



# **TÜNEL YAPIMI**

**Tünel Şantiye Mühendisinin El Kitabı**

**Birinci Kitap v 0.2.0**

**Tünel İnşaatlarında Yapım Yöntemleri**

**Yazan ve Derleyen:**

**HASAN AYDIN  
İnşaat Mühendisi**

## ÖNSÖZ

Sayın okurlar, ülkemizde mühendis arkadaşlarımız; iş yaşamı süresince başından geçen olay ve deneyimlerini, problemleri çözüm şekillerini yazılı biçimde getirilerek bir kitap haline getirmekte oldukça gevşek davranışmaktadır. Bu arada mühendisler, karşısındaki doğanın koşullarının üstesinden gelerek eser ortaya koymak için birçok yöntem kullanmaktadır.

İşte bu zorlukları yenme yöntemlerinin en zor ve en dikkate değer olanları Tünel yapımı içinde kullanılmaktadır. Bu kitapta tünel yapım yöntemlerinin bugüne kadar olan türleri genel olarak anlatılmakta, bazı yöntemlerin ise kısmen detayına inilmektedir.

Tünel yapımı işi öncelikle diğer yapılara göre çok özel malzeme, özel makine ve deneyimli işçiye gereksinimi olan pahalı bir iştir. Ayrıca yer üstünde olmadığı için çevre tarafından bittiği zaman bile politik albenisi yoktur. Yapının oluşturulması tamamen yeraltında olduğu için iş gücü ve iş emniyeti koşulları en yüksek derecede önemlidir. Tarihe bakıldığından bina, yol, köprü yapımının gelişmesi çok eski yıllara dayanır. Ama birkaç örnek hariç tünel inşaatının gelişimi son 150 yıl içinde olmuştur. Ancak son 40 yılda tünel yapımı sayısı hızla yayılmıştır.

Bu kitapta bu gelişmiş tünel inşaatının bazı örnekleri anlatılacaktır. Kitap içinde çeşitli örnekler anlatılırken oluşan imla hataları için şimdiden okurlarda özür dilerim. Bu yazının edebi yazı olmaktan çok teknik yardımcı kitabı yazısı olduğu göz önünde bulundurulmasını rica ederim. Şantiyeye giden her tünel mühendisinin şantiye kurmaktan tünel yapısını bitirmesine kadar gerekli bilgilerin bir kısmını yazımı almaya çalıştım.

Proje yapımına esas mühendislik bilgileri ve zemin araştırmaları bir sonraki kitabında anlatılmaya çalışılacaktır. Her mühendisin yapının temel taşı olan şu bilgileri kendi işi için hesaplamalı ve araştırmalıdır:

Buna **5 M** yöntemi ışık tutacaktır:

1. İşin Projesi ve Yapım metodu (Method)
2. İş için gerekli Para (Money)
3. İş için gerekli insan kaynağı işçilik saat (Man Power)
4. İş için gerekli Malzeme cinsi ve miktarı (Material)
5. İş için gerekli Makine ve ekipman miktarı ( Machine)

Yukarıdaki listeden herhangi biri eksik olursa yapımı meydana getirme olanağı yoktur. İşin projesi ve yapım yöntemini ortaya koymadan alt maddelerdeki gerekli şeylerin tespiti imkânsızdır.

Bu kitaba dayanak olan kaynak kitaplar eklice verilecektir. Bu kitapların dışında kendi iş yaşamımdaki deneyimlerden bazıları da konulara yer yer eklenmiştir. Ekli özgeçmişimde de belirtildiği gibi tünel inşaatı ile tanışmam 33 (otuz üç) yılı geçmiştir.

Kitap yazmaya beni yönetmek isteyen başta eşim, çocuklarım olmak üzere arkadaşlarım İnş. Yük. Mühendisi Sn Abdullah BİZDEN 'e, Maden Müh. Sn Eşref Kurdoğlu 'na ve İzmir Belediyesindeki çalışmalarım sırasında da yazmamı teşvik eden İnş. Müh. Sn Nevin Genç'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

## **İÇİNDEKİLER**

- i. Önsöz
- ii. Tünel terimler sözlüğü
- iii. Giriş ve Tarihçe

### **1. Tünel Kazı Metotları**

### **2. NATM Tünel İnşaatı Yönteminde Kullanılan Destek Elemanları**

### **3- NATM Tünel İnşaatı Yöntemini Destekleyen Görüşler**

### **4- Ölçü Cihazlarının Konulması ve Ölçmeler**

### **5- Ölçme Değerlerinin Yorumlanması ve Dosyalama**

### **6- Tünellerde Havalanırma**

### **7- Yol Tünellerinde Işıklandırma ve Trafik Kontrolü**

### **8- Tünel İnşaatı için Sözleşmeye ait Görüşler ve Kalite Kontrolü**

### **9- Tünel İnşaatında İşin Programlanması ve Değer(bedel) Tahmini**

#### **EKLER:**

- A. Tünel Kazısında Destekleme için Genel Zemin Sınıflandırması
- B. Açı-Kapa Tüneller
- C. EPBM Tünel Açma örneği
- D. Şantiye Kurulması için genel bilgiler
- E. Tünel İnşaatı başlangıcında Yapılacak Topografik Çalışmalar
- F. İş Güvenliği Önlemleri

## Tünel Terimleri Sözlüğü

- Aç-Kapa** : Tünelin zemini önce açık yarma veya destekli açık kazı şeklinde yapıldıktan sonra kapalı bir yapı oluşturarak inşa edilmesi şekli.
- Ayna** : Tünel yapısını oluşturmak için kaya veya zemin içerisinde kazılarak oluşturulan kazı doğrultusuna dik proje boyutundaki kazı kesiti.
- Alt Yarı** : Tünel aynasının kazısının üst yarımının altında sonradan kazılan kesiti
- Baca (Şaft)** : Tünel kazısı sırasında yapımına gerekli hava, elektrik, su gibi yardımcı gereçleri temine ve kazısının başkaca imkan yoksa boşaltılmasına ve yahut da tünel hizmete açıldıktan sonra onun havalandırma, aydınlatma gibi hizmetlerini sağlayan tünele dik yüzeye çıkan baca
- Bulon** : Tünel kazısı sırasında kazı çevresini tutmak için yüzeye dik olarak delinen deliklere enjeksiyon veya mekanik olarak çakılan çelik ( çubuk, halat vs) imalat
- Dağ Tuneli** : İki tarafı dağ yamacının iki tarafında olan ulaşımın ve diğer su vesaire nakliyelerinin dağın altından yani dağın içinden geçmesine yarayan tünel yapısı
- Göğüsleme kırısları** : Kazı sırasında kazılmamış bölümün kazılmış kısmı gelmesini önleyecek Olan özellikle yumuşak zeminlerdeki ahşap veya çelik kuşak kuşaklar.
- Göçük** : Kazı sırasında desteklemeyi tamamlamadan zeminin kendini kazılan boşluğa bırakması ve tünel kesitini istenmeyen boyutlara büyütmesi olayıdır.
- Hava Odası** : Sulu zeminlerde veya göçük koruma kalkanı olan TBM veya EPBM metodu ile Yapılan tünellerde işçinin basınçlı hava altında çalışmasına imkân veren oda.
- İksa takımı** : Tünelin kazıdan sonra ilk geçici desteğini sağlayan çelik çember parçalar.
- Jumbo** : Lastikli tekerlekli araç veya raylı sistem üzerinde kaya delmek için özel bir kızaklı tabanca ile ona ait ekipmanları olan makine
- Kaplama** : Tünelin çevresinde oluşturulan tünel kazı emniyeti için püskürme beton hasır çelik iksadan oluşan (**ilk**) veya sonradan da betonarmeden oluşan (**son**) yapı.
- Karışık Ayna** :- Tünel aynasında hem kaya hem de yumuşak kısımlı zemin olan tünel aynası.
- Kavlak Alma**:- Kazı adımı bittikten sonra bu bölümde tünel çevre ve aynasındaki gevşek olan veya askıdaki tehlikeli kaya kırıntılarının makine ile düşürülmesi

**Kaya Tünelleri:-** Tünel inşaatı tamamen sert zemin de (yumuşak marndan-granit gibi sert püskürük kayaya kadar) olan tünel yapılarıdır.

**Koruma kalkanı (shield):**Yumuşak zeminlerde tünel çapına eşit çapı olan ve ayrıca açık ve kapalı yüzeyi olan çelik silindir

**Laser** : Özellikle TBM Tünelde ve konvensiyonel tünelde kazı doğrultusunu gösteren Yoğunlaştırılmış ışık huzmesi.

**Pasa Nakli** : Tünel kazılan veya patlatılan zeminin taşınması veya kazı nakli anlamındadır.

**Perde** : Koruma kalkanı ile tünelde veya batırılan tip tünelde işçilerin basınçlı hava altında emniyetle çalışması için yapılan genellikle çelikten su ve hava geçirmez duvar

**Plaka Süren** : Çok Yumuşak zeminde tünel kazısında kazı tavanının destekleme zamanına kadar tutulmasını sağlayan iksa üstüne çakılı özel şekilli levha sac süren

**Pilot Tünel:-** Tünelin son kazısını araştırmak veya kazının yapımına yardımcı olmak için tünel kesiti içinde delinen küçük çaplı tünel.

**Püskürtme Beton:-** Tüneli çevreleyen yüzeye zeminin ilk desteklemesini sağlamak için özel katkı Karışımıyla, çabuk priz alan ve hidrolik veya hava basıncı altında atılan beton

**Sığ Tünel** : Özellikle yerleşim yerlerinde zorunlu olarak açılan ve üzerinde az toprak kalınlığı olan tünel (metro ve şehir içinden geçen otoyollarının tünelleri gibi)

**Su altı Tünelleri :** Zorunlu şartlarda nehir su kanalı ve deniz altında yapılan tüneller.

**Süren** : Bir sonraki kazı sırasında tünel tavan dökülmesini önlemek için bu kazı sırasında İleri kazı tavanına az eğimde eksene paralel yakın belli aralıklarla çelik boru veya çelik kalın çubuk demir konulması (zayıf ve döküntülü zeminlerde)

**Tünel sürme:-** Tünelin kademeli adım adım kazilarak inşaatının yapılması işi.

**Yaklaşım Tüneli :-** Esas tünelin kazısının ve diğer hizmetlerin (aydınlatma, enerji, basınçlı Hava, su temini ve drenajı) kolaylıkla sağlanması için dağ yüzeyinden Esas tünele yapılan daha küçük çaplı tünel.

**Yumuşak Zemin Tünelleri :** -Su problemi olur veya olmaz, plastik ve kohezyonsuz zeminler İçinde inşa edilen tünel tiplerinin adıdır.

# TARİHÇE ve GİRİŞ

## TÜNEL:

İki nokta arasındaki erişim uzaklığını kısaltmak amacıyla yer yüzeyi altında yapılan bir ulaşım yapısıdır. Tüneller; iki nokta arasında bulunan doğa engeli **dağ** veya insan yapısı engeli olan **yapı** altında tesis edilerek, kendi amacı olan ulaşım platformunu ve sahasını oluşturur.

Bu yapı, -tüneller - sağladığı ulaşım işleri bakımından aşağıdaki biçimde listelenebilir:

- Karayolu trafiğinin ulaşımı
- Demiryolu araçlarının ulaşımı
- Metro ve Hafif raylı sistem araçlarının ulaşımı
- Su Yolu ( İçme Suyu, Sulama Suyu)
- Drenaj ve Kanalizasyon Yolu
- Çeşitli Enerji hatları vs. Yolu

Bunlardan başka tünel yeraltı yapısı olarak depo gibi kullanmak amacıyla da yapılır.

- Yakıt ve mühimmat **depoları**,
- Çeşitli yiyecek ve meyve **depoları**
- Savaşta insanları tehlikeden toruma için **sığınaklar**

## TARİHÇE:

Tarih boyunca insanlar; ihtiyaçlarını gidermek için, özellikle karayolu, içme suyu yolu ve kirli su yolu (kanalizasyon ve drenaj) olabilecek gerekli ulaşım yolunu açmak için yaptıkları çalışmada önlerine gelen engelleri aşmak için o zamandaki teknik olanaklar seviyesinde tüneller yapmaya çalışmıştır. Suyolu açmada suyun belli eğimde aşağı doğru akma zorunluluğu vardır. Bu sebeple suyolu açmada ya arazi tesviye egrilerine uyularak yamacın dış yüzeyinden gidilerek uzunca yol kat ederek ve çokça da emek sarf ederek kanallar kazılmış yahut da dağlık kesimde belli bir noktadan itibaren dağ delinerek öbür tarafa geçilmiştir. Bunlar daha çok galeri ve küçük çapta tünellerdir.

Eski Yunan, antik çağdaki Roma ve Anadolu'daki İyon medeniyetleri sırasında; o dönemin yaşayanları tarafından birçok kasaba ve şehirlere su getirmek ve şehirlerin pis suyunu boşaltmak için genelde sağlam kayada tüneller açılmıştır.

Bu gün, tünel yapımı; demiryolu ve metro inşaatı için daha çok gelişmiştir.

Günümüzde bilindiği gibi şehir nüfusları; teknoloji ve sanayinin bir gereksinimi olarak aşırı derecede artmıştır. Şehirlerin boyutları insanların yaya olarak erişemeyeceği büyülüklere ulaşmıştır. Ayrıca şehirde yaşayan kişilerin iş yerlerinin yaşadığı konutun hemen dibinde olma olasılığı da yoktur. Bu sebeple her gün şehirde yaşayan nüfusun hemen hemen yarısının, evinden çıkışip işe, okula, alış-verişe gitme zorunluluğu vardır. Bu sayıda insan hareketinin sağlanması toplu ulaşım ile olur.

Toplu ulaşımın da en ekonomik ve konforlu olanı raylı sistemdir.

Ülke düzeyinde de düşünülürse raylı sistem yani **demiryolu** yük ve insan taşımacılığı için en uygun olan taşıma sistemidir. Ancak ulaşılacak noktalar arındaki bağlantı raylı sistemler ile inşa edilince karayoluna göre tırmanma ve dönme sınırlarında teknik zorunluluklar ortaya çıkmaktadır. Arada doğal engel olan dağ, sonradan inşa edilen yapı gibi engeller ortaya çıkar. Bu engellerin önemli kısımları alttan geçilerek projelerde seyir konforu sağlanmaktadır.

Şehirlerde araç ile (özel durumlar hariç) işe ve diğer ihtiyaçları temine gitmek kişiler için hem emniyetli ve hem ekonomik değildir. Herkesin araç kullanması halinde şehrde ait taşıt yolları o şehrin araçlarına yetmez.

**Bu durumda çözüm, toplu raylı taşıma sistemidir.**

Raylı sisteme binaların altından geçmeden her noktaya ulaşmak olası değildir.

O halde şehir içi ulaşımını inşaat işleri içinde **tünel inşaatı** olmak zorundadır.

## GENEL

Bu bölümde tünel inşaatının bugüne kadar olan bilgilerinin önemli bir kısmı anlatılacaktır. Tünel inşaatı bilgileri elbette burada anlatılan bilgiler kadar değildir. Tünel yapım yöntemleri sürekli gelişmektedir ve bu kitapta bilinenlerin genel hatlarına degeinilecektir.

Tünel inşaatı üzerine birçok yurt içi ve yabancı yayınlar vardır ve çeşitli konular çok yazılmış ve incelenmeye çalışılmıştır.

Bu bölümde yani **birinci kitapta** şu bilgilere yer verilecektir:

- 1-) Kazı ve kazı araçları, tünel içi destekleme sistemlerinin ortaya konulması
- 2-) Tünel yapımı (kazı sırasında) ölçüm ile izleme ve bunların değerlendirilmesi
- 3-) Diğer konular

***Düzenleme konular*** direkt olarak jeoteknik sahasını ilgilendirmez, fakat inşaat proje mühendisleri tarafından çok iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi gerekli konulardır.

İçeriği aşağıdadır:

- a-) İhale dokümanının hazırlanması
- b-) İş programı ve bedel tahmini (keşif hazırlama)
- c-) Kalite kontrol
- d-) Tünel havalandırması
- e-) Trafikte Kontrol

***İkinci kitapta*** aşağıdaki konular anlatılacaktır:

- 1-)** Arazinin Mühendislik Yönü ile Araştırılması,
- 2-)** Zemin durumunun değerlendirilmesi, klas sistemleri ve proje parametrelerinin belirlenmesi
- 3-)** Proje görüşleri ve proje metodları

Bu bölüm çeşitli tünel inşaatları yönetimi sırasında elde edilen deneyimlerden derlenmiştir.

Bu inşaatlar; Karayolu, demiryolu ulaşım tünelleri, su temini tünelleri, kanalizasyon tünelleri, baraj hidroelektrik enerji ve derivasyon tünelleri, sivil savunma sığınakları, çeşitli depolar ile madencilik tünelleri inşaatlarıdır.

**Projesi tamamlanan tünelin yapımı aşağıdaki aşamalardan oluşur:**

- 1-Tünel Kazısı
- 2-Tünel içi ilk destekleme
- 3-Tünel içi son kaplama ile destekleme ve drenaj tesisi
- 4-Tünel işletmesi için gerekli tesisler (Havalandırma, aydınlatma, sinyalizasyon, haberleşme, )

# **1. TÜNEL KAZISI ve KAZI YÖNTEMLERİ**

## **1.1. GENEL**

Tünellerde kazı tünelin içinde bulunduğu zemin cinsine göre ayrı ayrı yöntemlerle kazılır.

*Tünel kazı yöntemini seçme kistasları aşağıda listelenmiştir:*

- Tünelin; kesiti, uzunluğu ve yerleşimi
- Tünelin bulunduğu çevre
- Tünel inşaatının bulunduğu zeminin üstteki kalınlığı, jeolojisi, hidrojeoloji
- İnşaatın süresi (hızı)
- İnşaatın maliyeti (yatırım ve yapım maliyetleri)

Bu konuya biraz açıklık getirelim; tünelin yapılacak yer şehir dışında ise zemin şartları ve proje boyutlarına göre patlatmalı kazı veya kısa tünel ise makineli kazı yöntemlerinden biri uygulanır.

Tünel zemini aynı tipte ve boyu da 5-6 km yi geçiyorsa ve bu uzunlukta kesiti uygun çapta ise ekonomik durma göre TBM ile de kazı yapılabilir. Burada tünelin zemin durumu göz önüne alınır; eğer kesit çok büyük ve TBM kesitine de uygun değilse o zaman aşağıdaki yöntemlerinden biri seçilir. İnşaatın hızı için tünele birkaç yerden başlanmalıdır, o zaman da birden fazla ekip çalışmasının maliyetini göz önüne almak gereklidir.

Eğer proje ekonomik ve yaşam şartları olarak belli bir tarihe yetiştirmesi zorunluluğu olması durumunda tünele; yapımı imkân veren her yerden girilip bir an önce ilk kazı ve destekleme bitirilir, buna paralel olarak ikinci kaplama ile elektrik- mekanik işler tamamlanır. Bu iş yapımı ek maliyet getirecektir. Hızlı iş yapmanın ek masrafi ile hesabı ona göre yapılmalı ama getirişi ile denge hesabı yapılmış fizibil (yani masrafi ekonomik sayılacak zamanda getiri ile karşılaşması) bulunursa bu yola gidilmelidir.

Maliyetler ile ilgili anlatım ilerideki bölümlerde anlatılacaktır.

Her ek çalışma platformu ilave makine, ekipman, işçilik ve çeşitli servis hizmeti gerektirecektir.

Eğer tünel şehir içinde ise; inşaat sahasına giriş- çıkış ağızları olmayacağı, onların yerine düşey şaftlardan çalışılacağı ön görüülerek hesap yapılır. Ayrıca şehir içindeki inşatlarda patlatma usulü ile kazı yapılmasının sakıncalı hatta yasak olacağı da göz önüne alınmalıdır.

Kazı için makine ekipmanı ona göre seçilir.

İnşaat maliyetini düşürmek için eldeki makine ekipmanı tünel programına uygun olarak yeterli sayıda tutmak ve buna paralel iş gücünü de verimli kullanmak gereklidir.

Ama bu verimlilik önceden hazırlanmış çok iyi etüt, proje ve ikmal programlaması ile olur.

**Aşağıdaki tabloda genellikle hangi zeminde hangi tip kazı yöntemi uygulandığı özet ve şematik olarak gösterilmektedir:**

YÖNTEM	ZEMİN CİNSİ EKİPMAN	YUMUŞAK ZEMİN (TOPRAK)	YUMUŞAK KAYA	SERT KAYA
	MAKİNELİ İLE KAZI			
MAKİNELİ İLE KAZI	EL ALETLERİ İLE			
	KAZICI BEKO ESKAVATÖR İLE			
	KAYA ÇATLATMA İLE (KİMYASALLI)		— — — — — — —	
	KESİCİ KAFA ROADHEADER İLE			
	TUNEL DELME MAKİNESİ İLE (TBM) (ŞİLDLİ VE SİLDİSİZ)			
NOT :- ZEMİN TÜRÜNE GÖRE DEĞİŞİK TİPLER				
DELME ve PATLATMA İLE KAZI				

## **1.2. MEKANİK KAZI METODLARI**

### **1.2.a -) Elle aletleri ile kazı : -**

Bu metot toprakta ve yumuşak zeminde tünel açmak için kısa ve küçük kesitli tünel yapılarında kullanılmıştır. Bu tüneller diğer tünelerin bağlantısı veya makine yanaşmayan köşeleridir. İşçiler bu usulde kırıcı tabanca, küskü, sivri kazma ve kürek gibi el aletleri kullanırlar.

### **1.2.b -) Ekskavatör ile kazı :-**

Yumuşak zeminde ve yumuşak kayada ekskavatörler(beko) kullanılır. Genellikle hidrolik BEKO kullanılır ve bu bekoların kovaları özel şekilde projelendirilir. Kova dışları güçlü ve kazıyı dışarı itici biçimdedir. Hidrolik bum kayayı kıracak şekilde güçlündür. Son zamanlarda tünele aynasına dik ve bum eksenini etrafında 180 derece hareket kabiliyetli özel bumlar ve buna bağlı kovalar imal edilmiştir bu suretle makine verimi artırılarak kazı hızlanmıştır.(Şekil:1)



Şekil:-1 Kazıyı özel kova ile veya aparatlarla yapabilen ekskavatör.

Son zamanlarda bumu çok yönlü ve darbeli ( kinematik ) olan özel tünel kazı ekskavatörleri icad edilmiştir. Bu makine oldukça rıjik (sıkı) olup, bum üzerinde hem kırıcı hem de kazıcı kova bağlantı imkanı vardır. Ayrıca patlatmalı kazılarda kavlak alma işinde de kullanılması çok uygundur.

Bundan başka galeriler için imal edilen kazısını üstten aşırıp kamyonla yükleyebilen özel amaçlı yükleyiciler yapılmıştır. Makinenin az hareket etmesini temin için teleskopik bımlı ekskavatör de imal edilip kullanılmaktadır. Bu tip özel amaçlı makineler diğer aynı büyüklükteki makinelere göre iki kat pahalıdır.

### **1.2.c- ) Çatlatma ve darbe ile kazı :-**

Kayada patlatmanın yasaklandığı yerlerde kazı; darbeli ve çatlatmalı metot ile yapılacaktır. Bu gibi yerlere uygun özel amaçlı makineler geliştirilmiştir. ( Örnek ITC gibi ) Bu tip makineler kayayı darbe ile çatlatarak tünel aynası önüne dökerler, sonra bu kazı yiğinini kendi içinden geçen band vasıtası ile arkadaki araca yükleyebilirler ( Şekil 2 ). Kırıcı Beko ile kazıda kırcı ucu sarfı  $m^3$  cinsinden kazının miktarı ve kayanın sertliğinin parametresine göre hesap edilir. Kayanın aşındırması içindeki kuartz miktarı aşınmada temel etkendir. Sertlik ise kırılma ve parçalanma enerjisi gereksinimini ortaya koyar.

Makine, kayayı kırmak için gerekli enerjiyi sağlayacak ekipmana göre hesap edilir.



Şekil:-2 Kazıyı özel kovası ile veya özel kırcı ucu ile yapan ve bant ile yükleyen makineler

#### **1.2.d - ) Kesit Kazıcı ( Roadheader ):**

Tünel kazı yüzeyini küresel kafa veya konik kafanın dönmesi ile keserek kazı yapma usulüdür. Bu kesici kafa üzerinde yumuşak kayadan sert kayaya kadar özellikler gösteren civiler (pick) mevcuttur. Bunların ömrü kayanın sertliğine göre değişir.( Şekil :3 ). Kazılar önde toplanıp otomatik olarak bant ile arkadaki kamyon'a yüklenir. Oldukça güçlü olan bom vasıtası ile kaya yüzeyine baskı uygulanarak kesici kafa çalışır.

Kesici kafalar konik ileri geri hareket eden şeklinde veya küresel enine ve düşey yönde hareket eden şekilde imal edilir, ancak küresel olanlar daha verimlidir. Kafa üzerindeki civiler (pick) zeminin cinsi ve kazının miktarına göre hesap edilir.

Zeminin tek eksenli basınç dayanımı kazının masrafları ve maliyeti için kabaca bir malumat verir. Masraflar genelde enerji ve aşınma ile ortaya çıkar. Aşınmaya etki eden faktörler aşağıda açıklanmaktadır :

- kuartz ve diğer aşındırıcı mineralin zemindeki miktarı ( % olarak)
- Aşındırıcı minerallerin boyutları
- Kayanın deformasyon davranışları
- Petrografik yapı
- Kayanın basınç dayanımı
- Kayanın yapı mekanizması ve gerilme (baskılı durum ) durumu



Şekil:- 3 Döner kafa olarak kazı yapan makine genel görünümü.

### **1.2.e -) TÜNEL TAM KESİT DELME MAKİNELERİ :**

Zeminin cinsine göre bu makineler tüm tünel yüzeyini keserken su guruplara ayrılır;

Kayayı kesici gurubu olan TBM, kısmen destek ekipmanı (MIXSHIELD)

Zayıf ve baskılı zeminde destek ekipmanı olan ayrıca basıncı dengeleyen ( EPBM ) ve EPBM

kazı olmakla birlikte çok zayıf zemini su sirkülasyonu sistemi ile taşıyabilen

HYDROSHIELD sistem. Şimdi bu sistemleri özetle kısaca açıklayalım:

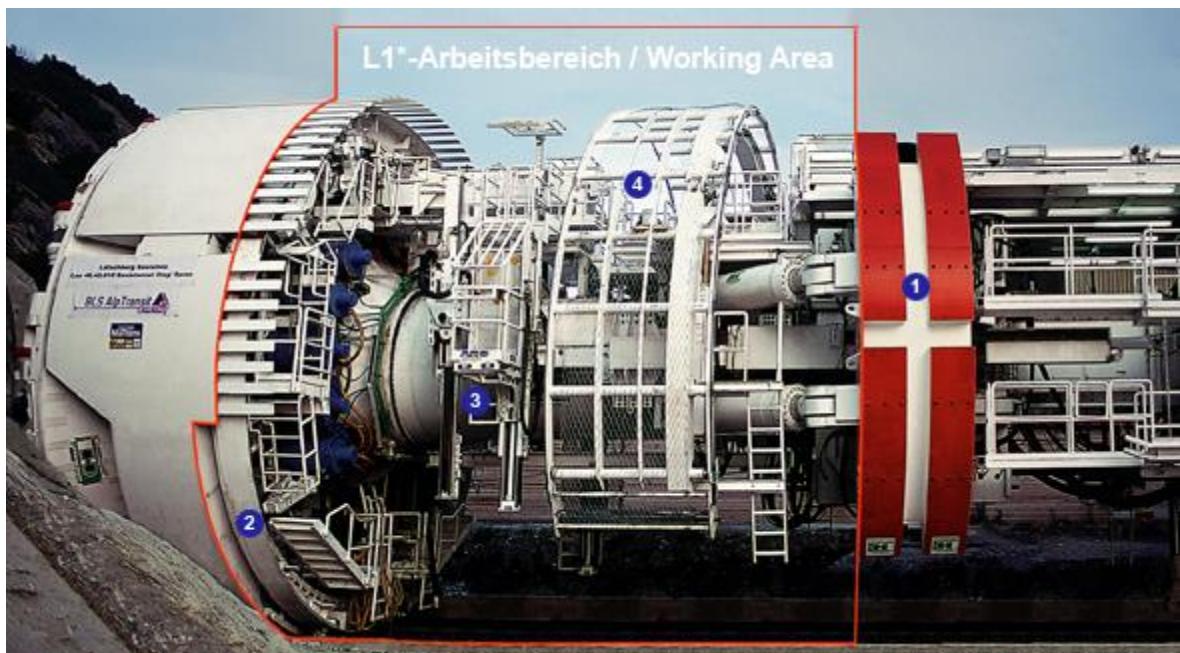
#### **- Kaya kesitte tam kesit Kazı Yapan makine( TBM ) :**

Çapı 10-15 mt ye kadar tünellerde ve uzunluğu 3-4 km yi aşan tünellerde TBM ile kazı yapmak bilinen delme patlatma usulü tünel kazısı yapmaktan ekonomiktir.

Delme-patlatma usulünde günde 4-5 metre ilerleme yapılabilecek iken TBM sisteme iyи organizasyon ile günde 20-24 mt ilerleme yapılabilir ( 24 saatte )

Kaya yeterli sertlikte ise TBM ' in çalışması şöyledir:

Makine kendini çevre boyunca yerleştirilmiş eksene dik hidrolik pistonlar ile kayaya sabitler, kesici kafa monte edildiği eksen etrafında döner, bu sırada eksen boyunca uzanan hidrolik bum vasıtası ile bastırarak kesme gücü alır. Hidrolik bum stroku bitince kazı malzemesini band ile geri verir, eğer kazılan bölümde destekleme için bir problem yok ise taşıyıcı hidrolik ayaklara yan ayaklar toplanarak gövde oturur, baş kısmı ileri itilir, tekrar yeni kazı için tespit işi başlar. Zeminde gevşek durum mevcut ise TBM makinesinin destekleme ile ilgili ekipmanları varsa onunla veya ayrı organize edilen sistemle kazılmış olan zemin yüzeyi desteklenir.



