiksel İlişki

Bilindiği üzere, dağılımın büyüklüğünü ifade eden diğer bir parametre de "değişkenlik katsayısı"dır. Basınç direnci deneylerinde kullanılan numune sayısı ile değişkenlik katsayısı arasında yapılan regresyon analizi sonucunda;

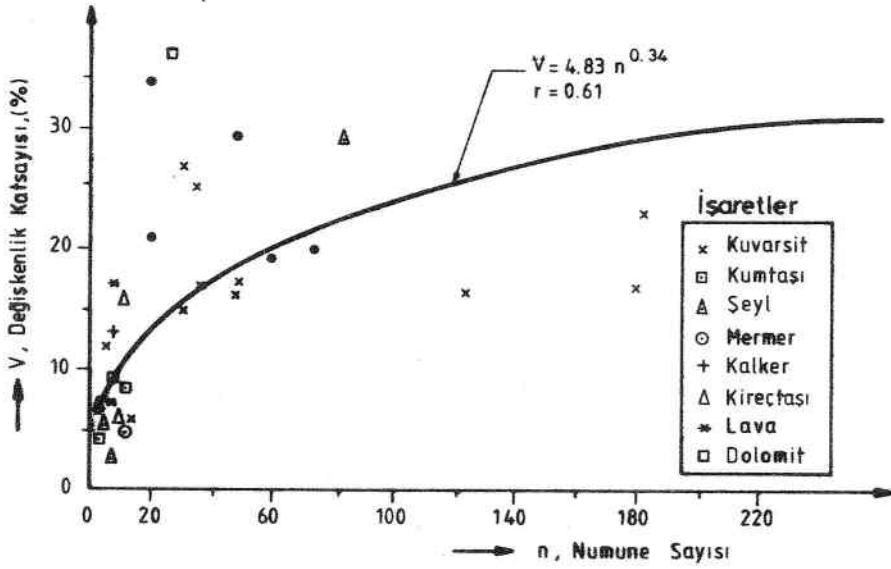
$$V = A.n^{\alpha} \dots \dots \dots (2)$$

ifadesi belirlenmiştir. Analize giren data sayısı $n=36$, hesaplanan korelasyon katsayısı $r=0.61$ değerlerine karşı gelen student sayısı $t=4.56 > t_{35, 0.001}=3.291$ olduğundan, numune sayısı ile değişkenlik katsayısı arasında "çok ileri düzeyde" anlamlı bir ilişki mevcuttur (Şekil-4). Bu sonuca göre, artan numune sayısı ile "dağılım büyüklüğü" üstel bir değişimle artmaktadır. İlk bakışta, ulaşılan bu sonuç beklenen eğilimin-artan numune sayısı ile değişkenlik katsayısının azalması-tersi olarak algılanabilir. İstatistiksel olarak elde edilen bu sonucun (Şekil-4) "geçerli" olduğu aşağıda yarı analitik yoldan da gösterilmiştir.

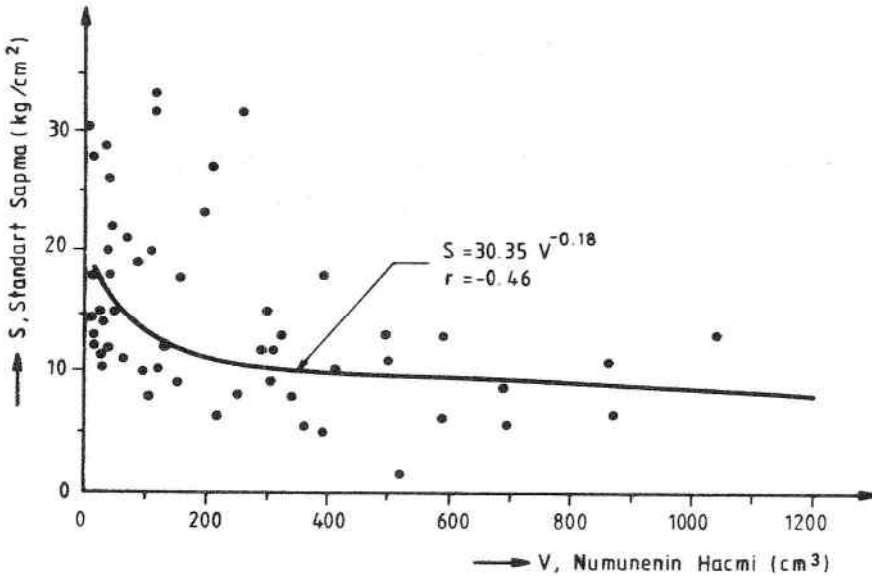
İstatistik matematiğinden bilindiği üzere, ortalamanın dağılımı "t dağılımı" ile ifade edildiğinde, verilen bir güven düzeyinde "p" "hata miktarı"



Şekil - 3 Bazı Kayaç Türleri için Çekme Direnci ile Standart Sapma Arasındaki Regresyon Analizi.



Şekil-4 Basıncı Direnci Deneyinde Kullanılan Numune Sayısı ile Değişkenlik Katsayısı Arasında Çıkarılan Regresyon İfadesi.



Şekil-5 Kumtaşı için Standart Sapma - Numune Hacmi Arasında Çıkarılan Regresyon İfadesi.

(beklenen değerin güven limit değerleri ile ortalama değer arasındaki fark)

$$\Delta = t \frac{S}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (3)$$

olarak verilmektedir. Burada, $t(1-P/2)$ olasılığına (çift taraflı) karşı gelen "student sayısı", S standart sapmayı ve n ise numune sayısını ifade etmektedir.

Hata miktarının en fazla ortalamanın ($\bar{X}$), % β 'sı kadar olması istendiği şartı

$$\beta \cdot \bar{X} = t \frac{S}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (4)$$

ve değişkenlik katsayısının "V" tanım gereğince

$$V = \frac{S}{\bar{X}}$$

olduğu dikkate alınırsa, değişkenlik katsayısı

$$V = \frac{\beta}{t} \cdot \sqrt{n} \dots \dots \dots (5)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. "t" değerinin de numune sayısı ile

$$t = A \cdot n^{-m} \dots \dots \dots (6)$$

türünde bir istatistiksel değişimle ifade edilebileceği gözönünde tutulursa

değişkenlik katsayısı numune sayısı ve hata miktarı cinsinden

$$V = \beta \cdot \frac{n}{A}^{0.5 + m} \dots \dots \dots (7)$$

şeklinde yazılabilir.

(7) eşitliğinden kolayca görüleceği gibi değişkenlik katsayısı numune sayısı ile üstel bir şekilde artmaktadır. Yarı analitik yoldan elde edilen bu ifade Şekil-4'deki değişim moduna benzemektedir.

2.4. Numune Hacmi İle Standart Sapma Arasındaki İstatistiksel İlişki

Şekil-5, Kumtaşı için Standart Sapma ile numune hacmi (*) arasında yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen

$$S = A \cdot V_n^{-m} \dots \dots \dots (8)$$

bağıntısının değişimini göstermektedir. $t = 3.98 > t_{59, 0.001} = 3.291$ bulunduğundan, korelasyon katsayısının $r = 0.46$ biraz düşük olmasına karşın, sözü geçen "rastgele değişkenler" arasında çok anlamlı bir ilişki vardır. Bu sonuca göre, artan numune hacminde standart sapma da üstel bir biçimde azalmaktadır. Yaklaşık 300 cm^3 numune hacminden sonra standart sapmadaki azalma hızı hemen hemen sıfır olmaktadır. Diğer kelimelerle, yaklaşık yükseklik/çap oranının 2'den daha büyük değerlerinde basınç direnci değişmediğinden "standart sapma" büyüklüğü de az-çok sabit kalmaktadır. Uygulamalı kaya mekaniğinden gayet iyi bilindiği üzere artan numune hacmi ile basınç direnci azalmaktadır. [12] (1) ifadesi gereğince de "standart sapma" değeri azalmaktadır.

