

# İSTANBULMETROSU ÖRNEĞİNDE KAYA MEKANİĞİ PARAMETRELERİNİN UYGULAMAVE PLANLAMADAKİ YERİ

(\*) Mahir Vardar

(\*) İsmail Eriş

## ÖZET

Metrolar gibi kazı ve destekleme gerektiren teknik girişimlerin en belirgin özelliği, mühendisleri planlama, projelendirme ve uygulama aşamalarında kayaçların durum, nitelik ve davranışlarını ayrıntılı olarak bilmeğe, anlamağa ve izlemeğe zorlamasıdır. Bu şekilde kayaçların bir dizi kaya mekaniği parametreleri saptanarak derlenmekte ve kullanılmaktadır. Kullanım alanı ve amacı ise içinde çalışılacak ortamın, kazı açıklığının boyutu ve biçimine göre farklı olabilen, geçici ve kalıcı stabilitesinin irdelenmesi, kazı ve destekleme işlemlerinin yönlendirilmesi ve en uygun açım teknolojisi yöntem ve yönetiminin belirlenmesidir. Ancak planlamada ve projelendirmede dikkati çeken en önemli hususlardan biri, bu çalışmalarda çoğu kez tasarım öğeleri ile yetinilmekte ve bazan da yalnızca tür, boyut, biçim ve malzeme niteliklerinin tanımlandığı önlemlere yer verilmekte olduğudur. Metro ve kaya yapıları mühendisliğinde karşılaşılan en belirgin sorunların, seçilen ve uygulanana önlemlerin kusur ve eksikliğinden çok, işlem, yöntem ve yönetim hatalarından kaynaklanması, kanımızca bu konunun kaya mekaniği açısından önemle ve öncelikle ele alınması gerekmektedir. Bildiride bu amaç doğrultusunda önlem, işlem, yöntem ve yönetiminin tanımından hareket edilerek kaya mekaniği parametreleri sınıflandırılmakta ve işlevlerine ilişkin örnekler verilmektedir

## 1 - GİRİŞ

Metro gibi yeraltı yapılarının güzergah(larının) seçimlerinde kent içindeki mevcut yapılar (yoğun yerleşim bölgelerinin) altından veya

f - ) İTÜ Matten FakuUeu

onların etkilenme bölgesi içinden geçilmesi çoğu kez kaçınılmayan bir durumdur. İkinci bir durum, yeraltı yapılarının üzerine veya bunların etkilenme bölgesi içine giren yapılaşmaların planlanması ve uygulanmasıdır

Bilindiği gibi, mühendislik projelerinde, mevcut durumun genime dağılımları "primer gerilme durumu" olarak adlandırılmaktadır. Kazı, imalat ve inşaat sürecinde bu gerilmelerin yer, yön ve şiddet değiştirilmesiyle oluşan gerilme dağılımı ise "ikincil (sekonder) gerilme durumu" olarak ele alınır, statik ve dinamik stabilite analizlerinde kullanılmaktadır. Bulunan sonuçlara göre de, önlemler belirlenmekte ve yapı elemanları boyutlandırılmaktadır. İkincil gerilmelerin değişken oluşunun üzerinde titizlikle durulmasının gereği, ancak böylece karşılıklı etkileşimlerin belirlenebilmesi ve sonuçta doğru işlem ve yöntemleri seçilebilmesidir

Bu şekilde dengeye kavuşturulmuş olan ikincil gerilme durumunun yeraltı yapılarının inşasından sonraki işletme döneminde yeniden değişime uğraması ile de "üçüncül (tersiyer) gerilme durumu" ortaya çıkmaktadır

Tersiyer etkiler arasında, mevcut yeraltı yapılarının çevresindeki yeni kazı, yapılaşma ve değişen yük koşulları gibi yapay veya erime, kabarma, şişme, ayrışma, yeraltı suyu düzeyi ve kimyasındaki değişimler ile depremler gibi doğal etkiler bulunmaktadır. Bu bakımdan ele alındığında; her yeraltı yapısı projesinin, bilinen primer koşullardan hareketle, sekonder koşullara uygun ve tersiyer etkilenimlere hazırlıklı ve bunları tanımlayıcı şekilde projelendirilmiş olması, uyulması kaçınılmaz olan kurallardandır