#### - Yumuşak Zeminde Tam kesit ( Mixshield ) :

Yumuşak zeminde kazı yapan TBM makinesine bağlı shield denilen korumalı bir bölüm vardır. Bu bölüm yandan gelen zemin baskalarından makine ve ekipmanı korur. Shield denilen çelik boru şeklindeki bölümü zemin yükünü alabilecek kaplama takip etmektedir. İleri Kesici kafa+şild kısmı arka kaplamaya hidrolik pistonlar ile basarak ilerlemeyi sağlar. Tünel kaplaması yerinde dökme veya prefabrik olabilir, prefabrik kaplama yapılan durumda TBM makinelerine ayrıca segment erekktör ( montaj için ) de bağlıdır.

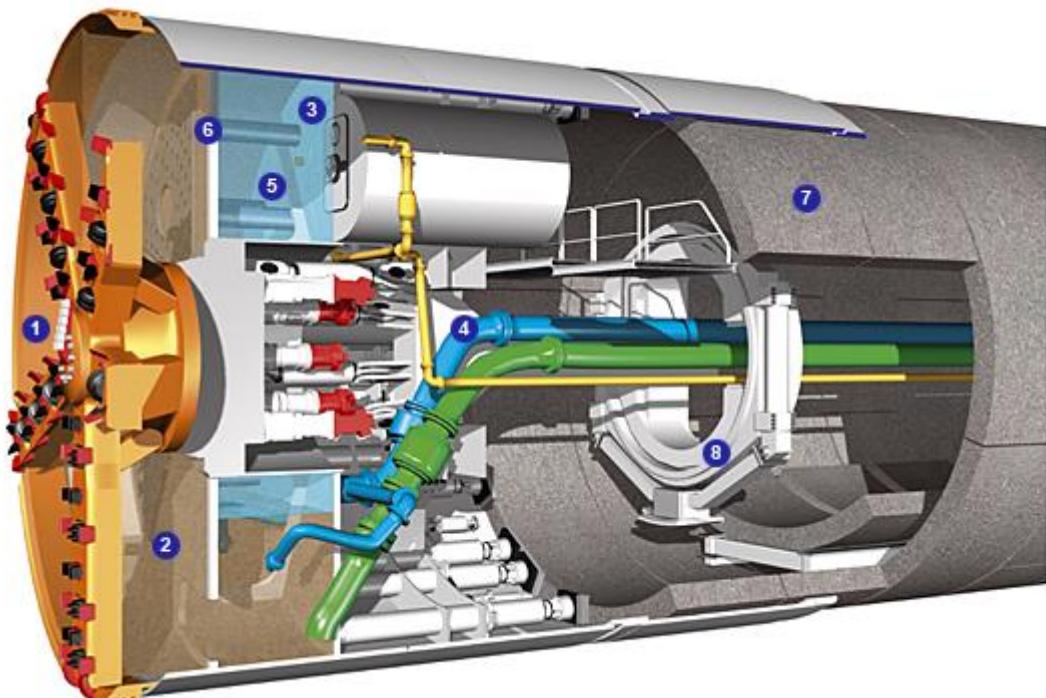
Şild seçimi zeminin cinsine göre değişir. Aşağıdaki zemin şartlarına göre şildlerin değişiklik seçimi yapılır :

- Üst zemin tabakasının kalınlığı

- Zemin suyunun durumu (değişiklikler )
- Kazı yüzeyinin duraylılığı (stabilitesi),
- İnşaatin bulunduğu çevre ve binalar nedeniyle oturmaya izin verip vermemeye
- Ekonomi

Bu bölüm açık sild ve kısmen açık şıldları kapsar.

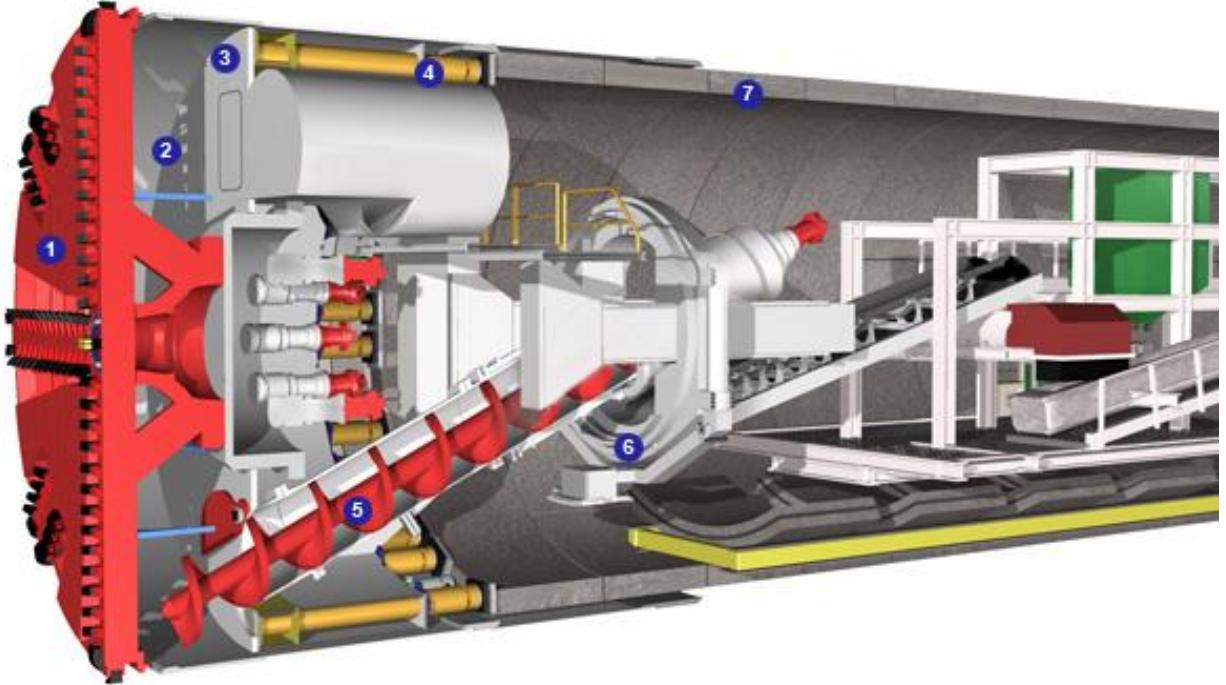
Daha zayıf zeminlerde tam kapalı şıldır kullanılır. Bunlar ( **EPBM** ) zemin basıncını dengeleyen sistem ve **hidroşild** sistemdir.



- **Baskılı zeminlerde Tam kapalı kazı sistemi ( EPBM ) :**

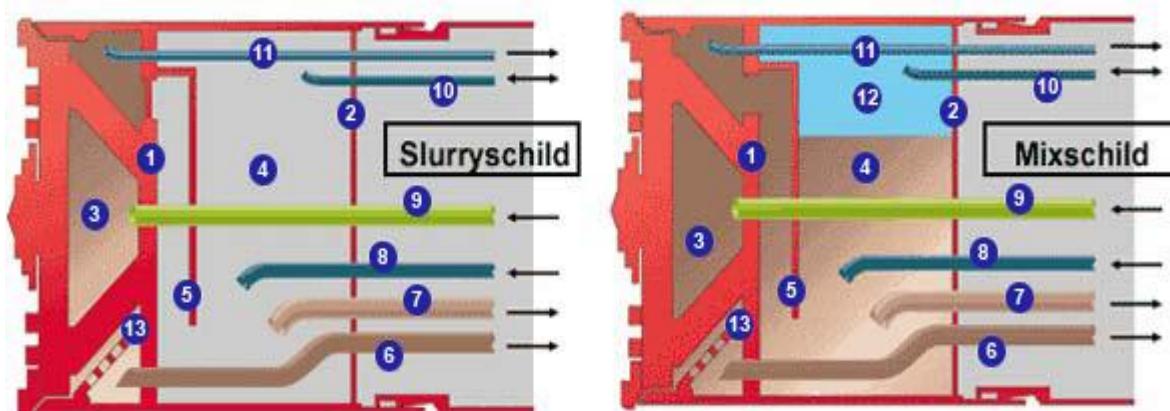
Zeminin basıncını dengelemek için bu sistemde kazı öncesi; kazılacak zemin çevresine ve kaplama konulan bölümlerin arkasına basınçlı enjeksiyon uygulanır. Bu enjeksiyon zeminin kazı sırasında makine çevresinin deformasyon yapmasını önler. Kazı sırasında kaplama arkası enjeksiyon basma vanaları daima hazır tutulur ve kaplamanın da herhangi noktasında oturma veya istenmeyen tarafa hareket varsa karşı enjeksiyon ile bu hareket önlenir. EPBM sisteme kazı öne kapak dönerken ve bastırılarak zemin içeresine girer. Döner kafa üstündeki sert matkap başlıklarını sert kısımları öğütür. Kapak üzerinde bulunan klapa gibi kapaklardan öğünen ve sıkışan malzeme içeri girer. Ancak bu malzeme kapaktan içeriye dökülünce helezona alınır. Helezon malzemeyi banda verir, band da çıkan serbest malzemeyi vagonlara taşır. Kazılacak zemin helezona ve banda yapışan cinsten ise o zemine kazıdan evvel döner kafa önüne özel kimyasal püskürtülür ve böylece zemin geçici zaman için taneli bir hal alır. Kazılan zeminin boşluğuna kadar prefabrik segment

arkaya monte edilerek makine ilerler. Bu konuda ek dokümdanda geniş örnek bilgi sunulmaktadır. (Bkz. Ek: yardımcı bilgi: EPBM Ümmühan Ana delme tüneli – İzmir)



#### - Çok baskılı ve akıcı zeminler ile küçük çaplı tüneller : ( Hidroşild sistem )

Bu sistemde kazı yine ön kapaklardan alınır ancak kazı yığınına bentonit karışımı basınçlı su uygulanır ve zemin pompa ile ve bentonit sürüklemesi ile dışarı taşınır ve havuza alınır. Burada kazı ile bentonit solüsyonu ayırsız, ayrılan bentonit pompa ile tekrar içeri gönderilir. Kazı çamur halinde dışında kalır. Kaplama prefabrik segment olarak yerleştirilir.



## **1.3. KAZININ DELME VE PATLATMA METODU İLE YAPILMASI**

### **1.3.1- GENEL**

Bu bölümde kazının iyi yapılabilmesi için gerekli delme ve patlatma teknikleri anlatılacaktır. Bu usulde delginin yeri, çapı, doğrultusu ile patlayıcının cinsi, miktarı gibi bilgilerin değerlendirilmesi gereklidir.

İşin başarı ile tamamlanması ve yüksek performans ile üretim yapılması için en önemli koşul patlatmanın iyi yapılmasıdır. Kötü işçilik meydana getirmek aşağıdaki uygunsuz sonuçları meydana getirir:

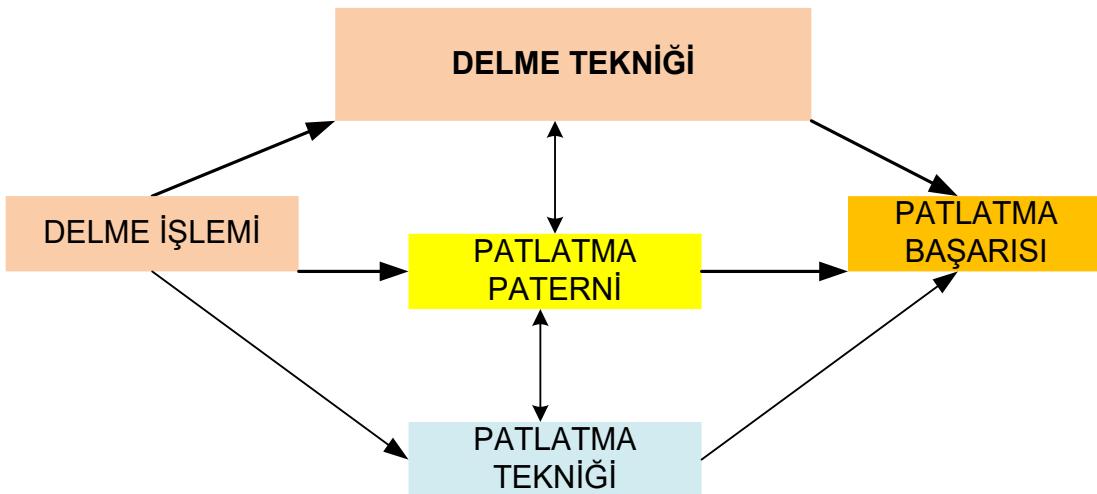
#### **Profilin içeriye taşması:**

Bu halde tekrar delip patlatma gerekir. Bu para ve zaman kaybına neden olur. Ayrıca ikinci ateşlemede genel olarak profil dışı fazla kazı oluşur.

#### **Profilin zemin içine/gabarı dışına / taşması:**

-Bu halde ilave boşluk için püskürtme beton ve beton konulması gerekir ki bu para ve zaman kaybı demektir. Bundan başka ileride anlatılacağı gibi boşluk büyük olur ise püskürtme betonunu birkaç kat atma mecburiyeti vardır. Bu ise nozulmenin hata payını artırır. Düzgün olmayan yüzeylere hasır çelik uygulaması da düzgün olmaz (kayaya paralel ve yakın) . İyi püskürtme beton atılmaması ve hasır çelik konulmaması sonucu olarak zemin yüzeyi hava alır. Zemin gevşer ve deformasyonlar oluşur.

Patlatma işlerinin başarılı olması için patlatma ile ilgili ve patlatmaya etki eden etkenler şöyledir:



### 1.3.2 - ) Patlatma Paterni :

Kayada delme işi yapılacak her tünel için daha önceki tecrübelere dayalı olarak patlatma paterni ve şarj tablosu (delik dolgusu listesi) geliştirilmelidir. Düzgün patlatma sistemi kazı çevresinde aşırı dökülmeyi önlemek ve kayayı örselememek için kabul edilen yöntemdir (Smooth blasting). Bu teknikte çevre deliklerine az ve homojen miktarda patlayıcı konur, ancak çevre deliklerde yerleşim mesafeleri az, delik çapı küçük ve sayısı çok olacaktır. Zeminin cinsine göre iyi netice almak için çevre delme paterni ayarlanacaktır, sonuca göre en iyi netice almak için devamlı olarak yerinde zemin şartlarının verdiği sonuca göre düzeltme yapılacaktır.

Bu güne kadar birkaç çeşit patlatma paterni geliştirilmiştir.

Ancak bunlardan en yaygın olanları V-Cut ve Paralel cut tipleridir.

Paralel cut sistemde patlatma delikleri tünel eksenine paralel olarak delinir.

Paralel patlatma metodunun birçok avantajı vardır.

Örneğin; tünel ilerlemesi (bir atımda ilerleme) bu metotta tünelin genişliği ve ölçüsünden bağımsızdır. Otomatik kontrollü jumbolar ile delme paralel cut metotta V-CUT metottan daha verimli olurlar.

Tünel aynasında delik yerleri zemin cinsine göre işaretlenir. Bu işaretleme önce hazırlanan paterne göre yapılır. Bu patern hazırlanırken nelere dikkat edilir:

- Orta kısımda orta atımı yapacak deliklerde fazla patlayıcı konulacağı kabul edilir ve önce bu kısım patlayıp boşalacağı dikkate alınır.
- Çevre üst ve yanlarda en son patlayan düzgün şekil veren az güçte patlayıcı konulur ve delik aralıkları üretim değil şekil içindir.

- c- Orta saha çevresi ikinci kademede ateslenecek ve üretim hacmini sağlayacak şekilde düzenlenir. Taban atımı ihtiyaca göre II veya III sıradadır.

V-CUT uygulaması konusunda Suudi Arabistan Mekke Şehir içi tünellerinde uyguladığımız o projedeki tünel boyutuna göre yapılan çalışmaları bu kısımda anlatılmaktadır. Bu projede zemin cinsi granittir. Çok sert ve sağlam olan bu kaya ve aynı zamanda az çatlaklı bir yapıya sahiptir.

Tüneli Delme Patlatma kazı ile yapımda zemin cinsi, delme makinesi boyutları, delgi kızak boyu kazı adımı seçiminde gerekli parametrelerdir.

Jumbo kızağı ortalama 4,5 ile 6 m arasında olup delgi boyu 4,30 ile 5,50 m dir. Bu durumda kesit içerisinde V-cut yapmak için orta göbeği 60 derece ile çekmeliyiz.

Aşağıdaki plana göre delik sayısı ve delgi boyu tayin edilir. Burada kızak 60 derece ile ortayı delebilmeli ve bir pozisyon almada tüm kesiti delmelidir.

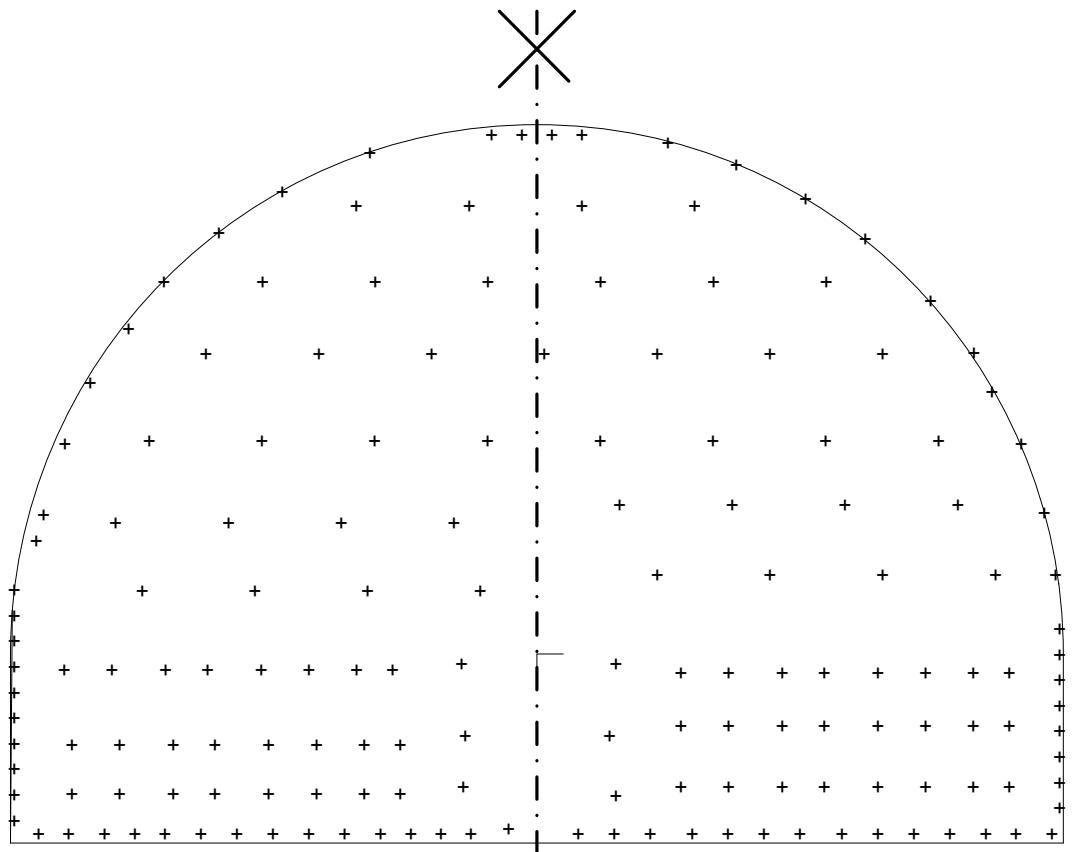
Aynı zamanda deliklerin ara mesafesi patlatılacak kazı aynasında (delgi ucu mesafeleri) 1,00 m veya 90 cm olmalıdır (kopacak parça-over burden)

İlgili resim ve şekiller aşağıdadır:

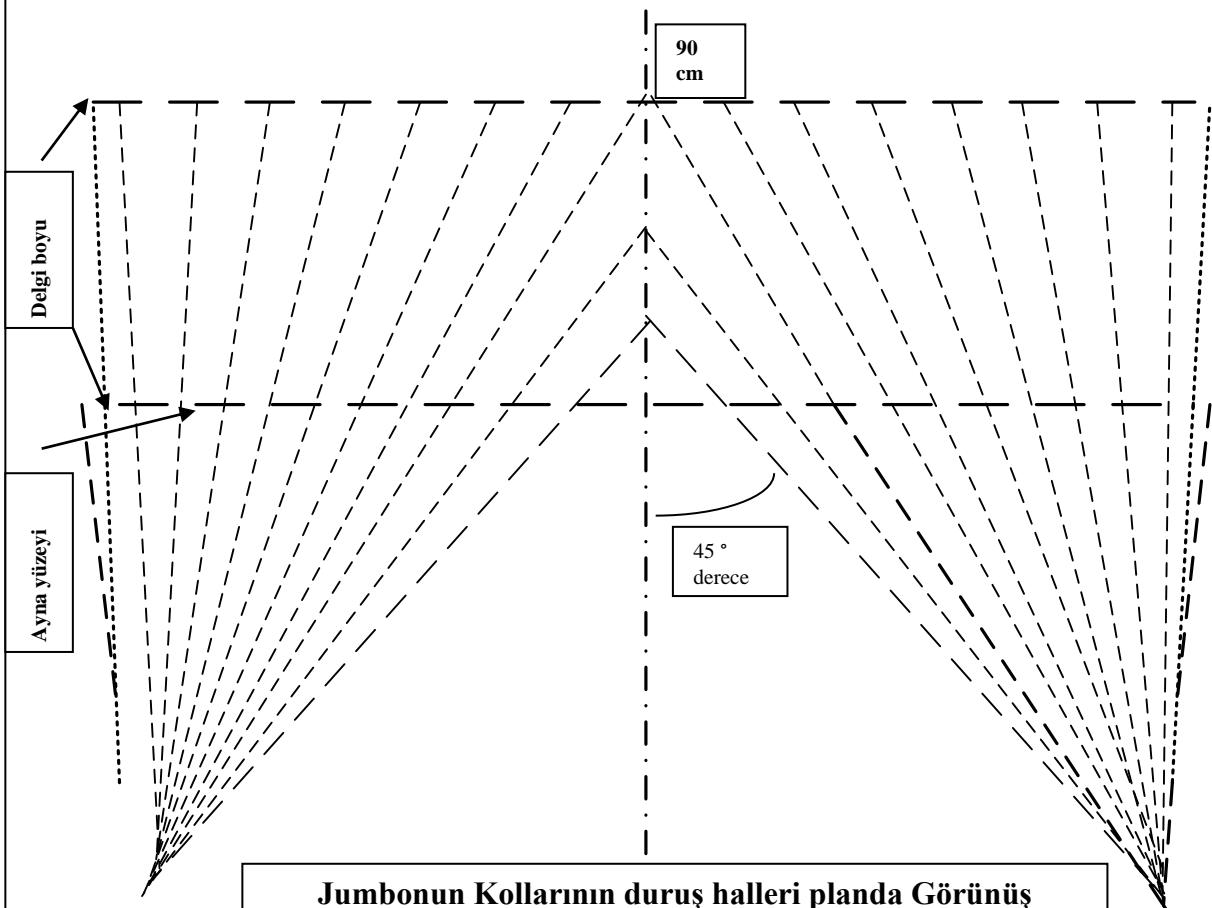
**Aşağıdaki şekilde:**

**1) Kesitte Delgi yerleri**

**2) Planda Kazı ve Delgi boyu ile delgi doğrultuları gösterilmektedir:**



**Tünel Aynasındaki Deliklerin Konumları**



**Jumbonun Kollarının duruş halleri planda Görünüş**

**KAYA ZEMİNLERDE PATLAYICI MİKTARI ve DELİK BOYLARI HESAP CETVELİ**

Ateşleme Yeri	Kapsül Sıra No	Kapsül Sayısı	Delik Boyu (m)	Dip Sarj (Ld)		Kolon Sarjı (Lk)		Toplam Şarj her bir delik
				Ld= ( L/3) m	Kg	Lk= (L-0,5-Ld) m	Kg	
				Patlayıcı Birim Ağ.		Patlayıcı Birim Ağ.		
		<b>n</b>	<b>L</b>	Çap= 40 mm	(wd) Kg/m=1,53	Çap= 32 mm	(wk) Kg/m=0,91	<b>Kg</b>
				<b>n x L/3</b>	<b>Wd=n x L/3 x wd</b>	<b>n x (L-0,5-Ld)</b>	<b>Wk=nx(L-0,5-Ld) x wk</b>	<b>Wd+Wk</b>
V - CUT	<b>1 ; 3</b>	<b>6</b>	<b>2,00</b>	4,00	6,120	5,00	4,550	10,670
	<b>3 ; 5</b>	<b>6</b>	<b>3,60</b>	7,20	11,016	11,40	10,374	21,390
	<b>5 ; 7</b>	<b>6</b>	<b>5,10</b>	10,20	15,606	17,40	15,834	31,440
	<b>7 ; 9</b>	<b>6</b>	<b>4,50</b>	9,00	13,770	15,00	13,650	27,420
	<b>9 ; 11</b>	<b>6</b>	<b>4,40</b>	8,80	13,464	14,60	13,286	26,750
	<b>11 ; 13</b>	<b>6</b>	<b>4,30</b>	8,60	13,158	14,20	12,922	26,080
	<b>13 ; 15</b>	<b>6</b>	<b>4,25</b>	8,50	13,005	14,00	12,740	25,745
	<b>15 ; 17</b>	<b>6</b>	<b>4,20</b>	8,40	12,852	13,80	12,558	25,410
	<b>17 ; 19</b>	<b>6</b>	<b>4,10</b>	8,20	12,546	13,40	12,194	24,740
	<b>19 ; 21</b>	<b>6</b>	<b>4,05</b>	8,10	12,393	13,20	12,012	24,405
		60	242,70 m		<b>123,930</b>		<b>120,120</b>	<b>244,050</b>
STOPPING	<b>25;45</b>	<b>36</b>	<b>4,00</b>	48,00	73,440	78,00	70,980	144,420
fac (1,45)			<b>144 m</b>		<b>197,370</b>		<b>191,100</b>	388,470
			prillex fac	delikte	<b>45mm / 32mm</b>	dolgu katsayısı	1,450	
roof	No : 50	<b>63</b>					<b>277,095</b>	<b>474,465</b>
walls	No : 55							
Floor	No: 50;60	<b>21</b>	<b>4,00</b>	84,00	28,560			<b>28,560</b>
	kg/m <sup>3</sup>	0,34	<b>84</b>	<b>336 m</b>	Delik Boyu (m)	722,7 m toplam	Patlayıcı	TOPLAM -Kg
	gurit		<b>180</b>			386,7 m üretim		

Patlatma tablosu Arabistan'da uyguladığım granit zemindeki işe aittir. Burada dikkat edilirse patlayıcı miktarı ve atım özgül şarjı çok yüksektir.  $145 \text{ m}^2$  alan ve  $4,00 \text{ m}$  ilerleme için hesaplanan bu kazı hacmi  $V=540 \text{ m}^3$  tür. Çevre kesme deliği delikleri harici özgül şarj=  $474,465 \text{ kg} / 540 \text{ m}^3 = 0,879 \text{ kg} / \text{m}^3$  tür. Burada amaç patlayan tünel aynasındaki malzemeyi lastik tekerlekli yükleyicilerle yükleyebilmektir. Üretim için kullanılan delik ise  $\Sigma 386,7 \text{ m}$  dir. Çevre delik boyu da  $336 \text{ m}$  dir. Delik yoğunluğu Toplam  $722,7 / 540 = 1,34 \text{ m/m}^3$  tür. Sadece üretim ise  $386,7 / 540 = 0,715 \text{ m/m}^3$  tür. (Açık işletmelerin iki katı)..

### **1.3.3.) Delme Teknikleri ve Delme Ekipleri:**

#### **a-) Genel :**

Tünel yapımında iki çeşit delme sistemi kullanılmaktadır.

- Darbeli delme
- Dönme-darbe ile birlikte delme

Darbeli delme genellikle kompresör havası ile ve hava tabancası ile delme metodudur.

Bu usulde darbe ile kırılan ve ufalanan malzemeyi dışarı atmak için sık sık delgi ucu dışarı doğru çekilir. Hava ile tıkanık olan kısmen kesikli ve devamlı olmayan dönüş vardır, ama üretim basıncı yeterli değildir.

Modern hidrolik tabancalar ile darbe- dönme sisteminde üretim basıncı havalı sistemden yaklaşık 10(on) misli fazladır. Delgi ucu (bit) devamlı kaya ile temasta olup dönme kesiksizdir. Delinen veya kırılan zemin bir şekilde delikten uzaklaştırılır ve işleme devam edilir. Bu işlem havalı sistemde hava ile olduğundan tünel içinde toz olmasına neden olur. Bilindiği gibi toz tünel içi için tamamen yasaktır ve açık havada tozun önlenmesi için tedbirler alınmaktadır. Halbuki hidrolik sistemde delik temizleme işi su sirkülasyonu (flushing) ile yapılır. Bu çok avantajlı bir sistemdir.

Bazı zeminlerde (Mikaşist, talk, jips ve şişen killer gibi) su ile yıkama zararlıdır. Delik çapı büyüyeceği gibi su kullanımı zeminin stabilitesine zarar verir. Bu gibi durumlarda ya kuru hava ile delgi ve ek havalandırma önlemleri alınarak çalışılır veya özel köpük (foam) kullanılır.

#### **b-) Basınçlı Hava Tabancaları (el veya kızaklı tip )**

Bu tabancalar darbe ile delme metodunu uygularlar. Tabancalar tünel aynasını delmek için yatay konumda özel bir itici ayak ile tutulur. Zemine basınç bu ayak yardımı ile işçi tarafından verilir. Bu esnada basınçlı hava akımı ile darbe oluşturulur ve böylece delinecek zemin parçalanır. Tabanca ayağı eğik olur ise ağırlığının verdiği basınç kadar etkili iş yapar. Ancak 45 derece eğim olunca tabanca geri çekilib hava ile temizlik yapılır.