(*) Basınç direnci deneyinde kullanılan silindirik numunelerinin hacmi.

3. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında incelenen konulardan çıkan belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir:

● Gerek değişik tür gerekse aynı tür kayaçlar için standart sapma ile ortalama basınç dirençleri arasında ileri düzeyde anlamlı ($p=0.001$) bir doğrusal regresyon söz konusudur. (Eşitlik-1, Şekil-1.a). Regresyon sabitleri büyük ölçüde kayaçların homojenliğine ve laboratuvarda gösterilen özenin düzeyine bağlıdır. Ayrıca, dağılımın büyüklüğünü belirten diğer bir istatistiksel parametre olan "standart hata"da direnç değerleriyle korele edilebilmektedir. (Şekil-1.b)

● Yukarıdaki sonucun ışığı altında, "değişkenlik katsayısı" deneysel verilerin değerlendirilmesinde, daha açık bir deyişle laboratuvar çalışmalarında gösterilen özenin düzeyini sayısal olarak ifade edilmesinde kullanılmalıdır. Özellikle kayacın yapısal nitelikleri dikkate alınarak, "laboratuvar özen düzeyi"nin büyüklüğü olarak aşağıdaki değerler kabul edilmelidir.

<u>Özen Düzeyi</u>	<u>Değişkenlik Katsayısı %</u>
Çok iyi	0-15
İyi	15-20
Orta	20-30
Zayıf	> 30

% 30'dan daha büyük değerlerde mutlaka deney tekrarlanmalıdır.

● Basınç direnci deneylerinde kullanılan numune sayısı-"değişkenlik katsayısı" değişimi istatistiksel olarak üstel bir bağıntıyla ifade edilmiştir. (Şekil-4)

KULLANILAN SEMBOLLER

A, B, m, σ	Regresyon sabitleri
β	Kabul edilen hata miktarının ortalama değere oranı
n	Deneyde kullanılan numune sayısı
Δ	Deneyde kabul edilen hata miktarı
P	Güven düzeyi, anlamlılık düzeyi
∇_b	Ortalama basınç direnci
∇_{ζ}	Ortalama çekme direnci
r	Korelasyon katsayısı
S	Standart Sapma
$\bar{X}$	Rastgele değişkenin aritmetik ortalama değeri
S_h	Standart hata $S_h = \frac{S}{\sqrt{n}}$
t	Student sayısı
V	Değişkenlik katsayısı
V_n	Numune silindir hacmi

KAYNAKLAR

- [1] DHIR,R.K.,SANGHA,C.M.: "Influence of Specimen Size on Unconfined Rock Strength", Colliery Guardian, January, 1972, pp:75-78.
- [2] HOSKINS, J.,HORINO,G.F.: "Effect on End Conditions on Determining Compressive Strength of Rock Samples", Bureau of Mines, Report of Investigations RI, 7171, August, 1968, pp: 1-22.
- [3] DENKHAUS, H.G.: "Strength of Rock Material and Rock Systems", Int.J.Rock Mech.Mining Science, Pregamon Press. 1965, Vol: 2, pp: 111-126.
- [4] BEUS,M.J.,CHAN,S.M.: "Shaft Design in the Coeur d' Alene Mining District, Idaha-Results of In Situ Stress and Physical Property Measurements", Bureau of Mines Report of Investigations RI: 8435,1980, pp: 1-39.
- [5] KASAPOĞLU, E: "Ankara Kenti zeminlerinin Jeomekanik Özellikleri," Hacettepe Üniversitesi, Eylül 1980.
- [6] EVERGEN, T: "Etibank Seydişehir Mortaş Açık İşletmesi Ateşleme Sisteminin Etüdü", Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, 1978.
- [7] SCHIBNER, B.J.: "Geology of the Single-Entry Project at Sunnyside Coal Mines 1 and 2, Sunnyside, Utah", Bureau of Mines Report of Investigations, RI: 8402, 1979, pp: 1-106.
- [8] BİLGİN, N : "Zonguldak Kömür Havzasında Burgu Davranışlarının Etüdü", Doçentlik Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, Mart, 1982.
- [9] NEVILLE, A:" Properties of Concrete, Pitman", London, 1968.

- [10] ARIÖĞLU, E: " Factors Affecting the Design of Support Systems For Use In Roadways Associated With Longwall Faces In Coal Measure Strata", Ph.D Thesis, The University of Newcastle Upon Tyne, 1976.
- [11] ARIÖĞLU, E: Öözümlü Madencilik Problemleri Genişletilmiş 2. Baskı, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1988.
- [12] WEIBULL, W: "A Statistical Theory of Strength of Materials" , Proc. Roy. Sweden. Inst. Eng. Res. No: 151, 1939, pp: 1-45.

SELATİN TÜNELİNİN PROJELENDİRİLMESİ

Dr. G.K. GRESCHIK *
De Leuw, Cather and Co.
Mühendislik ve Planlama
Washington D.C. 20005-2701

ÖZET

Bu özette İzmir Aydın Otoyolundaki en uzun tünelin projelendirilmesi tanıtılmıştır. 3 km. boyundaki bu tünel iki tüplü olup, yeni Avusturya Tünel Metoduna göre projelendirilmiştir. Raporda, arazi jeolojisinin durumu, NATM dizaynına göre kaya sınıflandırmaları ve inşaat tasarım durumu belirtilmiştir. Radye ile ilgili yeni bir çözüm de takdim edilmiştir.

1. PROJENİN GENEL TANIMI

Selatin Tüneli-Türkiye'deki 144 km.lik bir otoyol projesinin bir parçasını oluşturmaktadır. Bu proje, İzmir'in güneyindeki Aydın iline kadar uzanan, İzmir-Aydın Otoyolu ve İzmir Çevre Yolunun bir birleşimidir. De Leuw, Cather International-Kutlutaş Ortak Girişimi, Müteahhit Kutlutaş-Dillingham Ortak Girişimine, proje hizmetlerini vermektedir. Ön proje çalışmaları, dört tüneli kapsamakta olup; her tünel ise birer çift, üç şeritli tüpten oluşmaktadır. Bu tünellerin projelendirilmesinde ve yapımında Yeni Avusturya Tünel Metodu seçilmiştir.

3 km. uzunluğundaki bu en uzun tünel, Selatin Köyü yakınında olup, tüplü bölümü 2850 m.dir. Tünel içindeki yol eğimi % 2.6 dır. Bu tünelin proje işleri devam etmekte olup, inşaatına da başlanmak üzeredir.

Şekil 1; iki tütün durumunu ve eksen hatları arasındaki 31 m.lik mesafeyi göstermektedir. Beher tütün kazı alanı, karşılaşılan kaya durumuna göre 130 m² den 180 m² ye kadar olacak, tahmini kazı alanı genişliği de yaklaşık 16.5 m.yi bulacaktır. Diğer tünellerin projelendirilmesine de yakında başlanacaktır.