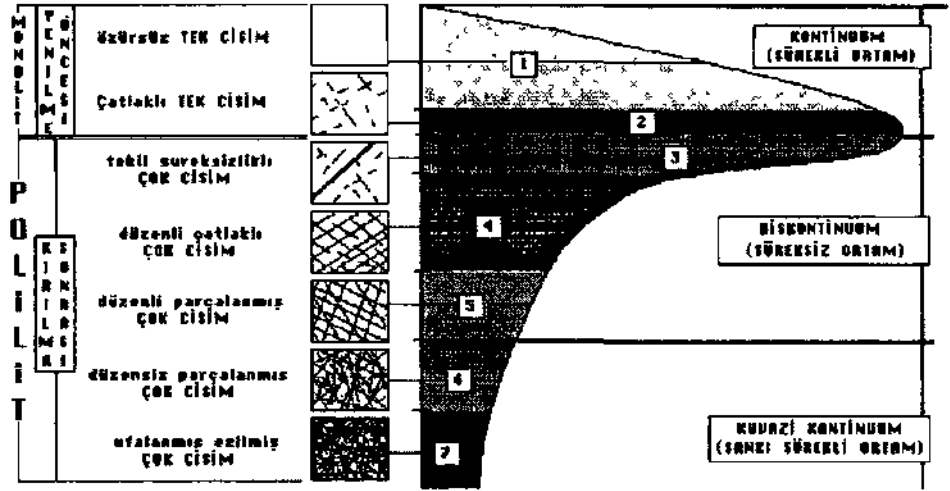
## 2 - İKİNCİL DURUM ANALİZLERİNDE TEMEL İLKELER

Kaya yapıları mühendisliğinde içinde çalışılan ortamın türü ve mekanik davranış biçimi, başlangıçtaki primer gerilme durumunun nasıl ve ne miktarda değişeceğini belirleyen en önemli etmendir. Bu nedenle projelendirme sırasında önce ortamın zemin, kaya veya geçiş kayacı olarak genel tanımlanması ile bunların sınırları belirlenmekte ve daha sonra bu şekilde tanımlanan homojen bölgelerin mekanik davranış modelleri kurulmaktadır

Kaya mekaniği açısından davranış modellerinin farklı kaya dokuları için kurulması sırasında, oluşturulan yapının etkilediği veya etkilendiği bölgenin yayılımına (sistem büyüklüğüne) bağlı olarak ortamın adlandırılması ve ana nitelikleri farklı olmaktadır. Bu durum şekil 1 de gösterilmiştir.

İkincil gerilmelerin gelişimi monolitik (tek parçalı) ortamlarda 'sürekli ortam (kontinuum) mekaniği' ve genelde yalnızca elastik varsayımlara dayandırılaarak açıklanırken, polilitik (çok parçalı) ortamlarda 'süresiz ortam (diskontinuum) mekaniği' ne ve psödo (yalancı) plastik-

leşme ile süreksizliklere bağlı anizotropi (yönbağımlılık) kavramlarına gereksinim bulunmaktadır.



**Şekil. 1** Sürekli ve süreksiz ortamların adlandırılması. (1'den 7'ye kadar kaya yapıları mekaniğinde kullanılmakta olan farklı davranış modellerinin geçerli olduğu bölgeler gösterilmiştir.

Geotekniğin bu oldukça yeni yaklaşımlarının daha somut ve kolay anlaşılır ifadesi; süreksizlik yüzeyleri (kırık, çatlak, fay v.b.) arasında kalan kayaç parçalarının kazı ve/veya yüklenme sırasındaki gevşemelerine ve sıkışmalarına bağlı olarak, ikincil gerilmelerin oluşması ve kaya dayanımının değişmesidir. Bu olayların en belirgin özelliği, zaman faktör olmaksızın açıklanamayışlarıdır.

Projelerin güvenli, nitelikli ve başarılı olabilmeleri için aşağıda sıralanan ana sorunların yeterince açıklanmış olması gerekmektedir.

Teknik girişimin türü, olası geometrisi (yeri, biçimi, boyutu), niteliği, önem derecesi, yük durumu ve temelden ana kayaya (zemin) iletilmesi beklenen kuvvetler nasıldır?

Projenin etkilenme bölgesi içinde ve yakın dolayında hangi yapılaşmalar bulunmaktadır? Bunların türü, geometrisi, niteliği, Bu bilgiler kullanışlı bir **yapılaşma modeli** için yeterli midir? Ortamın davranışını hangi kayaçlar belirlemektedir? Geometreleri nasıldır ve sınırları nerededir?