Zemin cinsine göre tabanca basıncı değişik değer ister. Ağır tabanca ve fazla basınçlı hava daha verimli üretim basıncı temin eder.

Havalı tabancalarda gelişme oldukça yavaştır, oysa hidrolik tabancalarda teknik ilerleme her yıl artmaktadır. Bu sebeple delme süresi hidrolik delmede her yıl kısalmaktadır ve bu sistemin avantajı artmaktadır.



Kompresörden gelen hava ile delen tip



Hareket motoru üzerinde olan tip

Hava darbeli tabancaların dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Basınçlı hava otomasyona uygun değildir.
- Gürültü seviyesinin artması ve insan gücünün sınırlı olması nedeni ile tabanca ağırlığını devamlı artırmak mümkün değildir.
- Kazı ve çevre deliklerine bu sistemde hassas delme doğrultusu vermek zordur.
- İnsan gücü kullanımı fazladır.

#### c-) Hidrolik delgi tabancaları:

Bu tabancalar hareketli araç üzerine monte edilmiş, **hidrolik güç** ile çalışan ve çok yönde hareket eden bom- kızak üzerinde bulunur. 50-200 kg ağırlıkta olabilen bu tabancalar aynı anda hem darbe hem de dönüş hareketi ile delme işlemi yaparlar.

Hareketli araç üzerinde bu tabanca ile birlikte adı delme makinesi(drill jumbo) dir. Bu modern araçlar delme işlemini elektrik enerjisi ile, yer değiştirme hareketini de dizel yakıt enerjisi ile yaparlar. Bu suretle delgi sırasında tünel havasını kirletmezler. Genellikle 2 kızaklıdır, ayrıca tabancalara hizmet için servis sepeti bomu da mevcuttur. Tünel çapına göre daha çok bomlu olabilir. Bomlar paralel ve otomatik kumanda edilebilir. Servis sepetinden bulon ve sürenleri yerleştirme ve enjeksiyon hazırlama uygulaması için yararlanılır.

Darbe tesir şiddeti ve dönme hızı zemin cinsine göre ayarlanabilir. Bu rastlanan değişik kaya cinslerine göre elde edilen optimum oran deneyimine göre düzenlenir.

Hidrolik delicinin zemin cinslerine göre karakter eğrisi /özellikler:

<u>Kaya cinsi</u>	<u>shale</u>	<u>kumtaşı-shale karışımı</u>
Delici ucu	Button bit D=44 mm	İki kanatlı bit D= 44 mm
Dönme hızı	400 devir/dakika	600 devir/dakika
Darbe/titreşim	4520 darbe/dakika	6780 darbe/dakika

**d-) Matkaplar / delici uçları:** Matkap uçları iki türlü bağlanmıştır:

- Direkt olarak matkaba bağlıdır (monoblok)
- Matkaba manşon ile bağlıdır (çıkabilen gevşek olan uçlar )  
Kesici uç şekli de üç çeşitlidir:
  - Bıçak tipli uçlar
  - Haç şeklinde uçlar
  - Bilyeli başlıklı uçlar ( yarım küre veya oval – konik olurlar )

Delgi uçları normalde 38 mm den başlar. En güçlü delgi D= 45 mm ye yakın veya daha küçük çapta uç olması halinde elde edilir. Delgi ucu çapı delgi ekipmanı, kaya cinsi ve patlayıcı madde çapına göre seçilir. Çap büyükçe çok patlayıcı konulabilir ama o vakit delgi hızı düşer.

Çeşitli delgi uçlarının dayanma süresi ve aşınması ve bunlara bağlı hız şantiyede üretim testleri ile ortaya konulabilir. Delgi ucu tipleri ayrıca kaya cinsi ve ekipman çeşidine göre seçilir.

Delgi uçlarının bıçak tipli ve haç tipli olanlarının birkaç çeşit üretilmiş cinsi vardır ama esas itibarı ile hepsi aynı cins sayılabilir. Bilyeli başlı uçların çok çeşitli modelleri vardır. Sayı ve tip bakımından bilyeler çok çeşitlidir. Bu imal tiplerinin üretime etkisi az farklılık gösterir. Tüm delgi uçlarında performansı artıran ana gereksinim su devri daiminin (=Flushing) iyi olmasıdır.

Delgi ucu seçiminde ana kriterler şunlardır :

- Uçlar; dönme torkunu ve darbe enerjisini gevsetme ve kazı işine döndürmelidir. Delik tabanına matkap ucu tam temas etmeli ve düzgün yayılı basınç sağlamalı ve de tüm delgi çapını kaplamalıdır.
- Ufalanın malzemeler darbe altından sirkülasyon yolu ile süratle uzaklaştırılmalıdır. Sirkülasyon devamlı ve sabit debide olmalıdır. Sirkülasyon kanalları yıkama delikleri ile kesilmemelidir.



**2 kollu kuzaklı delici makinenin görünüşü**

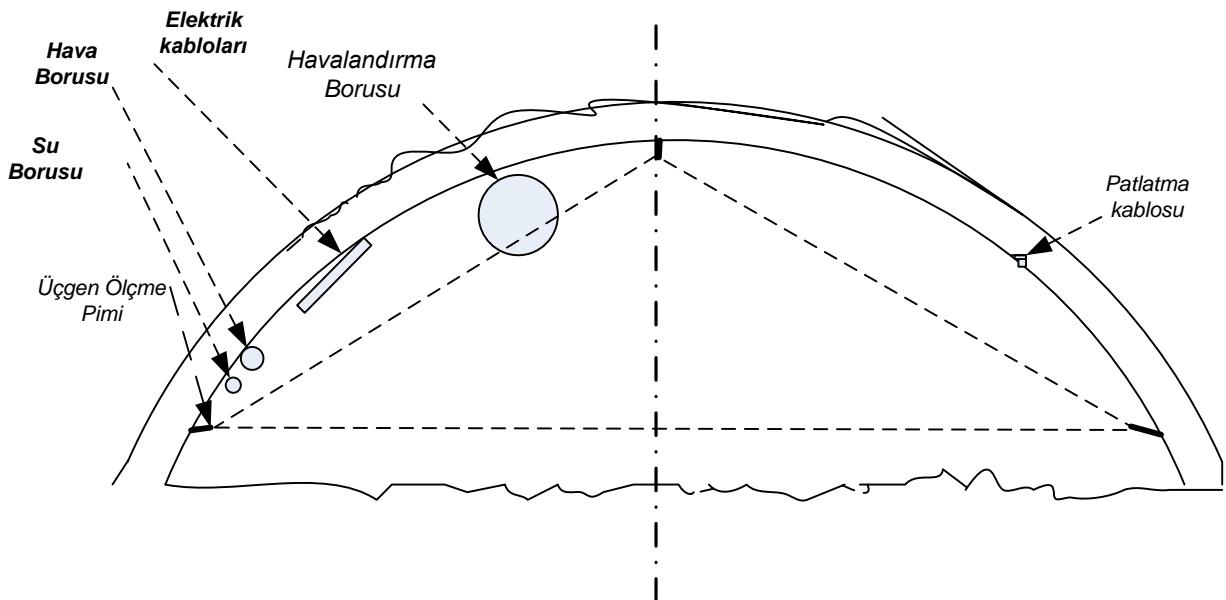
#### **1.3.4-) Patlayıcı Madde doldurulması ve Patlatma Usulleri:**

Delinen delik temizlenir, kontrol edilir ve en alta içinde saniyeli elektrikli kapsül olan patlayıcı lokumu konulur. Bu işlem çok hassas ve tam hesaba ve tecrübeye dayalı olarak yapılır. Gecikme zaman ayarlı olan bu kapsüller hesaba ve deneye dayalı yerden yanlış deliğe konulursa açık yüzey kuralı tamamen bozulur, neticede tedavisi zor olan kötü sonuçlar doğar. Buna bağlı olarak yeniden delme ve patlatma zorunlulukları ortaya çıkar.

Deliklere ilk patlatıcı kartuş lokumları yerleştirildikten sonra hesaba göre gerekli diğer patlayıcı miktarları odundan yapılmış sıkılama çubuğu ile sıkılanarak yerleştirilir. Statik elektrik şarjı doğuracağı için plastik (PVC gibi ) maddeden yapılan sıkılama çubuğu kullanılmaz.

Kapsüllerden gelen kablo uçları patlama sırasına göre grupperlendirilir. Ateşleme ana kablosuna sıra ile bağlanır. Ana kablo; tünel yan duvarı boyunca su borusundan yüksekte ve telefon hatları ile enerji hatlarının olmadığı tarafta bir doğrultu üzerine ve ahşap takozlarla tutturularak monte edilir.

( Bkz. şekil )



## **TÜNEL KAZISINDA DESTEKLEME**

### **DESTEKLEMEDEN ÖNCE ZEMİN KLASININ BELİRLENMESİ**

Tünel kazısında destek elemanlarını seçmek için zeminin cinsine göre gerekli destekleme biçimini belirlenir. Bu destekleme malzemeleri zemin sınıfına göre değişir. Bu sebepten zeminin ilk araştırmasına göre yapılmış projelerde klaslar (sınıflandırmalar) verilir. Bunun için uzunca bir süre zemin araştırması gereklidir. Araştırma konuları ile proje hazırlama konuları bir başka bölümde inceleneciktir. Bu bölümde klas verme işi hakkında kısaca birkaç örnek vererek destekleme malzemelerinin tanımı ve özelliklerine geçeceğiz.

Yüz yıldan beri tünel yapımının en emniyetli ve ekonomik bir şekilde sağlanması için inşaatın yapılacağı zeminin(kayanın) tanınması, sınıflandırılması ona göre desteklenmesi incelemiştir. Bilim adamları bu konuda çeşitli teoriler ve pratikler önermişlerdir:

Terzaghi, 1946 yılında tünel üzerindeki yükü kaya cinsine bağlı çelik iksa ile taşıtan bir sisteme göre klas sistemi meydana getirdi. Kaya cinsi ve tünel boyutuna göre yük hesabı kuralını ortaya koydu.

Lauffer, 1958 de kazı yapılan kayanın desteklenmeden ayakta durabilme koşullarına göre (=stand-up time) sınıflama üzerine çalışmalar yapıp buna göre sınıflama ortaya koydu.

Bieniawsky, 1976 da ( revizyonu 1989 da) RMR sistemi ile tünel zeminini destekleme şekilleri üzerinde durdu. Bu sistemde genel olarak kayanın dayanımı, RQD değeri, kaya çatlaklarının yapısı, çatlak aralıkları, süreksizliklerin yapısı su muhtevası ve kazı açıklığı gibi özellikler göz önüne alındı.

Barton, 1974 de Q sisteme göre sınıflama yaptı. Bu sınıflamada RQD (kayanın kalite yönelimi), kaya eklem numaralandırılma No su ( $J_n$ ), kaya eklemi pürüzlülük numaralandırılması No su ( $J_r$ ), kayanın bozusma numaralandırılması No su ( $J_a$ ), eklemlerdeki su durumuna göre kalite düşürme No su ( $J_w$ ), ve kayanın baskı altında olmasının verdiği kalite düşürme numaralandırılma faktörü (SRF) gibi detaylar göz önüne alındı.

Pacher, 1974 de NATM (yeni Avusturya Tünel açma metodu) adı ile bir zemin klaslama ve tünel açma metodu üzerinde çalıştı. Şu anda zayıf zeminlerde tünel inşaatının yapımına imkan veren bu sistem zemin şartlarının istediği koşullara göre adapte edilerek çoklukla kullanılmaktadır. Bu metot ile tünel kazı sistemlerinde zemin cinsine göre kazı kesiti küçültülmekte böülümlere ayrılmakta ve zeminin kendini tutabildiği zaman içinde elde edilen kazı boşluğu kısa zamanda desteklenebilmektedir. Kazı adımları da buna göre emniyetli tutulmaktadır. Ayrıca bu metot tünel desteklemesinin aşamalarında yapım işinin emniyetli bir biçimde sürdürülüğünü kontrol şartı (monitoring) ve yani geride kalan kesitin peryodik olarak ölçüm şartını da istemektedir. Bu ölçüm işi devam eden yapım işlerinde desteklemenin dengeli mi, aşırı emniyetli mi yoksa emniyetsiz bir miktarda mı olduğu fikrini ortaya koymakta ve tehlike varsa ek destekleme, aşırı destekleme varsa azaltma imkânını sağlamaktadır.

Kitabın ek bölümünde Bieniawky, Barton, NATM klas metodlarından kısaca bahsedilecektir. Detaylı bilgiler tünel projelendirme ve zemin araştırmaları hakkındaki ikinci kitapta anlatılacaktır.

Burada şu anda çokça uygulaması olan NATM ve onun gerektirdiği desteklemeler anlatılmaktadır.

Örneğimiz: - RMR sisteme göre 10 m açılığındaki tünelde her bir kaya klaslarının nasıl destekleneceğini açıklayan (1989 Bieniawski den ) örnek ve özet tabloyu göstermektedir:

Kaya Kıası	KAZI metodu	Bulonlar (20 mm çap, tamamen enjeksiyonlu)	Püskürme Beton	Çelik İksa
<b>I- Çok iyi Kaya</b> RMR: 80- 100	Tüm Kesit 3 m ilerleme adımı	Genelde bu zemin yer yer bulon den başka destek istemez		
<b>II- İyi Kaya</b> RMR: 61-80	Tüm Kesit 1-1,5 m ilerleme adımı Alından 20 m uzaklaşmadan destek bitmelidir.	tavanda yer yer bulon 3 m boy ve 2,5 m aralıklı beraberinde hasır çelik konulacak	Gerekli yerlerde tavanda 5 cm uygulanacak	iksa gerekmez
<b>III-Orta iyi Kaya</b> RMR: 41-60	Üst yarı ve alt yarı olarak kazı yapılır. Üst yarında 1,5 - 3 m ilerleme yapılır Her patlatma sonu destekleme şarttır. Aynadan 10 m geride tüm destek bitmiş olmalıdır	Sistematik bulonlama 4 m boy ve 1,5-2 m aralıklı üstte ayrıca hasır çelik kaplama gereklidir.	Tavanda 5-10 cm yanlarda 3 cm gerekir	iksa gerekmez
<b>IV- Zayıf Kaya</b> RMR: 21-40	Üst yarı ve alt yarı olarak kazı yapılır. Üst yarında 1-1,5 m ilerleme yapılır Her kazı sonu destekleme şarttır. Aynadan 10 m geride tüm destek bitmiş olmalıdır	Sistematik bulonlama 4, 5 m boy ve 1,-1,5 m aralıkları üstte ve yanda ayrıca hasır çelikle kaplama tüm üst ve yanlar kaplanacak	Tavanda 10-15 cm yanlarda 10 cm gerekir	1,5 m aralıklı hafif veya orta ağırıpta iksa gerekir
<b>V- Çok Zayıf Kaya</b> RMR: < 20	Üst yarında Çoklu ayna sürme ilerleme ise 0,5 m-1,5 m de Kazı biter bitmez destek gerekir Püskürme beton da kazı sonu hemen uygulanacaktır.	Sistematik bulonlama 5-6 m boyda ve 1-1,5 m aralıklı hasır çelikle kaplama tüm üst ve yanlar kaplanacak Invertte de bulonlama var	15-20 cm tavanda 15 cm yanlarda 5 cm de aynada uygulanacak	Orta ve ağır iksa 0,75 m aralıklla ayna üstünde çelik süren ve levha süren gereklidir inverti kapat

## **2. YENİ AVUSTURYA TÜNEL METODUNDA (NATM) İLK DESTEKLEME ELEMANLARI**

### **2.1. GİRİŞ:**

Tünel çevresindeki zemin kazı yapıldıktan sonra kendi özelliğine göre belli bir süre (birkaç dakikadan yıllara kadar değişen) ayakta kalabilir. Destekleme ve ilk kaplama olmazsa ileride kaya sınıflamalarında anlatılacağı gibi kazı sonrası meydana gelen boşluğu doldurmak için çevredeki zemin gevşeyerek merkeze doğru hareket edip o boşluğu doldurmaya çalışacaktır. İşte zeminin bu kendini tutabilme zamanı içerisinde kazı dış yüzeyinde onu tutabilecek, içeri hareketini önleyecek, hava ile temas edip bozulmasını önleyecek ve bunlar için yapılacak her iş kazı desteklemesi kapsamına girer. Zayıf zeminlerde hava ile temasın çok hızlı bir şekilde kesilmesi, desteklemenin de çevre ringini tamamlayacak şekilde olması zorunludur.

Modern tünel inşaatında destekleme elemanları şunlardır:

Zemini ilk destekleyen ana destek elemanları:

**Püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu, çelik iksa, ve yardımcı destek elemanları (sürenler, sac sürenler ve umbrella gibi).**

Bu destek elemanlarını kısaca burada açıklayacağımız sonraki bölümlerde her birini geniş kapsama yapım inşaat koşullarına göre anlatacağız. Tünelde destekleme zemin cinsine, su durumuna ve tünel boyutlarına göre aşağıdaki destek elemanlarından bir kaçı veya hepsi çeşitli sayı ve miktarda kullanılarak sağlanır.

Zemin (kaya) cins-sınıf değerlendirilme mühendislik çalışmaları ileride derinlemesine anlatılacaktır.

Burada kazıdan sonra zemin veya kayanın özelliğine göre konulacak desteklemeler için sadece genel bir örnek cetvel olarak eklenmektedir. Türkiye de Karayolları Genel Müdürlüğü NATM ye göre zemin sınıfı ve desteklemesini kapsayan teknik şartnameyi kullanmaktadır.

- **Püskürtme beton;** kazı yüzeyine en acil olarak uygulanan ve içinde priz hızlandırıcı olduğu için çabuk dayanıma geçen malzemedir. Zeminin yüzeyi ile hava arasında perde oluşturur. Püskürtme beton zeminin gereksinimine göre direkt uygulandığı gibi, hasır çelik veya fibre çelik (küçük prefabrik tel parçacıkları ) ile de uygulanır. Hasır çelik ile uygulama püskürtme betonun kesme ve basınç dayanımını artırmak içindir. Püskürtme betonuna, işçiliğini, elastikiyetini, ilk priz almada yük taşıma kabiliyetini yükseltmek gibi özel nedenlerle fibre çelik ilave edilir.

- **Kaya bulonları;**

Kaya bulonları kazı çevresindeki plastik çözülmüş zemin tabakasının ağırlığını gerideki sağlam zemine tutturmak enjeksiyonlu veya enjeksiyonsuz(mekanik) çelik çubuklardır. Çevre etrafında suni olarak kemer oluşumu (arching) sağlanmasına yardımcı olur. Bu sayede tünel çevresi kendi kendini taşırlı hale gelir.

Değişik şekilde projelendirilmiş çeşitleri mevcuttur:

**Genişleyen bulonlar:** Zemindeki delgi içinde uc kısmı açılır mekanik tip,

**Tamamen Enjeksiyon harcı ile sarılı bulonlar:** ( çimento enjeksiyonu ile veya özel reçine ile çelik bulon çevresindeki kaya veya zemindeki delik boşluğunun tamamen doldurulması )

Enjeksiyonlu bulonlar borudan veya çelik çubuktan yapılır.

Görevine göre aksiyon bulonları ön-gergili ve ön-gergisiz olarak da sınıflandırılır.

Ayrıca çok geniş açıklıklarda **kablo ankrajları** da kullanılır.

- **Çelik iksalar:** Bir kaç çeşidi vardır:

H tipi çelik profiller

U tipi özel tip profiller

Kafes kiriş özel tip ( pantex ) profiller

- **Yardımcı destek elemanları ise şunlardır:**

**Sac levhalar:** -Kohezyonsuz zeminde kazı sırasında malzeme akmasını önlemek için 3-4 mm kalınlığındaki saca özel şekil verilerek; kazılacak ayna üstüne çakılır.

Bu saclar bir önceki iksa üstünden zemine girdirilir.

**Boru veya demir çubuk sürenler:**- Sac sürenlerle aynı amaçlıdır, ancak daha bloklu ve az kohezyonlu zeminlerde aşırı dökülmeyi önlemek için konulur.

Stabil ve çok az çatlaklı kayalarda tünel yüzeyi son kaplama yapılana kadar desteksiz tutulabilir. Ama yine de membrana uygulamasından önce kayanın keskin uçlarını yuvarlatmak ve membranın delinmesini önlemek için özel karışım püskürtme beton atılır (sprey beton).

Destekleme elemanlarının cinsi ve miktarı; kazının içerisinde yapıldığı zeminin cinsine, tünelin çapı ve şecline, ayrıca zeminde olacak kazı sonrası baskıların niteliğine bağlıdır. Kayanın sınıfına göre projelendirilmiş değişik ve tipik destekleme şekilleri vardır.

NATM stabilité görüşüne göre önce ilk destekleme meydana getirilir. İç kaplama betonu ise drenaj işleri çözümlendikten ve tünel çevresindeki deformasyon değerlerinin şartname limitlerine kadar gelerek sökünlendikten sonra ve membrane kaplaması bitirildikten daha sonra yapılır. Böylece tünelin stabilité sorunu olmadığı anlaşılmasıının ardından son kaplama bitmiş ve su basıncı, zemin baskısı gibi ileride sorun yaratacak konular önceden bertaraf edilmiş olur.

## **2.2. Tünelde İlk Destek Elemanları (malzeme cinsleri)**

### **2.2.1 Hasır Çelik**

#### **2.2.1.a) İşlevi :**

Hasır çelik; püskürtme betonu içinde yapısal veya stabilite amaçlı güçlendirici olarak kullanılır.

Hasır çelik yapısal amaçlı kullanılsa bile aşağıdaki yararları vardır:

- Püskürtme betonu tabakaları arasında adhezyonu sağlar.
- Püskürtme beton priz alıncaya kadar stabilité ve güçlenmeyi püskürtme betona verir.
- Kesme dayanımını artırır.
- İnşaat çatlaklarını teçhiz edip, güçlendirir.
- Akma ve aşırı yükten gelen çatlakları azaltır veya sınırlar.
- Tünel yapımının çevresi boyu ( üst yarı + alt yarı ) hasır çelik kullanımı tünelin uzunlamasına da güçlendirme (teçhizat - reinforcement) etkisi yapar.
- Püskürtme beton kaplamanın hasar gördüğü veya çatladığı hallerde püskürtme beton priz alana kadar

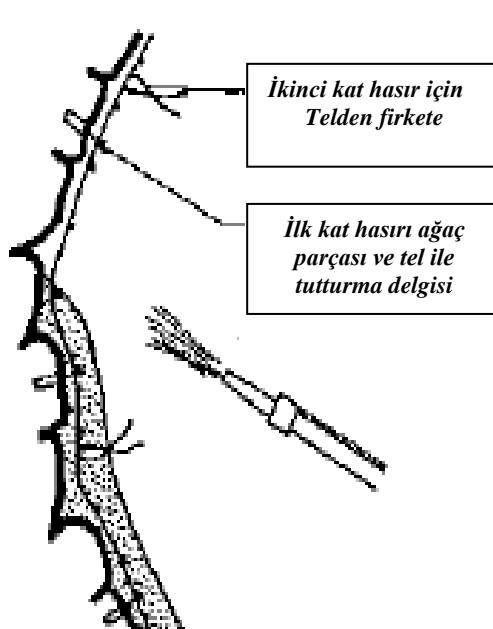
Onun küçük parçalar halinde düşmesini öner. Çok iyi kaya zeminde 5 cm den daha ince Püskürtme Beton uygulandığı yerlerde hasır çelik konulması gerekmek.

#### **2.2.1.b) Ölçüleri:**

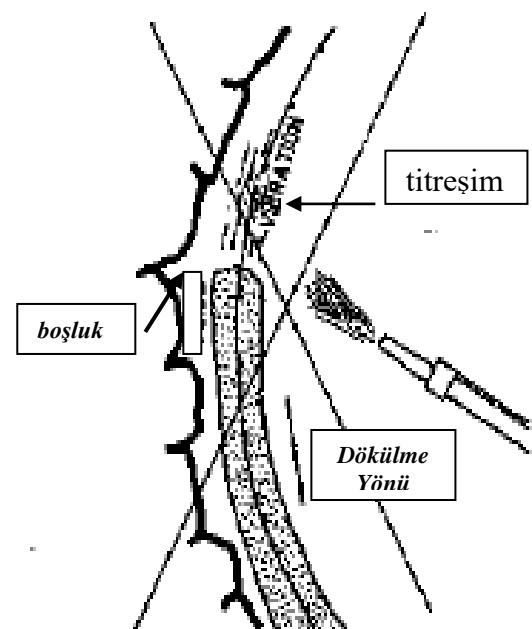
Püskürtme Betonun dökülmesini (rebound) önlemek için, ayrıca iyi kalite püskürtme beton uygulaması için; hasır çelik çubuk araları 100mm /100mm olmalıdır. Etkin demir çubuk yarıçapı 5 mm den aşağı olamaz. Bükme ve tutturma işine elverişli olması bakımından çubuk çapı 10 mm den fazla olmamalıdır.

#### **2.2.1.c) Tutturma – montaj:**

Hasır çelik kazının hemen ardından kazının düzgün olmayan tüm yüzeylerine yakın olacak şekilde monte edilecektir. Hasır çelik; püskürtme beton sırasında yerinden oynamaması için zemine takozlar ve tellerle bağlanır. ( bkz. şekil )



a.) *Hasır çelik uygun tutturma*



b.) *Hasır çelik hatalı tutturma*

Hasır çelik malzemesinin zemine yakın tutturulması halinde püskürtme betonun zemine iyi yapışması ve arada hava boşluğu kalmamasını sağlar. Böylece beton iyi yapışır. Püskürtme beton hasır çelik tarafından titreşime uğrayarak geri dökülmesi hali önlenmiş olur. Arkadaki boşluk zararlı zamanla zeminin iç dayanımını hava alarak bozar. Hatalı tutturma halinde arkadaki boşluğa ek olarak çarpan malzeme ile titreşim oluşur ve dökülme artar.

## **2.2.2. ÇELİK İKSA**

### **2.2.2. a) İşlevi:**

Çelik iksanın statik fonksiyonu; modern tünelcilikte, Püskürtme Betonun uygulanmadığı veya tam taşıma kapasitesinde priz almadığı yerlerde kazı yüzeyindeki püskürtme betonla birlikte çalışan acil destekleme elemanı veya yük dağılım elemanı olarak sınırlı olsa yararlı ve acil emniyeti sağlar.

Celik iksalar; tünel aynasında püskürtme betonu + hasır çelik konulması sırasında püskürtme beton priz alıncaya kadar geçici olarak emniyeti sağlar ve geçici destek görevini görür. İlk kaplamanın bitirilmesinin ardından ona iskelet görevi yapar. Diğer taraftan bir sonraki kazı için konulan sürenlerin arka ucunu destekler. Konulan iksalar sürenlere mesnet görevi yapar. Diğer taraftan stabil kayada iksalar kazı çevre profiline kılavuzluk vazifesi yapar ve patlatma için delgi yapılırken iksa pozisyonu delgi yerlerinin işaretlenmesine yardımcı olur.

Iksalar yerlerine dikildikten sonra bir önceki iksaya işbanlar ( tie rod ) ile bağlanır.

### **2.2.2.b) Tipleri:**

Tünel iksa takımlarına üç çeşit örnek verebiliriz:

- A- ) H Tipi çelik profil iksa çeşitleri
- B -) U veya TH Tipi özel imalat profilden yapılan iksalar
- C - ) Çubuk çelikten yapılan kafes kirişler

H tipi profil iksa yapımında tünel yüzeyinin desteklenecek yüzeyine paralel proje çizilir. Bu çevre uzunluğu pratikte profilenin bükülebileceği ve işlenmiş iki ucu plakalanmış profilen taşınabileceği şekilde bölünür. Bölünen bu parçalar cıvata pul ve somunla monte edilir. Yerine dikilen iksa arkadaki önceki raundda dikilmiş ve desteklenmiş iksaya işban ile kaynak veya hazır projeye uygun çelik çubukla veya prefabrik eleman ile bağlanır.

***U tipi profiller*** iksa için çok baskılı zeminlerde kullanılır. Ek yerleri kayıcı kelepçe ile oluşur ve zeminden deformasyon gelince çapı kapanır ( projenin verdiği toleransa göre ) .Tünel boyunca ek yerlerine zayıf p.beton atılır ( deformasyona kısmen izin veren ) . Deformasyon istenilen değere yaklaşınca ve sönmülenince p. Beton tamamlanır. U tipi profiller; montajı kolay olduğu için yan galeri ile kazılan tünelerde ve iksa tavan parçalarında kullanılır. Aşağıdaki resimlerde

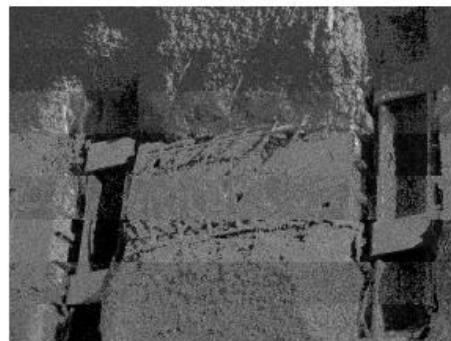
olduğu gibi profiller kelepçe ile bağlanmıştır ve bu bağlantı o profillerin yüksek baskı altında çevresel olarak kayıp kapanmasına elverişlidir.



**U tipi kelepçeli profiller**



**Çok baskılı yerlerde invertte iksa**



Resimde kayar iksalı tünellerde orta bölümde püskürtme betonsuz bırakılan ve deformasyona terk edilen orta bölüm ve sonradan püskürtme betonu ile kaplanması görülmektedir.