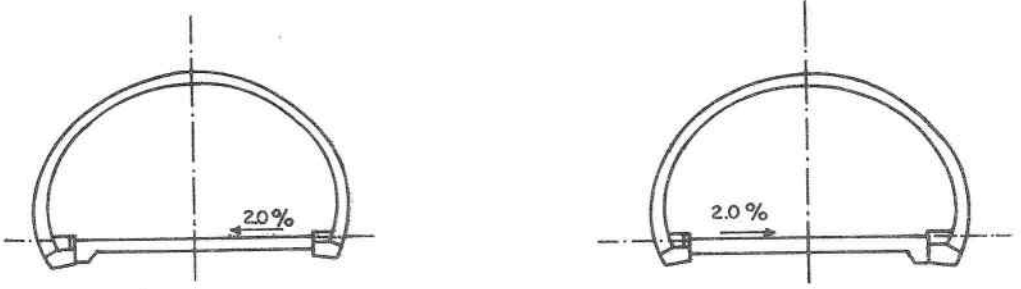
Tünel içinde yol gabari yüksekliği 5,5 m. olacak, beher şeritin genişliği ise 3,75 m. olacaktır. Sol tarafta 50 cm.lik ve sağ tarafta ise 25 cm.lik bir banket genişliği ilavesi ile işverenin isteğine uygun olarak 12 m.lik bir toplam yatay zarf tamamlanmış olmaktadır. Ayrıca tünelin hem sağ ve hem de sol taraflarına, 75 cm. genişliğinde birer yaya yolu ilave edilmiştir. Bu yaya yolları, anayollardan 25 cm. yükseklikte birer bordürle ayrılmıştır. Bu yaya yollarının, düşey gabarisi 2.3 metredir. Tipik Enkesit Şekil 2 de gösterilmiştir.

* Şu anda :Principal of GRG Consulting Engineers Ltd.

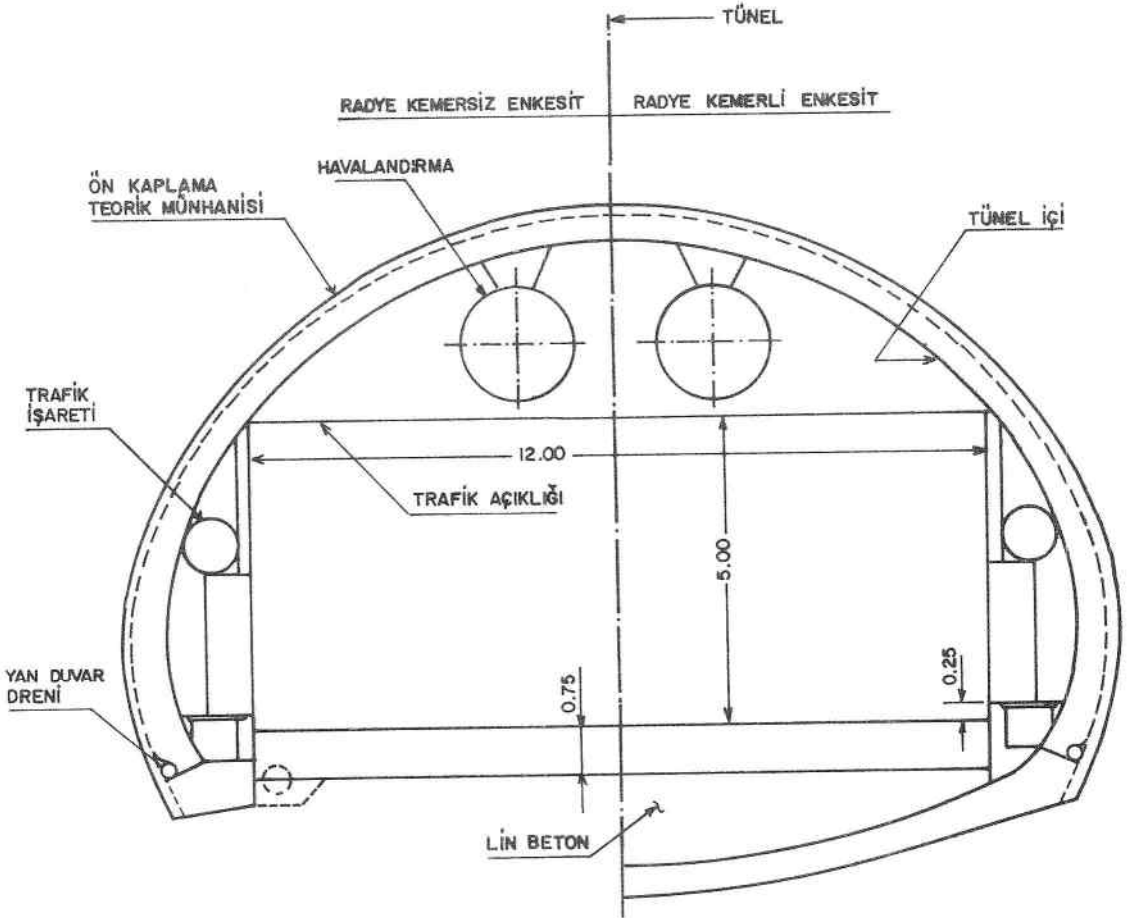
Budapest-Macaristan

ORBANHEGYI ÜT 13

Tel/Fax : (36)-(1) 1556182



Şekil 1 _ TÜNEL KAZILARI, TANJANT DOĞRULTUSU



Şekil 2 _ TİPİK TÜNEL ENKESİTİ

Yeraltı kanalları, yaya yolları altında olup, ana yangın suyu hattını yüksek ve alçak voltaj şebeke cereyanı kablolarını, haberleşme ve trafik kontrol hatlarını içerecektir. Kabloların bir baştan diğer başa kadar tüneli geçişleri, tünel tonozu (kemer) içinden olacaktır.

200 mm. çapındaki iki adet yan duvar drenleri, bir membran kaplama ile muhafaza altına alınmış son tünel kaplaması dışındaki kayalardan gelebilecek sızıntıları toplayacak şekilde projelendirilmiştir. Yan duvar drenleri, gözenekli beton yataklar içine alınmıştır. Yan direnler, ayrıca temizleme branşmanları ile techiz edilmişlerdir. Yan duvar direnleri, tünel çıkışında temiz su sağlayacak şekilde düşünülmüştür.

Tünel ana dreni, yol yüzeyinden ve yangın kondense sisteminden gelen, tünel yıkamasından veya temiz su hatlarının temizlenmesinden çıkan bütün zemin sularını toplayacaktır. Bu hat 400 mm.lik bir çapta olup, yolun alçak kısmının altına yerleştirilmiştir. Yüzey suyu girişi yolun granüler zeminine yerleştirilen, perfore enine drenaj boruları vasıtasıyla sağlanacaktır. Acil durum telefonları, konuşma cihazları, portatif yangın söndürücüler, hortum kabinleri ve ıslak yangın hattı hidrantları, tünel için kaplaması içindeki oyuklara yerleştirilmiştir. Tünel tüpleri arasına 6 adet enine geçiş sağlanmıştır. Bunlardan iki adedi, yaya geçişleri ve acil araç trafiği için, 4 adedi ise yaya trafiği bakım elektrik ekipmanları geçişi için ayrılmıştır. Bu geçişler yalnızca acil durumlarda kullanılabilecektir.