Kayaçlarda davranışı doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek yapısal bozukluklar var mıdır?

Temellendirmeyi ve/veya yapım çalışmalarını güçleştiren / kolaylaştıran kaya blokları var mıdır?

Çevrede etkilenme bölgesine ulaşabilecek büyük ve tekil zayıflık zonları veya düzlemleri var mıdır?

Çatlakların türü, miktarı, konumu, yönelimi ve dizilimi (kaya dokusu) nasıldır?

Ayrışma ve gevşeme var mıdır ve derine doğru nasıl ve ne oranda değişmektedir?

Kayanın gevşeme derecesi ne kadardır ve ne oranda azaltılabilir?

Yeraltında boşluk var mıdır veya zamanla oluşması beklenebilir mi?

Yeraltısuyu durumu, niteliği ve değişimi nasıldır?

Bölgenin deprenselliği nasıldır?

Bütün bu veri ve bilgiler güvenilir ve kullanışlı bir **mühendislik jeolojisi modeli** kurabilmek için yeterli midir? Değilse, zaman ve para ekonomisi dikkate alınarak daha hangi araştırmalara gerek duyulmaktadır

Kayanın mekanik özellikleri nasıl ve hangi deneylerle en güvenilir ve ekonomik şekilde saptanabilir?

Kayanın dayanım parametreleri (C ve 0 ) nasıldır? Zamanla ve su etkisiyle nasıl değişmektedir?

Kayanın deformasyon modülü ve yataklanma katsayısı değişik zonlarda ve derinliklerde ne kadardır?

Kuru, ıslak ve suya doymuş koşullarda bu süreksizlik yüzeylerinde beklenen sürtünme dirençleri (kohezyon ve içsel sürtünme açıları) ne kadardır?

Elde edilmiş olan veri ve bilgilerle ortamın davranışını yansıtan güvenilir bir **jeomekanik model** kurulabilmekte midir?

Değilse daha neler yapılmalıdır?

Yapının ağırlığı nedeniyle önemli oturmalar beklenebilir mi, miktarı ne olabilir? Bu konuda somut bilgiler ve tecrübeler var mıdır? Oturma ve deformasyonların ölçülmesi gereklidir?

Kayanın geçici ve kalıcı (desteksiz) kendini tutabilme süresi nasıldır ve koşulları nelerdir?

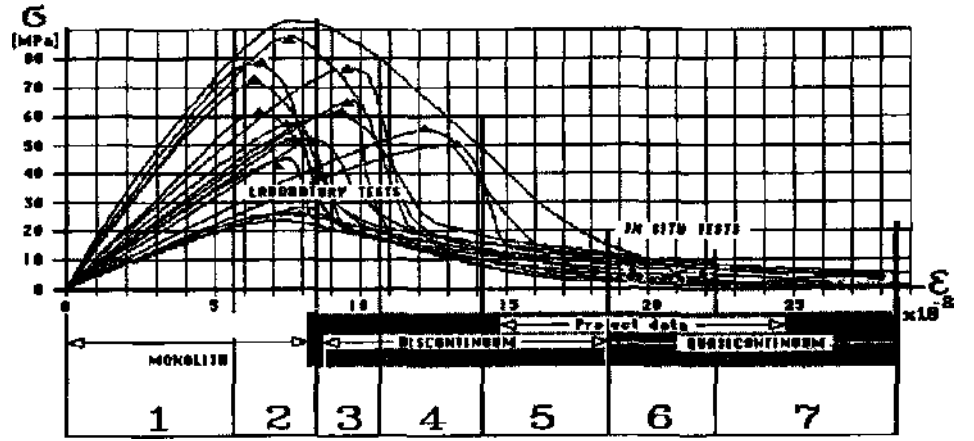
Kama veya blok kaymaları olabilir mi? Markland, Fellenius ve topuk yenilmesi koşullarına göre stabilite sağlanmakta mıdır?

Doku hareketliliğine göre stabilite sağlanmakta mıdır?

Kayanın kazılabilirliği nasıldır?

Kayanın enjeksiyon kabul etme özelliği var mıdır?

