

METRO TÜNELLERİNDE DURAYLILIĞIN KORUNMASI VE SAĞLANMASI SAĞLAMLAŞTIRMA-DESTEKLEME-İYİLEŞTİRME

(*) MahirVARDAR

ÖZET

Metrolar büyük kent yaşamının ayrılmaz ve vazgeçilmez öğelerinden biridir. Metroların belli başlı yapıları arasında ulaşım tüpleri (tünelleri) de bulunmaktadır. Bunların yeraltı kazısı ile açılmaları durumunda, kentte mevcut yapılaşmaları ile olumsuz etkileşimlerin meydana gelmemesi temel koşuldur. Bu nedenle açım sırasında oluşan deformasyonların alt yapıya ve yerleşimlere zarar vermeyecek kadar küçük tutulması gerekir. Bunun sağlanması; ancak iyi bir yönetim, doğru seçilmiş bir yöntem, nitelikli uygulama ve etkili önlemlerin kullanılmasıyla olur. Etkileşimlerin anlaşılabilmesi ve tünelin denetlenebilmesi ise, Önlemlerin mekanik anlamının bilinmesine ve programlı ve düzenli ölçümlerin yapılmasına bağlıdır

1 - GİRİŞ

Günümüzde metrolar, yalnızca kentsel ulaşım sistemleri olarak değerlendirilmemektedir. Yenilenen ve gelişen şehircilik kavramları arasında metro artık bir yaşam biçimidir. Amacı, kent insanını bir yere ulaştırmak değil, büyük kent yaşamını yaşanabilir kılmaktır. Dolayısıyla metro artık, ulaşımın yanısıra, gezi-sergi alanlarının, otoparkların, alışveriş, iş, bilişim, iletişim, eğlence, sanat ve kültür olanaklarının birleştirildiği ve odaklaştırıldığı yerüstü ve yeraltı yapılarının genel adı olmuştur. Burada temel hedef, kentlinin zaman ve yarar değerlerini en üst düzeye çıkarmak, onu rahat ve huzurlu bir ortamda, güvenli ve düzenli koşullarda kentsel öğelerle ilişkili kılmaktır, uyarca

(*) I TU Maden Fakültesi

yaşatmaktadır. Bu nedenle metroların yapım aşaması sırasında da kentlinin yaşamını engelleyici ve güvensizlik yaratıcı etkilerinden alabildiğince kaçınmak gerekmektedir. Metro sisteminin belirli bir bölümünü oluşturan metro tüpleri (tünelleri), kent içinde açılmaları ve yüzeye yakın veya sığ olmaları nedeniyle diğer tünellerden Önemli ölçüde ayrılırlar. Mevcut yapılarla olan etkileşimlerin yanısıra kent trafiğinin ve yerleşiminin getirdiği kısıtlamalar, metro mühendisliğini ayrı ve ayrıcalıklı bir mühendislik alanı durumuna sokmaktadır. Yüzeydeki oturmaların miktarı, kanalizasyon, haberleşme, su ve diğer altyapı sistemleri ile temellerdeki zorlanmaların düzeyi, özenli ve nitelikli imalatı olduğu kadar, sürekli ve titiz bir gözlem ve değerlendirme çalışmasını da zorunlu kılmaktadır

Metro mühendisliğinin başarısı; seçilen ve uygulanan önlem, işlem, yöntem ve yönetiminin doğruluğuna ve yeterliğine bağlıdır. Bu nedenle metro tünellerinde i sağlama ve destekleme önlemlerinin tanıtım ve açıklanmasına geçmeden önce, bir metro çalışmasında, önlemlerin niteliğini ve etkinliğini doğrudan etkileyen yönetim, yöntem ve işlem konularına kısaca değinilmesinde yarar bulunmaktadır.