**TÜNELDE ÇELİK PROFİL İKSA MONTAJI (Tie Rod=) İşban Borudan**



**ÇELİK İKSA ARALARININ PÜSKÜRTME BETONU İLE DOLDURULMASI**

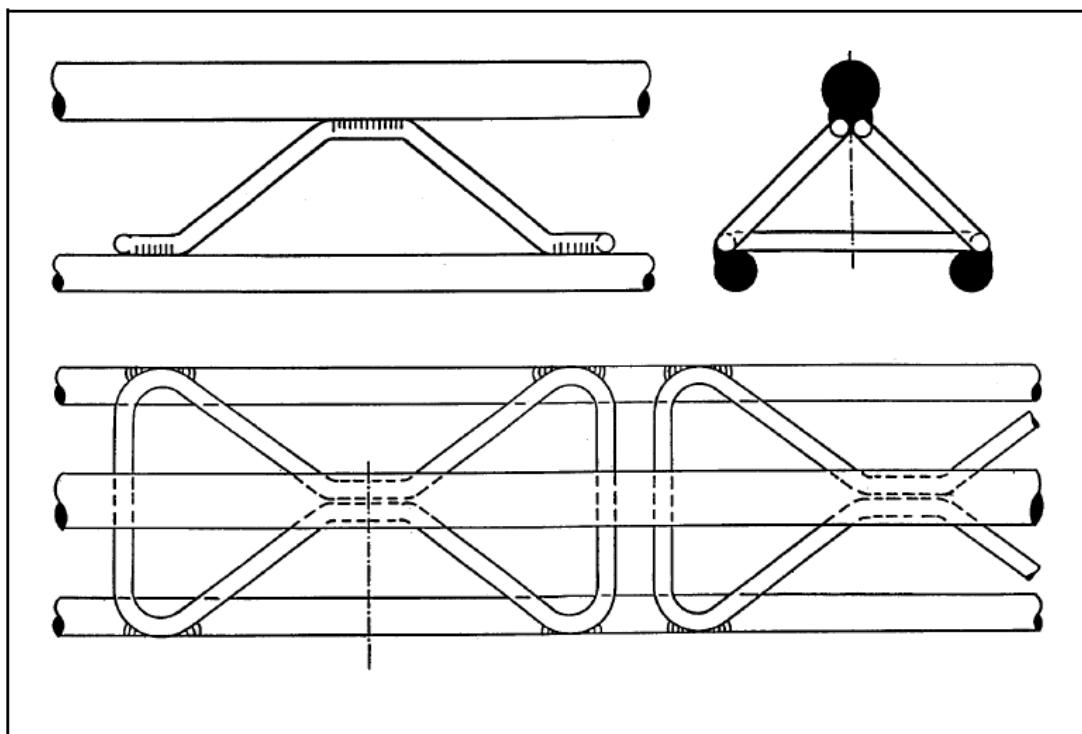
### **Kafes Tipi iksalar:**

**Kafes tipi** hazırlanan iksalar nervürlü çelikten belli bir projeye göre fabrikasyon olarak üretilir.

Bunlar da diğer tiplerde olduğu gibi taşınabilir büyülüklükte imal edilir.

Faydalari: - Püskürtme betonunun bu iksanın arkasına girerek zemin yüzeyinde boşluk kalmamasını sağlamaktır. Çevrede zeminle Püskürtme betonu tam temas sağlayınca zemin bozulmaz ve ileride havanın vereceği gevşeme ihtimali çok aza iner. İdeal bir iksa tipidir.

Dezavantajları:- Bu iksaların imalat işçiliği zordur. Bu iksaların diğer dezavantajı ise taşıma sırasında ve stoklamada çabuk hasar görürler, bu yüzden nakli ve stoku için özel düzenleme gereklidir.



Çelik çubuklardan yapılmış kafes tipi (pantex type) iksa resimleri



Boyanmamış yeni imalat iksa



Betona uygun yapışabilen boyalı hazır iksalar

## **2.4. Püskürtme beton ( Shotcrete )**

### **2.4.1 İşlevi:**

Püskürtme beton; taşıyıcı eleman olarak tünel çevresindeki zeminin hava ile temasını kesip, hava almayarak çözülmesini önler. Püskürtme beton zemin yüzeyini kaplarken kaya çatlaklarını da bağlar ve düşmeleri hatta aşırı dökülmeyi ( overbreak ) önler. Kayanın çözülmemesi, hava almaması ve kayanın ilk mukavemetinin muhafazası kazı profili çevresinde kaya kemer oluşması için gereklidir.

Esasen, Püskürtme beton kaplaması sıradan tünellerde demirsiz beton kaplama olarak düşünülebilir.

Pratik deneyimler Püskürtme betonun basınç dayanımında iyi sonuç verdiği, ama aşırı yüklerin vereceği kesme dayanımında kötü netice verdiği göstermiştir.

Görüş olarak şöyle kabul yapılır:

Aşırı eğilme momentleri akma ve çatlayarak yük dağılımı yapar, böylece mafsallı bir sistem oluşur. Tünelin yan duvarlarını ve tavan eğri yüzeyini tamamen sararak zemin üzerine düzgün bir şekil veren bu püskürtme betonu ile hasır çelik çoklu mafsallı sistemi kinematik olarak stabil sonuç vermektedir.

Burada şu konu çok önemlidir:

Püskürtme betonu kaplaması ile zemin arasında veya püskürtme beton tabakaları arasında hiç boşluk kalmayacaktır. Kaplamanın her noktası zeminin yüzeyine temas etmelidir.

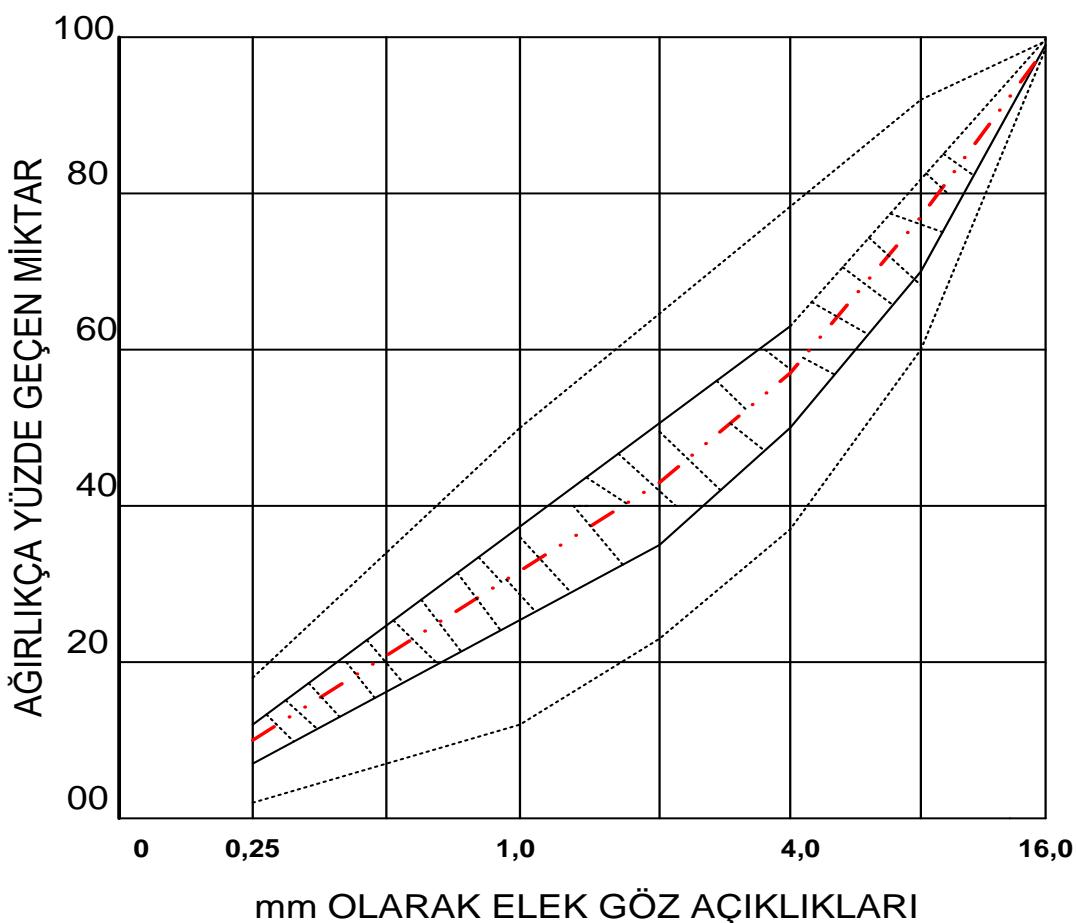
Bu işlem şöyle başarırlar:

- Hasır çelik kaya yüzeyine çok yakın ve kuvvetlice tutturulmalıdır.
- Püskürtme betonunda en uygun cins ve miktarda priz hızlandırıcıyı kullanarak, hem priz zamanının kısaltılmalı fakat istenenden önce priz alma işleminden de sakınılmalı
- Püskürtme betonunu işe en uygun ekipman ile atılmasını sağlanmalıdır.

### **2.4.2. Karışım ve özelliklerı:**

Püskürtme betonda maximum dane çapı 16 mm olan üç çeşit gradasyonda kum ve çakıl kullanılır. Agreganın dane dağılım ölçüsü beton kalitesine, çimento tüketimine ve döküntü (rebound ) miktarına tesir eder.

Yapım öncesi testlerle dane dağılımı belli edilir ve elek analizleri ile gradasyon optimize ( en iyi şekilde kullanım ) edilir. Elek analizi aşağıda verilmiştir:



Püskürtme betonu uygulama olarak iki türde hazırlanır:

- Kuru karışım malzeme
- Yaş karışım harç

Ayrıca yarı yaş karışım da yapılmakta ise de bu usulde nozul ucuna 2-3 m mesafede su ile karışım erken sağlanmakta ve suyun karışımıya iyi etkisi sağlanmaktadır. Bu sistemin faydası katkı ve çimentonun çıkaracağı tozlanma etkisini azaltmaktadır.

#### **a-) Yaş püskürtme beton karışımı:**

Karışım nakledilerek borular vasıtası ile verilecek ve pompalanacak şekilde agrega, çimento gerekli işlerlik katısını kapsayacak şekilde hazırlanır. Püskürtme beton karışımı makinenin pompası ile yüzeye atılırken hazırlanmış olan sıvı priz hızlandırıcı özel bir depodan (makine üzerinde) borular ile gelerek püskürtme ucuna (nozul) yakın yerde püskürtme beton karışımına katılır. Bu kısımda pompa gücünden başka basınçlı hava vardır ve karışımın katkı ile temasını sağlar. Malzeme nozuldan karışmış halde basınç ile fırlayıp yüzeye yapışır. Priz hızlandırıcı püskürtme beton karışımının hava ile temas eder etmez istenilen ilk dayanımının olmasını sağlar.

Yaş Püskürtme beton Makinesi aşağıdaki bölümlerden oluşur:

- Beton haznesi ve pistonlama sistemi (İki piston ) olan elektrikle çalışan (bazen yürüyüş motoru dizel ) motor ile çalışan makine ana gövdesi
- Üzerinde nozzul bulunan ve yeterli hortumları taşıyan bum (elektronik kontrollü)
- Hava besleme sistemi
- Priz hızlandırıcı katkı pompa ve dağıtım ünitesi

Yaş püskürtme beton uygulaması kuru kaşımın aksine; yaş püskürtme yapıldığı için az toz çıkarır, çok az geri dökülme (=rebound) verir ve su miktarında düzensizlik sorunu yoktur. Bu metot iyi kalitede ve değişmez yapıda beton dökümü sağlar. Kuru sistem püskürtme beton atımında bir defada 10-15 cm kalınlıkta beton atmak zordur ama bu usul buna uygundur, diğer taraftan kuru karışımında betonu borular boyunca çok uzağa taşımak zordur ama yaş sistem buna daha elverişlidir. Yaş püskürtme betonun dezavantajları şunlardır: Kötü zemin şartlarında kazı esnasında ayna önünde gerektiğinde hemen kullanmak için püskürtme beton hazır tutulur. Bu iş kuru karışımında daha uygundur ama yaş karışımının muhafazası sınırlıdır. Diğer bir problem de şudur: Kuru karışım; kazılan zeminin rutubetli ve yaş yüzeyine su ayarını düzenlemekle uygulanabilir, fakat yaş karışım ıslak kaya yüzeyine çok zor yapışır.

Aşağıdaki resimde Arabistan'da kullandığımız tam otomatik elektrikli – hidrolik sistem ile püskürtme beton atan ve kendi dizel motorla yürüür, ilaç katma ekipmanı ile kompresörü de kendi üzerinde olan **Yaş Püskürtme beton makinesi** görülmektedir. 15 metre çaptaki tünelin her yerine ortadan erişmektedir. 25-35 m<sup>3</sup> /saat yaş püskürtme beton atma kapasitesi vardır.

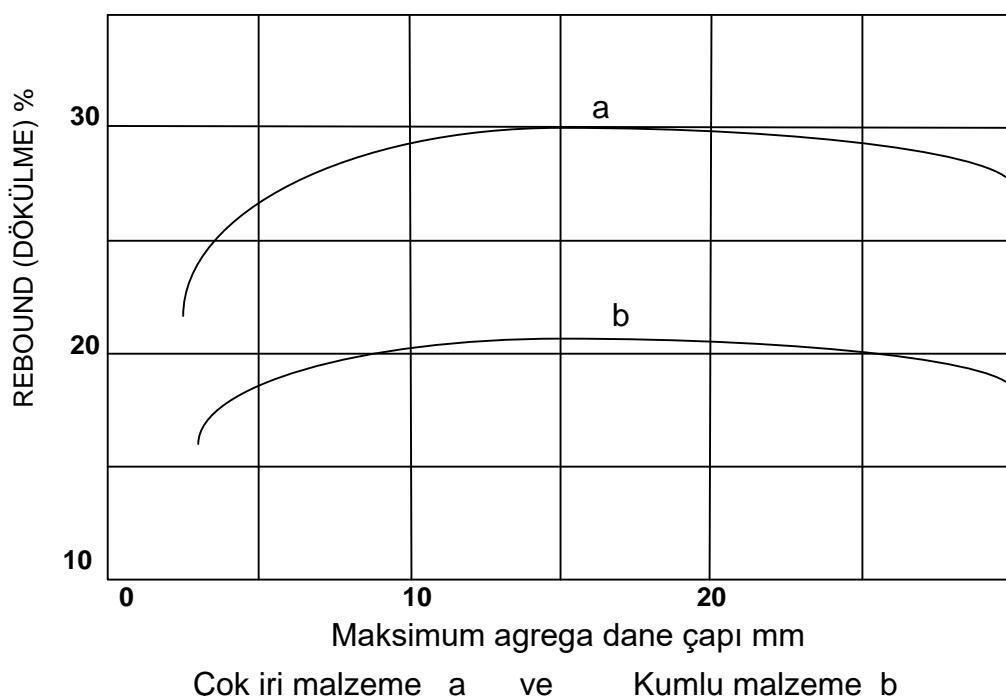


### **b-) Kuru Karışım Püskürtme Beton Uygulaması:**

Kuru karışım püskürtme beton basınçlı hava ile konulduğu püskürtme makinesinden borular ve hortumlar yardımı ile; aynı zamanda süratle sürüklendir. Karışım içinde agrega, çimento ve priz hızlandırıcı katkı maddesi bulunur. Bu karışım püskürtme ucu nozula varırken özel bir vanadan verilen su katılır. Nozul boyunca malzeme suyu alır ve şiddetle açık yüzeye ( 4 bar basınç ile) atılır.

Katkı malzemesi toz ise karışıma özel çimento oranına paralel döküm yapan cihaz(=dispenser) ile katılır, sıvı ise püskürtme makine ucunda depodan gelen suya karışmış bir şekilde verilebilir.

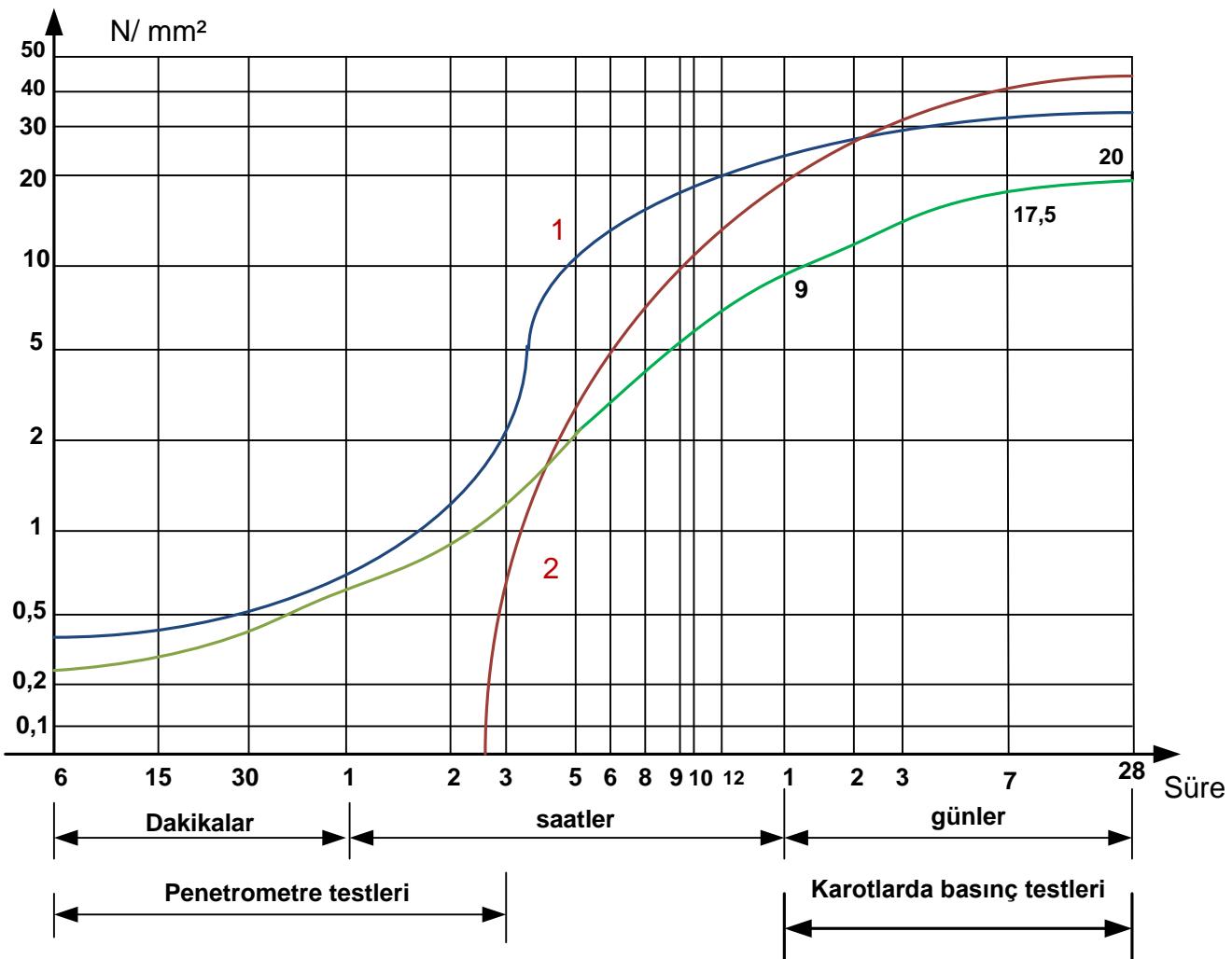
Kuru karışımında ilk bakışta çimento zayıflığı çoktur ( % 10 ) . Diğer taraftan atılan malzemenin aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi agrega dane çapına bağlı olarak ortalama iri agregada % 30 ve ince taneli karışımında ise % 20 geri dökülme kaybı vardır.



Agrega dane dağılımının dökülmeye(rebound) etkisi

## BASINÇ DAYANIMININ GELİŞMESİ

Püskürtme beton ( shotcrete ) un 28 günlük mukavemeti kuru karışımında en az 25 N/mm<sup>2</sup> olması şarttır. Bunu sağlamak için 1 (bir) m<sup>3</sup> karışımıma 350 ile 400 kg çimentonun katılması gereklidir. Basınç dayanımı gelişmesi çizilmiş ve aşağıdaki grafikte verilmiştir:



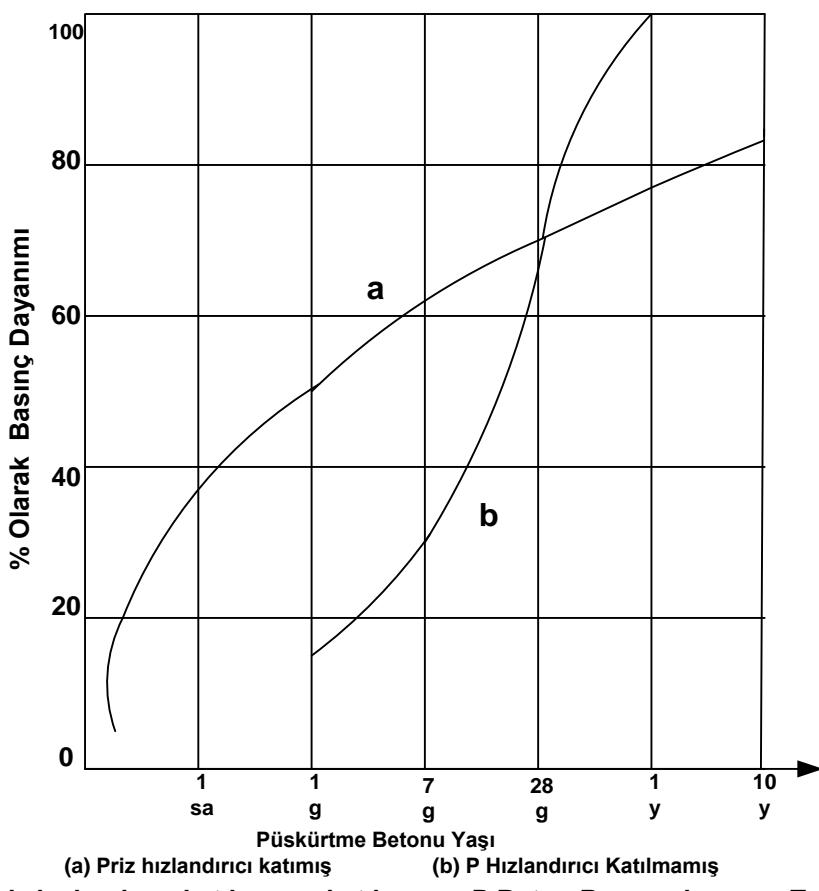
(1).. Katkılı Püskürtme Betonu

(2) .. Katkısız Püskürtme Betonu

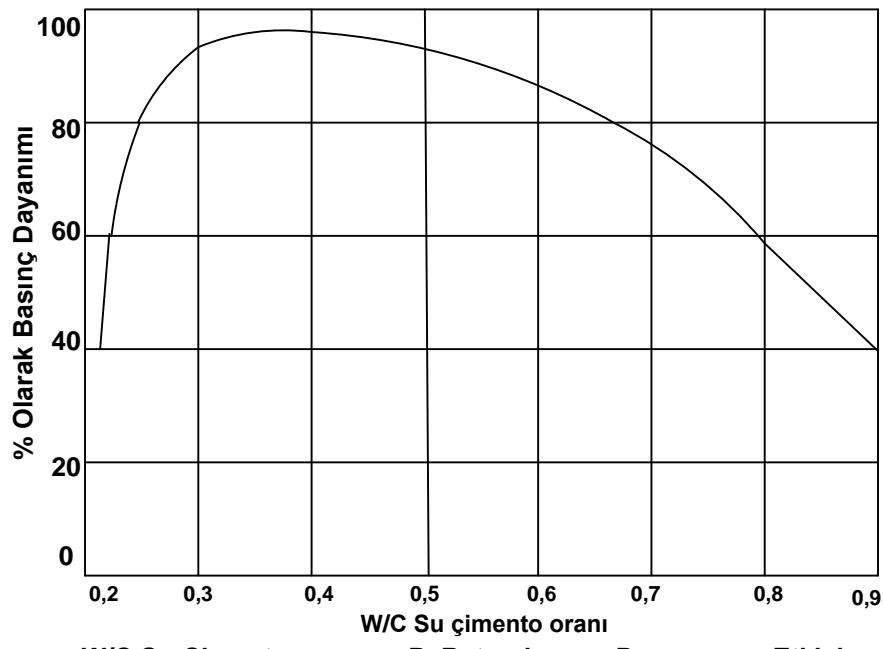
Priz hızlandırıcı katkı malzemesi ilk priz alım süresini öne alır ve ilk mukavemetin yüksek olmasını sağlar, fakat 28 günlük son mukavemetin bir miktar daha düşük olmasına neden olur. Katkı malzemesinin dozajı –agrega ve çimentonun özelliğine göre- çimento ağırlığının % 4 ile 8 i arasında olacaktır. Katkı malzemesinin dozajını ortaya koymak için çimento ile katkı malzemesi arasında uygunluk testleri yapılması gereklidir. Katkı malzemesi toz veya sıvı olabilir. Püskürtme betonun maksimum mukavemeti başardığı anda karışımındaki su/çimento oranı 0,40 ve daha altında olmalıdır.

Karışım dizaynının ölçüleri ağırlıkça olmalıdır, çünkü karışımı giren malzemeleri hacimce ayarlamak hassas netice vermez.

Karışım zorlayıcı ( cebri ) sistem beton mikserinde karıştırılarak hazırlanmalıdır. Agreganın rutubeti **% 5** yüzde beşten fazla olmamalıdır. Karışım zamanı **3(üç)** dakikadan az olmamalıdır. Kuru karışım kullanırken çimentonun agrega ile karıştırıldığı andan karışımın zemine püskürtülmesi arasında geçecek zaman en fazla **90** (doksan) dakika olmalıdır.



Priz hızlandırıcı katılmış ve katılmamış P.Beton Basınç dayanım Tablosu



W/C Su Çimento oranının P. Beton basınç Dayanımına Etkisi

Püskürtme beton kullanılmak için öncelikle mükemmel bir dizayn hazırlanmalıdır. Karışımı giren çeşitli elemanların oranlanması için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$\frac{Qc}{Yc} + \frac{Qa}{Ya} + \frac{Qw}{Yw} + Vp = 1,000 \text{ lt}$$

	Qc      çimentonun ağırlığı
	Qa      agreganın ağırlığı
	Qw      suyun ağırlığı
	Yc      Çimentonun özgül ağırlığı
	Ya      Agreganın özgül ağırlığı
	Yw      Suyun özgül ağırlığı
	Vp      Boşluk hacmi

#### d- ) *Lifli (çelik telli) Püskürtme beton:*

Özel uygulamalarda Püskürtme beton karışımına çelik fiber (çelik tel) ilavesi gereklidir.

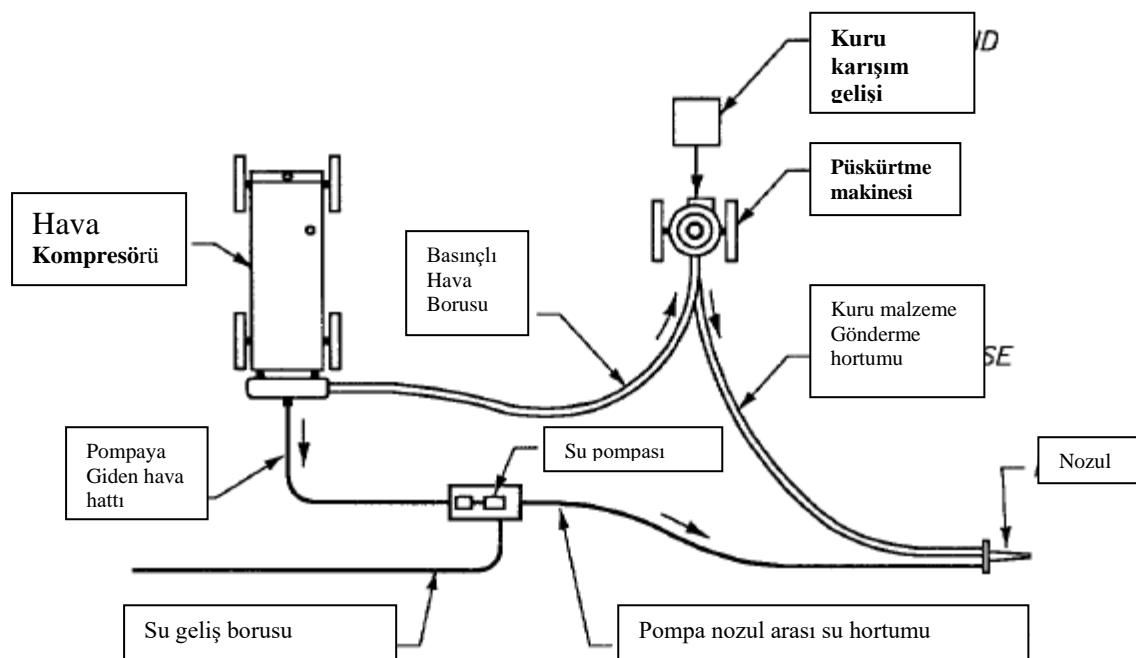
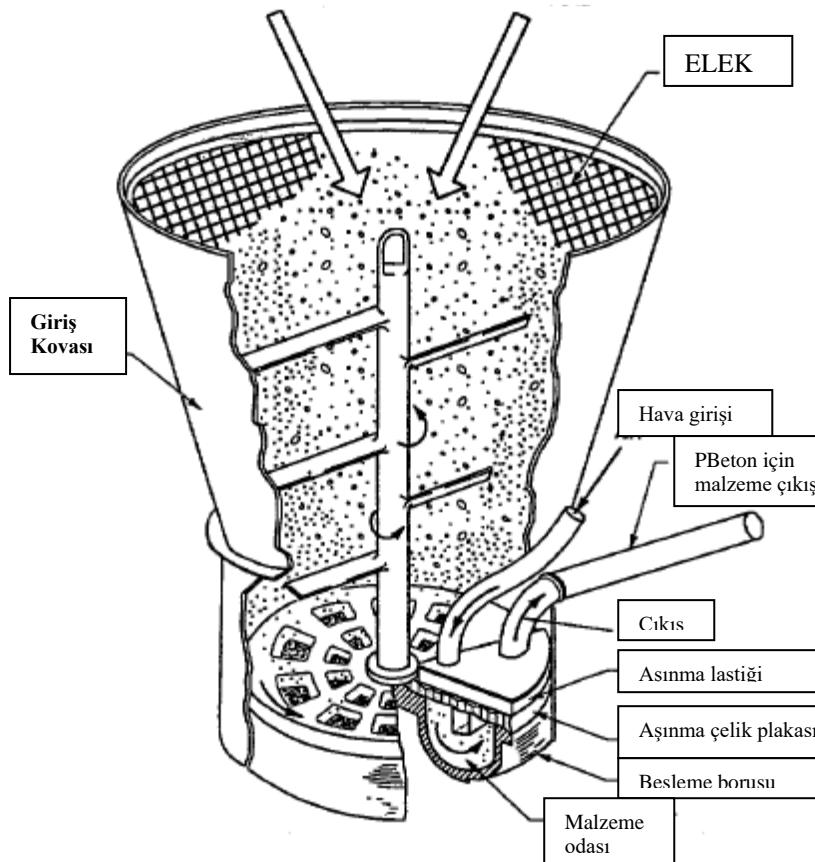
Püskürtme betonuna çelik-tel ilavesi onun her türlü bozulmalara dayanımını artırır ve darbe dayanımını, kesme dayanımını, sarsılma dayanımını, bükülme dayanımını, direkt basınç dayanımını ve ayrıca birlikte/homogen çalışma dayanımını artırır. Çelik Tel (ince tel=lif ) ile karışım hazırlanıp uygulanması; özel yardımcı ekipman gerektirdiği düşünülse de son araştırmalar mevcut püskürtme beton ekipmanlarının bu çelik telli karışımı rahatça atabildiğini göstermiştir.