- Kaya ön sağlamlaştırma gerektirir mi?
- Kazı yüzeyinin desteklenmesi gerekir mi?
- Yüzey ve/veya yeraltı drenajı gerekir mi?
- Kazı, drenaj, sağlamlaştırma, iyileştirme ve destekleme konularında yeterli seçenek oluşturulmuş mudur? Önlem, işlem ve yöntemler karşılaştırmalı olarak belirlenmiş midir?
- Karşılıklı etkileşimleri değerlendiren yeterli bir **jeoteknik model** kurulabilmiş midir?



Şekil 2. İstanbul Metrosu A1 aşta ma Programındaki Laboratuvar ve Arazi Sonuçları ma Gore Ortamın Yemime Sonrası Davranışı ve Projelen dumedede Kullanılan Dayanım Bölgeleri

Ana hatları ile yukarıda belirtilen soruların titizlikle ele alınarak cevaplanması sonucunda planlanan ve projelendirilen teknik yapının ikincil durum aşamasına yönelik hesap ve değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu şekilde titiz ve güvenilir çalışmalara dayandırılan plan ve projeler, yine yeterli özen ve denetim altında uygulandığı takdirde sorunlarla karşılaşilmamaktadır. Ancak bilindiği gibi; yaşayan ve değişen bir kentte zaman içinde yeni yapılaşmalar gerekmekte ve dolayısıyla mühendislik açısından bu yeni koşulların zorunlu kıldığı daha farklı etkileşimlerin incelenmesi de kaçınılmaz olmaktadır.

Bu durumları dikkate alarak genelde iki farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan ilki, projelerin ilerde de oluşabilecek olumsuz etkileşimlerde göz önünde bulunduracak şekilde aşırı emniyetli tarafta hazırlan-

maları ve bunun paralelinde yapılaşmaların türüne ve yerleşimine, kısmen de olsa kısıtlar getirilmesidir, ikinci yöntemde ise, projelerin ikincil durum koşulları için içinde sanki ikincil durumları gibi ele alınmasına izin verilmesidir. Ancak bu durumda tüm yapılaşmaların geoteknik veri-bilgi dosyalarının tutulmuş olması temel koşuldur. Günümüzde; artan gereksinimlerin, hakların ve beklentilerin paralelinde ve gelişen ve teknolojinin de etkisiyle, kent planlamasında giderek daha fazla ikinci yöntemin uygulanması tercih edilmektedir.

İstanbul Metro güzergahı içinde ve yakın dolayında da zaman içinde değişik yapıların planlanması kaçınılmazdır. Hangi seçeneğin daha uygun olduğu; yapılaşma, mühendislik jeolojisi, geomekanik (zemin mekaniği ve kaya mekaniği) ve geoteknik modellerinin doğruluğuna ve yeterliliğine bağlıdır.

Bu bakımdan, kanımızca yapılaşmalara sınırlamalar getirme yerine, onay ve izin aşamasında projedeki risk faktörünün, projelerin hazırlanması ve uygulanmasındaki özen ve titizliğin ve kurulacak yapı sistemlerinin denetlenebilir olup olmadığının üzerinde durulmasında yarar vardır.

Karar alırken; ortamın ikincil zorlanmaları (gerilmeler ve deformasyon açısından)

- a) **Hiçbir önlem alınmaksızın karşılayabilir**
- b) **Ancak mevcut yapılaşmaların (örneğin metro tüplerinin) da birlikte çalışması halinde karşılayabilir**
- c) **Ön sağlamlaştırma ve/veya iyileştirme olmaksızın karşılayamaz**

olma durumlarına göre hareket etmek, seçenek değerlendirmesinde belirleyici olacaktır

### 3. ÖNLEMLER

Metro mühendisliğinde; önlem adı altında, ilerleme ve imalat öncesi, sırasında ve sonrasında yapıyı ve iş güvenliğini sağlamak, korumak ve geliştirmek amacıyla yararlanılan her türlü uygulama ögesi anlaşılmaktadır. Bunların başlıcaları; püskürtme beton, çelik hasır, çelik bağlar, kaya saplamaları, ankrajlar, sürenler, şemsiye kazıkları, donatı, beton ve ön yapı parçaları gibi sağlamlaştırma ve iç ve dış kaplamada yer alan destekleme elemanları veya enjeksiyon, jet grouting, dübelleme, dolgulama ve drenaj gibi iyileştirme veya ön sağlamlaştırma çalışmalarıdır. Açıkta inşa edilen istasyon yapılarında bunlara, temel mühendisliğinin kendine özgü önlemlerinin katılması da gerekir.

