

TÜNEL MÜHENDİSLİĞİNDE JEOTEKNİK ETÜD VE UYGULAMADA KARŞILAŞILAN BAZI PROBLEMLER

(*) Erhan TİMUR

1 - GİRİŞ: 2. Dünya Savaşından sonra endüstri bayındırlık özellikle ulaşım alanlarında artan çalışma ve gelişmeler tünel mühendisliğini etkilemiştir. Tünel mühendisliği çalışmalarının hacim ve kalitesinin artmasına rağmen tünellerin jeoteknik etüt ve uygulama safhasında karşılaşılan çözümüne büyük çaba sarf edilen bazı problemler vardır. Bunlardan saptayabildiklerimizi tünelcilik tekniğinde enteresan ve önemli gördüğümüz noktalar ile birlikte kısa şekilde açıklayacağız.

2 - TÜNELİN JEOTEKNİK ETÜDÜ: Mühendislik yapılarının jeoteknik etütünün inşasından daha önemli olduğu, günümüzde kabul edilen bir gerçektir. 1984'te yapılan bir araştırmaya göre yıkılan veya hasara uğrayan yapıların %76'sı, yetersiz jeoteknik etütler sonucunda olduğu saptanmıştır. Mühendislik yapısının tahmini maliyetinin % 2-7 tutarında bir jeoteknik etüt yapılması gerekliliği günümüzde benimsenmiştir. 1964 yılında inşaat mühendisleri odasında konferans veren kemer baraj uzmanı ve jeoteknikçi Portekizli Manuel Rocha "İyi etüt edilememiş sağlam bir kaya, iyi etüt edilmiş sağlam olmayan bir kayadan daha tehlikelidir " demiştir.

Tünel güzergahları kaya ve zemin formasyonlardan geçmektedir. Özellikle kaya formasyonlarda etüd safhasında aşağıdaki özelliklerin saptanması gerekmektedir

- a. İçsel Gerilmesi
- b. Deformabilitesi
- c. Dirençleri (Mukavemet)
- d. Yapısı (Strukturü)

(*) *Maden Yüksek Mühendisi. İstanbul Bivükşelür Belediyesi*

a. Kayaların İçsel Gerilme Durumu; Kayaların içindeki bir noktadaki yatay ve düşey gerilme, içsel gerilme olarak adlandırılır. Kayalarda içsel gerilim egravitasyon, orojenik, kimyasal, fiziksel ve magmatik olaylar sonucunda olur. İlk yaklaşımda düşey gerilme örtü kalınlığının ağırlığına eşittir. Yatay gerilme ise ya poisson katsayısı veya Rankine itki katsayısına bağlı olarak hesaplanır. Kayaların içsel gerilmelerini teorik hesaplar ile tahmin etmek çok kere hatalı olur. Kayaların içsel gerilmesinin önceden bilinmesinin ekonomik ve teknik yönden çok faydaları vardır. İçsel gerilmenin fazla olduğu kaya formasyonlarında tünel aynasının etrafı patlayıcı madde kullanılmasından hemen sonra göçer, düzensiz oyuklar oluşur. Başka bir deyişle belirli bir formasyon için önceden hesap ettiğimiz parçalanacak kaya hacmi patlayıcı madde kullanıldıktan sonra hesaplanandan kat kat fazla olur. Yatay gerilme fazla ise yan duvarlarda, düşey gerilme fazla ise tavan ve tabanda istenmeyen boşluklar ve deformasyonlar olur. Düzensiz gerilme birikimleri \ arsa tünel sağa ve sola sapabilir. Ayrıca bu düzensiz gerilme birikimleri tünel açma makinaları kullanılıyorsa kesici kafalarının sıkışmasına neden olur.

Kayalardaki içsel gerilmeler iki çeşittir:

Birincil (primer) ve ikincil (sokonder) gerilmeler

Birincil gerilmeler tünel açılmadan önce kayada bulunan gerilmelerdir.

İkincil gerilmeler ise tünel açıldıktan sonra tünelin etrafındaki gerilmelerdir.

b. Kayaların Deformabiliteleri; Bilindiği gibi deformabilite gerilme ile deformasyon arasındaki bağıntıdır. Kayalar deformabilite yönünden son derece komplekstir. Başlıca üç çeşit deformasyon yaparlar.

1. Elastik Deformasyon
2. Plastik Deformasyon
3. Viskoz Deformasyon

1. Elastik deformasyon: Basınç ile deformasyon arasında lineer bir bağlantı vardır. Basınç kalkınca deformasyon da ortadan kalkar. Anı deformasyonlardır.

2. Plastik deformasyon • Basınç kalkınca deformasyon geriye dönmez, sabit kalır.

3. Viskoz deformasyon • Sabit bir basınç altında zamana bağlı olarak deformasyon olması hali.

Bütün kaya ortamlarda bu üç özellik çeşitli oranlarda bulunur. Genellikle bunlardan bin diğerlerine göre daha fazla olup elkin olur. Elastik, plastik ve viskoz özellikleri çeşitli şekilde birbirine bağlayarak (seri

paralel ve karışık) pek çok cisimler teorik olarak elde edilir. Bunlar ile ilgilenen bilim dalına "Reoloji" (malzeme mekaniği) denir. Tünellerin jeoteknik etüd safhasında arazi ve laboratuvar deneylen ile déformasyon analiz edilip, bir model cisim bulmak uygun olur. Fransız SOLETAN-CHE FİRMASI Jeoteknik servisinde Paris Metrosunun mam formasyonlarının elastik, plastik ve viskoz özellikleri saptanarak, 30 yıl sonra tünel kaplamasına gelecek basınçlar yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Kayaların deformabilitesini karakterize eden elastisite modüllerini jeoteknik etüd safhasında ölçmek aşağıdaki nedenlerden dolayı gereklidir.

- Tünel güzergah formasyonları genellikle çeşitli tabakalardan oluşur. Bu tabakaların elastisite modülleri arasındaki oran % 30'dan fazla ise tabakaların kontak yüzeylerinde ani gerilme artışları olur. Dolayısı ile farklı (diferansiyel) deformasyonlar oluşur. Böylece ani veya bir süre sonra göçükler olabilir. Şekil. 1 de elastisite modülleri farklı tabakalardan oluşan bir kaya formasyonunda açılan dairesel kesitli bir tünelde radyal gerilmelerin ani yükselişleri görülmektedir. (Ref-1)

Tünel kaplaması veya iksasının deformabilitesi ile kaya formasyonunun deformabilitesi arasında bir uygunluk olmalıdır. Kaya formasyonu ve kaplamanın karşılıklı etkilerinin (enter reaksiyon) hesabı için kayanın elastisite modülünün bilinmesi gereklidir. Bilindiği gibi kemer barajlarda yamaç kayasının elastisite modülü betonun elastisite modülünün 1/4'ünden az yani 50.000 kg/cm²'den az olursa, kemer baraj çalışmaz.