1. 1. Metro tünellerinin açımında yönetimden beklenenler

Metro tünellerinin açımı düzenlilik, süreklilik ve hızlilik istemektedir. Bu bakımdan metro mühendisliğinin en önemli öğelerinden biri olan yönetim biçimi ve kurgusunda aşağıdaki özellik ve nitelik bulunmalıdır.:

- Kadrolarda nitelik ve nicelik optimizasyonu
- Yönetim kurgusunda basitlik
- Yetki ve sorumlulukta belirlilik
- Finansman yeterliliği ve sürekliliği
- Karar ve uygulamalarda netlik ve tek anlamlılık
- Denetimde tutarlılık
- İlişkilerde düzenlilik ve sağlamlık

1. 2. Metro açım yöntemlerinden beklenen nitelikler

Metro Açım Yöntemi, amacın gerçekleşmesini sağlayan işlem ve önlemler arası ilişkilerin mekan ve zaman uzayında düzenlenmesi ve bunların uygulama yeri, sırası ve sürelerinin belirlenmesidir. Kentiçi geçişlerinin kendine özgü sorunlarının bulunduğu ve bunun doğal sonucu olarak da farklı metro açım ve inşaat yöntemlerinin kullanılmasının normal olduğu bilinmelidir

Bu nedenle yöntemin adından çok, bu yöntemin getirdikleri açınsından beklentilere hangi oranda cevap verebildiği üzerinde durmak gerekir.

İyi bir yöntem uygulanabilir öğretilir anlaşılabilir; denetlenebilir ve geliştirilebilir olmalıdır

Türü ne olursa olsun, seçilen yöntemde aranması ve bulunması gereken diğer özellikler ve nitelikler şunlardır;

- Belirlilik
- Ekonomiklik (personel, para, zaman, araç, gereç)
- Riski azaltıcı,
- Kararlarda ve uygulamada tekillik ve çabukluk getirici,
- Primer durumu koruyucu,
- Yöntemi kolaylaştırıcı,
- Davranışları uyumlandırıcı,
- Denetimi kolaylaştırıcı,
- Etkileşimleri düzenleyici,
- Değişikliklere uyum sağlayıcı olma.

1.3. İşlemlerde aranan özellikler ve nitelikler

İşlemler, teknik girişimin herhangi bir ögesinin gerçekleştirilmesi için zorunlu olan çalışmalardır. Bu nedenle işlevsel, hedef yoğun, araç- gereç, personel ve zaman etkin olmalıdır. Ayrıca;

- Öğrenilebilir
- Yetenek, becen ve deneyim kazanılabilir özellikler taşınmalıdır

İşlemler doğrudan hedefe yönelik uygulamalardır. Dolayısıyla, işlemler belirlenirken, onların

- Nitelik sağlayıcı
- İş ortamını ve doğayı koruyucu ve gözetici
- Eş zamanlı diğer işlemlere uyumlu
- Çalışmalara yalınlık getirici
- İşleri çabuklaştırıcı, kolaylaştırıcı ve rahat olup olmadıkları incelenir ve irdelenir

2- DUYARLIK (STABİLİTE) SORUNU NEDİR, NASIL GİDERİLİR ?

Metro tünellerinin açımı sırasında içinde çalışılan ortam ve koşullar değişmekte, değiştirilmektedir. Bu değişimin derecesi, kuvvetler dengesinin veya moment dengesinin ya da gerilme durumunun teknik girişim

sonucunda ne kadar bozulmuş olduğuna bağlıdır. Doğa, içinde çalışılan ortam bu yeni koşullara uyumlanırken kendi özellik ve niteliklerine göre tepkimekte, direnmektedir. Dolayısıyla değişim olarak karşımıza çıkan ölçülebilir büyüklükler, zorlayan etmenlerle bunlara direnen ortam arasındaki etkileşimin sonucudur. Direnme, önce enerjiyi dengelemek, sonra türünü değiştirmek ve nihayet düzeyini düşürmek şeklinde olmaktadır. Bir başka deyişle; zamana bağlı gerilme- deformasyon ilişkisi ve çevre kayacının psödoplastikleşmesi, denge durumu ile etkileşimin ölçütü ve nedeni olmaktadır. Bu etkileşim miktarının teknik girişim için Öngörülen sınır(lar)ı aşması durumunda ise, duraylılık sorunu başlamaktadır. Tanımdan da anlaşılacağı gibi, metro mühendisliğinde duraylılığın bozulmuş olması için tüneldeki konverjansın aşırı boyutlara ulaşması veya bir göçüğün oluşması gerekmemektedir. Örneğin;tünelde hiçbir olumsuzluk görülmemesine karşın, yüzeydeki oturmaların veya örtü kayacı içindeki yer değiştirmelerin zararlı boyutlara ulaşması duraysızlık kabulü için yeterlidir. Bu deformasyonların nedeni, yeraltısuyunun drenajı veya sekonder gerilme durumunun oluşumu sırasındaki vektörel değişimler gibi tünel içinden algılanamayan etmenler olabilmektedir