İlke olarak; metro mühendisliğinde kullanılan önlemlerin, etkiye biçimleri ve işlevlerine göre değerlendirilmesi gerekir. Bunun için bilinmesi gereken konu, hangi mühendislik jeolojisi ve/veya kaya mekaniği parametresi veya parametrelerinin bu önlem kararlarını yönlendirdiğidir. Aşağıda, İstanbul Metrosu örneğinde; kullanılan önlemlerin sınıflaması yapılmış ve bunları gerektiren parametrelere yer verilmiştir.

Ortam koşullarını iyileştirici önlemler: Yeraltı suyunun ve süreksizliklerin denetimi için belirlenmiş olan önlemler bu kapsamdadır. Bu amaçla güzergah boyunca hidrojeolojik koşullar ve su gelişine ilişkin parametreler (miktar ve nitelik) belirlenmiş ve kazı aşamasında sorunlu kesimlerde suyun boşaltımı için drenaj delikleri öngörülmüştür. Kırık ve fay zonları ile çatlakların denetimi ve etkilenme bölgesi içindeki kaya dokusunun bir arada tutulması için alınan önlemler bu kapsamdadır. İstanbul metrosunda sistem ankrajlama dışında, birim kaya elemanlarını biri birine bağlayarak donatılı kaya oluşturmayı amaçlayan kaya saplamaları ve püskürtme beton da ayrıca kullanılmaktadır.

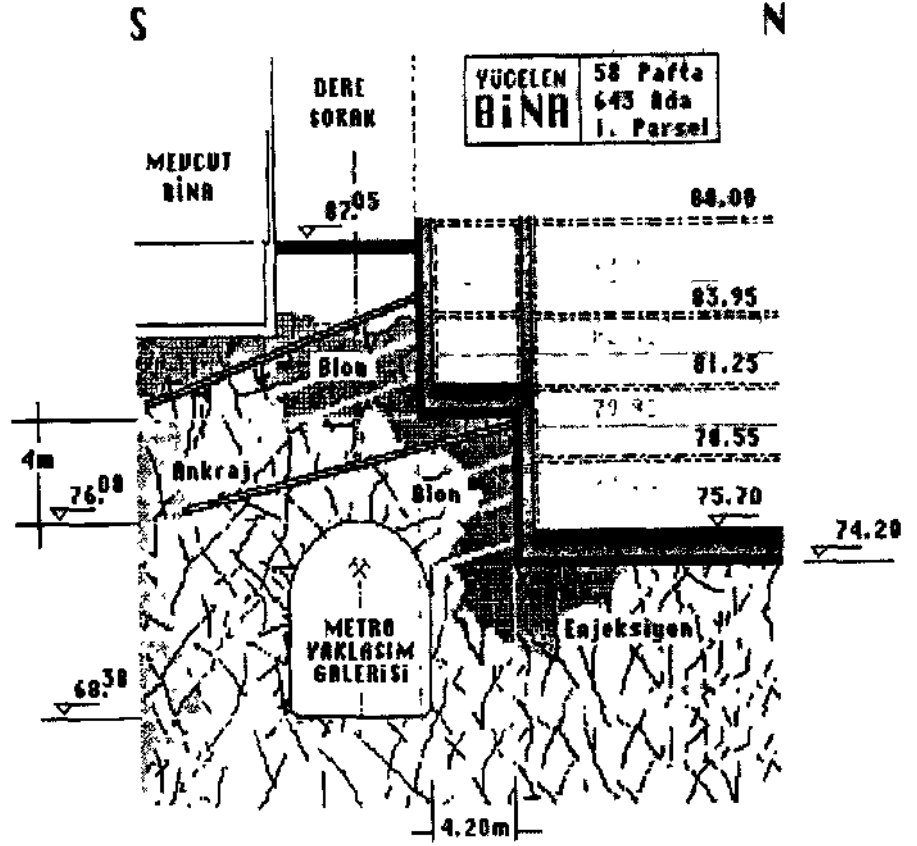
Kaya dokusunun tanımı doğrudan doğruya mühendislik jeolojisi parametrelerine bağlıdır. Bu amaçla, İstanbul kanalizasyon tünelleri projesi kapsamında geliştirilmiş olan (j) ortam tanımlama katsayısı kullanılmıştır (Ardar 1989):