Elastisite modülünü ölçmede dikkat edilecek hususlar şunlardır :
Elastisite modülünün değeri :

Yükleme hızına

Uygulanan basınç değerine, dolayısıyla basınç aralıklarına

Yüklemenin yönüne ; kayaya verilen yük artırılırken veya azaltılırken (yükleme ve boşaltma devreleri) ayrı elastisite modülleri bulunur.

Gerilme alanı cinsine

Bilindiği gibi gerilme alanları

1 - Deviatorik (Bir noktaya farklı değerlerde gerilme uygulama)

2 - Küresel (Hidrostatik gerilme alanı durumuna yakın)

olmak üzere ikiye ayrılır. Bu iki gerilme alanı aynı formasyona uygulanırsa farklı elastisite modülleri elde edilir.

c. Kayaların Dirençleri: Kayaların dirençlerini bilindiği gibi iç sürtünme açıları ve c kohezyonları oluşturur. Zeminlerde 6 kayma direnci; iç sürtünme açısı, c kohezyonu ve norma gerilmenin bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon Coulomb doğrusu ile gösterilir ve Mohr dairelerine

teğettir (zarfidır). Kaya formasyonlarda ise bu doğru parabolik bir eğridir. Dolayısıyla iç sürtünme açısı ϕ normal gerilmesine bağlı olmaktadır. Bu durum kaya formasyonların dirençlerin hesabını güçleştirmektedir.

Tünellerin jeoteknik etüd safhasında kayaların deformabilitesi ile dirençleri arasında bağıntı etüd edilmelidir. Her cins kaya türü için bu bağlantının farklı olduğu bilinir. Eğer bu bağlantılar yaklaşıktaysa saptanabilirse kaya formasyonlarının gözlenen deformasyonlarında kırılma veya plastikleşme durumu önceden tahmin edilebilir.

d - Kayaların sınıflandırılması: Tünelin jeoteknik etüd safhasında karşılaşılan kaya formasyonunun sınıflandırılması yapılmaktadır. Böylece uygulanacak iksa çeşiti saptanır.

Kaya sınıflandırılmasında günümüzde üç çeşit metod vardır.

- 1- NGI (Norveç Jeoteknik Endüstrisi - Barton Metodu.)
- 2- CSIR veya RMR (jeomekanik kaya sınıflandırılması Güney Afrika)
- 3 -RSR (Rock Structure Rating A.B.D. Askeri istihkam servisi.)

Bu metodların ayrıntılarına girmeden avantaj ve dezavantajlarını belirtmeyi uygun buluyoruz.

No 1 : NGI

Avantajları : Kayada içsel gerilme durumunu göz önüne almaktadır.
Dezavantajları: Çelik iksa önermiyor, tabakaların doğrultu ve yatımlarını dikkate almıyor.

No 2: CSIR veya RMR

Avantajları : Tabaka doğrultu ve yatımlarını göz önüne alıyor.
Dezavantajları : Gerilme faktörü dikkate alınmıyor.

No 3 : RSR

Avantajları : Tabaka doğrultu ve yatımları göz önüne alınıyor, çelik iksa öneriyor
Dezavantajları : Gerilme faktörü dikkate alınmıyor.

Yukarıda görüldüğü gibi bu üç metodun sakıncalı tarafları vardır. İksa cinsinin saptanmasında bu sakıncalar dikkate alınmalıdır.

Tünelin jeoteknik etüdünde jeofizik sismik metodu uygulamak yerinde olur.

Kayadan alınan numuneler üzerinde ve arazide (in-situ) sismik metod uygulanarak bulunan elastisite modülleri yardımıyla kayanın çatlaklık katsayısının saptanabileceği önerilmiştir. (Ref-2)

Ed (Laboratuvar) - E f (Insitu)

Ed (Labaratuvar)

K =	Çatlaklık durumu	Sınıf
0-0 .25	Çok iyi	A
0.25-0.50	iyi	B
0.50-0.65	Yeterli	C
0.65-0.80	Yetersiz	D
0.80-1.00	Kötü	E

Sismik metod ile bulunan E_j elastisite modülü kaya formasyonun ani elastik deformasyonun ,plaka ile bulunan ise gecikmeli deformasyonu karakterize eder.

Dr. Schneider (Coyne et Bélier- FRANSA); Plaka yükleme deneyi ile bulunan E_{st} statik elastisite modülü ve sismik metodla bulunan E_d dinamik elastisite modülleri , W_c kalıcı deformasyon arasında bir bağıntı olduğunu ileri sürmüştür.

$$(Ref.3) \quad W_c = f \frac{(E_d - E_{st})}{E_{st}}$$

DSİ (Devlet su işleri) Jeoteknik servisinde çeşitli formasyonlarda yapılan 60 adet plaka yükleme deneyi sonucunda aşağıdaki bağıntıyı bulduk. (Ref- 3)

$$y = \frac{E_d - E_{st}}{E_{st}}$$

$W_c =$ kalıcı deformasyon (plastik deformasyon)

$$W_c = x \quad y = 0.00038x^2 + 0.531x + 0.078$$

Jeoteknik etüd safhasında tünel güzergahının hidrojeolojik etüdü de yapılmalıdır. Bu etüd esnasında kayaların perméabilité değerlerinin saptanması için yapılan basınçlı su deneylerinde su basıncının perméabilité değerlerinin yükselme ve azalmasına neden olduğuna dikkat edilmelidir.

Malpasset (Fransa) barajının yıkılmasından önce bu geçiş bilinmiyordu. Barajın yıkılmasından sonra bu olay ortaya çıktı.

Kaya ve zemin formasyonları itkisi belirli bir deformasyon olduktan sonra azalmasına karşılık yeraltı suyunun hidrostatik ve sürüklenme basıncı azalmayan bir potansiyel oluşturmaktadır. (Ref- 4)

3 - UYGULAMA ÇALIŞMALARI :

Tünelin jeoteknik etüdünden sonraki tünel açılması iksalama ve kaplama çalışmalarında çoğu kez üzerinde durulmayan güçlük ve problem oluşturan bazı önemli hususların ayrıntılarına girmeden aşağıda madde-ler halinde belirtmeyi faydalı buluyoruz. Bu hususlar bu tebliğin yazarının yurt içi ve dışındaki tünel ve yeraltı çalışmalarında gözlem ve edindiği bilgilere dayanmaktadır

1- Tünel inşaatında geçirimsizlik kontak ve sağlamlaştırma enjeksiyonları yapılmaktadır. Enjeksiyon işleminde aşağıdaki hususlar gözden irak tutulmamalıdır. Enjeksiyon işlemi zeminin genellikle kohezyonunu artırır. içsel sürtünmesini artırmaz. Zemin enjeksiyonlarında zeminin orjinal boşluk oranı değişmedikçe 0 sürtünme açısı değişmez.

- Enjeksiyon basıncı iyi ayarlanmalıdır. Zemine uygun basınç verilmez ise zemin en küçük asal gerilmeye dik ve en büyük asal gerilme doğrultusunda yarılar. (Şekil. 3.)