Tünel yerleşim yerinde, tahmini 600 m. yüksekteki sırtta mikaşist, fillit ve mermerden oluşan eski metamorfik oluşumlar ana kayayı oluşturmuşlardır. Bu ana kaya yatağında, kırıklar, faylar, kesme zonları ve değişik özellikte çatlaklar beklenmektedir. Bazı faylar halen faal olabilirler. Gevşek şev kaplamasının kalınlığı genelde birkaç santimden onlarca metreye kadar değişmektedir. Bölgede hidrotermik aktivite mevcuttur.

2. JEOTEKNİK ARAŞTIRMALAR

Proje öncesi ve proje yapımı sırasında jeolojik-jeoteknik araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar genellikle yüzeysel harita yapımı, sondaj ve karot

numunesi alma şeklinde olmuştur. İnşaat için mani teşkil edecek olan ve genellikle tünellerin girişlerinde bulunan fazlaca aşınmış tabakalar üzerinde jeofizik profil çıkarılmıştır.

Araştırmaların neticeleri, Şekil 3 teki boylamasına jeolojik profillerde gösterilmiştir. Tünelin gerek kazı alanı içi ve gerekse giriş kısımlarındaki şartlar beklenildiği kadar iyi değildir. (1)

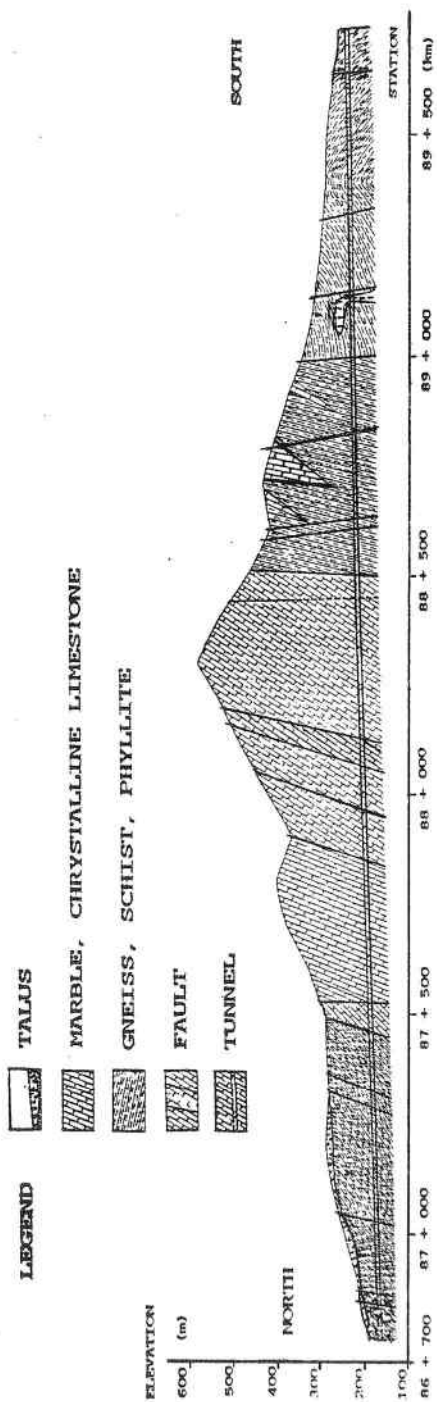
3. TUNELDEKİ ŞARTLAR

Selatin bölgesindeki jeolojik durum oldukça değişiklik göstermektedir. Bölge, Güneybatı-Kuzeydoğu uzantılı dağlık (horst) bir kesimdir. Masifin konik yükseltileri sebebi ile dağ sıraları, çoğu fay kontrollü olan dik vadilerle kesilmiştir.

Görünen kaya oluşumları, tabanda Palezoik devir metamorfiği, ortada Neojen devir sedimanları ve volkanik kayalar, üstte ise kuvarterner çağı alüvyol kitleleri olarak göze çarpmaktadır.

Tabanda ojit gnayslardan oluşan Palezoik metamorfik kayalar ve bunları takiben yukarda şistler, kuvarzit-kalşistler, grafitşistler ve en tepede de fillitler bulunmaktadır. Gnayslar değişik kompozisyonlar gösterip ara sıra mikaşist ve mermer arakatmanları içerir. Bazı yerlerde, gnaysların şistler tarafından örtüldüğü noktalardaki geçiş sınırlarında gnays, kuvarzit ara birleşimlerine rastlanmıştır. Ve bunlar garnet, albit-muskovit-biotit'ten kloritşist'e değişen kompozisyonlar göstermektedir. Şist birikimlerinin en üst kısımlarında tabakalaşım olarak mermer-kuvarzit-şist dönüşümleride görülmüştür. Palezoik devir bölümü en üst kısmı ise mermer, kalşist, grafitşist ve fillit dönüşümlüdür.

Şist bölümü içinde küçük çaplı kıvrımlar görülmüştür. Mermerle sınır teşkil eden yerlerde bu kıvrımlar çok girift ve düzensizdir. Güzergahın güney kısmında değişik süreklilikte geniş antiklinal kıvrımlar özellikle yanal genişlemelerle göze çarpmaktadır. Arazi fazlasıyla tektoniktir. Mühendislik zamanlaması içinde, bölgedeki halen devam eden tektonizm sebebi ile, bazı faylar aktif olarak gelecekte hareketler oluşturabilirler.



Şekil 3 - JEOLojİK PROFİL

Geçirgen kayalarda, yeraltı suyu beklenmektedir. Daha yükseklerdeki rezerve yeraltı suyu, faylar ve parçalanmış zayıf kısımlar vasıtasıyla tünele kadar uzanabilir.

Bu bölge, Akdeniz havzasında yer sarsıntılarında en fazla etkilenmiş bölgede yer almaktadır. Bu nedenle burada depremden en fazla etkilenecek yapılar aktif zon bölgesindeki tüneller ve kazı-dolgu türü yapılardır. Dolayısıyla bunlara uygun veriler alınarak tasarım için gerekli değerler hesaplanmıştır.

Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu kayanın zati ağırlığını taşıması bakımından, kaya formasyonunu çevreleyen yapay oyukların kemerleşme etkisi yapmasının avantajından yararlanır.

Tünel ilk iksası, tüneli çevreleyen kaya ile birlikte, kombine bir yapı halinde, tünel açıklığı etrafında donatılı bir yük taşıyıcı kemer durumundadır. Bu da tüneli çevreleyen kaya oluşumunun tabii kuvvetini sağlamak için zeminin gereksiz çözülmesini önleyerek ve aynı zamanda gerilim dağılımı işlemini artırarak gerekli tüm önlemlerin alınmasını sağlar. Nisbeten esnek olan kaya bulonları ve donatılı püskürtme betonlu ön destek sistemi de bu amaç için oluşturulmuştur. Buna ilave olarak, takviye elemanlarıyla da tünel yüzeyine çakma yapılabilir.

Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu, tünel etrafında ve tünel kazısı önünde bir basınç dağılımı oluşmasını kabul etmiştir. Tünel kazısı devam ettikçe, jeolojik ön basınç durumu da haliyle dağılmaktadır. Bu da, kazı sürdükçe ortaya çıkan kaya yüzeylerindeki normal basınçları sıfıra düşürmektedir.