#### 2.4.3. Ekipman ( Püskürtme beton için ):

**Kuru karışım işlemi** için kullanılan makine-ekipman sistemi aşağıdaki şekilde bölümlendirilebilir:

- Üstüne kova (Hopper) bağlanmış dönen tip (rotor type) püskürtme beton makine gövdesi
- Kuru karışımı kovaya getiren besleme bandı
- Priz hızlandırıcı malzemeyi karışıma veren oto-dozaj makinesi
- Malzemeyi tünel aynasına sürükleyip götürün boru ve hortumlar ile makineyi besleyen kompresör ve bağlantısı ( Hava 6 bar basınç ve 10 m<sup>3</sup>/dakika debide)

Kuru karışım Makinesi 4-6 m<sup>3</sup> püskürtme beton kuru karışım atacak şekilde projelendirilmelidir. Püskürtme beton makinesi kızak üzerine oturtulur ve çekilir tip araç şeklinde imal edilmektedir. Nozul kısmı ile püskürtme uç boruları elektronik kontrollü olacak şekilde de projelendirilebilir.

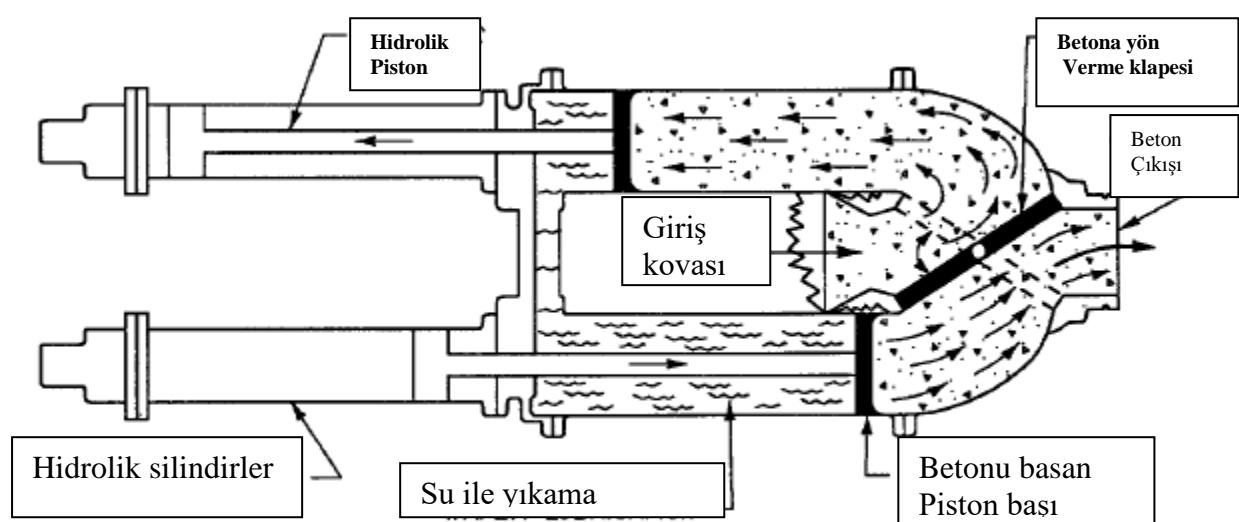


Kuru karışım püskürtme beton makinesinin çalışmasının şematik gösterimi.

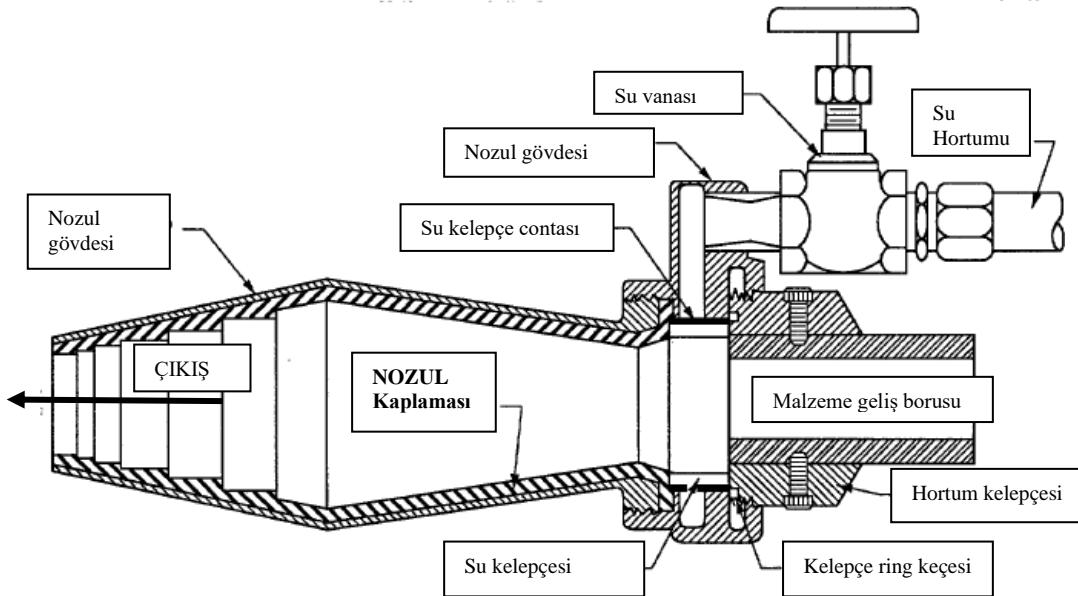


Aliva -262.1 marka kuru püskürtme beton atma makinesi genel görünüşü.

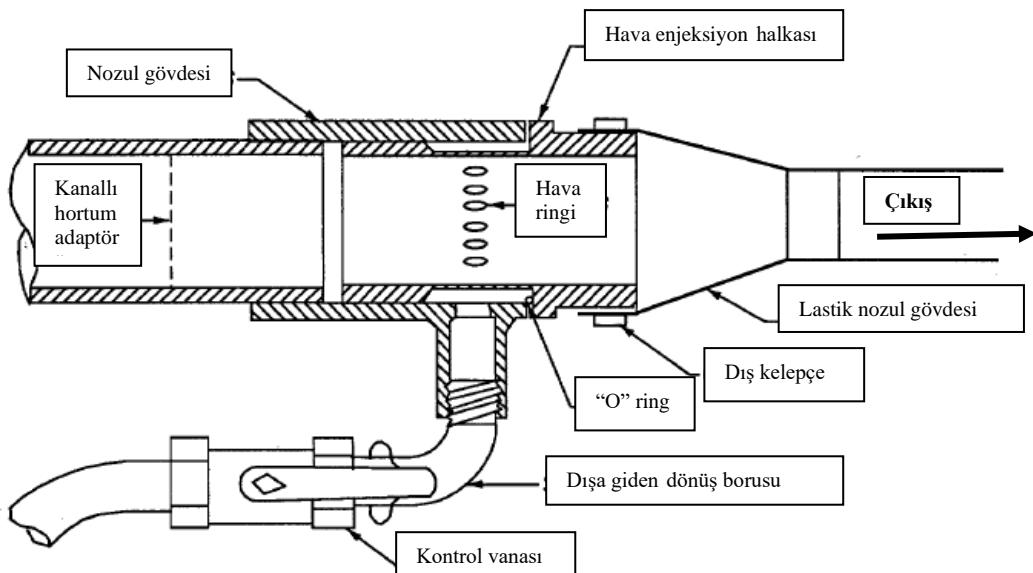
**Yaş beton pompalama prensibi:**



## NOZULLAR: Kesit resimleri:-



**Kuru karışım püskürtme beton makinesinin NOZUL kesiti**



**Yaş karışım Püskürtme beton makinesinin NOZUL kesiti**

### 2.4.4 - ) Pratik uygulama ( kuru karışım işlem ) :

Püskürtme Beton kalitesi kuru karışımın dizaynına ve pratik uygulamaya bağlıdır.

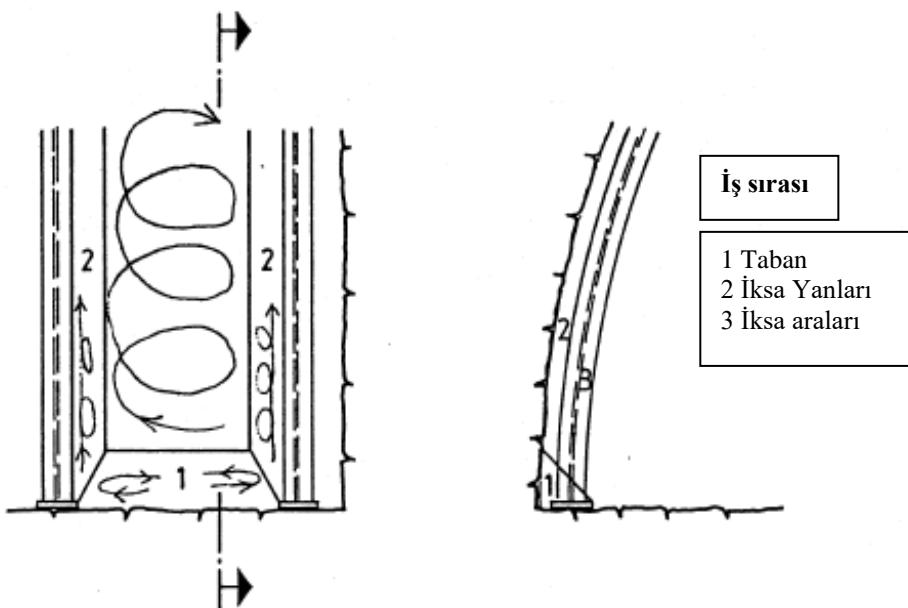
Nozulmen ve makine operatörü uygulamadan sorumludur ve Püskürtme beton kalitesine tesir eden konular aşağıdaki maddelerle ifade edilir:

- Püskürtme betonu tabakalar halinde atılarak zemine yapıştırılması
- Nozulun pozisyonu ( zemine dik olması) ve nozul ucunun dairesel olarak hareketi

- Karışma su miktarının düzgün şekilde katılması
- Katkı (priz hızlandırıcı) malzemesinin düzgün olarak ilavesi
- Basınçlı havanın karışımının gereğine göre ayarlanması

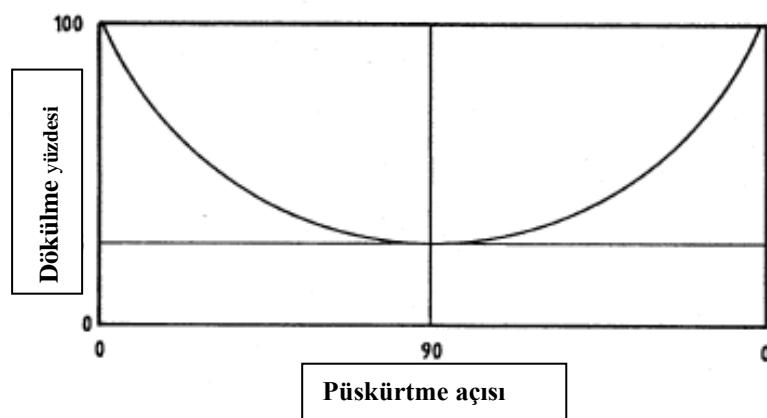
Ayrıca genelde makinenin hava basıncını iyi iletmesi ve su basıncını da iyi ayarlaması –yani makine özelliği- da karışımın iyi kalitede atılmasını sağlar.

Nozul tutan usta (=nozulmen) in hareketleri ile ilgili şekiller aşağıdadır:

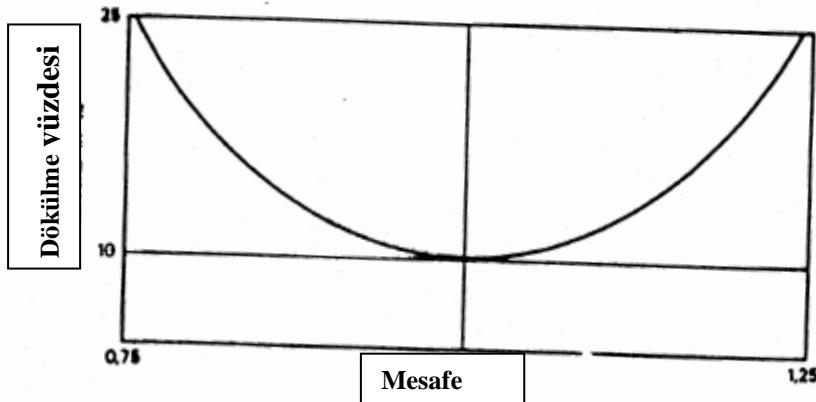


Nozul pozisyonu püskürtme beton rebound durumuna tesir eder ( elek analizi eğrisi bozulur).

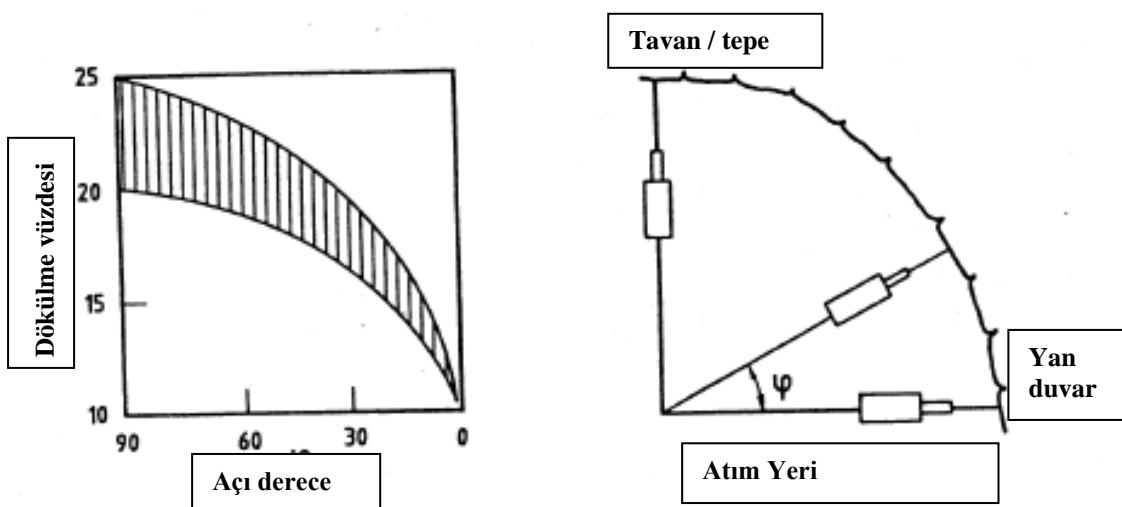
Nozulun yeri tünel çevresi veya atılacak yerden 1,00 m uzakta ve Pozisyonu da atılacak yüzeye dik olmalıdır. Şekiller açı ve mesafenin dökülme (= rebound )da tesirini göstermektedir:



Bu şeviden de anlaşılacağı gibi yüzeye dik 90 derecede en az dökülme olmaktadır.



Yukardaki şekilde de en iyi uygulama nozul ile atılan yüzeyin 1 (bir) metre uzakta olması halidir.



Enlemesine (radyal) püskürtme beton atmanın da dökülmeye etkisi vardır. Yukarıdaki şekilde görüleceği gibi püskürtme beton atılmasında dökülme yan duvarlarda az ve tünel tepesinde en fazla olur.

Püskürtme betonun işlem bittikten sonra hacimsel olarak % 30-40 olan dökülme (rebound) kaybının hesabında kazı sırasında meydana gelen yüzey pürüzlerinin düzeltilmesi ile zeminin dökülmesinin (overbreak) doldurulması da dikkate alınması gereklidir.

Nozulmen elinin içindeki işe en uygun vana ile karışımın suyunun ayarını yapar.

Su ayarının sağladığı doğru neticede Püskürtme beton şu özellikleri taşımalıdır:

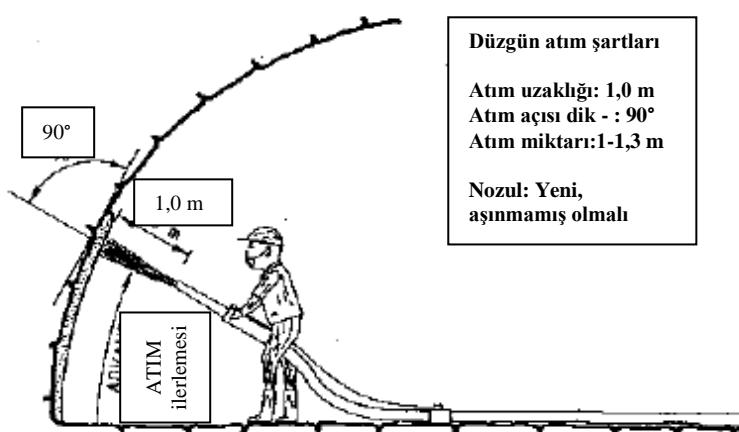
- Düzgün bir karışım görünümü
- Kuru noktaların olmaması
- Püskürtme beton kıvamı plastik ama akıcı olmamalıdır.

- Atılan Püskürtme beton yüzeyi parlak görünümde olmalıdır.

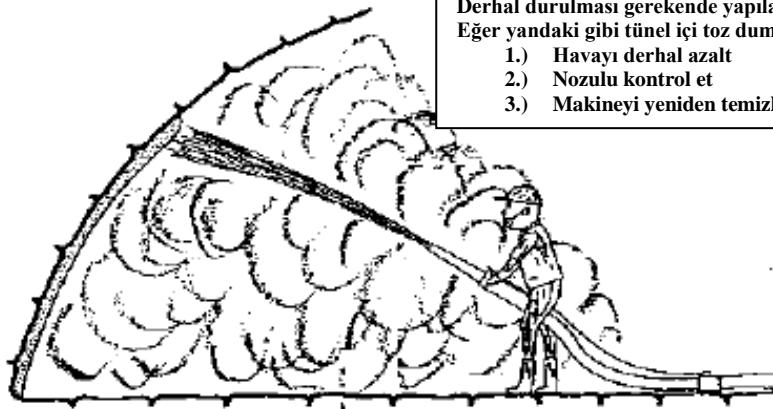
Püskürtme betonuna **hızlandırıcı katkı** operatör tarafından katılır, ama miktarının doğru olup olmadığı atılan karışımın şekline bakılarak; nozulmen tarafından ayarlanır. Katkı malzemesi geri dökülme miktarına etki eder. Deney sonuçlarının üst limite yakın katkı malzemesi reboundu azaltır. Bu sebeple tavanlarda dökülmeyi azaltmak için katkı biraz artırılır, fakat onu dengelemek için yan duvarlara az katkı konulur. Geri dökülmeyi (Rebound) azaltmanın bir yolu da ıslak püskürtme beton kullanmaktadır.

Püskürtme beton için kullanılan **hava miktarı ve basıncı** nozulmenin direktifi ile operatör tarafından ayarlanır. Bu sebeple nozulmen ile operatör arasında haberleşmeyi sağlayan uyarı sinyali gibi bir göze hitap eden bir sistem oluşturulmalıdır.

İyi ve kaliteli püskürtme beton atılması düzgün atım kuralları nozul ucu ile atılan yüzey arası mesafe=1,0 m, atım doğrultusu ile açı  $90^\circ$  açıda olmalı, atım yüksekliği de uygun miktarda 1-1,30 m gibi..



**Kötü ve sonucu başarısız püskürtme beton** atılması durumu= hava ayarı bozuk, kötü nozul, tıkalı makine düzgün olmayan mesafe ile olur.



Derhal durulması gerekende yapılacaklar:  
Eğer yandaki gibi tünel içi toz duman ise:  
1.) Havayı derhal azalt  
2.) Nozulu kontrol et  
3.) Makineyi yeniden temizle

#### 2.4.5 - ) Püskürtme Betonun (Şotkrit) Uygulama Kriterleri :-

Aşağıdaki tabloda en uygun Püskürtme Beton atmanın kriterleri özetlenmiştir:

	ŞARTNAMELER	UYGULAMALAR	BAKIM-KORUMA
HAVA TEMİNİ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>4-6 bar</b></li> <li>- 10-17 m<sup>3</sup> / dak (makine kullanma kitaba bak)</li> <li>- Eğer hortum 100 m ise</li> <li>çapı min. 2,5" olmalı</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- hava hatları temiz olmalı</li> </ul>
SU TEMİNİ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3-5 bar</li> <li>- su hortumu minimum 20 mm çap</li> <li>- nozuldan evvel filtre konulmalıdır.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- su hatları temiz olmalı</li> </ul> <p>Filtre zaman zaman temizlenmeli</p>
KURUKARIŞIM KOVASI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- her makinede 2 m<sup>3</sup> tavsiye edilen 3 m<sup>3</sup></li> <li>- gövdeye vibratör önerilir</li> <li>- kovaya besleme bandı</li> <li>tavsiye edilir.</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kovadan çıkışa kontrol aparatı önerilmektedir.</li> </ul>		
KATKI DAĞITICISI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- çıkış kontrolli için aparat</li> <li>- cihaz üstüne vibratör önerilir.</li> <li>- aşırı rutubete dikkat etmek gereklidir</li> </ul> <p>* çıkış ayarı :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- konveyör bandın 2 m lik kısmının süresi olan <math>fc = ..</math> Saniyeyi ölçünüz</li> <li><math>fc = 60 / tc</math> yi hesapla</li> <li>- Ölçü <math>Qa = . \text{ kg/dak}</math></li> <li>bir ( 1 ) dakikadaki katkı miktarı çıkışı</li> <li>- ölç <math>Qd = . \text{ kg}</math></li> <li>konveyör bandın 2,0 m lik kısmındaki kuru karışım ağırlığı</li> <li>* priz hızlandırıcı % desisudur :</li> <li>( 435 kg çimento / <math>m^3</math> için )</li> </ul> $p = \frac{Qa}{---- \%}$ $fc \times Qd \times 0,2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temizleme : her işlemden önce çıkış aparatını fırça ile temizle</li> <li>- kontrol et : bildirilen ayara göre Çıkışta malzemenin dakikadaki ağırlığı</li> </ul>	
P.BETON MAKINESİ	<ul style="list-style-type: none"> <li>* standart ekipman</li> <li>* tünel içinde yedek parça yeri</li> <li>- 2 takım lastik plaka</li> <li>- 2 takım çelik plaka</li> <li>- 2 takım rotor delik contaları</li> <li>- 2 takım çıkış contaları</li> <li>* ilave yedek parçalar ana ambarda muhafaza edilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- her vardiyada bir operatör</li> <li>- makineyi önce boşta çalıştır ve rotor sıkılığını ayarla ( el kitabına göre )</li> <li>- eğer makine iki devirli ise önce birkaç saniye 1. devirde çalıştır</li> <li>sonra 2. Devire geçiniz</li> <li>- hava vanasını düzgün bir püskürtme beton akışı elde edinceye kadar ayarla</li> </ul> <p>Genel kural:</p> <p>düşük devir vana</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Her işlemden sonra makineyi temizle ( eğer Malzeme rutubetli ise bu iş arada da yapılmalı )</li> <li>Lastik conta değişimi : Hava kaçırıyor ayar</li> <li>Ve ayar tutmuyorsa değiştir, kum kaçağı başladığ ise hemen değiştir</li> <li>- Dönüş salınımlı ve kaçak varsa çelik plaka . değişimi gerekir</li> <li>- Lastik boğaz contalarında Gözle görülen yara varsa değişimelidir</li> </ul>

		<p>pozisyonu ... 0,7</p> <p>-----</p> <p>-- = -----</p> <p>aşırı yüksek devir vana poz. 1,0</p>	
HORTUMLAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hortum çapı D= 2" min</li> <li>önerilen D = 2,5"</li> <li>-boru çapı makineden nozula</li> <li>kadar değişimmemelidir</li> <li>- hortum boyu 30 m önerilir</li> <li>- manşon birkaç tane olmalı</li> <li>eğer mümkünse</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- hortumda yara varsa değişimlidir</li> <li>- eğer arıza yırtık varsa lastik contalar değiştirilmelidir.</li> </ul>
NOZUL ve SU VANASI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistem kuru veya yaş sis.</li> <li>önerilen : Yarı yaş nozula</li> <li>3-4 m mesafede su katılan</li> <li>- nozul çapı hortum çapı eşit</li> <li>- su manşon çapı da kendi hortumunun çapında olmalı</li> <li>* orijinal yd parça önerilir.</li> <li>Tünelde yd parça stoku :</li> <li>-su vanası,su manşonu</li> <li>- su hortumu ve nozul kompl.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tünel yüzeyine mesafe 1,0-1,5 m olmalı</li> <li>- nozul doğrultusu tünel Yüzeyine dik olmalı</li> <li>-su ayarı ile karışımın uniform uygulaması</li> <li>P. Beton aşağıdaki şekilde görünmeli:</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kuru yeri olmayan</li> <li>- akmayan ama plastik p.beton</li> <li>- yüzeyi parlayan şekil</li> <li>- kuru karışım atımı başlamadan suyun açılmasını temin etmeli</li> <li>- karışım bitince suyu kesmeli</li> </ul> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eğer p.beton su ile tam karışımıyorsa</li> <li>- su manşonunu temizleyiniz</li> <li>- eğer karışımada gelişme yoksa manşonu değiştirin.</li> <li>- uygulamada beton yüzeyinde aşınma gibi görünüm varsa nozulu değiştir.</li> </ul>

## 2.5. Kaya Bulonları : ( zemin civileri/ kazıklar )

### 2.5.1 İşlevi; görevi:

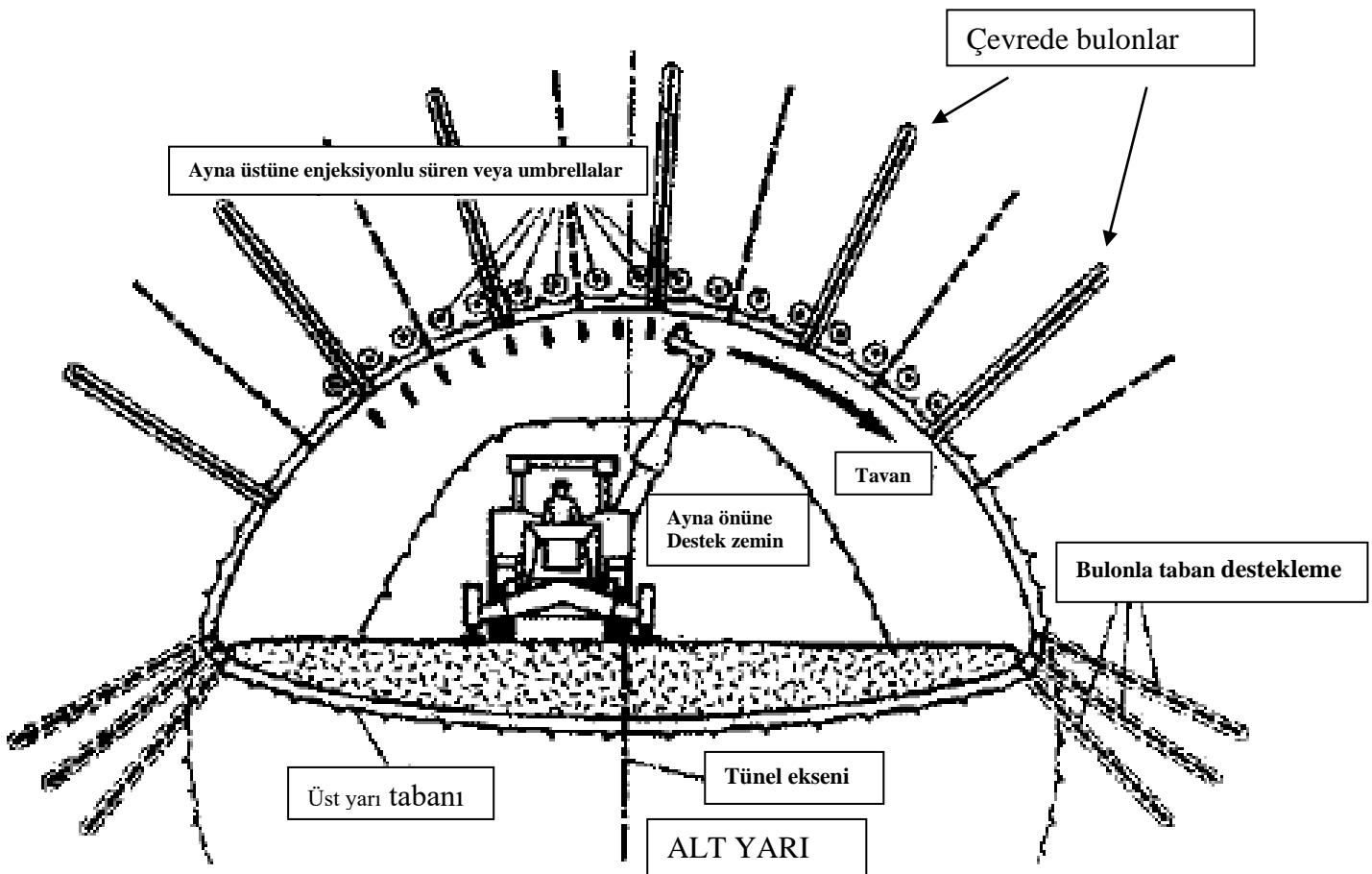
Kaya bulonları modern tünel inşaatında; tüneli bizzat çevreleyen kayanın içine konulan esas destek elemanıdır. Bu destek elemanları, tekli olarak kaya bloklarını tutması için; veya ince bir kaya

tabakasının kiriş olarak çalışması halinde açıklığı azaltmak için; veyahut da standart destekleme elemanları ile birlikte sistematik olarak çalışması için kullanılır.