- Kaya formasyonlarında bulunan düşey çatlaklarda serbest sedimantasyonu az eğik çatlaklarda fazla olur. Ayrıca çatlakların genişlikleri de sedimasyona etkili olurlar. (Şekil 2)

- Direnci düşük formasyonlarda tünel ışınal enjeksiyon motodu ile ilerliyorsa, (Şekil 4) tünel etrafında enjeksiyon yapılacak zemin kalınlığı tünel genişliğinin yarısından fazla olmalıdır. Aksi halde enjeksiyon işlemi ekonomik olmaz. Bu duruma göre enjeksiyon deliklerine yön verilmelidir.

2- Tünel açılımlında günümüzde genellikle yeni Avusturya Metodu kullanılmaktadır. Bu metodun esasları yüzyılımızın başından beri bilinmesine rağmen, geniş çapta uygulamasına geçilmemiştir.

Bilindiği gibi bu metodun esası dairesel tünel açıldıktan sonra radyal deformasyonlar oluşur ve tünel cidanndaki radyal basınçlar, radyal deformasyonlar arttıkça, azalır. Tünel açıldıktan sonra hemen iksa yapılırsa (püskürtme beton) radyal basınçlar gelişmez, tünel iksası stabl olur. Şekil 6 da LAN'ye göre radyal basınç ile radyal deformasyon arasında bağıntılar ve iksa tiplerine göre tünellerin stabilite durumları görülmektedir

EGGER (1973) ve PANET (1975) kayaların kırılmasından sonraki davranışlarını inceleyerek daha daha istifade edilebilir bağlantılar bulmuşlardır. Yeni Avusturya Metodu'nun uygulanmasında bu bağlantılar dikkate alınmalıdır. İzotrop, homojen bir formasyonda hidrostatik basınç altında bulunan dairesel kesitli bir tünelde kırılma kriteri (Ref- 5).

$$\sigma_s = R_c + \lambda_p \cdot \sigma_t \quad \lambda_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

R_c = Kayarım tek eksenli basınç direnci
 r = Radyal basınç. = Teğetsel basınç
 λ_p = Rankine passif itki katsayısı

Kırılmadan sonra kayanın gevşemesi katsayısı ile karakterize edilir

$$\alpha = \frac{E_r}{E_s} \quad E_r = \text{Radyal deformasyon hızı} \\ E_s = \text{Teğetsel deformasyon hızı}$$

$a = 1$ Halinde sabit hacimde plastik deformasyon
 $\alpha = \lambda_p$ Normal koşul ; $\alpha = 5$ çok kuvvetli gevşeme

Kırılmadan sonra EGGER (1973) ve PANET (1975) kayanın teğetsel gerilmesi ile σ_s teğetsel deformasyonu arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Şekil - 8 (b)

$$\epsilon_s = (\text{kalıcı}) = W \epsilon_s \quad E \text{ (kırılma hali)}$$

W = Direnç düşüşü katsayısı

Üç tip davranış saptanmıştır

W = ∞ formasyon önce elastik sonra ideal plastik ve direnç düşmüyor

- Elastik - gevrek Aniden direnç kaybı vardır. (W = 1)
 - Elastik ,sonra yavaş yavaş direnç kaybı olmaktadır. (w= 1)
- Şekil - 8 (a) da görüldüğü gibi.

- W = 1 halinde direnç aniden düşmektedir. İksa gereklidir. Tünel çevresinde plastik bir halka oluşur
- W = 1.6 halinde iksa gerekli fakat W = 1 haline göre daha ince olmalıdır
- W > 1.6 hahndeçok ince bir iksa yeterlidir

Özet olarak:

W = ∞ Halinde formasyon stabl

W = 1 Halinde formasyon itki oluşturur, çok deformasyon yapar

1 < W < 1.6 Halinde direnç hızla düşer, iksa gereklidir

1.6 < W < ∞ Teorik olarak formasyon iksasız durabilir.

3 - Yeni Avusturya Metodunda iksa işleminde püskürtme beton, bulon ve çelik iksa kullanımı ile birlikte dairesel tünelin cidarında yarıklar açarak, gerilme değerinin düşürülmesi saptanmaktadır. (Şekil - 9)

Avusturya 'da Tauern tüneline gerilmeleri kabul edilen değere düşürmek için gevşeme yarıkları açılmıştır

4- Yeni Avusturya Metodu uygulanmasında dairesel kesit yerine dikdörtken kesitli tünel açmak çok sakıncalıdır.

Şekil 14-15'de dikdörtgen kesitli tünellerde radyal gerilmelerin çentik etkisi ile ani artışları ve tünel cidarının arkasında oluşan plastik zonlar görülmektedir. Bu durum göçüklere neden olabilir.

Yeni Avusturya Metodu uygulamasında tünel açma makinaları ile dairesel kesitte açmanın aşağıdaki avantajları vardır.

- Tünel cidarı düzgün olduğundan formasyonun jeoteknik etüdü gerçekçi olur.

- Dairesel kesitli tünel dikdörtgen kesitli tünelden daha az yeryüzünde çökmelere neden olur ve daha stabldır. Şekil 11'de görüldüğü gibi dikdörtgen kesitli tüneline örtü kalınlığı açıklığının karesinin bir fonksiyonudur, ($h = f(l^2)$); h = örtü kalınlığı l = açıklık)

Dikdörtgen kesitin yarısı göz önüne alınırsa tavan konsol gibi çalışır.

Dairesel kesitli tünel halinde, tavan payandalı konsol gibi çalışır.

- Şekil 16 'da görüldüğü gibi dairesel kesitli tüneline yeryüzüne doğru etki alanı düşeyle ($45 - 0 / 2$) açısı yapan düzlem ile sınırlıdır. Dikdörtgen kesitli tünel veya maden işletmesinde bu açı 10° civarındadır. Böylece - dairesel kesitli tünelden yeryüzü az etkilenir.

- Tünel açma makinesi ile açılan dairesel tüneline cidar düzgün ve örselenmemiş olduğundan, tüneline teorik iksa ve kaplama hesapları kolay yapılır ve güvenilir sonuçlar alınır.

- Tünel ilerleme hızı kontrol altına alınır. Tüneline geçtiği formasyonların, özellikle jeolojik özellikleri göz önüne alınarak her formasyon için bir optimum ilerleme hızı saptanması, günümüz tünel mühendisliğinde benimsenmeye başlanmıştır.

5 - Bir dairesel kesitli tüneline, düşey gerilmeler yatay gerilmelere göre çok fazla ise Şekil- 12' deki gibi plastik zon hasıl olur. Bu plastik zon içinde tüneline hava kabarcığı gibi yukarı kaldırdığı gözlenmiştir. Bu durumda tüneline belirli bir kısmı yukarı kalkar, parçalanabilir. (Ref- 4)

6 - Dairesel kesitli bir tüneline etrafındaki makaslama, basınç (sıkışma) bölgeleri Şekil -14' de görülmektedir. Bu tünel boşluğunun hacmini hesap ederken bu bölgelerin tünel boşluğunu arttırma ve eksiltme etkilerini göz önüne almak gerekir.