Tünel kazısı ilerledikçe boşluk etrafında yüklü bir kabuk oluşmakta, kaya tabakası ağırlığı ile beraber bu yük aşağıdaki açıklığa, dokunulmamış kaya kütleline kadar inmektedir. Bu durumda alın etrafındaki yüksüz alan taşıyıcı kemerin gölgesinde boşluk etrafında gibi görünecektir. Bu basınç bozulması, tünelin ön yüzünde, tahmini iki tünel çapında olmak üzere başlar. Tünelcilik metodunda, gerilme süresi düşüşlerinden ve küçük deformasyonlardan faydalanılır.

Tünel kazısının ilerlemesi ile, artan deformasyonların sebep olduğu kaya mukavemetindeki gevşeme ve çözülmelerden önce püskürtme beton ve kaya bulonları tatbik edilmelidir. Püskürme betonun sertleşmesi yeniden gerilim dağılımını oluşturur. Kaplama, ankrajlarında yardımı ile, güçlenir ve kaya deformasyonları ile paralel bir güç oluşur. Bunların hepsi de, artan yük oluşumuna destek olma görevlerini paylaşırlar. Püskürtme beton ön kaplama ve kaya yapı sistemi, tünel alanlarındaki deformasyonların gözlenmesi ile takip edilir. Bu husus, iksa önlemlerinin değiştirilmesi kararlarında çok değerli bilgiler vermektedir.

Bu esasa göre, tünel kaplama inşası iki etapta yapılır. İlk önce, kaya bulonlaması ve bir donatılı püskürtme tabakalı ön iksa sistemi, ortaya çıkan oyuk yüzeyine tatbik edilir; ilaveten, boru sürenleri, çakma çelik boru sürenler, kazı yüzeyi takviyesi için tatbik edilir. Daha sonra, son kat olarak, bir kalıp sisteminin arkasına, yerinde beton, dökülür veya pompalanır. Ön kaplama ile iç kaplama arasına genellikle su geçirimsiz bir membran kaplaması tesis edilir.

Ön kaplama, kaya yüzeyine tatbik edilmiş esnek bir tabaka oluşumu sağlar. Bu tabakanın kesmeye mukavemeti ve eksenel güçlere dayanıklılığı, yük taşıyıcı kemerin, kaya kütlelerinin etrafında kontrollü bir deformasyon doğmasını sağlar. Gerek bu ön kaplamanın kalınlığı gerekse ilave tedbirlerin, tabii yeraltı şartlarına göre ayarlanması mümkündür. Gözlenen deformasyonların cinsi ve büyüklükleri arazideki kararları desteklemektedir.

Son kaplama, kimyasal maddelerin zaman içindeki gücünün azalmasına bağlı olarak ön kaplama mukavemetinin azalması, dekompozisyonu, kaya çevresindeki reolojik işlemler gibi zamana bağlı etkilerinin sebebiyet verdiği tüm kuvvetleri taşımaktadır.

4. YAPILAR

NATM metoduyla bir dairesel tünel şekli ve narin ön donatısız bir son kaplama dizaynı yapılmıştır. Su geçirimsiz membran, kaplamanın ayrılmaz bir parçasıdır.

Tünel kaplaması, tepe noktasında 40 cm. kemer tabanında ise 75 cm. kalınlığında projelendirilmiştir. Kemer kaplaması mütemadi temeller ile takviye edilmiştir. Yanal basınçların beklendiği yerlerde ise, radye kemer yapılacaktır.

Şekil 4'te müteahhitin isteğine uygun olarak, çabuk hareketli taban için yeni bir yapı tasarımı gösterilmiştir. (Patent'i beklenmektedir.) Radyenin içine, donatılı beton kalıp blokları yerleştirilecek ve beton, bloklarla kaya arasına veya ön püskürtme beton radye arasına, hangisi uygunsa, pompalanacaktır. İki parça, beton harcının kaldırma kuvvetine karşıt olarak kaya bulonları ile birbirine bağlanacaktır. Çok hassas bir şekilde yerinde dökülmüş ve tesviye edilmiş bir parça, üst kemerdeki bağlantı yerinin yardımıyla kayar kalıp sistemini yönlendirecektir.

Kaya tünelleri kaplaması, belirli bir zelzele yüküne göre projelendirilmemiştir. 12,5 m. uzunluktaki tipik son kaplama beton üniteleri, kayar kalıp sisteminin uzunluğu ile yönlendirilmektedir. Beton ünitelerin uzunlukları, inşaat sırasında karşılaşılan aktif fay alanlarının tesbiti ile, bu alandaki zelzele oluşumlu hareketlerle esnek bir uyum sağlamak üzere, 1/3 oranına kadar kısaltılacaktır.

Tünelde tesis edilecek ekipmanlar için, gözler dizayn edilmiştir. Alman normlarına göre, gözlerdeki en ince son kat kalınlığı, 25 cm. olacaktır.

Tünel içi enine geçiş yerleri, ana trafik tüplerinin yapı özelliklerini taşımaktadır. Kaplamanın kesişme yerleri donatılı olacaktır.

5. KAYA SINIFLANDIRMASI

Standart yapı kademeleri ve ön iksa sınıflamaları, Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu ile tüneller için kaya sınıflandırmasına göre ele alınıp inşaat yapılacaktır. Bu sınıflandırma tünelin boyutları ve şeklini, kazı metodunu, ana gerilme durumunu, suyun varlığını veya yokluğunu, kaya tiplerini, süreksizliklerin tip ve frekansını, son ve önemli olarak ta, mekanik kaya davranışını gözönünde bulundurur.

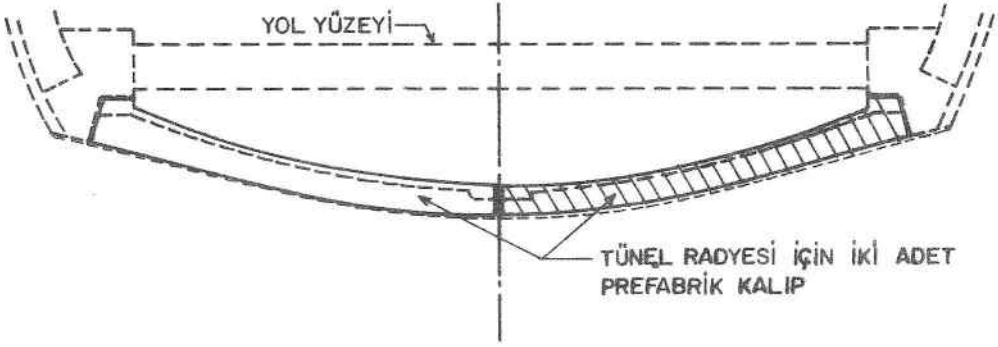
Kaya tipleri ve bunların tiplerine göre dağılımları daha önceki bölümlerde anlatılmıştı. Süreksizliklere gelince, kaya cinsi masif bir görünüşten, şistteki tabakasal yapıya dönüşmekte ve sık olmayan çatlaklardan devamlı çatlaklara, tamamen çatlamış hale ve parçalanmaya kadar uzanmaktadır. Şist tabaka iyi gelişmiş bir anisotropi'ye haiz bulunmaktadır.

Daha yakın zamanda olan ve bir ölçüde de aktif faylar bölgenin Kuzey-Güney istikametinde gerilime maruz kaldığını göstermektedir. Bütün ölçmelere karşın, Poisson sayısı kullanılarak elde edilen hesaplarda, teorik yanal basınçlardan daha büyük ana yatay basınçlar beklenmemektedir. Düşey gerilme yönünden, jeostatik basınç beklenebilir. Aktif fay düzlemlerinin bölümlerdeki gerilme konsantrasyonuna dayalı lokal kaya masiflerinde aşırı basınç beklenebilir.