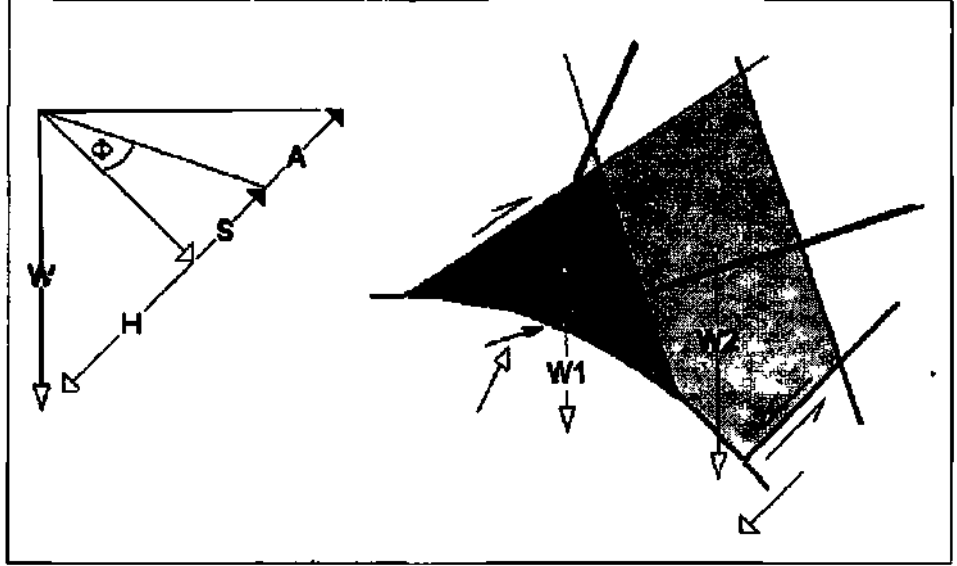
Duraysızlığın Önlenmesi veya/ve giderilmesi için **alınan önlemler**;

- Sağlamlaştırma
- Destekleme
- İyileştirme
- Korunma

başlıkları altında derlenmektedir ve ön, geçici ve kalıcı **olabilmektedir**. Ancak, bu önlemler işlevleri ve etkime nedenleri açısından incelendiğinde, mekanik bakımdan daha kolay anlaşılabilir gruplar halinde toplanabilmektedir.

2.1. Kuvvetler dengesini oluşturan önlemler

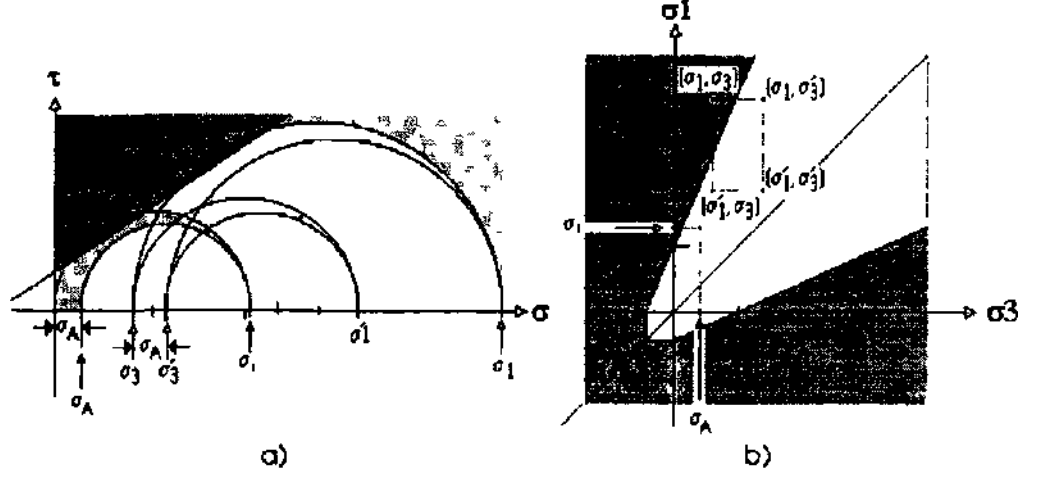
Süreksizlikler arasında kalan kama ve bloklar, kinematik serbestlik bulduklarında ve genelde yerçekiminin etkisiyle çevre kayacından koparak ayrılmaktadırlar. Bu parçaları yerinde tutmaya çalışan kuvvet (varsa) çatlak dolgusunun kohezyonu ve süreksizlik yüzeylerindeki sürtünmedir. Normal kuvvetin (N) arttırılması, ağırlığın (W) azaltılması veya/ve kesme kuvvetinin (T) karşılanması ile tünel duvarında oluşabilecek sökülme ve gevşemelerin bir bölümünü önlemek mümkündür Şekil 1). Boyutları andı ima, kuvvetler poligonunun istenen güvenlik sayısına uygun olarak kapanmasıyla elde edilir. Askı blonları (saplamaları) ve püskürtme beton bu amaçla kullanılabilir