7 - Püskürtme betonun etkinliği, atıldığı yüzeye yapışabilirliğine bağlıdır. Yapışma konusunda yapılan araştırmalar, yüzeyle beton arasındaki bağın kayacın mineral bileşimine bağlı olduğu sonucunu vermiştir. Mika ve potasyum feldspat içeren yüzeyler çimento ile bağ kurulamaması nedeni ile zayıf bağ oluşturmaktadır. Gabro ise içindeki yüksek plajiyoklas nedeni ile yüksek adhezyon vermektedir. Bu husus önceden etüd edilmiştir.

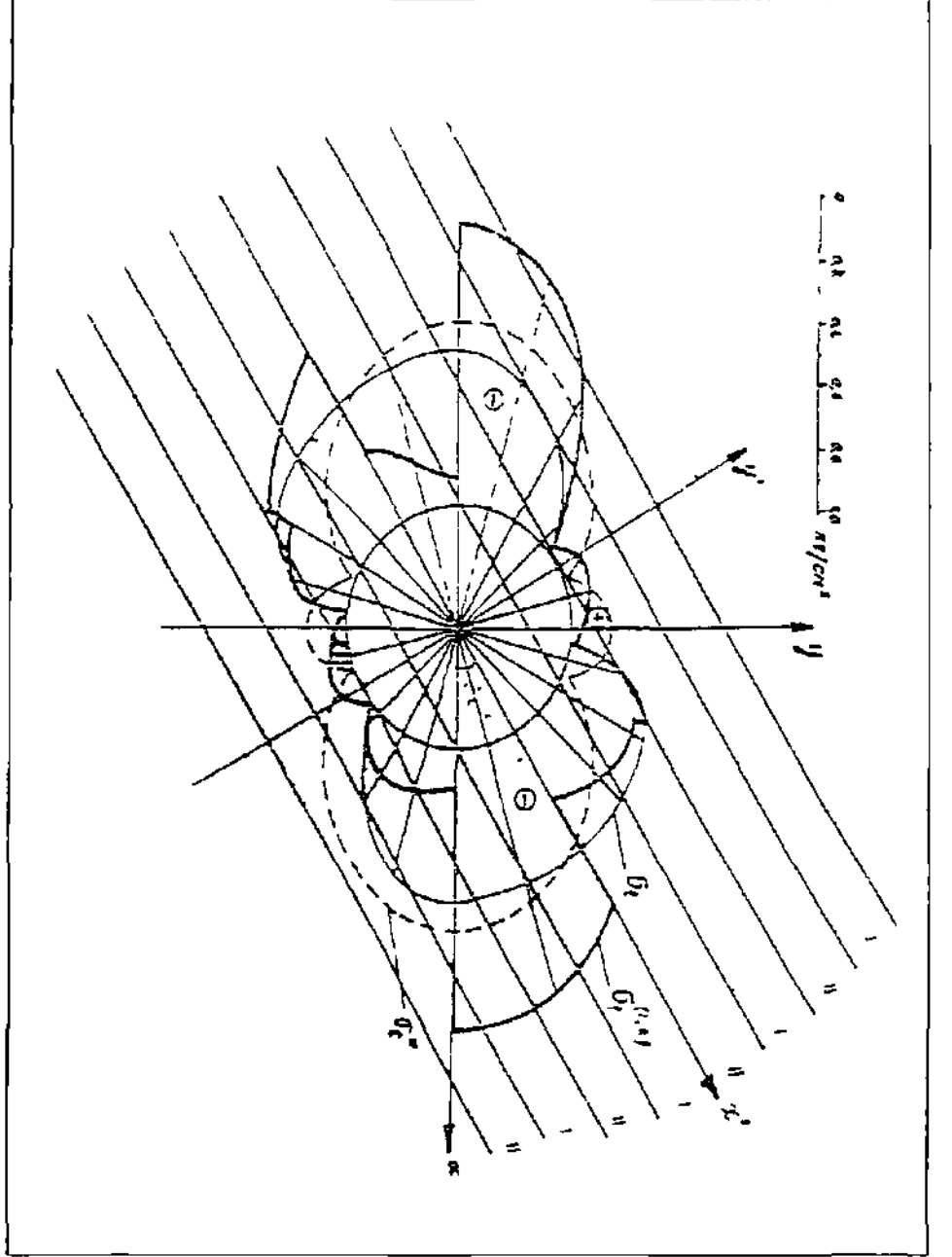
8 - Tünel açılması esnasında rastlanan suların ; tünel betonuna zararlı maddeler içerip içermediğini saptamak için kimyasal analizi yapılmalıdır. Her üç ayda bir bu analiz periyodik olarak yapılmalıdır. Yeraltı suyunun durumu (seviyesi) zamanla değiştiği için, yılın bütün aylarında bileşimi aynı kalmaz.

4-SONUÇ:

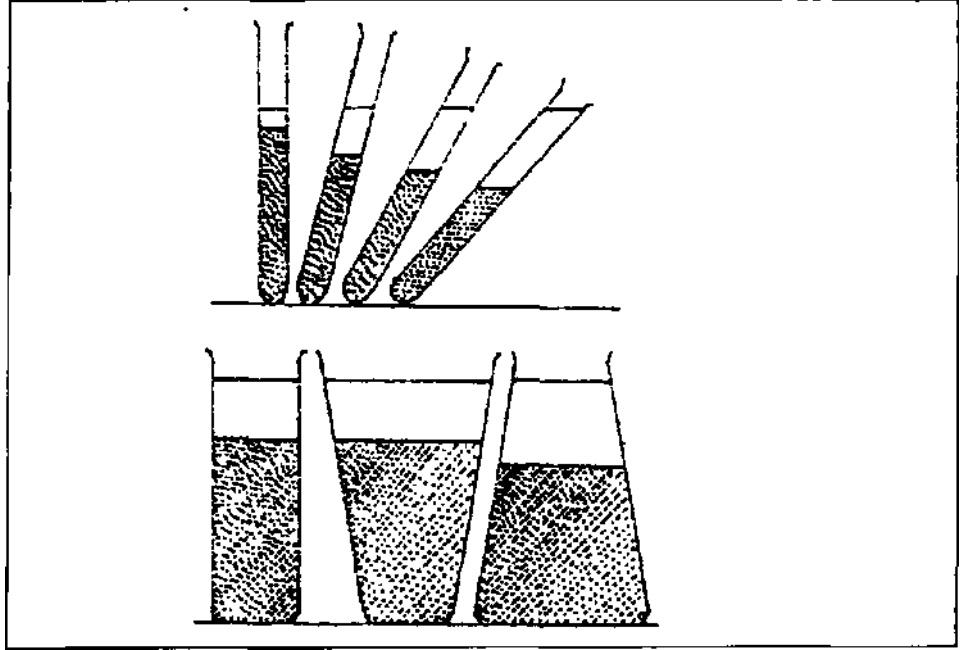
Günümüzde artan bayındırlık, endüstri ve ulaşım faaliyetlerine paralel olarak, gelişen tünel mühendisliğinde jeoteknik etüd, ve uygulama esnasında önemli gördüğümüz bazı unsurlar ve problemleri kısaca bu tebliğde özetledik. Bunların göz önüne alınmasının teknik ekonomik ve emniyet yönünden yararlı olacağı kanısındayız.