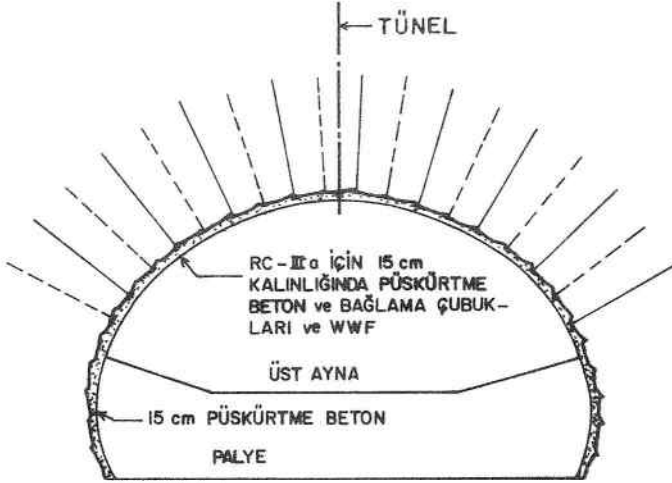
Selatin Tüneli için 6 kaya sınıfı tesbit edilmiştir. Kaya sınıflandırması, kayanın kazı sırasında ve kazıdan sonraki beklenen tepkisini yansıtmaktadır. Kayanın mekanik tepkisi, jeolojik şartlar ve kaya sınıflandırması da ana kaya tipine, kimyasal alterasyona, geçmişteki etkin metamorfizmin aşırı tektonik güçlerin neticesi ile oluşan çatlaklar ve ayrılmalar ile ana gerilme durumuna göre saptanmıştır. Kaya sınıflarının tanımlanmaları ve buna bağlı olarak inşaat stratejileri aşağıda açıklanmıştır. Şekil 5'ten 8'e kadar, inşaat aşamalarının çeşitli ana karakterleri gösterilmiştir.

5.1. Kaya Sınıfı 'T'

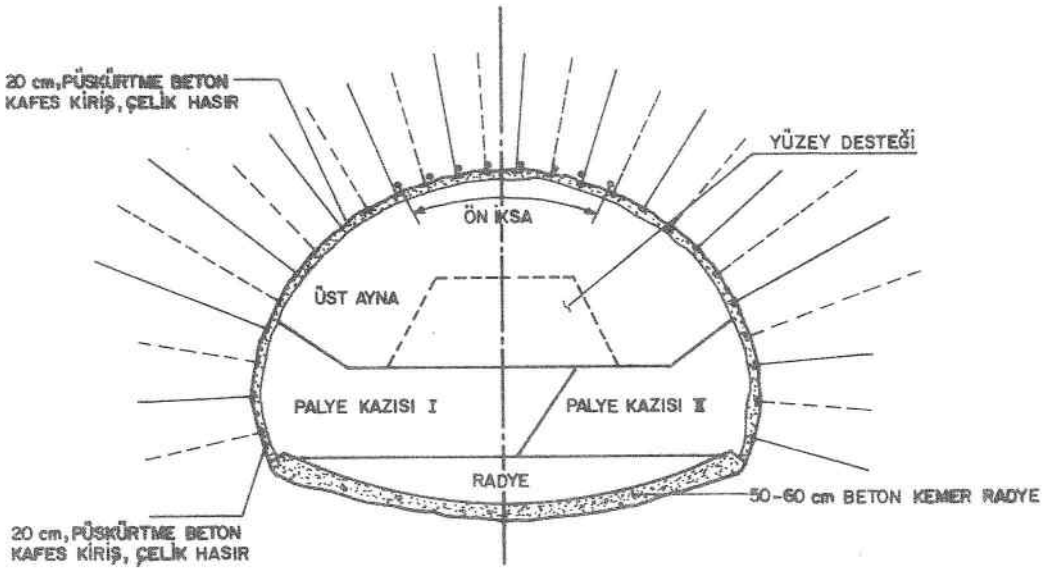
Dağın, kuvvetli, masif, sert ve güçlü bloklarının, iksasız olarak stabil olduğu düşünülmüştür ve küçük parçalanmalar beklenmektedir. Malzemenin sertliğinin ve iyi durumda olmasının işareti sondaj delikleri için yapılan patlamalardan sonra, patlama izlerinin oldukça iyi bir şekilde gözlemlenecek olmasıdır. İnşaat safhasında yüksek gerilmeler veya deformasyonlar beklenmemektedir. Kaya kütlesi "Stabil" olarak sınıflandırılmıştır. Kaya sınıfı I olarak sınıflandırılan bir kayada, ayna ve palye kazısı gereklidir. Kazı etapları boyuda 3 m. yi geçmeyecek şekilde projelendirilmiştir. Bütün kazı yüzeylerine 5 cm. kalınlıkta, püskürtme tesviye betonu tatbik edilecektir. Kaya kamalarının emniyeti için, gerektiğinde "Swellex" tipi kaya bulonları kullanımı öngörülmüştür.