Şekil 1. Kaya saplamalarıyla ve püskürtme beton ile kuvvetlerin dengelenmesi

2.2. Gerilme durumunu değiştiren önlemler

Dayanım kaybına, yenilme veya kırılmaya bağlı duraylılık sorununun bulunup bulunmadığını araştırmak için değişik hipotezlerden yararlanılmaktadır. Bunların başlıcaları; gerilme hipotezleri, deformasyon hipotezleri, enerji hipotezleri ve güç hipotezleridir. Jeomekanikte yaygın olanları, gerilme veya deformasyon ansörlerinin kullanıldığı hipotezlerdir. En büyük (genelleştirilmiş) kesme gerilmesi hipotezine göre yapılan irdelemelerde Mohr yenilme koşulu zarfı ile Etkin Gerilme Farkı Çemberi diyagramında birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Kayacın içsel parametreleri (C ve θ) nin tanımladığı zarfa değen veya kesen gerilme çemberleri duraysızlığın bulunduğunu göstermektedir. Benzer bir irdeleme de diyagramlarında Haigh koşulu kullanılarak yapılmaktadır. Burada her kayacın içsel parametreleri tarafından tanımlanan özgün bir asal gerilme oranının bulunduğu kabul edilmekte ve etkin gerilmelerin bu oranı sağlaması durumunda stabilitenin bozulacağı kabul edilmektedir. Şu halde gerilme durumunun uygun şekilde değiştirilmesi ile duraysızlık önlenebilir olmalıdır. Nitekim tek eksenli gerilme durumundan 2 (3) - eksenli gerilme durumuna geçme, en küçük asal gerilmenin şiddetini artırma, en büyük asal gerilmenin şiddetini azaltma veya bunların hepsini birarada uygulama ile stabilite sorununun önü alınabilmektedir. Şekil 2a ve 2 b de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2. Ön gerilmeli ankraj, donatılı püskürtme beton ve iksaların gerilme durumlarını değiştirmesi. (a) Mohr diyagramında ve (b) Haigh diyagramındaki gösterimler

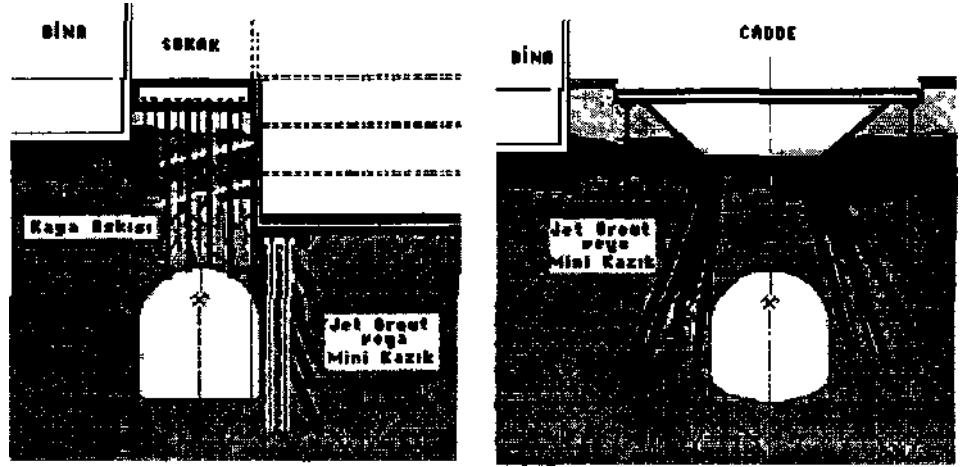
Ön gerilmeli ankrajlar, tünel duvarındaki (düzlemsel incelendiğinde) tek eksenli gerilme durumunu ankrajlara uygulanan gerilmesi ile 2-eksenli gerilme durumuna sokmakta, böylece Mohr çemberini yenilme zarfından uzaklaştırmaktadır. Benzer durum Haigh Koşulu için de sağlanmış olmaktadır. Kazı yüzeylerine uygulanan kalın ve (hasır çelik veya çelik tel) donatılı püskürtme betonun ve kayaya kesme gerilmeleri alabilecek şekilde bağlanmış olan kafes iksaların da bu kapsamda düşünülmesi gerekir. Ancak, yeraltı suyunun bulunması durumunda gerilme durumunu en iyi şekilde değiştiren önlemlerin başında drenaj gelmektedir