$$j = (a \cdot RQD) / (k \cdot K)$$

Burada "a" (Jhon 1968) anizotropi sayısı, "RQD" (Deer 1967) kaya niteliği sayısı, "k" (Stini 1935) çatlak sıklığı ve "K" (Müller 1963) ayrılma derecesidir. Benzer bir değerlendirme Barton (1976) yaklaşımları ile de yapılabilir. Ortamı sağlamlaştırıcı ve iyileştirici önlemler ilke olarak kayanın C ve 0 gibi içsel parametrelerini arttırmaya yöneliktir. Metronun zayıf bazı kesimleri için ön enjeksiyon ve jet grouting çalışmaları planlanmıştır. Böylece kayanın dayanım parametreleri ile birlikte ortam koşulları da iyileştirilmiş olmaktadır. Şekil 2'de ortamın laboratuvar örneklerine kıyasla ne kadar düşük dayanımlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle yer yer dayanım artırıcı önlemlerin alınması kaçınılmaz olmuştur (Şekil 3).

Gerilme durumunu düzenleyici önlemler; kazı ile birlikte gelişen gerilme boşalmalarını denetlemeye, çatlaklı kayanın çekme gerilmelerini alabilmesini sağlamaya ve bozulan üç eksenli gerilme durumunu yeniden kurmaya yöneliktir. Gevşeme bölgesinde veya ilerisindeki ana kaya içinde köklendirilen ön germeli blonların ve ankrajların başlıca görevi de budur.

Metro projesi NATM'e göre projelendirilmiş olup, 3-5 m uzunluğunun daki 26 mm çaplı torçelik çubuklardan ve şişen blonlardan (seville) bu -



Şekil 3. İtanhul Metroyu Yaklaşım Tüneli Dolayında İyileştirme Önlemleri

amaçla yararlanılmaktadır. Uygulanan ongenime 40 ila 60 kN arasında değişmektedir. Ancak burada önemli olan, primer gerilme durumunun başlangıçta yer, yön ve şiddetiyle ne kadar iyi bilindiği ve tünel açımı sırasında ve sonrasında da bu gerilmelerin nasıl, ne miktarda ikincil gerilme durumunu oluşturduğunun anlaşılmasıdır.

Mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniğinin başta gelen ödevlerinden biri de, işte bu gerilmelerin tanımını ve şiddetlerini saptamaktır. Metro mühendisliğinde buna ek olarak mevcut yapılaşmalar nedeniyle etkili olan gerilme dağılımlarının da ortaya çıkarılmasıdır. Nitekim bu amaçla güzergah boyunca tüm yapıların temel ve yük analizleri yapılmış ve aynı jeolojik koşullarda çalışılmasına rağmen, tünel açım ve imalatı için birbirinden farklı üç uygulama tıpi getirilmiştir. A1, A2 ve A3 olarak adlandırılan bu önlem paketleri çizelge 1. de görülmektedir.



Çizelge 1. İstanbul Metrosu Tüneli) mele Uygulama Tın leı ı

Tipi	Yeri	P Beton	Ç Hasır	Ç Bağ
A1	Boş Alanlar	10- 15 cm	Tek sıra	Yok
A2	Yol Altında	20 cm	Tek sıra	Var
A3	Bina Altında	20 cm	Çift sıra	W

Deformasyon durumunu denetleyici önlemler, genel olarak kazı sonra sında duvarlara uygulanması gereken destekleme basıncını düşürmek amacıyla kontrollü olarak noverjansa izin veren elemanlardır. Ön gerilmesiz ankrajlar, kayacı bağlar, deformasyon yarıkları, deformasyon yastıkları ve hatta donatı ve ankraj öncesi uygulanan püskürtme beton bunlara birer örnektir.