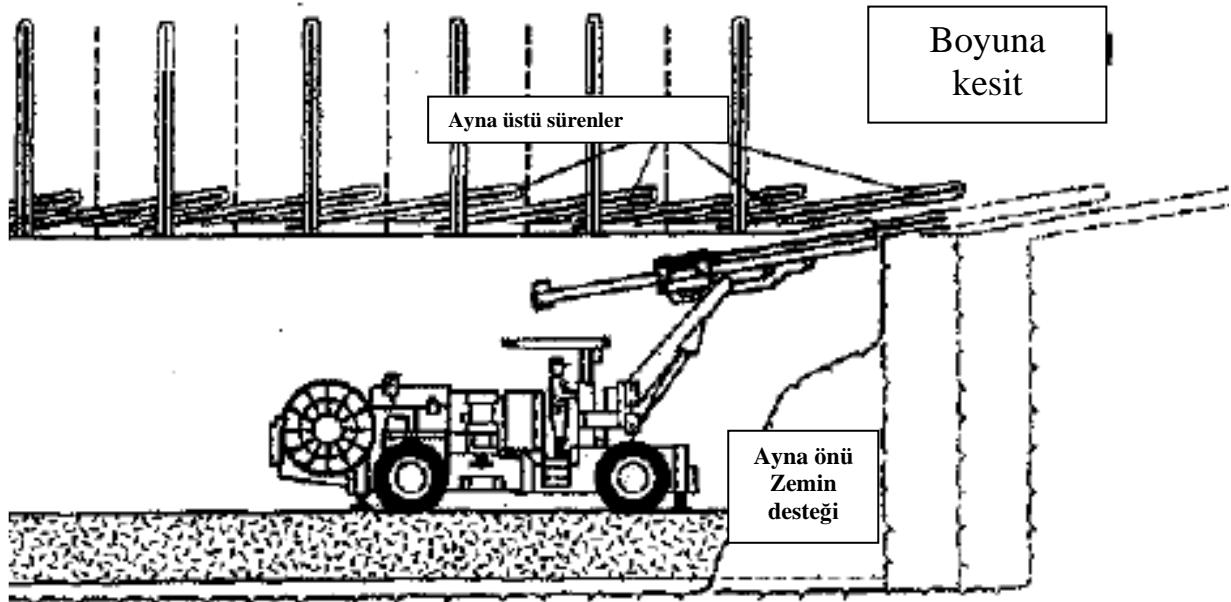
Kaya bulonları; kayanın kesme dayanımını artırarak onun dayanım kalitesini yükseltir. Eğer gerdirilip sıkıştırıldı ve bir miktar yük aldı ise, sınırlı bir yük dayanımı için üç boyutlu gerilme yaratan benzer bir durum ortaya çıkarır.

Tünelde bulonu tespit eden enjeksiyon ve bulona gelen gerilmeler; kayanın haiz olduğu yapı tipi, yapısının çatlak durumu, burulma durumu, kesme dayanım durumu, ve fay hattında olma durumuna göre değişir.

Bu bağlamda kaya bulonunun görevi, boşluklara yakın olan kayanın bozulmasını önlemek, yeni bir kuvvet bileşkesi oluşturmak veya örselenmiş ve kırılmış bir bölgede destek sağlayarak dahi halen zeminin kendini taşıyabildiğini göstermektir.

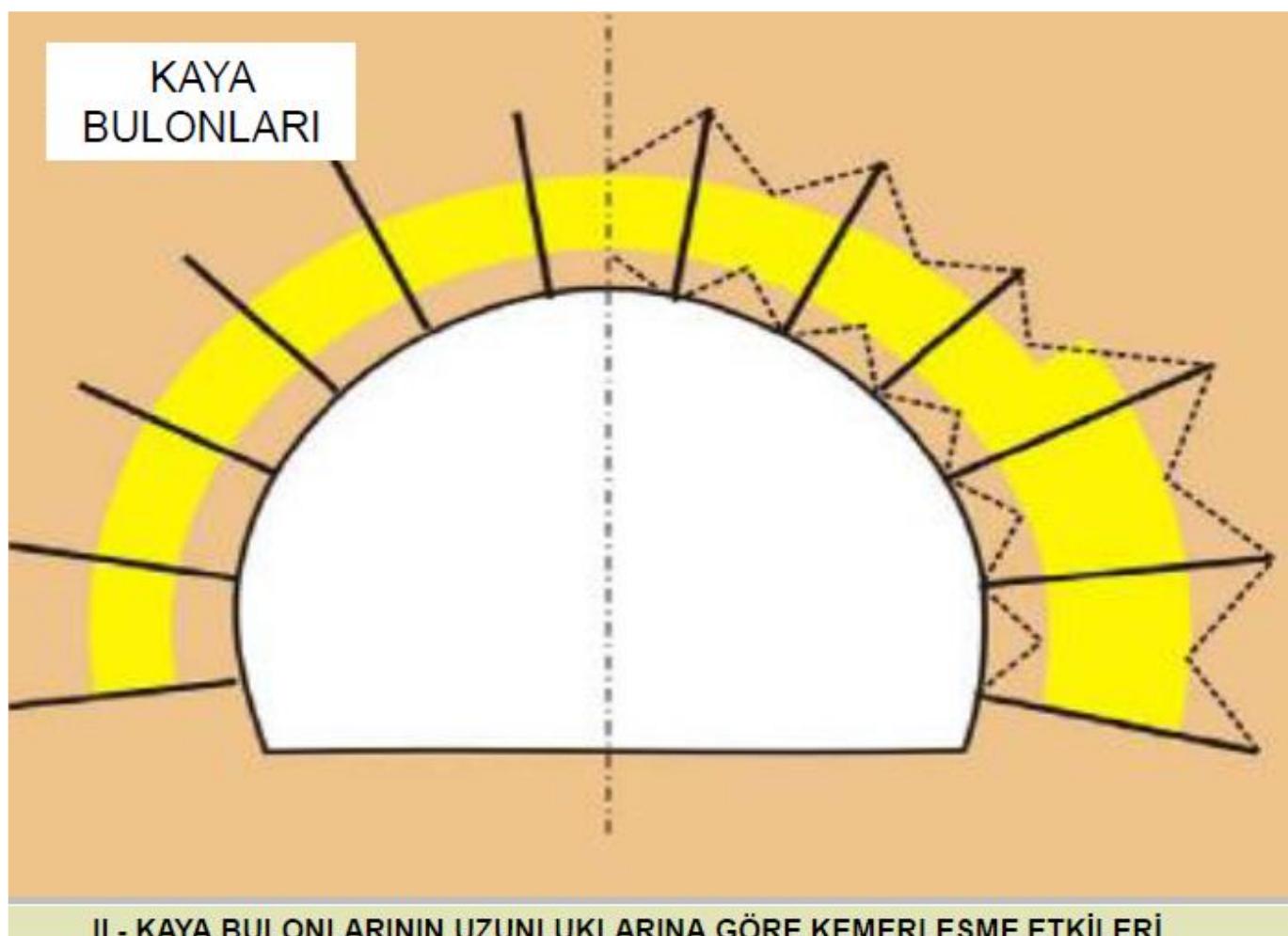
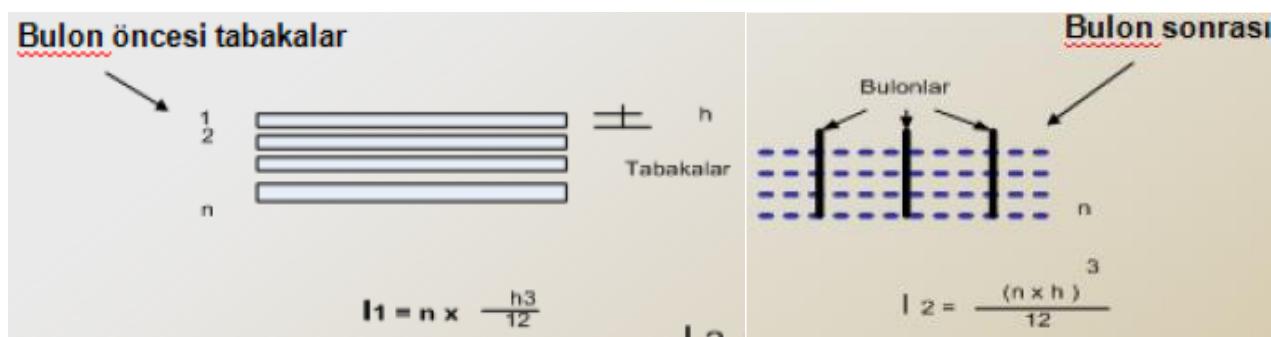


**Tünelde Bulonlarla desteklemenin kesitte görünüşü.**



*Tünel çalışmasında delgi için JUMBONUN duruşu (süren ve bulon delgisini aynı pozisyonda yapabilir.)*

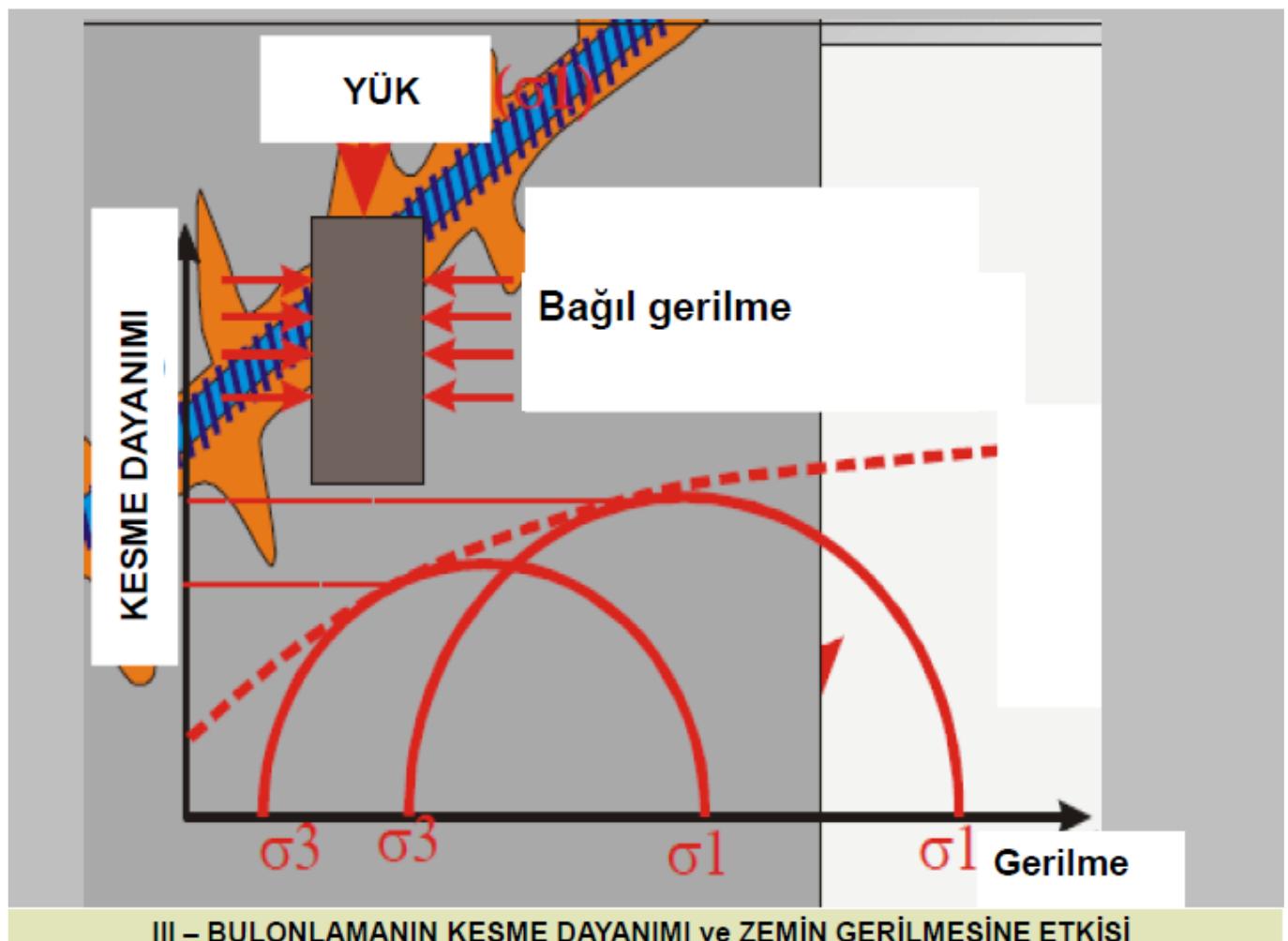
Aşağıdaki şekilde yatay tabakaların bulonla nasıl bağlandığı görülmektedir. Burada Birinci haldeki dayanım momenti  $I_1 < I_2$  olması dayanımın artışını açıklamaktadır.



Bulonlar *şekilde görüldüğü gibi* kaplama yüzeyi ile uç kısmında tutturulan yer ortasında basınç kemeri oluşturur. Bu şekilde zemin taşıma gücü artar. Zeminin kazılan tünel merkezine hareketi önlenir.

Yukarıda bahsi geçen tüm kesimlerde; homojen olmayan üç-boyutlu gerilmenin hüküm sürdüğü yerlerde kayanın kesmeye dayanamadığı ve ezilip bozulduğu görülür. Kesme makaslama bölümünü en büyük ana basınç gerilim doğrultusundan en küçük basınç doğrultusuna doğru yaklaşık  $45-f/2$  bölgесindedir.

Bu sebeple kesme düzlemi genellikle kaya bulonlarının konulduğu yer olan açı olarak  $45 + f/2$  den geçer. Mohr kırılma karakteristiklerini gösteren sunum eğrilerde görüldüğü gibi kesme kırılma karakteristiği dikkate değer şekilde bulon konulunca yükselir.

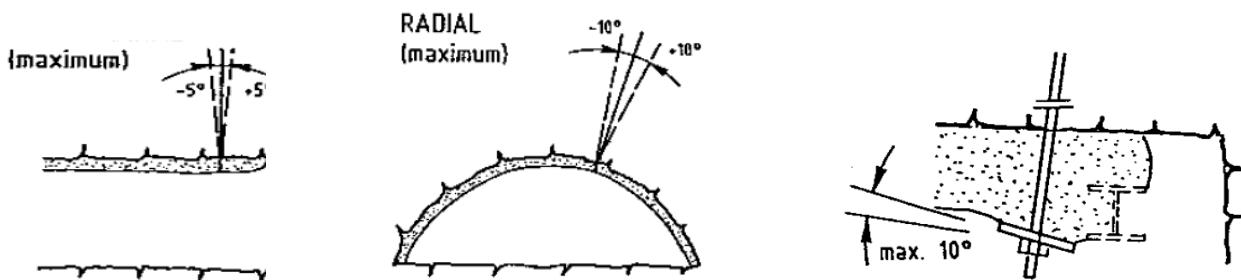


### III – BULONLAMANIN KESME DAYANIMI ve ZEMİN GERİLMESİNE ETKİSİ

Bu yüzden, tünelde radyal basınç gerilimini uygulamak, çevre boyunca bulonlama veya başka çeşit destekleme yaparak kesme bozulmasına önlem alınmadan mümkün değildir. Umumiyetle, özellikler çok yüksek toprak yükü olduğu hallerde kesme bozulması olacağı kabul edilir.

#### *Kaya bulonun projelendirilmesi de özel önem taşır:*

Şöyle ki, plakalar gereğinden ne çok büyük ve güçlü, ne de gereğinden çok küçük ve çabuk kırılır (deforme olur) olmamalıdır. Kaya bulonunun (ankraj) veya kayanın yükünü plakalar kaplamaya aktarmalıdır ve bulonların nerede aşırı yük aldığı da göstermelidir (gereğinde aşırı yükte eğilerek işaret vermelidir). Kaya bulonları kendi bulunduğu noktada, kopma gerilmesine yakın bir değere kadar dayanmalı ve kendileri kopmadan elastik bir davranış içinde olmalıdır.

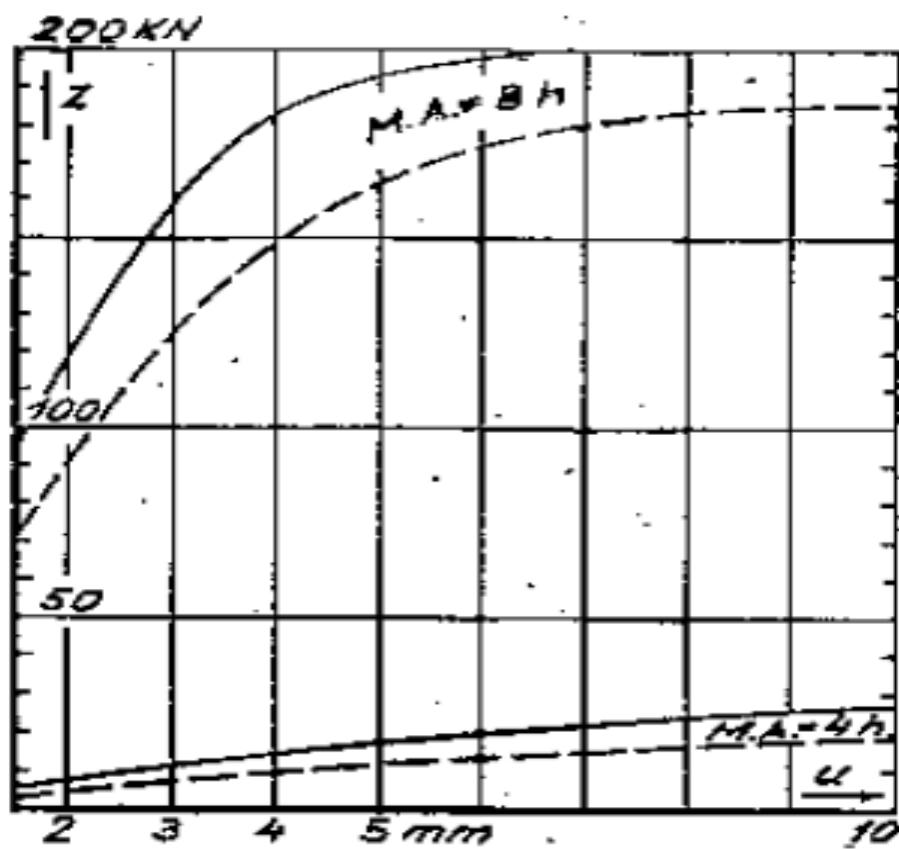


Bulon delgi şeklinin yüzey ile açı toleransları: *Boyuna en fazla +/- 5°, radyal +/- 10°, yüzeyle 10°*

Bu şartlardan dolayı kaya bulonu başındaki dişli kısımdan aşırı yükten kopar, çünkü kaya bulonunun en zayıf noktası bu diş açılan kesimdir.

Kaya bulonunun enjeksiyon harcının davranışının çok önemlidir. Bu harcin priz alması sırasında, onun nihai mukavemet değeri kaçınılmaz deformasyonların çok önemli manada karşılanıp düşürülmesine yardımcı olamaz. Kaliteli olan enjeksiyon harcının ankraj (bulonlama) sistemine sağladığı fayda hesaba katılacak kadar önemlidir. D= 42 mm çaplı delgide kullanılan ve 24 mm çaplı nervürlü çelikten hazırlanmış ve iyi kanıtlanmış ( ispat testi yapılmış ) kaya bulonu değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Testler harcin 4 ve 8 saatlik süresi sonunda yapılmıştır. Testlerdeki örnekler ilk anlarda deformasyonlar olduğu halde 24 saat sonra Çekme (pull-out) değerinin 300 kN u bulduğunu göstermiştir.



## **2.5.2 Kaya bulonu çeşitleri :-**

### **a- ) Mekanik Bulonlar:**

- **a.1-) Ucu dübel şeklinde olan (genişleyen tip) mekanik bulonlar:**

Bu çeşit bulonda uç kısmında bir açılıp kayayı sıkıştıran (dübel) parça vardır ve bu parça bulona verilen sıkıştırma kuvvetini kayaya ileter.

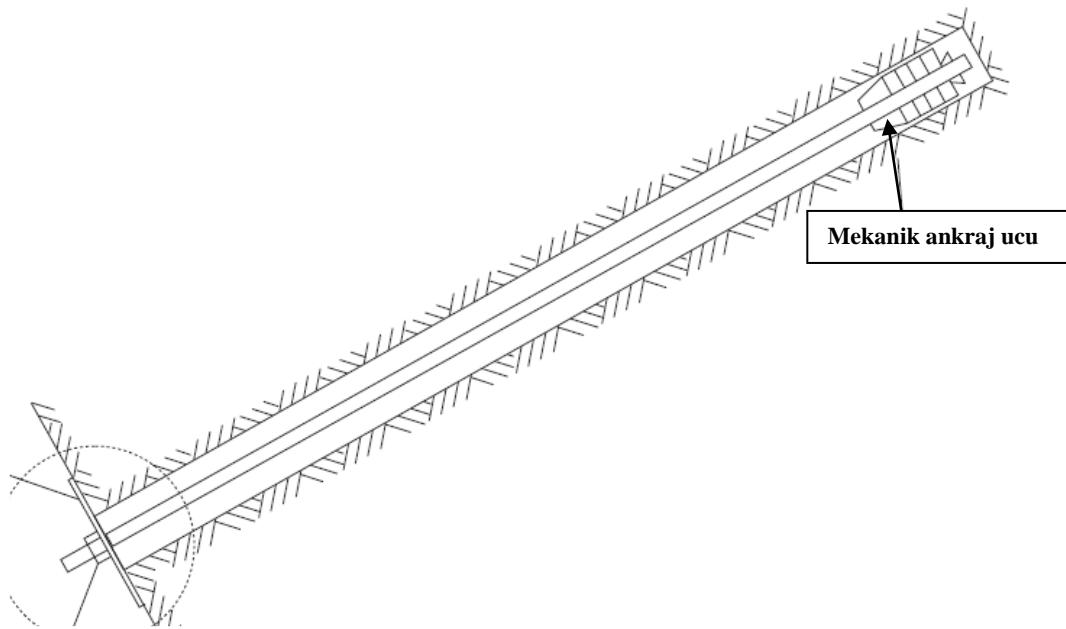
Genişleyen bu çeşit bulonlar belli özellikteki kayalarda inceleme neticesi seçilerek kullanılabilir. Kaya bulonu yerleştirilir yerleştirilmmez sıkıştırılır ve yük almaya başlar.

Bu bulonların boyu serbest uzamaya uygundur. Çevresi açık olduğundan etkileşimini azaltan elastikiyet özelliği tam enjeksiyonlu bulonlardan azdır.

Bu kaya bulonları boyunca enjeksiyonlu olmadığı için; oksitlenmeye karşı korunmuş değildir ve bu yüzden geçici destek elemanı olarak kabul edilir.



*Mekanik bulon çalışma şekli kesiti ve görünüşü.*



Mekanik bulonun tüm boy görünüşü.

- **a.2-) SWELLEX Kaya bulonları ( Sürtünme ankrajlı kaya bulonu ) :**

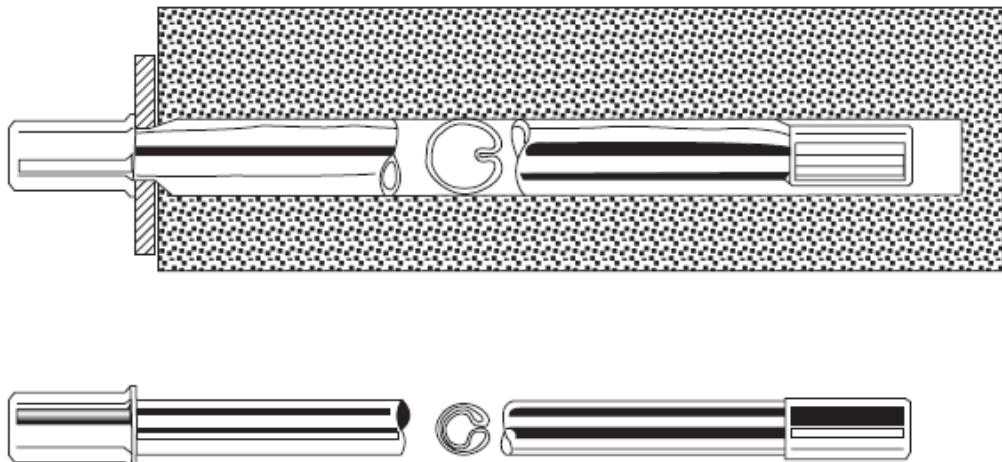
Bu kaya bulonları su basıncı ile delik içerisinde şişirilebilen, mekanik olarak katlanılmış biçimde imal edilen elemanlardır. Bulonlar delik içerisinde şişirilince kaya deliğinin tam şeklini alır ve böylece tam sürtünme ile kaya mukavemetini artırır, ayrıca tüm kaya bulonu boyunca kayayı kilitleme görevi yapar. Kumdan sert kayaya kadar kullanım imkânları vardır.

**. Standart Swellex :** - Standart swellex madencilikte ve inşaat alanında kayayı desteklemek için kullanılan ve projelendirilen bir malzemedir. Gelişmiş bir imkan sağlayan, çabuk tünel donanımı temin eden bu bulon; tünel inşaatında hızı ve emniyeti, ayrıca modern tünel yapımında da önemli bir adımı meydana getirmiştir.

**.. Esneyen Swellex :-** Az rijit bulonlama ile olağandışı büyülükte Zeminlerin hareketinde kullanılır bir sistemdir zira bu zemin esnemeye tolerans ister. Bu tip işlerde kullanılan bulonlarda sıra dışı esneklik vardır.

**... Oksitlenmeye dayanıklı Swellex :-** Normal bulonlar oksitlenmeye dayanıklı değildir. Bulonların (anti-korozif) paslanmaz olması zemin şartlarına göre istenir ve bunun için şu kaplamalar yapılır: Bitüm kaplama tekli havuza daldırma ile veya galvaniz kaplama.

**.... Super swellex :-** Super swellex 43 ile 52 mm çapta deliklere sürat ve emniyeti sağlamak için projelendirilir ve en az 20 ton destekleme sağlamaası öngörülür. Bu bulonlar öncelikle el ile veya yarı mekanik olarak yerleştirilebilir.



**Swellex bulon (basınçlı su ile şişen) kesit ve yerleşim görünümleri**

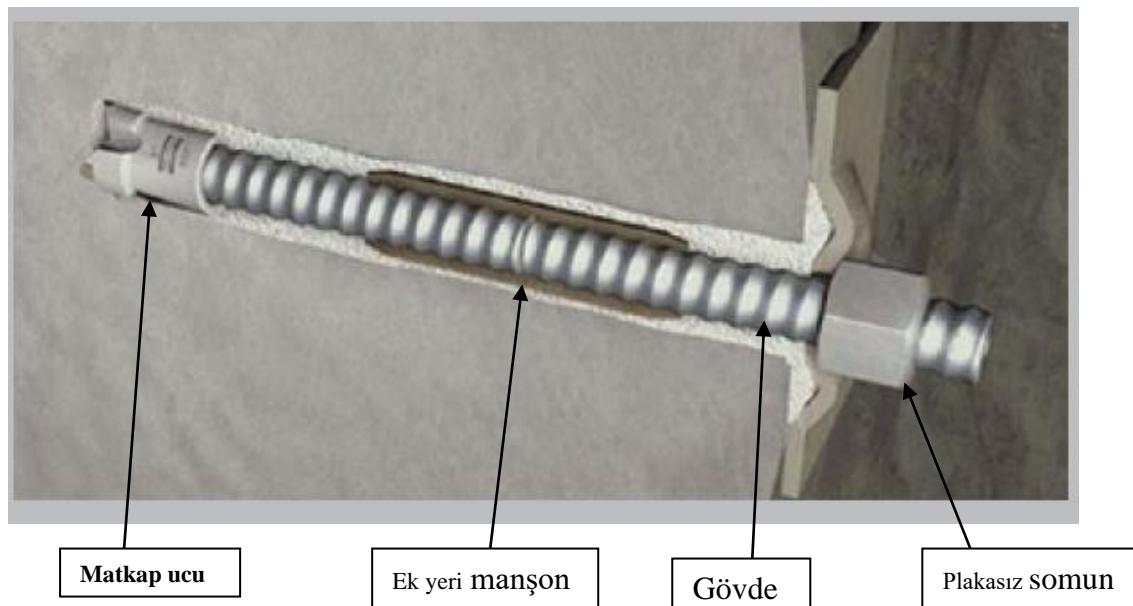
#### **b- ) Tamamen Enjeksiyonlu Bulonlar :**

Bu bulonlar etkisine göre öngerilmesiz ve öngerilmeli olarak ikiye ayrılır. Öngermeli bulonlarda uç kısmında priz hızlandırıcı kartuş ve kimyasal harç yapıştırılacak bölüme yerleştirilir. Ön taraf yeterince priz alınca bulonun açık kısmı normal harç ile doldurulur. Şimdiye kadar bu tip ön germeli bulonlar iyi kalitede kayalarda kullanılmıştır. Ön germe kuvveti 10 ile 15 ton arasında olur. Zayıf ve dağılabilir zeminlerde ön germe gerekmeyebilir ve bulon zeminin ve kaplamanın deformasyonuna uygun olacak şekilde kafa kısımdan sıkılarak gerdirilir.