2.3. Ortam koşullarını iyileştiren önlemler

Primer gerilme durumu, dış yüklerin miktarı, türü ve yeri ile yeraltı suyu ortam koşullarının başlıcalarıdır. Primer gerilme durumunun ancak çok özel durumlarda değiştirilmesine çalışılır. Buna ilişkin bir örnek örtü kayacı ağırlığının, daha açım öncesindeyken tünelin geçeceği bölgenin dışına kaydırılması veya örtü ağırlığının yüzeye aşılmasıdır (Şekil 3).

Koşulların değiştirilmesindeki en başarılı örnek, suyun uzaklaştırılması (drenaj)dır. Böylece, boşluk suyu ve çatlak suyu basınçlarının ortadan kaldırılması ile gerilme durumu olumlu yönde değişirken, killi kayaçların ve killi çatlak dolgularının da dayanımını artmaktadır. Su

patlaması ve akıcı kum gelişi engellenebilmektedir. Ancak özellikle killi ve siltli zeminlerde yeraltı su düzeyinin düşürülmesi ile tünel stabilitesi ve iş güvenliği açısından olumlu koşullar sağlanırken, yüzeyde ve örtü içinde büyük ve beklenmedik oturmalar ve duraysızlıklarla da karşılaşabilmektedir. Bu takdirde bentonit veya havalı şild ile çalışılması veya boru itme yönteminden yararlanılması uygun düşmektedir



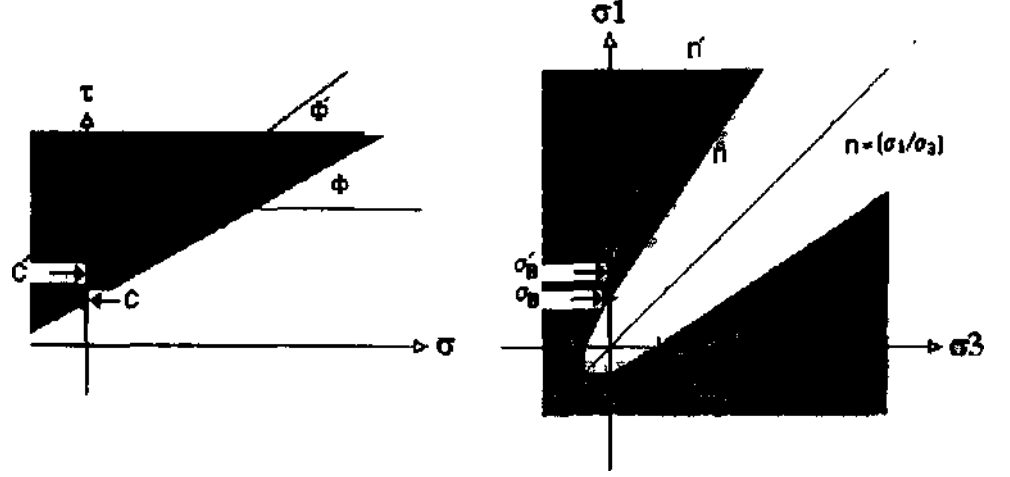
Şekil 3. Primer gerilme ve yüklenme koşullarının önceden değiştirilmesi