Gerilme ve deformasyonların birlikte ele alındığı en önemli konular arasında ise, özellikle üçüncü boyut etkisiyle ilerleme aynasında oluşabilecek stabilité sorunları bulunmaktadır. Kayaçların psödoplastikleşmesini ve zamana bağlı dayanım azalmasını veren post failure ve yorulmalı-yenilme davranışına ilişkin kaya mekaniği parametreleri, bu konuların üstesinden gelinmesine yardımcı olabilmektedir

Önlem, ilerleme mesafesinin (serbest açıklığın) kısaltılması ve işlemlerin olabildiğince çabuklaştırılmasıdır. Tüneldeki bu kendi kendini desteksiz tutma süresi, duraylık süresi (stand up time) olarak bilinmekte ve modern kaya sınıflamalarının vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır. İstanbul metrosunun farklı boyuttaki yeraltı açıklıkları ve farklı jeolojik ortam ve koşulları için bu süreler bir kaç saatten bir kaç aya kadar uzanan geniş bir aralık içinde değişmektedir. Bu nedenle; bazı kesimlerde 0.80 m lik serbest açıklıkların yanısıra, enjeksiyonlu şemsiye sürenleri (matkap blonları) de kullanılmaktadır.

Kuvvetler dengesini koruyucu veya düzenleyici önlemlerin büyük bir bölümü, özellikle tekil süreksizliklerin arasında kalan büyük kaya kamalarının veya bloklarının sürtünme kuvvetlerinin arttırılması ya da kuvvet bileşeninin karşılanması için kullanılırlar. Kaya askıları, kaya dübelleri, süreksizlik yüzeylerine normal kuvvet aktaran germeli ankrajlar bu türden önlemler arasındadır. Ayuca, donatılı veya donatısız iç kaplamalar ve ağır destekleme yapılan da bu sınıfa girerler

Potansiyel riskleri azaltıcı önlemler kütleli hareketleri (heyelan, göçük, aşırı sökülme v.b.), su baskını ve depremsellik gibi olası veya mevcut tehlikelere karşı alınan önlemlerdir. Ya yukarıda belirtilen önlem lere ek olarak ya da bunların belirli bir kısmının miktar veya niteliğinin arttırılmasıyla kullanılırlar

Tersiyer değişim ve dönüşümleri denetleyici önlemler ise ayrışma, erime, kabarma, şişme ve korozyon gibi, genellikle yapım sonrasında oluşabilecek fiziksel veya kimyasal değişimleri engelleyebilecek veya etkisiz kılacak şekilde seçilmiş önlemlerdir. Metro projelerinde bunlara ek olarak, ayrıca ilerideki yapılaşma, trafik veya kazı işlerinden gelebilecek ek yüklerin dikkate alınması da yine bu kapsamda düşünülmelidir.

Özetle; bir proje, anılan önlemlerin değişik yer, tür, biçim, boyut ve sayıda biraraya getirildiği öğelerden oluşmaktadır. Ancak, uygulamada bunların birbiriyle ilişkilerini ve istenilen niteliğe ulaşılabilmesi için nasıl, hangi sırada ve ne zaman çalışılması gerektiğinin de bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla önlemlerin başarısı, işlemlerin doğru ve nitelikli olmasına bağlı bulunmaktadır.

#### 4. İŞLEMLER

Önlemlere, beklenen niteliklerini kazandırmak için gerekli olan, önem ve önceliğine göre sıralanmış olan çalışmalardır. Kazı, patlatma, delme, blon deliklerinin temizlenmesi, blonlama, germe, enjeksiyon, beton püskürtmesi, çelik hasırın serilmesi, iksaların yerleştirilmesi gibi tünel açımı ve yapımında yer alan çalışmaların sırasıyla, eksiksiz ve aksamaksızın sürdürülmesi bu işlemlerin gerekçelerinin ve kayadaki etkilerinin bilinmesine bağlıdır. Örneğin, kazıdan hemen sonra püskürtme betonunun mu, çelik hasırın mı, yoksa blonların mı, ya da çelik bağın mı uygulanmasının gerektiği, bunların birbiriyle olan ilişkisi kadar, kayanın kazı sırası ve sonrasındaki durumuyla ve davranışlarıyla da ilişkilidir. Kayacın kavlaklanmaya, aşırı sökülmeyle olan yatkınlığı, gevşeme hızı, kaya elemanlarının boyut, biçim ve konumları, kazı yüzeylerinin geometrisi, süreksizlik parametreleri, ikincil gerilme durumunun ve buna bağlı deformasyonların gelişim hızı ve şiddeti gibi, ancak yerli yerinde, bire bir görülebilen ve izlenebilen özellikler hangi işlem sırasının daha uygun olduğunu belirleyebilmektedir. Bu ve benzeri konuların çözümü için bir yandan, kesintisiz sürdürülen ve değerlendirilen denetim ve yönlendirme ölçümlerine, öte yandan da deneyimli uzman kişilerin kazı aynasönündeki teşhis ve kararlarına ihtiyaç duyulmaktadır, işlemlerin diğer bir özelliği de; çalışanların kalitesi kadar, kullanılmakta olan araç,

gereç, makina ve ekipman türünün, kapasitesinin ve niteliğinin de sonuçları doğrudan etkilemesidir. İstanbul metrosunda bu konuda önemli birikimler kazanılmaktadır.