5 - REFERANSLAR

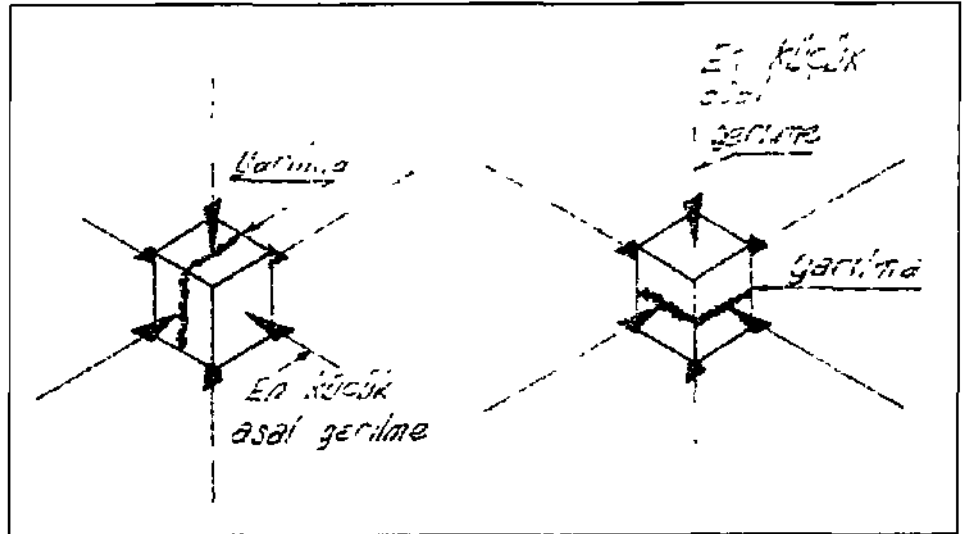
- 1-) *Dik yatımî tabakalardan müteşekkil bir kaya kitlesi içine açılmış enine kesiti dairevi ve eliptik olan galerilerin yakınındaki gerilme dağılımı hakkında (İ. TMintchev ,çev E . TİMUR, Kaya Mekaniği üzerine makaleler DSI-1969)*
- 2-) *Adıgüzel Barajı yerinde yapılan kaya mekaniği deneyleri ve sonuçları (Konferans DSİ E. Tmur 1969)*
- 3-) *Kayaların deformabiliteleri ve yükleme diyagramları üzerine yorumlar (E. Timur, İ.T.Ü. Çatlaklı ve ayrılmış kayaların mühendislik özellikleri sempozyumu 1971.)*
- 4-) *Kaya Mekaniği üzerine makaleler (Cilt 1 E. Timur DSİ 1969)*
- 5-) *Cahier No= 7 de la comité Française de la Mécanique des Roches (1975)*



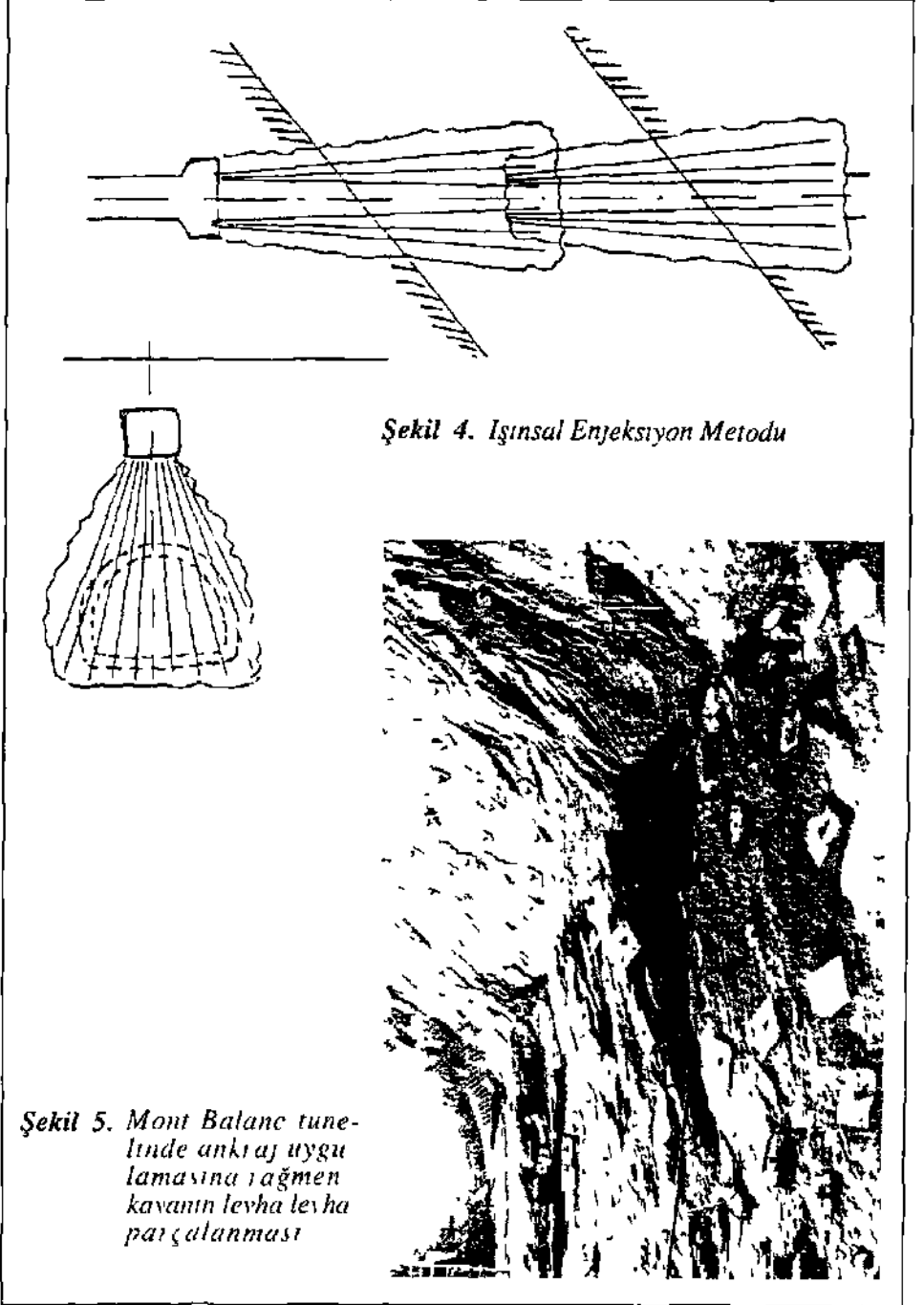
Şekil 1. Farklı elastisite modülleri olan tabakalardan oluşan bir formasyonda açılan dairesel kesitli tuncelde anti radyal gerilme artışı



Şekil 2. BİR süspansiyonun sedimentasyonu üzerine şeklin ve kabın eğiminin etkisi