Koşulların değiştirilmesindeki en başarılı örnek, suyun uzaklaştırılması (drenaj)dır. Böylece, boşluk suyu ve çatlak suyu basınçlarının ortadan kaldırılması ile gerilme durumu olumlu yönde değişirken, killi kayaların ve killi çatlak dolgularının da dayanımını artmaktadır. Su patlaması ve akıcı kum gelişi engellenebilmektedir. Ancak özellikle killi ve siltli zeminlerde yeraltı su düzeyinin düşürülmesi ile tünel stabilitesi ve iş güvenliği açısından olumlu koşullar sağlanırken, yüzeyde ve örtü içinde büyük ve beklenmedik oturmalar ve duraysızlıklarla da karşılaşabilmektedirler. Bu takdirde bentonit veya havalı şild ile çalışılması veya boru itme yönteminden yararlanılması uygun düşmektedir

2. 4. Dayanım arttırıcı önlemler

Güzergah etütlerinde, içinden geçebilecek ortamı dolgu ve kayalar olarak ayırdıktan sonra, kayaları da farklı mekanik davranışlar gösterdikleri için ayrıca zemin, kaya ve geçiş kayacı olarak ele almak gereklidir. Genel olarak kayaların dirençlerini ve içsel parametrelerini arttırıcı önlemler arasında çimentolu enjeksiyon ve türdeşleri (jel grouting, kimyasal enjeksiyon vb.) başta gelmektedir. (Şekil 4).

Bilindiği gibi, kayanın kütleli dayanımı, onu meydana getiren parçaların sayısı, dizilimi ve konumu ile doğrudan ilişkilidir. Metro açımından etkilenen bölge (Sistem Büyüklüğü) içinde yer alan süreksizliklerle ayrılmış olan parçalar (Birim Kaya Elemanları) kayanın doku hareketliliğini ve doku dayanımını tanımlamaktadır. Çatlaklı ve kırıklı kayada görülen dayanım azalmalarını birim kaya elemanlarını birbirine bağlayarak (ortamı monolitleştirerek) gidermek ve daha yüksek dirençler elde etmek mümkündür. Böylece kayanın niteliği artırılmış olmaktadır. Enjeksiyonların yanı sıra kazıyı çevreleyen kayalara geliş güzel yerleştirilmiş ön germesiz, enjeksiyonlu çubuklar, veya şemsiye sürenleri, kaya-



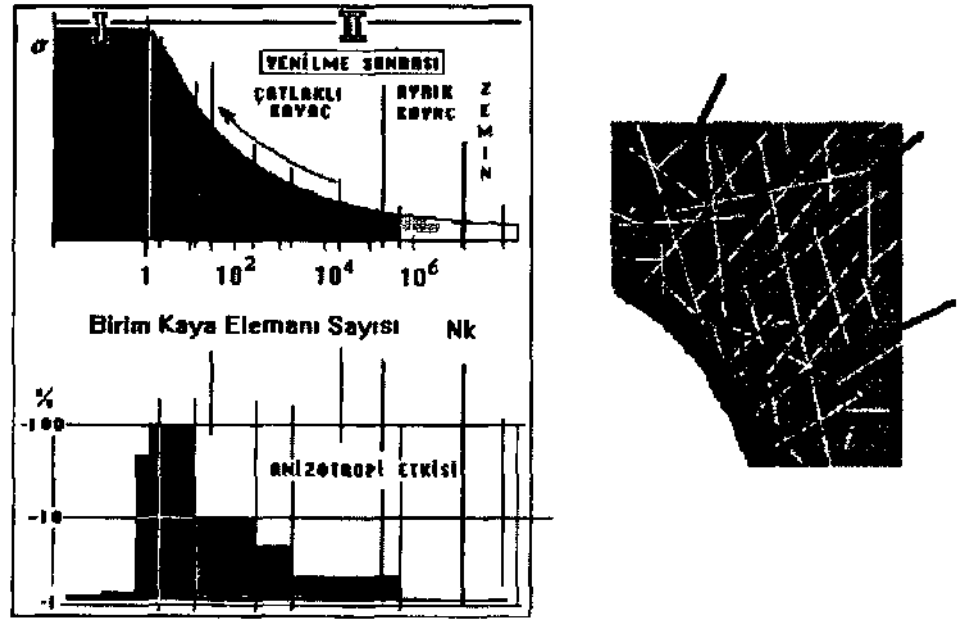
Şekil 4. Mekanik anlamda dayanım artışının sağlanması