## 5. YÖNTEM VE SONUÇ

İstanbul metrosunun tüm denge durumlarını sağlayan, koruyan ve geliştiren her türlü önlem ve işlemlerin yeri, sırası, büyüklüğü, ilerleme ve imalat hızı ile bunların teknik, ekonomik ve yönetsel olanaklara uygun olarak düzenlenmesi Yeni Avusturya Yöntemi (NÄTM) ne göre yapılmıştır. Bazı farklılıkları bulunmakla beraber, başarıyla sürdürülmekte olan bu yöntemin ana ilkeleri aşağıda özetlenmiştir:

- Ortamın ilk sağlamlığı olabildiğince korunmalı, kaya dokusunun gerilme boşalmasına bağlı gevşemeleri kesinlikle engellenmelidir
- Ortamın kazı öncesindeki gerilme durumu bilinmeli ve bu gerilme durumunun olabildiğince korunması veya gerektiğinde daha da iyileştirilmesi sağlanmalıdır.
- Kazı ve imalat çalışmaları, sistem büyüklüğüne bağlı dayanım azalmalarını en aza indirgeyebilmek için panolar halinde planmalıdır.
- Bu panolarda kazı ve sağlamlaştırma işleri olabilen en kısa sürede tamamlanmalı, kesinlikle uzun süreli beklemelemlerden kaçınılmalıdır
- Yerüstü ve yeraltı suyu gibi her türlü olumsuzlaştırıcı çevre etmeninin denetim altına alınması temel koşul olmalıdır
- Üçüncü boyut etkisi dikkate alınmalı, büyük kazı kesitleri için uzun kazı aynaları önünde topuk bırakılmasına çalışılmalıdır.
- Uygulamanın her aşamasında, güvenilir ve yeterli yönlendirme ve denetim gözlem ve ölçümleri öngörülmesi ve bunlardan hiçbir koşulda kaçınılmamalıdır
- Nitelikli her iş, işlem ve önlemin minimum bir zaman gerektirdiği bilinmeli, hızlı, fakat aceleci olmayan bir iş programı hazırlanmalıdır

## Teşekkür

Halen sürdürülmekte olan metro çalışmaları sırasında veri ve bilgi aktarımının yanısıra yakın ilgi ve desteklerini gördüğümüz, başta İBB Yapım Dairesi Başkanlığı'na, Yüksel Proje'ye, Garanti-Koza / Enka / Doğuş Ortak Girişim'ne ve Tekfen Metro İnşaat Grubu'na en içten teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Müller, L., Fecker, E., (1978): *Grundgedanken und Grundsätze der "Neuen Österreichischen Tunnelbauweise"* Felsmech Kall Trans Tech Publ . s. 247-262, Clausthal
- Karaca, M., Egger p , Ferro, A. M , Gianni, G. P. (1989). *Epenmenta! and numericiai model studies for tunnels in ftssuied rock. Int Cong on Geoengineering, pp. 1005-1014, Torino*
- Çandoğan, A., Sağlamcı; A., (1991). *Ancor supported walls for deep ecavatwns in Istanbul claystones. Def. of Soils and Displacements of Structures, XECSMFE, pp. 638-686, Florence*
- Vardar, M , Bayraktar. H., (1992): *Tünel Mühendisliğinde eski ve yeni kaya sınıflamalarının kay açlar in post failure davranışlarındaki yeri. Zemin Mek ve Temel Müh. 4. Kong . s. 166-176. İstanbul*
- Vardar, M.. Eriş. İ , (1994): *Derin ve geniş kazılarda sağlamlaştırma-destekleme önlemleri üzerine bir araştırma. 5. Zemin Mek. ve Temel Müh Kongresi, Ankara*