## **SN BULONLAR :-**

En geniş kullanım alanı olan kaya bulon çeşidi SN bulondur ( SN ismi ilk defa bu bulonun İsviç'te Store Norforks hidroelektrik santralı-barajında kullanımından gelir).

SN bulonları kaya delgisine konulduğunda kaya ile kendi arasındaki boşluğu en uygun harc ile doldurarak bulon çubuğu tüm boyunu tamamen harç ile sarılması şeklinde olan bulon çeşididir. Tüm kaya deliği tamamıyla enjeksiyon harcı uygulanarak doldurulur. Bulon delgi boşluğununa sonradan itme ile konulur. Bulon ön germeli veya ön germesiz olabilir



**Yukarıda Kendi delen (self drill= IBO) bulon yerleştirilmiş biçimdeki görünümü**

### **IBO Bulonlar ( kendi delen ve kendi içinden enjeksiyon olabilen- bulon ) : -**

Bu bulonlar; delme matkap ucu, matkap olabilen gövde, manşonları ve plakaların birleşmesinden oluşur. Delme esnasında bulon ucuna kendine ait matkap ucu (bit) monte edilir. Bulonun ortası deliği yıkamak için, aynı matkapta olduğu gibi, boydan boyra deliktir ve delme işleminden sonra ucu, manşonu ve matkap gövdesi bulon olarak kaya içinde bırakılır.

Delmeden sonra bulonun orta deliği enjeksiyonu içeri vermek için kullanılır. Delme sırasında güç yapan zeminlerde matkap ve uç zayıflığı çok olur ve yıkama sırasında delik kapanabilir, hatta matkabı geri dahi çekilemez; bu gibi hallerde IBO bulonlar kullanılır ki bunlara kendi delen ( self drill rockbolts) bulonlar denir.

Ankraj çubuğu petrol sondajında kullanılan kalitede yüksek vasıflı çelikten soğuk çekme işleminden imal edilir ve ekleme dişleri de delme ekipmanı dişlerine uygundur.

Ek manşonları çok hassas ölçüde ve yüksek dayanımında çelik döküm olarak imal edilir.

Bunun amacı delme enerjisinin kaybını en aza indirerek delme sırasında kaya ile matkap arasındaki teması beraber çalışmak ve yıkama işleminde de verimlilik sağlamaktır.

IBO bulonların çok çeşitli tür ve boyları olup kullanım alanı yaygındır.

Örnek liste aşağıdadır:

#### Teknik Özellikler

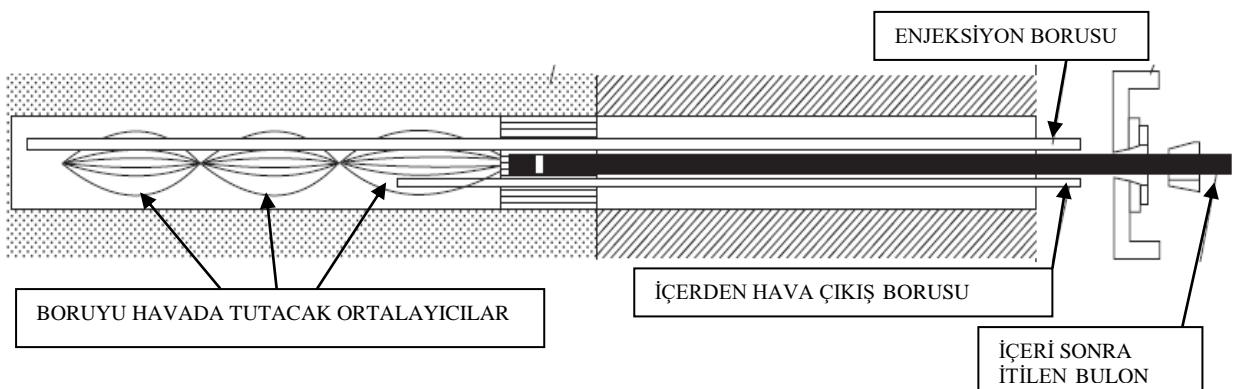
Bulon TİPİ	Unit	R32L <sup>2)</sup>	R32N <sup>2)</sup>	R32S <sup>2)</sup>	R36N <sup>2),3)</sup>	R51L <sup>3)</sup>	R51N <sup>3)</sup>	T76N <sup>3)</sup>	T76S <sup>3)</sup>
Dış Çap	[mm]	32	32	32	38	51	51	76	76
En üst çekme yükü	[kN]	200	280	360	500	500	800	1600	1900
Uzama yükü Verimli yük	[kN]	160	230	280	400	450	630	1200	1500
Ağırlık	[kg/mm]	2,7	3,4	4,1	6,1	7,0	8,4	15,0	19,7

#### Enjeksiyon Bulonları (after grouting )PG bulonlar :-

Bu tip bulonlar SN bulonlar gibi gövdesi tamamen enjeksiyon içinde olur, fakat enjeksiyonu delik içerisinde bulon yerleştirildikten ayrı bir ince boru ile sonradan doldurulur. Bulon ve delik ağızı özel şekilde enjeksiyona müsade edecek şekilde düzenlenir ve delik ağızı dolacak enjeksiyon harçını geri taşırmamak için tıkaç olacak priz hızlandırıcıları ayrı harç ile tikanır.

Bulona paralel olarak ayrı bir enjeksiyon borusu ( içi telli sert plastik boru veya çelik ,PVC değil) ve ağız kısmına da içerisindeki havanın dışarı çıkışına yarıyacak çıkış borusu konulur. Bu çeşit bulonlar genellikle dikkate değer sulu zeminlerde kırılmış ve örselenmiş kayada ve yumuşak zeminlerde başarı ile kullanılır. Fakat dağlık kesimde su sızıntısı görülen kırıklı zeminde, iyi enjeksiyonu yapılmış bu çeşit bulonun; öngörmeli sıradan SN bulondan daha etkili ve yararlı olduğu ispatlanmıştır. Enjeksiyon harcı çatlaklara az seviyede basınç altında nüfuz

eder (sızar) ve bulon etrafındaki çatlakları ve boşlukları doldurur, böylece kayanın dayanımını artırır (masif hale getirir), bu suretle öngerme halinde başarısızlığı karşılayıp dengeler.(bkz.şekiller)



### **2.5.3. Kaya Bulonlarının Pratik Yerleştirme Yöntemleri : -**

#### **a – ) Delme ( tüm kaya bulonu çeşitleri için )**

- Bulon yer ve doğrultusunun işaretlenmesi: Plaka bulon başı ile dik açı yapar bu açıdan en fazla 10 derece sapma olmalıdır.
- Bulon doğrultusunda enine radyal 10 derece, tünel hattına göre ise en fazla 5 derece eğik olabilir. Proje ve şartnameye göre fazlası kabul edilmez.
- Delik boyu bulon boyundan bir kaç cm uzun olmalıdır. Bunu sağlamak için ilave matkap üstüne delgi sırasında işaret konulmalıdır.
- Delme sonrasında deliklerin göçmemesi için gerekli ekipmanı uygun biçimde seçilmelidir.
- Bulon delgisi tünel aynasına mümkün olduğunda yakın yerde tesis edilmelidir yani desteksiz zeminin boyu çok kısa olmalıdır. Aksi halde zamanın uzaması zeminin gevşemesine sebep olur ve delme ve patlatma sırasında ayrıca bulon delgisi sırasında deliklerin göçmesine neden olur.
  - Bulon delme ve yerleştirme tünel ilerlemesinin ana parçası olmalıdır. Bir round kazı patlatması için aynı roundun delme ve bulon yerleştirilmesi. Bulon delme işlemi ayna delme işlemi ile aynı zamana denk getirilmeli delme işi için aynaya makine sık sık aynaya gelmemeli.( Varsa süren delgi işi de bir sonraki vardiya için bitirilmeli.)

#### **b-) SN bulonlar için Enjeksiyon Harç karışımı hazırlama :-**

Ankraj/bulon harcı için işleyebilirlik (penetrasyon) testleri yapılmalıdır.

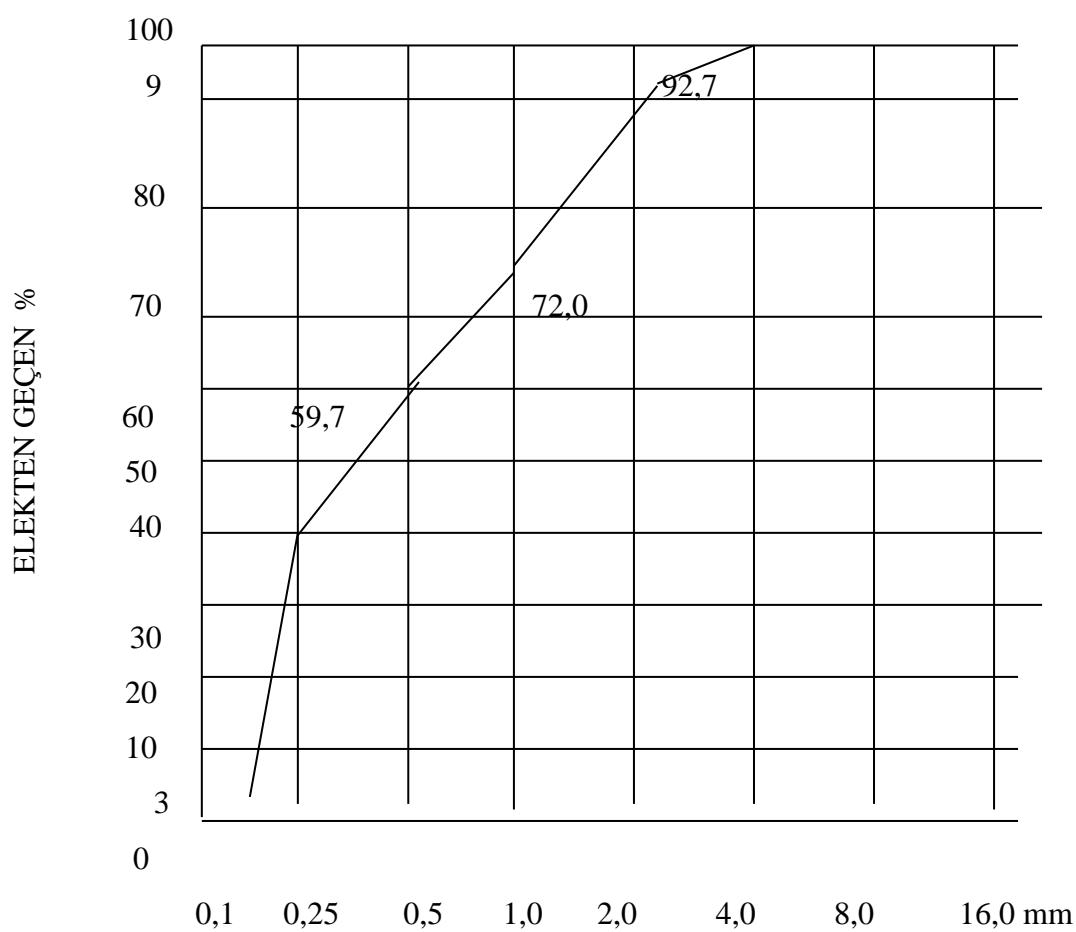
Aşağıda iyi netice veren karışım dizayını gösterilmektedir:

1 birim çimento	genelde 50 kg çimento torba
2 birim kum	genelde 100 kg kum
W / c su/çimento katsayısı 0,58	29 lt su ( eğer kum kuru ise )

Not :- Enjeksiyon harcı kıvamı su/ çimento oranına çok hassas olarak bağlıdır.

Karışımın ölçülen slampı (huni çökelmesi) 19 cm olmalıdır.

Deneyde kullanılan kumun elek analizi aşağıda gösterilmektedir. Bu deneyde kullanılan kumun rutubeti % 5,1 idi.



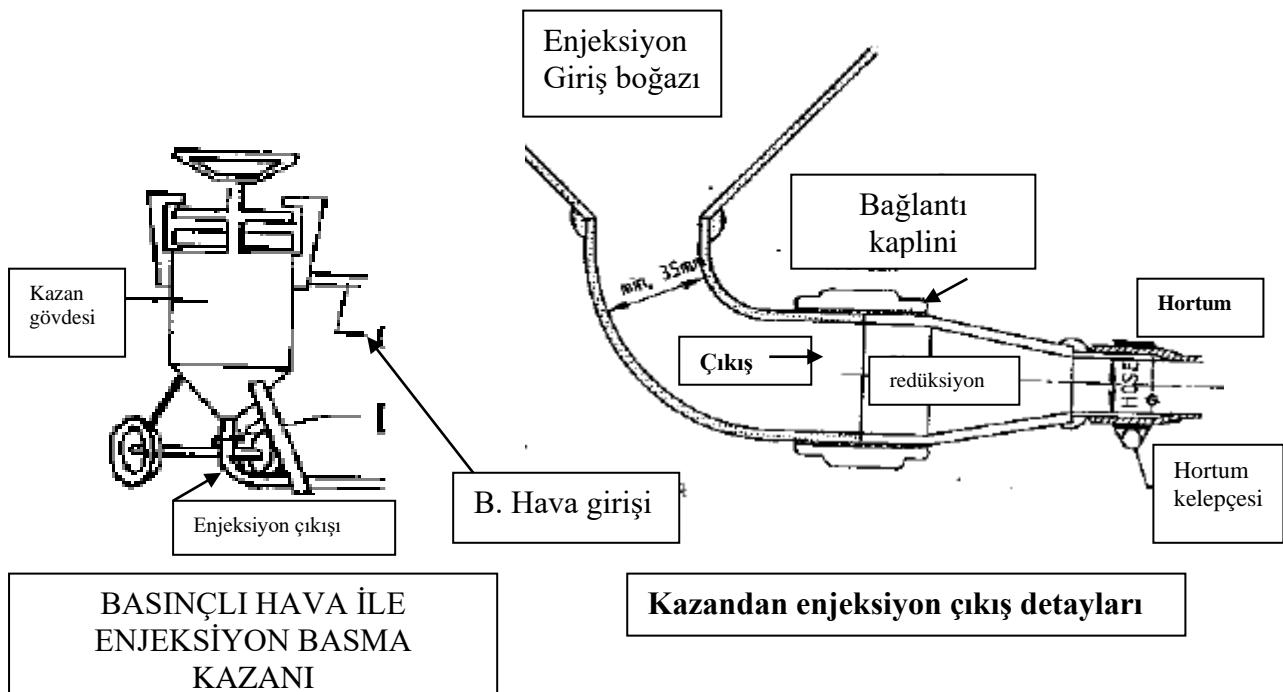
**c-- ) SN bulonlar için hortum ve harç besleme ünitesi : -**

- Değişik delme çaplarına göre delik içeresine enjeksiyon harcı veren hortumların da çapı farklı boyutlarda olmalıdır. Önerilen tablo aşağıda verilmiştir:

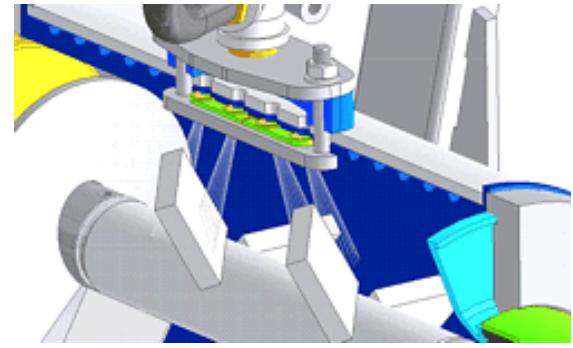
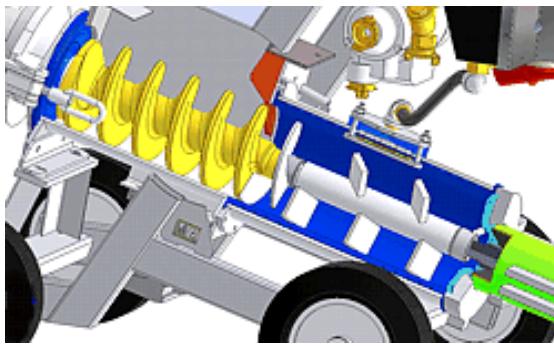
Delik çapı :	64 mm	52 mm
Hortum çapı:	38 mm	25 mm

- Hortumlar sert plastik boru olacaktır, fakat PVC boru kullanılmaz; içi ipli veya telli tipte esnek borular seçilir.
- Delik dolgu işlemine başlama
- İşe başlarken hortum içine su doldurulur ve harç kazanı (morter kazanı ) içinde 5-10 cm su yükselineye kadar su doldurulur. Bundan sonra basılacak harç doldurulur ve kapak kapatılarak kazan içine uygulanan basınçlı hava ile malzeme delik içine gönderilir.
- İşe başlarken konulan su harçın iyi kaymasını sağlar. Ancak boru ağızından çıkan ilk harç sulu olduğu için kullanılmaz açığa akıtilır normal harç gelince delik içine verilir. Bazen de su harç ayırtırır ve hortumu tıkar. O zaman da bağlantı manşonlarını söküp temizlik yapmamız ve işlemi yeniden yapmamız gereklidir.
- İşlem sırasında harç kazanına vurulmaz, kazan sallanmaz, aksi halde harç ayırtır ve hortum tıkanır. Ayırtmadada çimento şerbeti yukarıda kum ise aşağıda birikir).
- Eğer harç ayırtır ise karışım (mortar) kazanı açılır ve bir karıştırıcı ile yeniden karıştırılır.
- Tıkanma sırasında sökülen parçalar ve hortumlar bez ile veya lastik gibi yumuşak malzeme ile temizlenir. Bu işlem contalara zarar vermez. Bu ara temizlikte su kullanmayınız zira temizlikte kullanılan su karışımı kısmen ilave olur ve onun su-çimento (w/c) oranını bozar.

- İşlem sırasında hortumu asla bükmemeyiniz. İş bittikten sonra harç kazanını ve hortumları su ile ve el aletleri ile temizleyiniz.



Yüksek basınçlı uygun MAI pump marka enjeksiyon makinesi ve çıkış görünümü  
Üzerindeki elektrik motoru ile çalışır, su ve çimento karışımı ayarlanabilir. Enjeksiyon debisi de  
basıncı da ayarlanabiliyor. 70 ve 100 kg ağırlıkta olan tipleri vardır. Çekilir tipte ve çok kullanışlı  
bir çeşit makinedir.



MAI pump içi helezonla sıkışma kuralı ile çalışır. Helezon ve detayının görünüşü

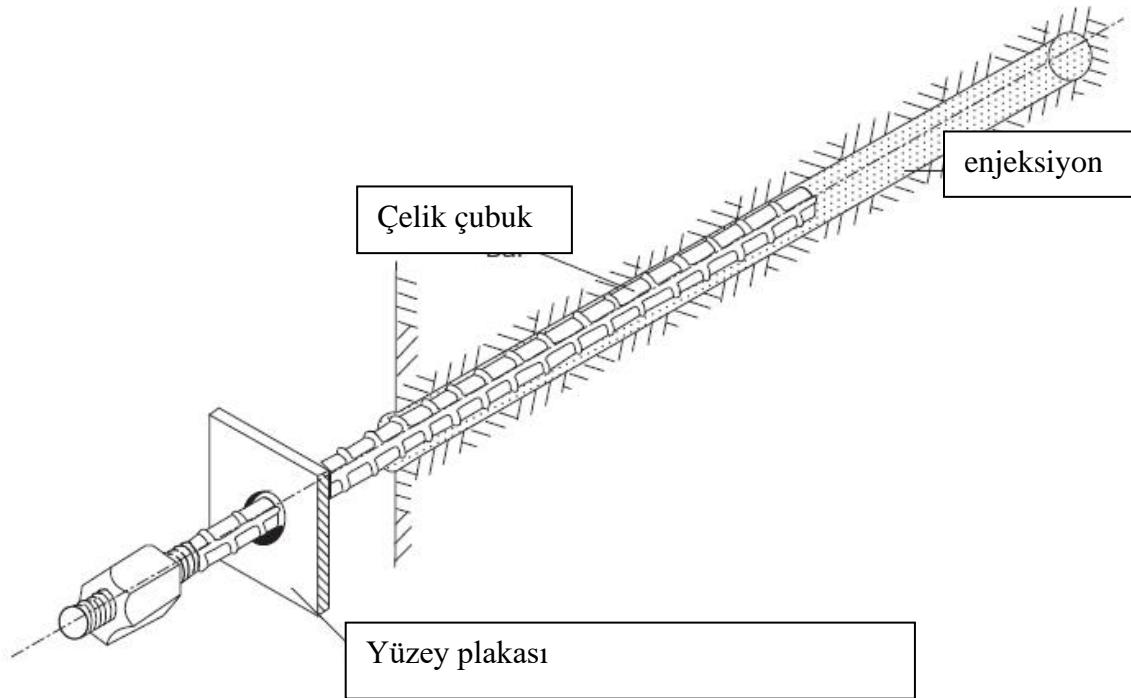
d-) SN bulonların Yerleştirilmesi :-

Adımlar (kademeler) :

- (1)- Bulonun boyuna eşit uzunluğu hortum üzerinde işaretleyiniz. Hortum telli sert plastik olacaktır. Delik tabanında yaklaşık 0,50 m yeri doldurunuz.
- (2)- Priz hızlandırıcı kartuşu hortuma koyup içeriye hortum yardımı ile ilk harç üzerine koyunuz.
- (3)- Hortumun ucuna uçtan 1,0 m geriye işaret koyunuz. Hortumu dipten geriye doğru çekerek deliği ağızına kadar harç ile doldurunuz.
- (4)- Kaya bulonunu yükleyici veya lift yardımı ile insan gücü veya itici tabanca ile yerleştiriniz. Bulon uca yakın konulan kartuşu tahrif ederek harçın priz almasını sağlar. Bu kartuşu dağıtmak için itici tabancayı kısa süre kullanınız.

Notlar :-

- Bulon konulması delik delmenin ardından harç koyma işlemi tamamen bittikten sonra yerine getirilmelidir.
- Bulon üzerinde herhangi harçın geri akmasını önleyen packer vs gibi tıkaçlar olmamalı.
- Bulonu yerleştirirken bulon yönünü değiştirecek herhangi kama kullanmayınız. Bulonun delik içinde aşağı temasını yumuşak malzemelerle (bezle) tutarak sağlayınız..(bulon az eğik durabilir).
- Hortumun son metresinin işaretini dışarı çıkıp harç ağızdan taşınca delik dolmuştur denir.



e-) SN kaya bulonlarının sonradan gerdirilmesi :-

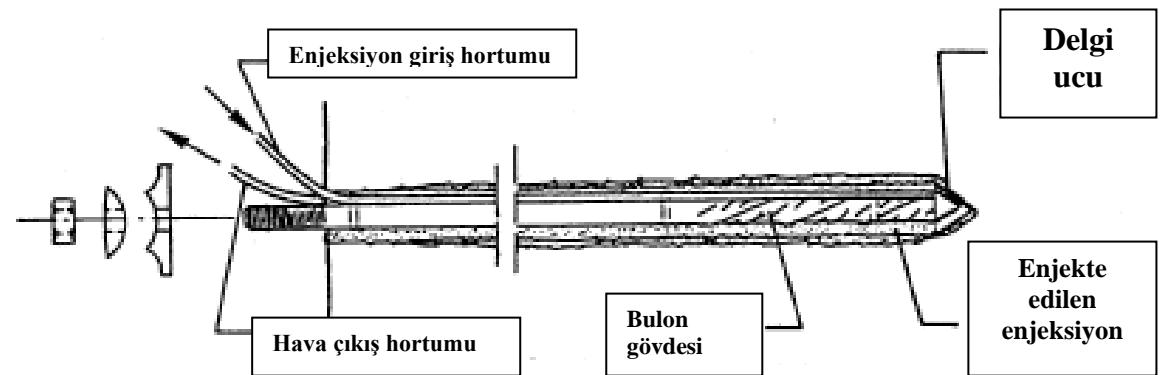
- Delik dibindeki priz hızlandırıcı harcı donduracağı bilindiğinden, kısa zaman (5-10 dakika içinde) sonra ön germe işlemini yapınız. İçinde katkı olmayan harçlı bölüm ise 5-6 saat sonra prizini alacaktır.
- Bulon plakasının püskürtme beton yüzeyine tam olduğunu ve plaka üzerindeki somunun ve pulun da doğru oturup oturmadığını kontrol edip, emin olunuz.
- Ön gerilme işlemi disk load sel ile yapılacak ve istenen basınç tork şeklinde ve plaka ile püskürtme beton arasında meydana gelecektir. L:S cihazı gerekli yükü verebilmesi için yeterli ve ayarlı olması icap eder. LS cihazı zaman zaman kalibre edilmelidir.

**NOTLAR : -**

- Tork verme cihazı sadece somun şeklinde kuvveti gösterir, ön germe kuvvetini göstermez. Bunu bulmak için dönüşüm formülü kullanınız.
- Tork cihazını silkmeden kesiksiz fakat düzgün bir şekilde kullanınız.

#### f-) Enjeksiyonlu bulonlar PG: -

Bir enjeksiyonlu bulonun takım halindeki kesiti aşağıya çizilmiştir:



Kaya bulonunun enjeksiyon ile doldurulması:

Enjeksiyon harcı içindeki su çimento oranı şöyle olmalıdır:

Su ve çimento faktörü;  $w/c = 0,40$  ile  $0,50$  arası

Yapılış Yöntemi:

Önce harç ile tüm delik içerisindeki boşlukları; harçın hava çıkış deliğinden çıkış durumu oluncaya kadar doldurmamalıyız. Sonra hava çıkış borusunu kapatmalıyız. Enjeksiyon işine, enjeksiyonun çevredeki tüm çatlaklara girmesi ve iyice işlemesi için pompa basıncı 2-3 bar olana kadar devam edilmelidir. Basınç 2-3 bara erişince 10 dakika işleme devam edilir ve eğer basınçta Bu değere erişme olmuyor ise yeni bir düzenleme ( karışım veya basınç ayarı ) gereklidir.

Enjeksiyonlu kaya bulonlarında pompanın özellikleri şunlardır:

- Pompa pistonlu sistem (beton pompası gibi CLİVİO) veya helezon sistem (mil etrafında malzemeyi sürükleyip küreyen MAI-PUMP) olmalıdır.
- Pompa üzerinde basınç saatı olmalı ve pompa basıncı ayarlanabilmelidir.

#### **İşlem sırasında kayıt tutulması:**

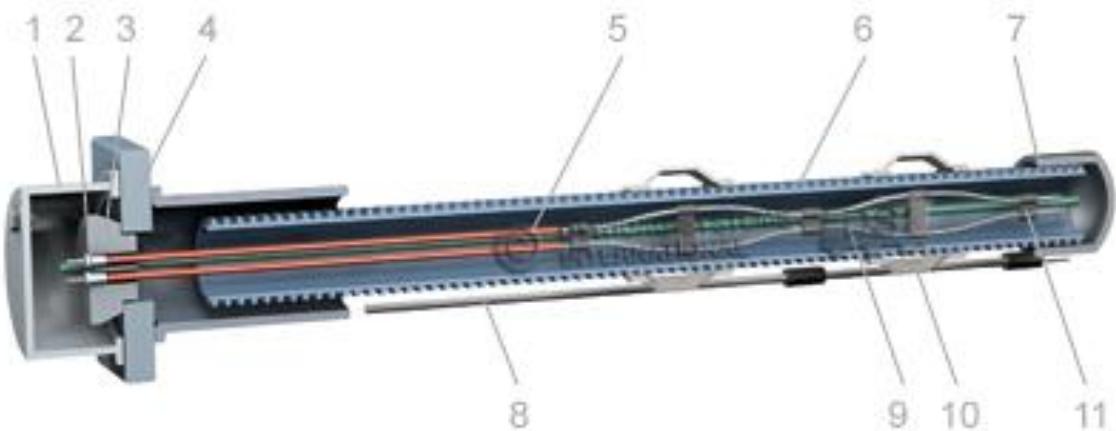
Bulon yerleştirilirken ve enjeksiyon yapılrken günlük kayıtlar tutulur. Günlük kayıtlarda aşağıdaki konular işlenir.

- Bulonların No su
  - Enjeksiyonlanan bulonun boyu
  - Delinen delik ÇAPı
  - Raporlanan bu bulonda harcanan ÇIMENTO MİKTARI
  - Kullanılan SU MİKTARI
  - Enjeksiyon sırasındaki BASINÇ DEĞERİ ve Enjeksiyonun SÜRESİ

#### **6 - ) Kablolu Ankrajlar : -**

Kablolu ankrajlar tünel inşaatında; çok büyük çaplı tunellerde veya zayıf zeminde inşaatı süren iki tünelin kesişme noktalarında kullanılır. Bunlar geçici veya uzun ömürlü destek olabilirler. Daimi kalıcı ankrajlarda oksitlenmeye çok dikkat etmek gereklidir; enjeksiyon içindeki teller, açıkta kalan kablolar ve ankrajın kafa kısmı tamamen pasa karşı korunmalıdır.