daki anizotropiyi ve heterojenliği de gideren ve kayanın daha yüksek kesme ve çekme dirençleri almasını sağlayan önlemler arasındadır. Bu şekilde donatılı kaya oluşturmak mümkündür Sistem ankrajlamada Ön germeli ankrajlarla birlikte çok sayıda kaya blonunun kullanılmasının nedeni de budur (Şekil 5). Kazı kesitinin ve ilerleme boylarının küçük tutulması ile de sistem büyüklüğü içindeki parça sayısı azaldığından göreceli olarak dayanım artırılmış olmaktadır. Tünelcilikte parçalı ve çok parçalı açım bu nedenle gerçekleştirilmektedir.

2. 5. Etkileşimleri denetleyen önlemler

Tünel açımının başarısı etkileşimlerin anlaşılmasına bağlıdır. Bunun için gerilme ve deformasyonların yer. zaman ve önlem ilişkisi içinde gözlem ve Ölçmelerle izlenmesi temel kuraldır. Çünkü, ancak bu şekilde çalış-

imalar denetlenebilmekte, yönlendirilebilmekte ve yapılan imalatın yeterliliği kanıtlanabilmektedir. Metro tünellerinde yüzey oturmalarını en aza indiren ve engelleyen deformasyon önleyici açım teknikleri kullanılmaktadır. Ancak derin tünellerde ve yerleşim alanı dışında kalan geçişlerde plastikleştirici açım teknikleri uygulanabilmektedir, İstanbul Metrosu'nun çalışılan kesiminde bu nedenle yalnızca deformasyon önleyici açımdan yararlanılmıştır. Etkileşimin en aza indirgenmesi için aşırı örselenmenin engellenmesi patlayıcı kullanımından kaçınma, makinalı kazı), gevşeme ve sökülmelerin önlenmesi ve zaman faktörünün en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir



Şekil.5 Kaya dokusunun değiştirilmesi ile dayanım artışının sağlanması

Denetleyici önlemler olarak;

- Uygun seçilmiş destek (iksa, bağ) türleri
- Özellikle çelik tel donatılı püskürtme beton (SFRS)
- Ön germeli olanların yanısıra serbest (gevşek) ankrajlar
- Jeomembran ve filtre
- Deformasyon yastıkları

ilk akla gelenler arasındadır.

SONUÇ

Metro mühendisliğinde jeoteknik açıdan temel hedef, mevcut altyapı ve yapılaşmaların olumsuz yönde etkelenmesini engelleyecek en uygun yöntem ve önlemlerin belirlenmesidir. Bu nedenle deformasyonları denetleyici açım ve imalat teknikleri kullanılır. Kayaçların ilk sağlamlığının korunması ve zaman faktöründen en iyi şekilde yararlanılması için ortam koşullarındaki değişimlerin izlenmesi ve çalışmaların buna göre denetlenerek yönlendirilmesi gereklidir. Farklı disiplinlerin birlikte ve uyumlu çalışması sonucunda, olabildiğince sorunsuz ve nitelikli metro imalatı gerçekleştirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

Adams, T. M., ve diğ. (1989): Some Expert system applications in geotechnical engineering. Proc. of the congress Found. Engineering: Current principles and practices, Vol. 2, pp. 7885-902, Illinois

Egger; P(1978)' Dimensionnement des ancrages en souterrain. Mitt. der Schw. Ges. für Boden u Felsmech. No. 98, pp. 1-6, Lausanne

Egger; P (1989): Examples of uncommon settlements in urban tunneling Int. Congron Geoenineenng, pp. 955-961, Torino

Egger P, Pellet F (1991)- Straight and deformation properties of reinforced jointed media under true triaxial conditions. 7 Cogi: Int. de Mech. d. Roches, Vol. J, pp. 215-220 Aachen

Vir dai: M., Bayraktar H., (1993): Istanbul metrosu araştırma galerisi örneğinde in-situ dayanım ile ITU MJKM sınıflaması. Müh. Jeol. Bülteni, Sayı 14, s. 13-28, İstanbul