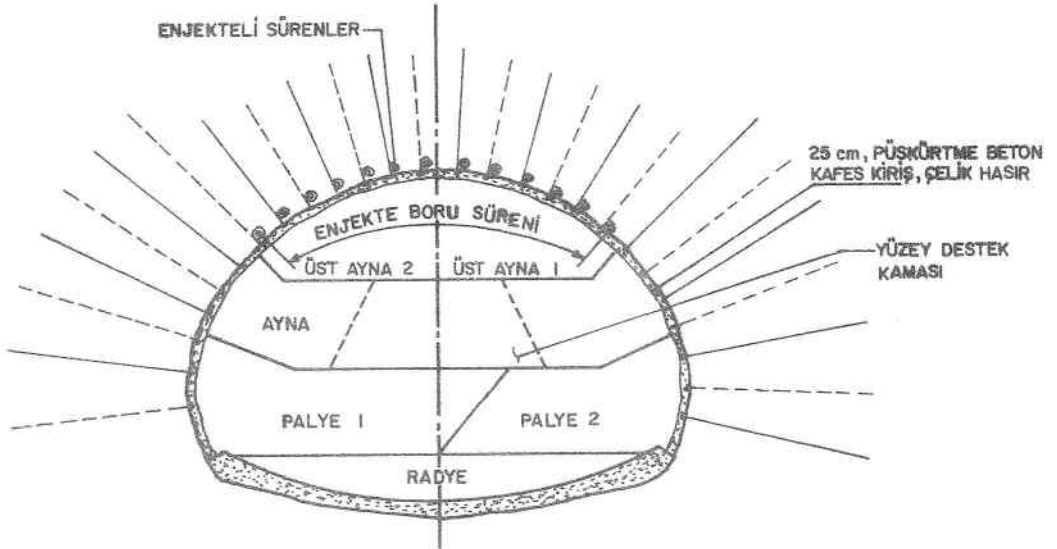
Şekil 4 - TÜNEL RADIUSI KALIBI



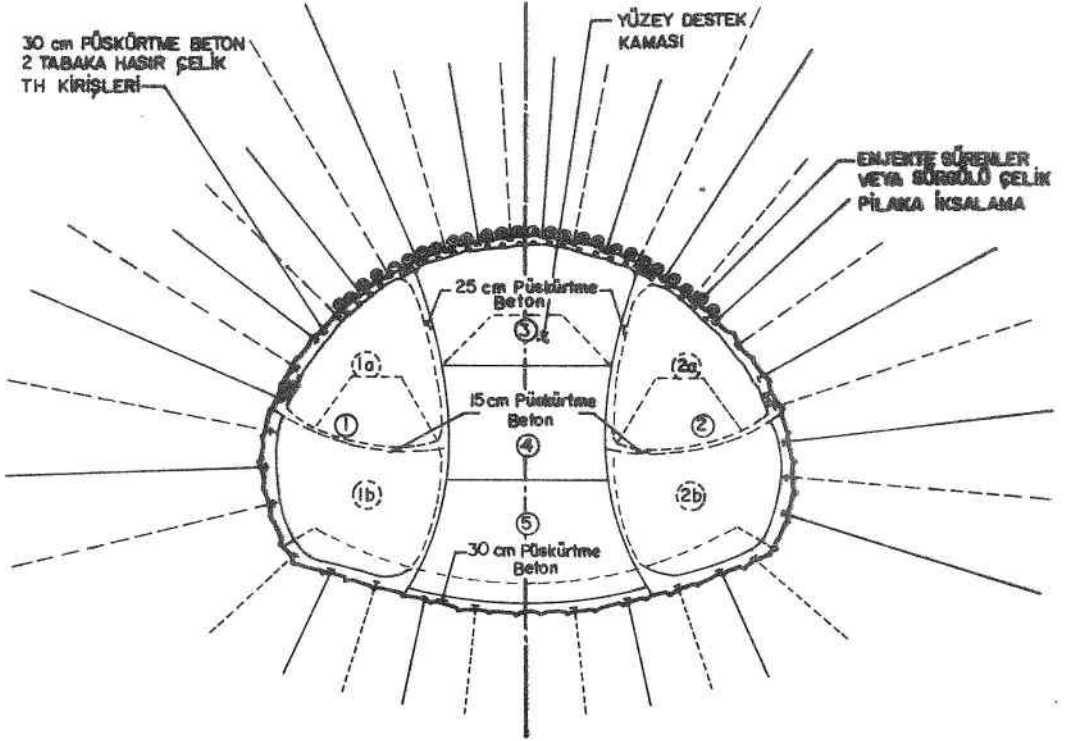
Şekil 5 - KAYA SINIFI III' TE ENKESİT



Şekil 6 - KAYA SINIFI IV' TE ENKESİT



Şekil 7 - KAYA SINIFI V' TE ENKESİT



Şekil 8 - KAYA SINIFI VI' DA ENKESİT

5.2. Kaya Sınıfı "II"

Bu kaya sınıfı da, genellikle stabil kaya kütlesi olmakla beraber, bazı yerlerde sınırlı şekilde stabilite göstermeyen kaya sınıfı olarak düşünülmektedir. Karşılaşılan kayalar mutlaka kimyasal alterasyon veya aşınma özellikleri taşımayabilir. Sondaj delikleri için yapılan patlamalarda, patlama sonrasında delik yerinde izler görülüp; küçük kırıntılar ve önemsiz çözümlerle karşılaşabilmektedir. Bu kaya kütlesi, "dayanıklı" olarak adlandırılabilir.

"Dayanıklı" olarak sınıflandırılan bir kaya sınıfında, ayna ve palye kazısı gereklidir. Kazı etapları boyları, 3 m. yi geçmeyecektir. 10 cm. kalınlıkta ve çelik hasır donatılı püskürtme beton kaplamalar, iki etapta tatbik edilecektir. Kaya kamalarının sıkıştırılması için, "Swellex" tipi kaya bulonları kullanılacaktır. Kaya bulonlarının yerleştirilmesini takiben, ikinci kat püskürtme beton ve hasır çelik montajı yapılacaktır.

5.3. Kaya Sınıfı "III"

Bu sınıf, kimyevi değişikliğe uğramış veya aşınmış fakat toplu durumda ve sert fakat orta derecede çatlaklı kayalar olup, çözülmeye meyillidirler. İksasız bir kazı sırasında bu çözümler öncelikle tepede ve yan duvarlarda başlayacaktır. Stabilite durumu ise ancak sistemli bir iksa ile sağlanacaktır. Damlayan sular sebebi ile kayada bir değişiklik olmayacak, yanal basınç etkisi göstermeyecektir. Fakat kazı çevresinde deformasyonlar görülecektir. Bu tip kayalar "dökülen" kayalar olarak sınıflandırılabilir.

"Dökülen" olarak sınıflandırılan bir kayada, ayna ve palye kazısı dizaynı yapılmıştır. Kazı derinliği ise 2. - 2.5 m olarak tasarlanmıştır. Kazı çevresi püskürtme beton ve daha sonra 15 cm. kalınlıkta ilk kaplama ile kaplanacaktır. Ön kaplamada, projelendirilen çelik hasır donatısına ilaveten, 4 m. boyunda kaya bulonları ile yapılacak sistematik bulonlama ve kafes giriş uygulanacaktır. Arasıra ön iksalama da yapılacaktır.

5.4. Kaya Sınıfı "TV"

Tabii iksa uygulanmama durumunda, kazı sonrasındaki artan çözülme prosesini gösteren öncelikle şist ve hidrotermal değişikliğe uğramış mika ile doldurulan çeşitli süreksizlik durumundaki fillit veya killi malzemeler göze çarpacaktır. Kazı sonrası yanıl basınç görülecek olup bu da kazı çevresinde deformasyonu doğuracaktır. Akıntı sularla, mikada değişiklik olmakta ve kayadaki dayanıklılık azalmaktadır. Yüzey, ilave koruma sağlanmazsa stabil olmamaktadır. Bu kaya ise "az sıkışmış" olarak isimlendirilebilir.

Ayna ve palyeye ilave olarak, radye kazısı ve payandalama gerekmektedir. Palye kazısı bölümlere ayrılacaktır. Ayna kazısı derinliği 1,5 m.dir. Palye kazısı ve radye, ayna safhasından daha uzun etaplar gerektirebilir. Açılan kazı yüzeyi, bir hasır çelik tabakası ve kafes kiriş donatılı üç aşamada oluşturulan 20 cm. kalınlığındaki püskürtme beton ile desteklenecektir. Kazıyı takiben çimentolu enjekte demirli kaya bulonları bir dizi şeklinde, sistematik kaya donatısı olarak kullanılacaktır. Deformasyonlara mani olmak için radye kemer tabakatı gereklidir. Üst ayna kazısı sırasında geçici destek olarak, devamlı demirli iksalama uygulanacaktır. Kazı etabı sonrası yüzeyde kaya kaması desteği ve karşılaşılan kaya yüzeyine de tıkayıcı bir püskürtme beton tatbikatı gereklidir.