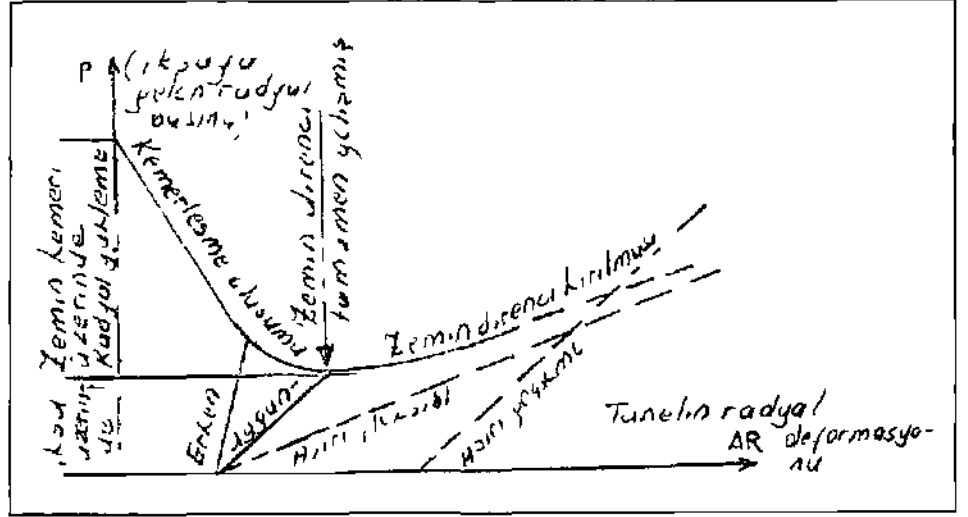


Şekil 3. Zemin vaitma duuu/uu



Şekil 4. Işınsal Enjeksiyon Metodu

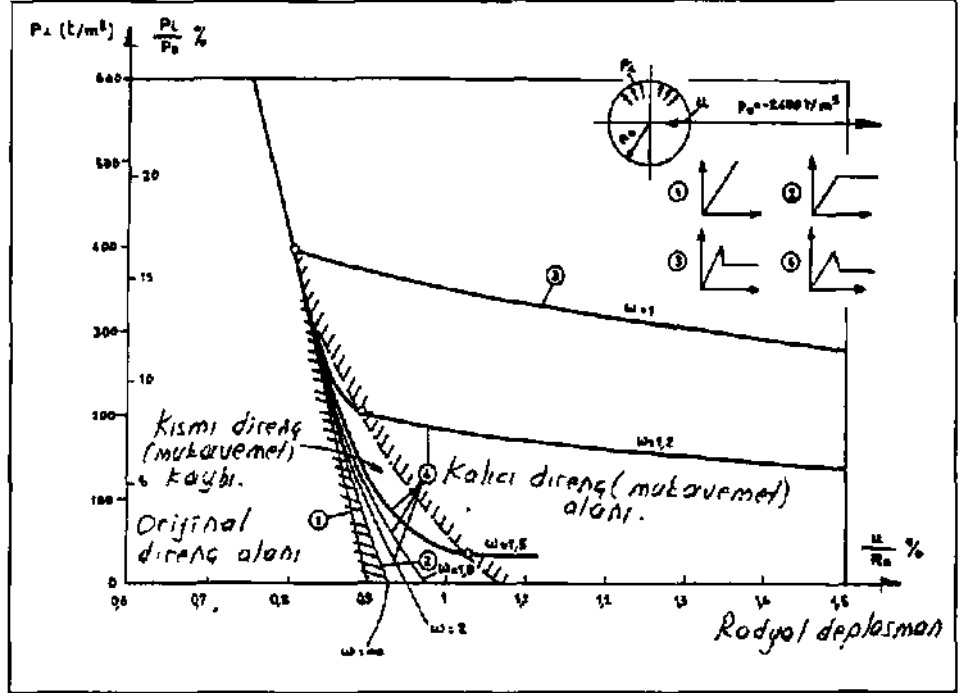
Şekil 5. Mont Balanc tunde ankrıaj uygulamasına yağmen kavartın levha levha parçalanması



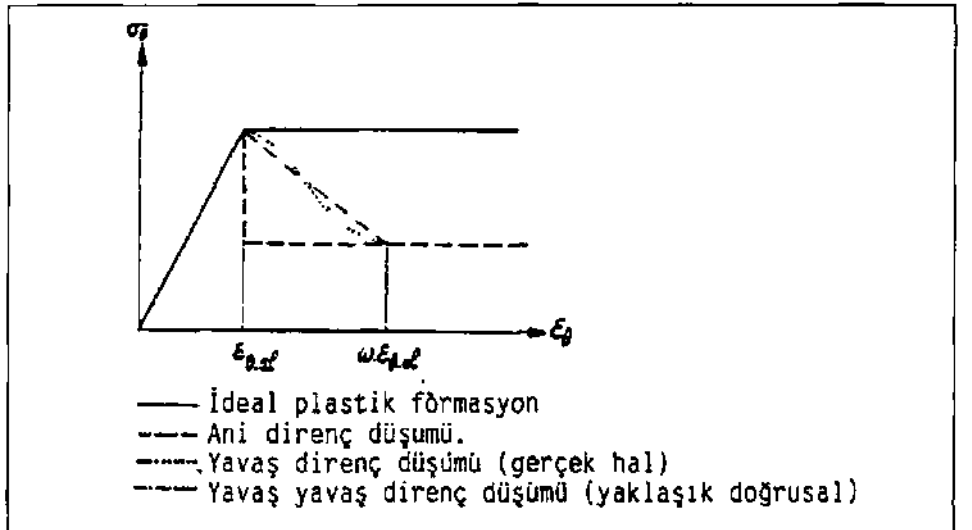
Şekil 6. LANE'e göre grafik



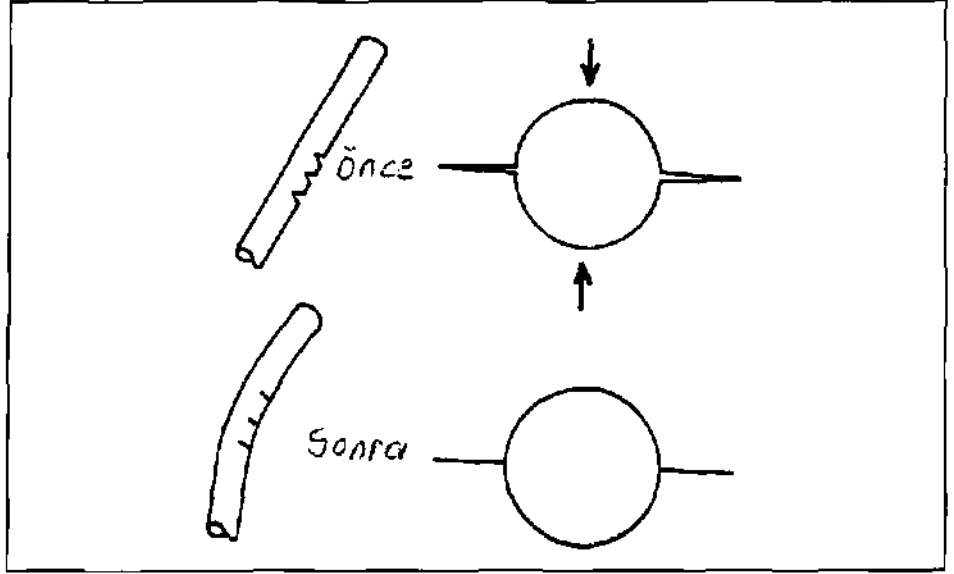
Şekil 7. Dairesel kesitli bu tünelde yandan geçme (foi massyon şist - Fransa)