5.5. Kaya Sınıfı "V"

Kazı sonrası, açıklığa doğru yönelen, çok zayıf özellikteki şistlerin kimyasal değişikliğe uğramış parçaları kayadaki kesme zonlarıdır. Bu durum artmakta olan bir yan basıncı gösterir. Kayalar, iç akıntı sularıyla, zayıflamakta ve/veya yumuşamaktadırlar. Kazı çevresinde oluşan deformasyon, gelişen çatlaklar süratle bir radye inşaatını gerektirir. Bu tip kaya, "sıkışmış" kaya olarak isimlendirilebilir. İki etapta ayna kazısı bölünmüş palye kazısı ve radye kazısı gerektirmektedir. Aynada etap derinliği, 1 m.dir. 25 cm. püskürtme beton dört etapta, iki kat çelik hasır ve atkı donatısı ile yapılır. Sıra halinde sistematik olarak çimento enjekteli kaya bulonları tesbit edilir. Çelik atkılı kafes kirişler veya derzli Thiessen TH seti montajı yapılmalıdır. Beton radye ön iksa sisteminin bir parçasıdır. Radye kemerde çabuk ring kaplama gereklidir.

Ayna perimetresi boyunca, enjekte boru sürenleri dizaynı edilmiştir. Yüzey destek kaması, kazıdan sonra açılan yüzeye geçici püskürtme beton tatbiki ve bazı kazı etaplarında radye kazısının püskürtme beton ile kaplanması gerekecektir.

5.6. Kaya Sınıfı "VT"

Oldukça sıkışma özelliği taşıyan, fazla dekompoze kaya, kısmen veya tamamen plastik, itici, çabuk deforme olan sudan etkilenen, tepe, yüzey ve yan duvarlarında stabil olmayan kaya sınıfı "etkin sıkışkan" kaya sınıfı olarak adlandırılabilir. Akıntı suları ile bu sınıf kaya zayıflar ve/veya yumuşar. Kazı işi, çok fazla etaplı olacaktır. Her kazı etabı 0.75 m. olarak dizayn edilmiştir. Her geçit kazısı da kendi arasında iki veya daha fazla kısma ayrılacaktır. Radye kazısı, ayna kazısından daha uzun zaman ister. Dört etapta yapılacak ön kaplama, püskürtme beton, 30 cm. kalınlığında olacaktır. Akma derzli ve Thiessen (TH) profil giriş seti iki kat çelik hasır kullanılacaktır. Kaplamada, uzunlamasına deformasyon kanalları olacaktır. Sık aralıklarla ve önceden yerleşimi düşünülmüş kaya bulonları kullanılacaktır.

Ön kaplamanın radyesi hemen beton bir radye ile donatılarak püskürtme beton ile tesis edilecektir. Aşağı sehim olasılığı için, gerektiğinde, kaya bulonlamasında bir tedbir olarak gözönünde bulundurulmalıdır. Aynalarda, enjekte boru sürenleri ve gerekirse burgulu çelik plaka iksası gereklidir. Kazı yüzeyleri, açılmayı takiben hemen geçici püskürtme beton ile kaplanmalı, böylece etkin dökülmelere ve çökmelere meydan verilmemelidir.

6. YAPISAL HESAPLAR

NATM projelendirilmesi ve inşaatı yarı-ampirik bir metoddur. Modern bilgisayar metodlarının kullanıldığı ve Sonlu Eleman Metodu için uygun bir program gerektiren bir analizdir. Kaya kaplama kompozit sisteminin dizaynı için FEM hesaplarının kademeleri, gerilme ve birim deformasyon oluşumuyla ilgili ve inşaat metodunun kullanılmasına uygundur. NATM prensiplerine göre yapılmış tünel hesapları, yapı analizleri için öngörülen kuvvetler ve kaya yüklerini kullanmazlar. Tünel yapımı öncesi ve yapım sırasındaki zemindeki gerilmeler hesaplanır.

Kaplama tatbik edilmeden, kaya kütlesinde oluşan gerilme ve deformasyon hesabında, yaklaşan kazıda meydana gelen gerilme azalması ile uzama artması arasında bir simülasyon yapılır.

Uygun program ve giriş verisinin eksikliği dolayısıyla daha gerçekçi bir durum göstermemesi sebebiyle hesaplar 3 Boyutlu olarak değil 2 Boyutlu olarak yapılmıştır.

Yukarıdaki amaç açısından kontrollü birim deformasyon oluşumunda eldeki simülasyon aşağıda verilmiştir:

- Ana gerilim durumunun uygulanması ile, kazı alanı içindeki deformasyon modülünün azaltılması
- Püskürtme beton ön kaplamasının elastik modülünün, ana gerilme durumunun ilk uygulanması ile azaltılması
- Bir azaltma faktörü kullanılarak, kazı hattı çevresindeki, uç kuvvetleri dengeleyen ana gerilme durumunun azaltılması

Selatin Tüneli proje hesaplarında, üçüncü simülasyon tekniği kullanılmıştır. REO-STAU B bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu program esas olarak yeraltı yapılarının statik problemlerini çözmek için, İsviçre Federal Teknoloji Üniversitesi Kaya Mühendisliği Bölümünün (ETH-Hoengerberg Zurich-İsviçre) oluşturduğu bir programdır. Bu program, iki boyutlu oluşumu ile genel zemin ve kaya mekaniği ile ilgili çeşitli statik problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır. Oluşan grafik üçgen ve çubuk elemanlar şeklindedir. Kaplamalar, kafes girişler, diyagonal ve dikey basınç elemanları olarak şekillendirilmiştir.

Kazı perimetresi boyunca hesaplanmış normal bir bileşen tarafından, öncelikle mevcut uç yüklerin azaltılması doğrultusunda, kazı çevresinde kısmi birim deformasyon oluşumu tahmin edilmiştir. ([2] .[3]) Grafiğin kuvvetlerindeki ve deformasyonundaki değişiklikler hesaplanmıştır.

İksa sisteminin ilk aktif elemanları olarak, püskürtme beton ve kaya bulonlarını oluşturduğu ön destek sistemi öngörülmüştür. Ön kaplamanın statik sistemi, direk olarak kayaya bağlanmıştır. Ön ve son kaplamanın birer parçası olarak, radye kemerleri aynı zamanda Kaya Sınıfı III den VI ya kadar hesaplamalar için doğrudan kayaya bağlanmıştır.

Kaya ve tünel arasındaki etkileşim, bir önceki sistemde kullanılan azaltmanın kaldırılması ile yeniden oluşturulmuştur. Ön kaplamadaki kesit yükleri, kaya bulonlarındaki kuvvetler ve statik iksa sistemindeki gerilme ve deformasyonlarda hesaplanmıştır.

Son olarak ön hesaplamayı tamamen iptal ederek, aynı etapta son hesaplamada aktivasyon sağlanmıştır. Daha önceki hesaplamaların sonundaki, kaya-ön yapısı yüzeyleri arasında çalışan yükler bu etapta son kaplamaya transfer edilmiştir. Membran kaplama sisteminde, bu hesaplarda, kendi boyunca sürtünme elemanı kullanmadan tekrarlanmıştır. Son kaplamadaki kesit kuvvetleri, statik iksa ve kaya sistemindeki gerilme ve deformasyonlar da hesaplanmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. F.EMRE "Selatin Tüneli Mühendislik Jeolojik Raporu"

Hazırlama: Kutlutaş Temel İnşaatı ve Sondajcılık A.Ş.

İzmir-1989.

2. W.WITTKE "Basıncılı Arazide Tünelcilik"

Kaya Mühendisliği, Kayasal Arazide Yapı İşleri Ana Koşulları,

Springer Yayını,

Berlin, (1984), 488-489

3. K. SZECHY " Derinlik Etkisinde Gözönüne Alınmayacak Hususlar",

Tünelcilik Sanatı,

Akademia Kiado, Budapeşte (1973), 235-239