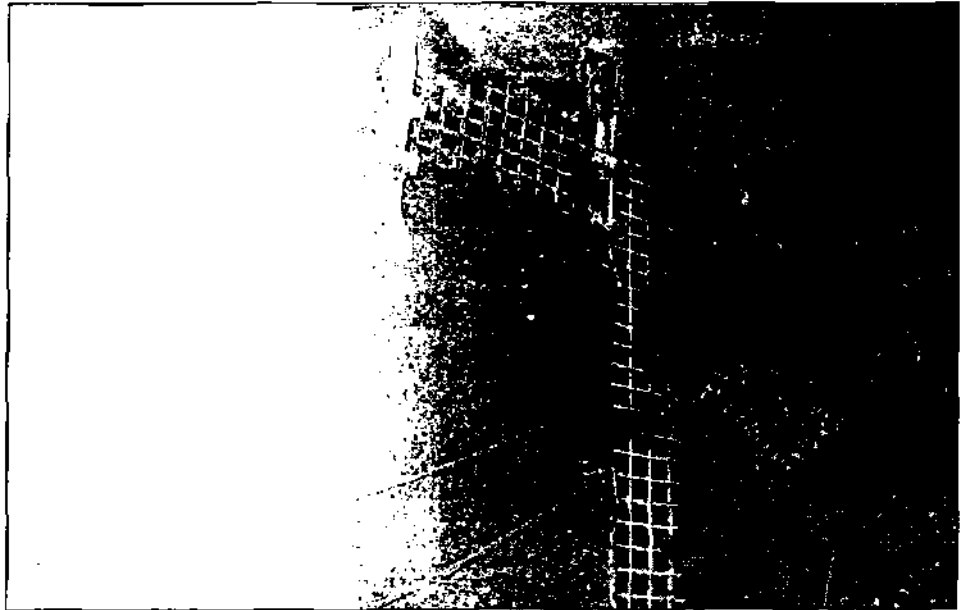
Şekil 8-a. Çeşitli tip formasyonlar için iksa reaksiyonu ile tünel cidarının deplasmanı arasındaki bağıntı



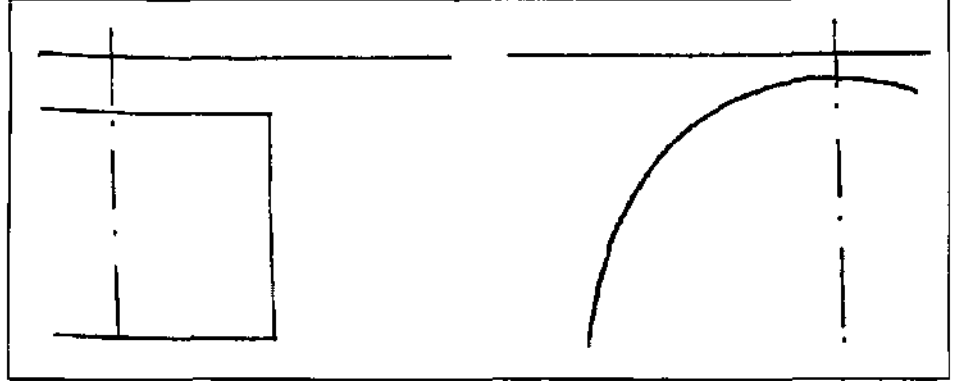
Şekil A-/: Çeşitli tip formasyonların kin imadan sonraki davranışları



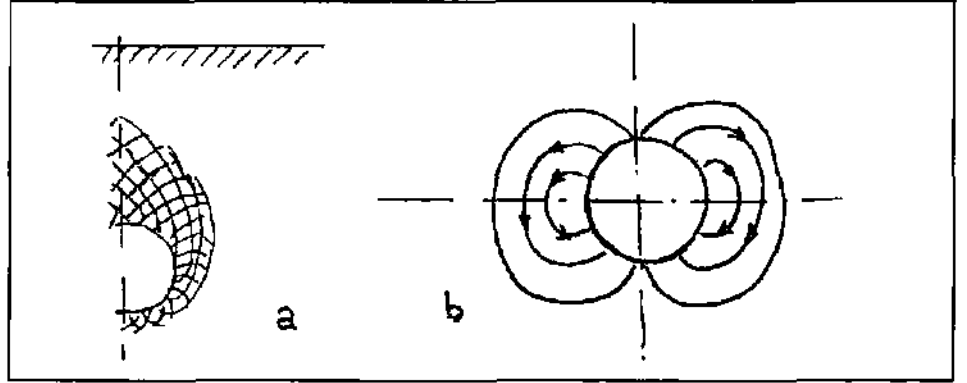
Şekil 9. Dairesel tünelin cidarına yarık açarak gerilmenin değerinin düşürülmesi



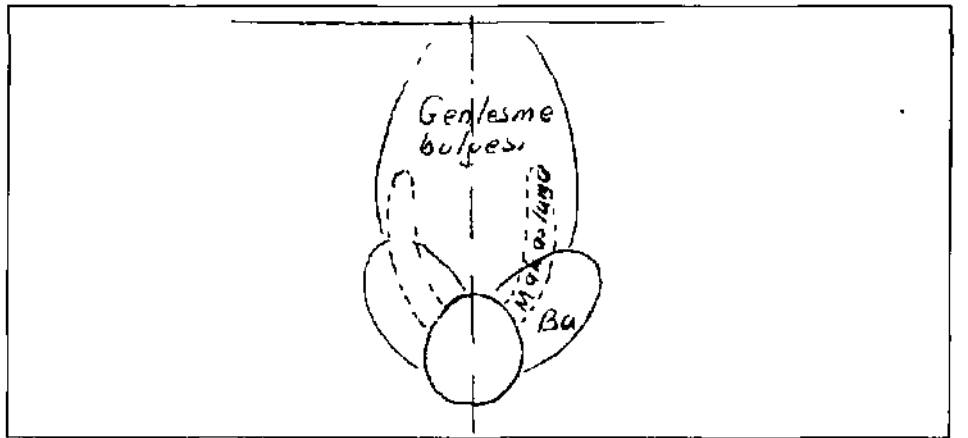
Şekil 10. Avusturya'da Tauern tüneline iksa üzerinde gevşeme yarıkları açılması



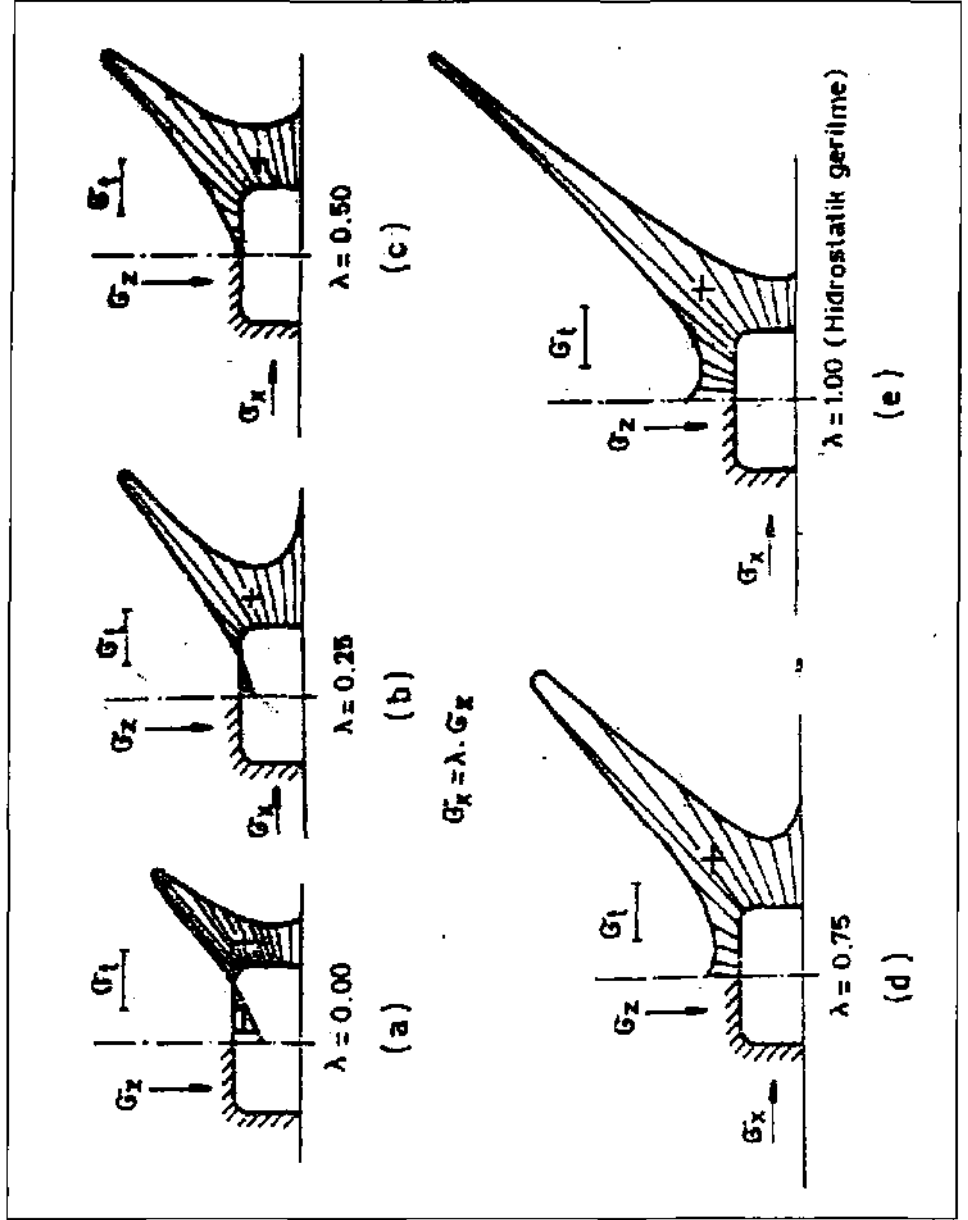
Şekil 11. Dairesel kesitli tunel ile dikdörtgen kesitli tünellerin örtü kalınlığı az olma halindeki durumları



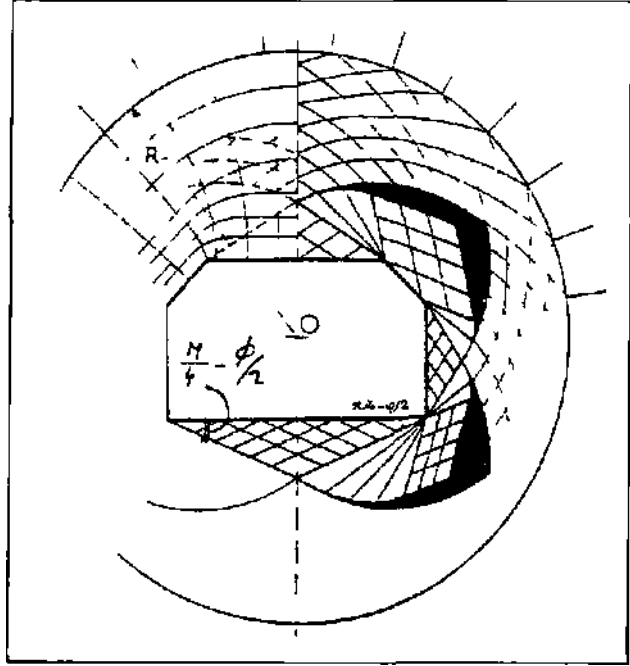
Şekil 12 Dairesel kesitli tünelde plastik zeminin gelişmesi



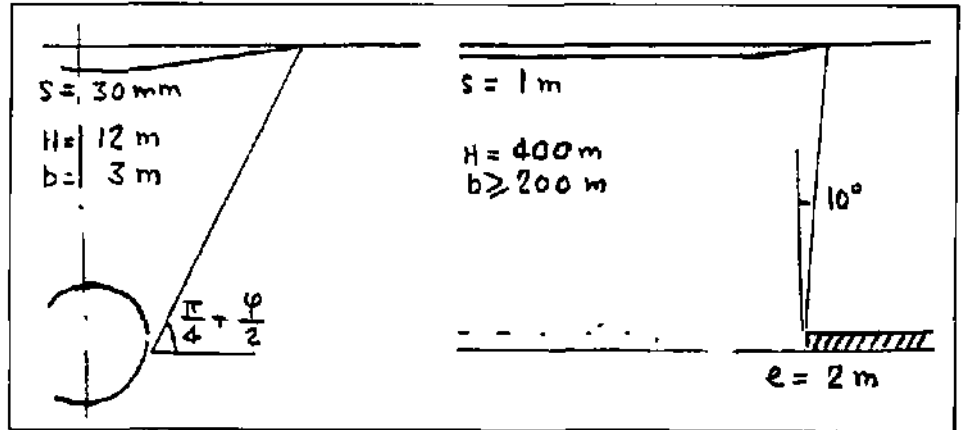
Şekil 13 Dairesel İlinekle hatim debisine sı



Şekil 14. Dikdörtgen kesitli galeride homojen ve izotrop formasyonlarda oluşan gerilmeler.



Şekil 15. Dikdörtgen kesitli galeli ide homojen ve izotop foi masyonları da oluşan geulmele)



Şekil 7(5. 5// maden işletmesinde oluşan boşluk ile dauesel kesitli tünelin yeryüzüne etkisi