Kablo ankrajının tam teçhizatlı kesiti aşağıda gösterilmektedir:

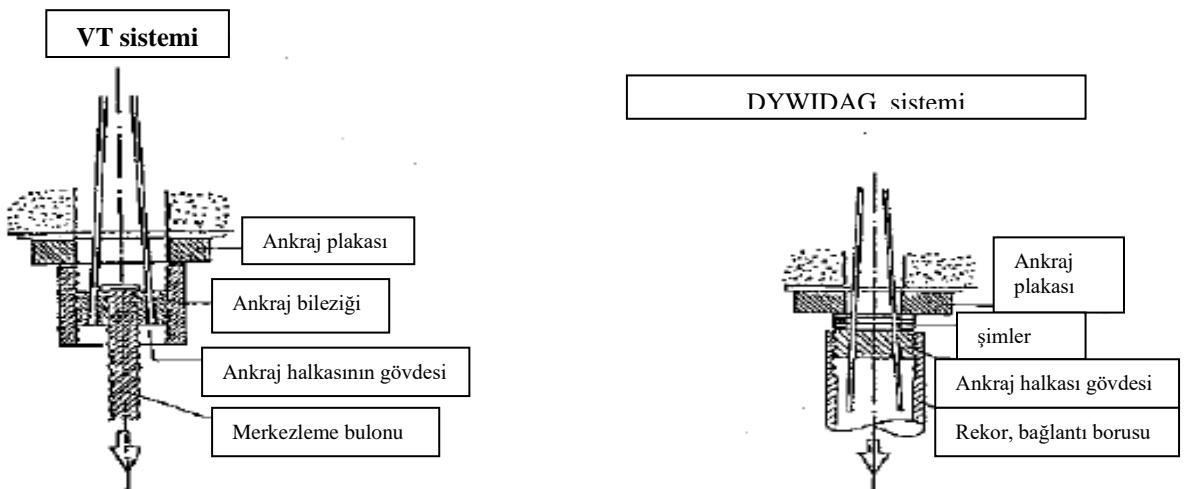


- |                                   |   |                               |
|-----------------------------------|---|-------------------------------|
| 1. Kapayıcı kapak (isteğe bağlı)  | 2. Kamalar  | 3. Kama Plakası               |
| 4. Trompet şeklinde Baskı plakası | 5. Dışı Gresli ve ıslı plastik kaplı tel çubuklar |                               |
| 6. Ondüle plastik dış kap,        | 7. Muhafaza ucu                                   | 8. Sonradan enjeksiyon borusu |
| 9. Enjeksiyonlanacak tel çubuk    | 10. Ortada tutucu                                 | 9. Aralık verici              |

Kablolu ankraj yapılan tünel kaplamasında eğer çok deformasyon bekleniyor ise, kablolu sistem şekillerde anlatıldığı gibi iki şekilde gevşetmeli sistem kullanılır:

#### VT SİSTEM

Bu sistemde ankraj yerleştirilmeden, fabrikasyon olarak imal edilen tellerin baş kısmına kama sistemi kaynak edilmiştir. Gerdirme kafa merkezine monte edilen ayrı bir mil ile yapılır ve bu milin germe durumu iç kısmı dişli manşon üzerinde sabitlenir (anchor sleeve). Telleri gevşetmek gerekirse yine mil takılır, ankraj kafa kısmı istenen yöne döndürülür.



VT sisteminin başlık kesiti

DYWIDAG sisteminin başlık kesiti

## DYWIDAG SYSTEM

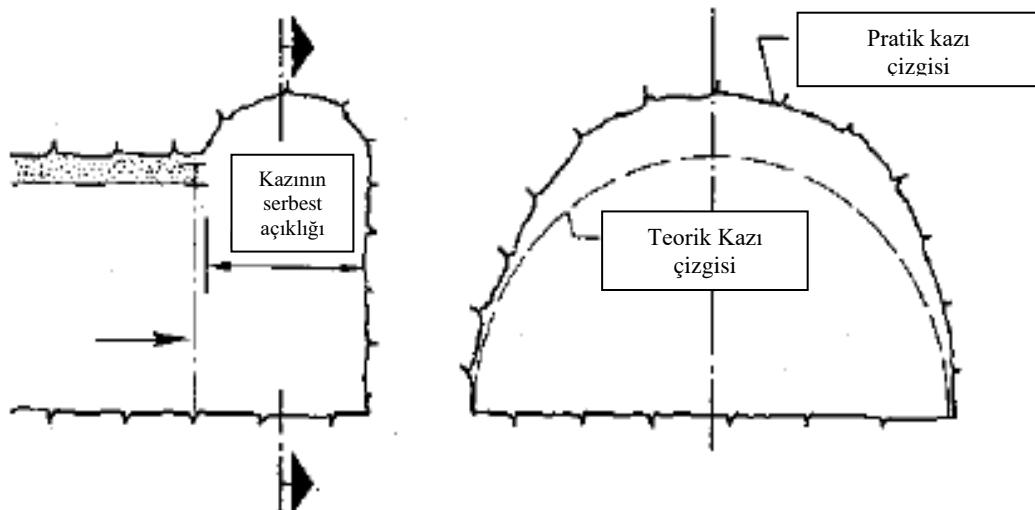
Bu sistemde kamalama gerdirmeden sonra yapılır.

Ankraj kafa kısmında germe işlemini boşaltmak için özel bağlantılar yapılmıştır. Ankraj plakası ile tellerin bağlandığı kafa arasında bulunan ince çelik plakaları (shim) aradan çıkararak tellerin boyu uzar ve gevşer. Shim kalınlıkları çeşitli olduğundan istenen bırakma mümkün olur.

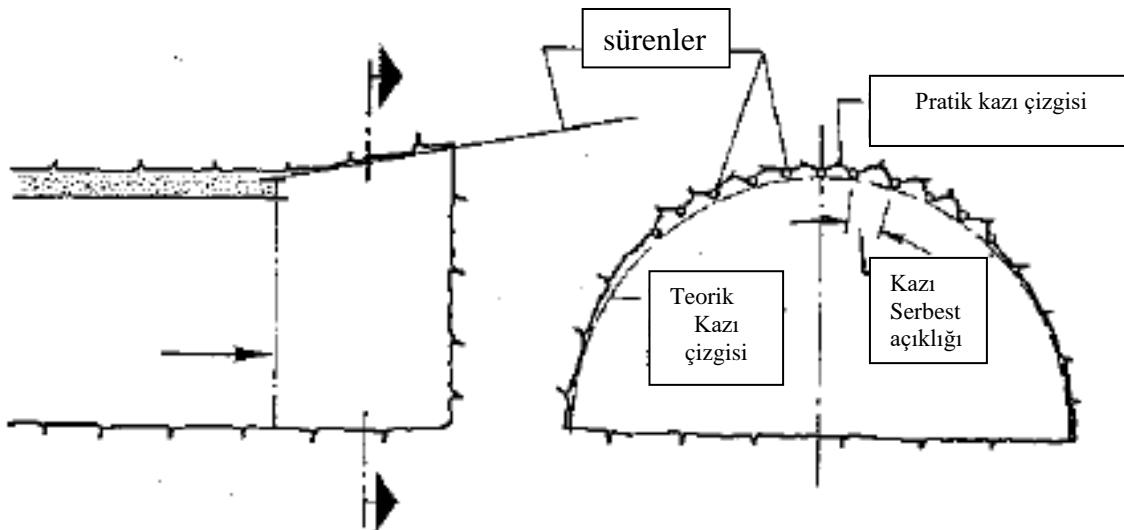
### 7 - ) SÜREN BORULARI, ÇUBUKLARI VE SÜREN SACLARI:

#### 7.1 - ) Görevi:

Sürenler tünel kazısının isteğine göre iksaların üstüne konulan, dökülmeyi önleyen ve çalışma emniyetini sağlayan geçici destek elemanlarıdır. Bu elmanlar, desteklenmemiş tünel kazı yüzeyinin açıklığını küçültür.(Bkz. şekiller)



Kendini tutamayan tavanda süren olmadan kazı yapılınca oluşan tavan şekli profili ve kesiti.



Kendini tutamayan tavanda süren konularak kazı yapılmınca oluşan tavan şekli profil ve kesiti.

Sürenler ve sac levhalar, **ana ilk destek** elemanlarının (Püskürtme beton, Hasır çelik, Kaya bulonu) konulmasından sonra çok az yardımcı destek görevi görür.

#### 7.2- ) Çeşitleri:

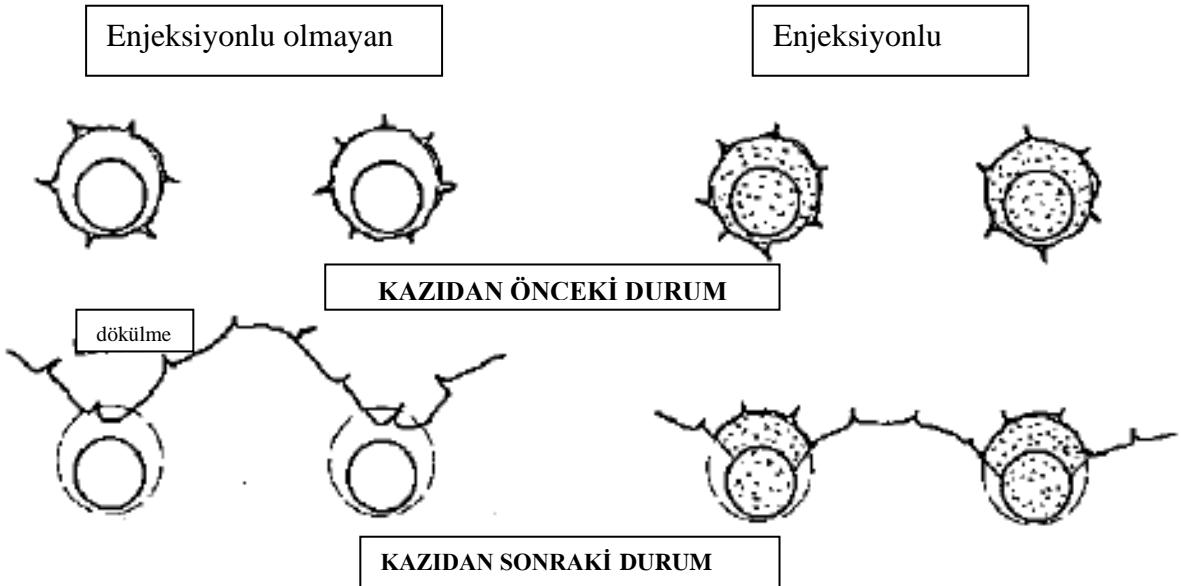
Esasen kullanılan tipler şunlardır: Süren çubukları, süren boruları, sac sürenler.

Süren çubuk ve boruları için önceden delik delinir ve delikler enjeksiyon harcı ile doldurulur.

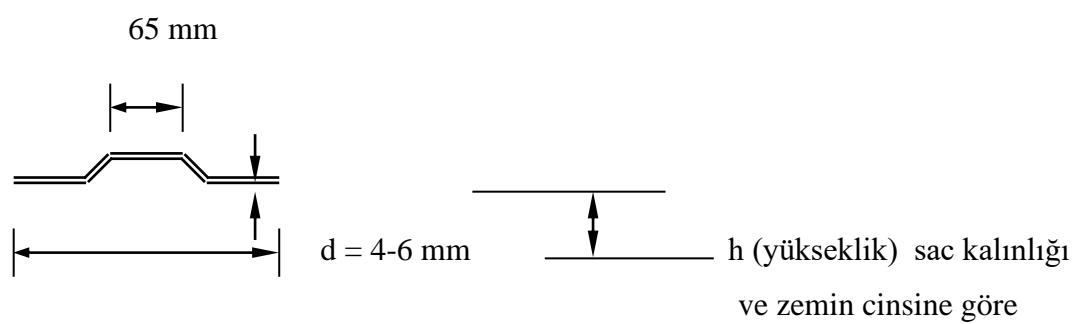
Sonra da çubuk ve borular çakma tabancası ile yerleştirilir. Bu malzemeler tünel ekseni paralel olmaya yaklaşacak kadar yatay konuma yakın ve çelik iksanın dışından bir ileride kazılacak zemin bölümünde delik delinerek yerleştirilir. Delikler göçüyor ve molozlu ise süren borularının ucu çark şeklinde sıvırılır, içine malzeme girmemesi için konik hale getirilir ve boş (enjeksiyonsuz) deliğe yerleştirilir.

Boru süren ağzına basınçlı enjeksiyon hortumu takılıp önceden gövdesi delinip gözenekli hale gelmiş olan boru içine; çevresini de hatta zemin içini de iyice dolduracak şekilde enjeksiyon basılır.

Süren çubuğu ve boru çapları eldeki delme ucu imkanına ve aynı zamanda bu malzemeleri delinmiş delik içeresine sürme, itme imkanına bağlıdır. Genellikle çubuk çapı olarak  $D = 28-32$  mm gibi elde kullanılan çelik çubuklar önerilir. Borular için ise  $D = 1 \frac{1}{4}$  inç ile  $D = 1 \frac{3}{4}$  inç çaplar önerilmektedir. Sürenlerin enjeksiyonlu olması çevre zemininin içine enjeksiyon girmesi sonucu o zemini iyileştirir ve kazıda dökülme az olur. Buna örnek resimler aşağıda verilmiştir.

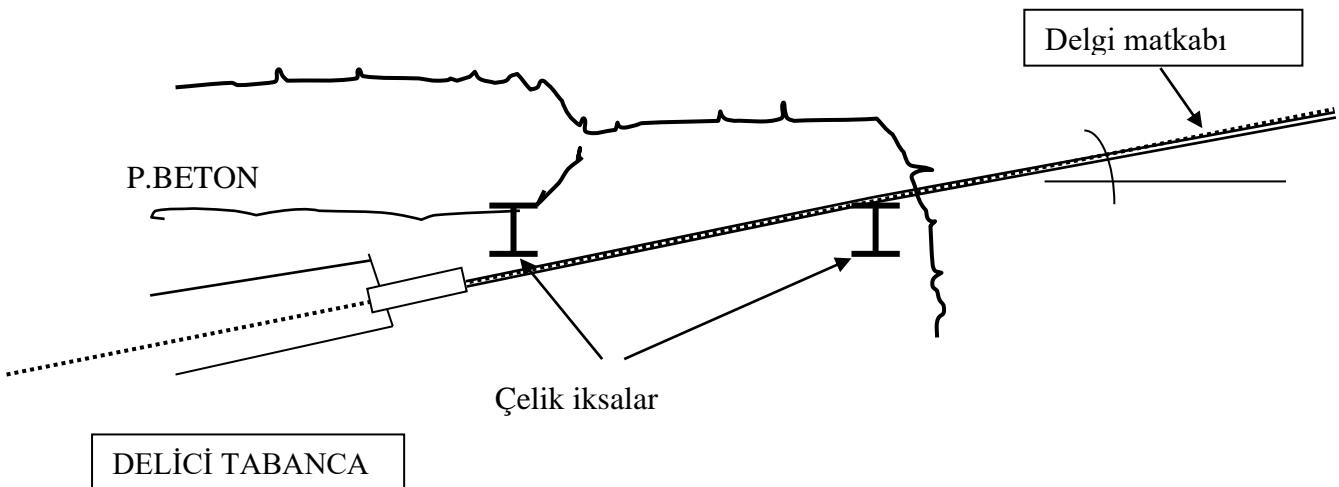


Sac Süren sacının boyutları ise kazının round boyuna ve zemin cinsine, ayrıca itme-sürme şartlarına göre seçilir. Örnek tip şekil ve ölçüleri aşağıda verilmiştir:



Yan yana gelecek iki sürenin boru veya sacın ara mesafesi ise; jeolojik duruma, kayadan gelecek yüze (Overburden) ve esas olarak da kazılacak kazı boyuna (round ) bağlıdır.

Sürenlerin boyları kazı boyunun **2 ile 2,5** katından az olmamalıdır.



### **Süren yerleştirilmesinde minimum açı kesit görünüş**

#### **7.3- ) Süren borularının Pratik Yerleştirilmesi:**

Sürenler bir sonraki kazıya bir önceki destekleme tam bitirilmeden yerleştirilmelidir. Zira yukarıda görüldüğü gibi süren iksanın üstüne bindirilir ve tabancanın delgiye yaklaşması sağlanır. Fazla kazı ve dökülmeyi azaltmak için sürenler olabildiğince eğik yataya yakın yerleştirilmelidir. Süren konulan zemin şartlarında inşaat adımları aşağıdaki gibidir:

##### **7.3.1.) Kazı yapılan boşlukta (round) hasır çelik konulması**

##### **7.3.2) Çelik iksa montajı**

- Süren konulmayacak bir arka roundun I. Kat Püskürtme betonunun atılması
- Ayna yüzey ve çevreye ilk hava kesme (sealing) püskürtme beton atılması (süren konulacak yerde )
- Süren konulması (delgi iksa üzerinden, oldukça eğik 7-11 derece açıda)
  - İlk kat Püskürtme beton atılması.
  - Delgi makinesinin pozisyonu bozulmadan önceki roundun bulon delgisinin yapımı.

Yukarıda anlatılan desteklemelere ek olarak NATM sistemini destekleyen ve zeminde kazı emniyetini sağlayarak ilk kaplamanın yapılmasına olanak sağlayan sisteler vardır Bunları ileride anlatacağız.

### **3. TÜNEL İNŞAATI VE PRATİK GÖRÜŞLER**

#### **GENEL:**

Kazısı bitirilen tünelin istediğimiz şekilde ayakta durması ve hizmet vermesi için kazı yüzeyi zeminin cinsine göre desteklenip, kuvvetlendirilmesi gereklidir.

Bu desteklemeyi söylece ikiye ayıralabiliriz:

İlk Kaplama, Son Kaplama:

NATM metodunda; ilk kaplama zemin yükünü taşıma amaçlıdır ve destek malzemeleri kaya cinsine göre ve tünelin açıklığına göre ayrıca hizmet vereceği yapıya göre değişir, son kaplama ise drenaj problemi ve su izolasyonu çözüldükten sonra ilk kaplamayı koruma, servis hizmeti veren cihazların yerine konulması ve estetiğin sağlanması şeklinde açıklanıyor, genelde demir donatısı olmayabiliyor. Ayrıca uzun ömürlü yapılar örnek metro tüneli ve basınç altında çalışan baraj tünelleri gibi yapılarda son kaplama statik koşullar gereği demirli imal edilmektedir.

#### **1.1-) İlk Kaplama**

İlk Kaplamanın elemanları bundan önceki bölümde anlatılmıştır.

#### **1.2-) Son Kaplama**

Son Kaplama; ilk kaplamanın içine su geçirimsizliği sağlayacak membrane ve onun arkasında suyu aşağıya drene edecek jeotextile ve membrane iç kısmına ise kendi ağırlığını taşıyacak, ayrıca zeminden gelebilecek kısmi yüklere dayanacak tünel çapına göre belli kalınlıkta olan BETON kaplama olarak inşa edilir. Son kaplama üzerinde çeşitli hizmetlere uygun konsollar, su, hava, elektrik donanımı için girintiler ve drenaj için boşluklar bulunur. Bu ilave şekiller önceden hassasiyetle projelendirilir.

Yukarıda da anlatıldığı gibi NATM sistemde Son kaplama için genelde yerinde dökme demirsiz beton veya yerine göre yerinde dökülen demirli beton kaplama da yapılabilir. TBM sistemde genel olarak prefabrik demirli beton (yüksek mukavemette demir + beton ) kaplama yapılarak makine ile monte edilir.

### **1.3-) NATM Tünel Sisteminde Yardımcı Destekler:**

#### **a-) Yüzey Püskürtme Betonu;**

Zemin şartları gerektirdiğinde tünel kazısının ilerleyen kademesinde (round) önem sırası ile önce tavana, sonra yanlara daha sonra da zayıf zeminlerde tünel aynasına püskürtme beton atılır. Bu püskürtülen beton 5-10 cm kalınlıktadır. Püskürtme betonu ilk kaplama konuluncaya kadar kazılan bölgenin zemin çözülmesini veya göçük yapmasını önler.

Kazılan kayanın zayıf olması veya tünel kazısının toprak bölgede yapılması halinde tünelin kazı sürdürülmen yerine yakın durumda bir miktar kuru karışım Püskürtme beton malzemesi ile püskürtme beton ekipmanı yukarıda açıklanan sebepler nedeniyle hazır tutulur. Bu halde kazı nakli beklenmez ve önce kazılan toprak-pasa yığını üzerinden gerekli yüzeylere püskürtme beton atılır.

#### **b-) Süren Konulması ve sac sürenler**

Boru ve sac sürenler tünel kazısının hat boyuna paralel konulan geçici destek elemanlarıdır. Daha önce de belirtildiği gibi bu destek elemanları, kazı serbest açıklığını kısaltarak dökülmeyi önlerler. Fonksiyonlarının ana amacı ilk kaplama uygulamasına kadar zemin çevresinin şeklini korumak,dökülüp, aşırı hacim oluşmasını önlemektir.

#### **c-) Zayıf zeminlerde Emniyetli Kazı Çözümleri:**

##### ***c-1-) Kazı kesitinin Parçalara bölerek Kazılması :-***

NATM sisteminde en önemli avantaj kazını ve desteklemesini zemin cinsine göre parça parça kazılıp desteklenebilir olması ve bu elastikiyeti göstermesidir. Kazının ilk başlanan kesitinin bir kısmı tam ilk kaplama destek elemanları ile kaplanır, diğer kazısı bitmeyen kesimler geçici destek ile ayakta tutulur.(Bkz. Şekil )

##### ***c-2) Ayna yüzeyi desteklemesi :-***

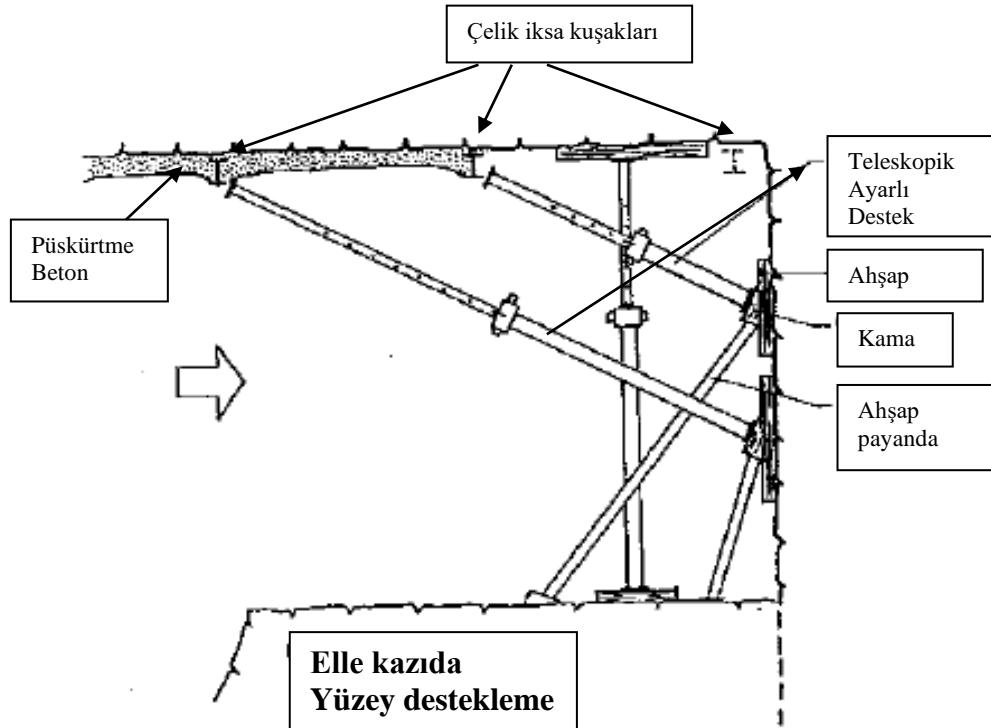
Kazı yapılan zeminde elverişsiz süreksizlikler (kırıklıklar) olması ve zayıf jeolojik şartlar nedeniyle tünel kazı aynası durağan (stabil) olmayabilir ve geçici destekleme ister.

İlk birinci geçici destek ayna ortasında kazıdan bir topuk bırakmaktadır. Gevşek destek (Topuk) bırakmaktan sakınılmalıdır. Gevşek topuk veya geri dolgu topuk sadece çok kısa ömürlü ve az derecede destek sağlar. Bu destekleme topuğu bırakırken ana işi kazıp destekleyerek tüneli sürmek olan ekibin işi aksamamalıdır. Tünel ayna çevresinde ekibin hareketi için 2,0 m lik açık ayna olmalıdır. Böylece püskürtme beton uygulaması rahatlıkla yapılır.

Kazı yüzeyini geçici desteklemede diğer bir yöntem de *yüzey püskürtme betonu* (sealing shotcrete ) dur. Bu uygulama zemin yüzeyinin hava ile temasını keser ve kayanın hava alıp çözülmesini öner.

**Yüzey püskürtme betonu** zemin cinsine göre daha kalın tabakada olduğu gibi içine hasır çelik takviyeli de uygulanabilir. Bu gibi durumda gelecek vardiyada bu atılan püskürtme beton ve hasır çelik tekrar kaldırılacak ve kazıya devam edilecektir. Bu işlem sırasında ise kazı için kırma işi gereklidir ve bu sırada hakiki zemin örselenebilir, bu iş dikkat ve titizlik ister. Geçici destek malzemesinin kırılması esas zemini bozmamalı ve zeminin bozularak göçüklerne neden olmaması önlenmelidir. Tünel aynası stabil olmalı ve gereklirse kazı ön desteğini muhafaza ederek iksa yerleştirmesine imkan verecek şekilde çevresel kazı yapılmalıdır.

Diger bir yüzey destekleme yolu ahşap kiriş payanda kaya yüzeyini desteklemektir ve bu destek kayanın blok gövdesinin bozulmamasına yardımcı olur. Ahşap kiriş ve payandalara ayarlı boru direk dikmelerle destek verilir ve yük geçici olarak ilk destekleme işine kadar zemine aktarılır. Alın kısmın desteği ise kısmen bir gerideki iksaya payanda atarak, kısmen de yere eği destek atarak önlenir. Zemin hareketi fazla ise ayna önünde yedek malzeme ve el aleti bulundurulup anında gerekli önlem alma işlerine hazırlıklı olunur.(Bkz. Şekil)



Bu bölümde Metro I. Aşamada tünel kazı ve desteklemelerden örnekler verelim:

- I. Aşamada Tünel ekibinin çalışması: Tünel ekibi A takımı gibi çalışmaktadır.

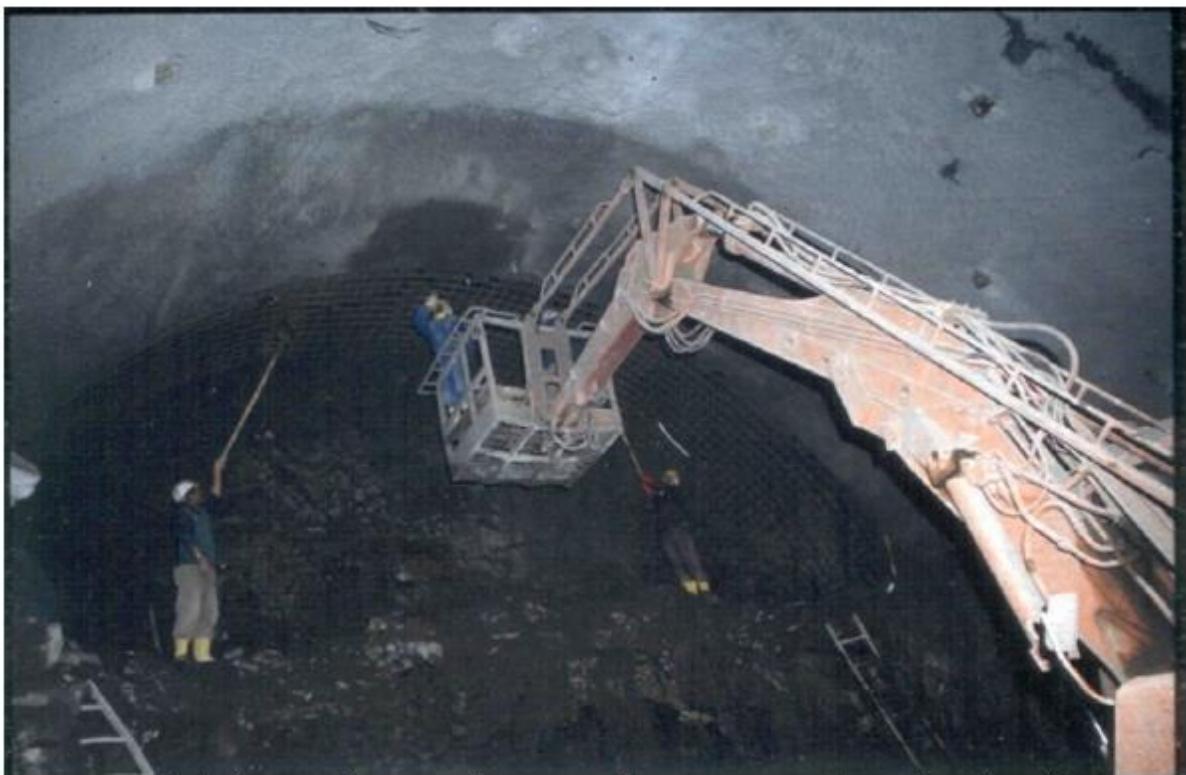


Hasır çelik kaplamanın bindirme payları açılsın diye el tarama tabancası ile temizlik yapılmıyor (üste)

Üst yarı dahi parçalı kazılmıştır. Zemin şartları kritik olduğundan aynanın bir tarafı kazılmış, hasır çelik kaplama ve püskürtme beton o bölgede devam ettirilmiştir. Tünel tavanında üst solda görüldüğü gibi; yarımlar olarak konulan iksa geriden boylamasına konulan boru üzerine geçici olarak tutturulup püskürtme betonu, hasır çelik bağlantısı tamamlanmaktadır. Diğer taraf kazılınca da o taraf iksa parçaları buradakilerle birleştirilmiştir. Tünel içerisinde üst kademeye taşınabilir merdivenler kullanılarak erişildi. Sehpalı makinenin olmadığı koşullarda dahi çalışma kesikliğe uğratılmamıştır.



Sağ tarafta roadheader ile kazı yapılırken sol tarafta sehpa yardımı ile iksa montajı devam etmektedir.



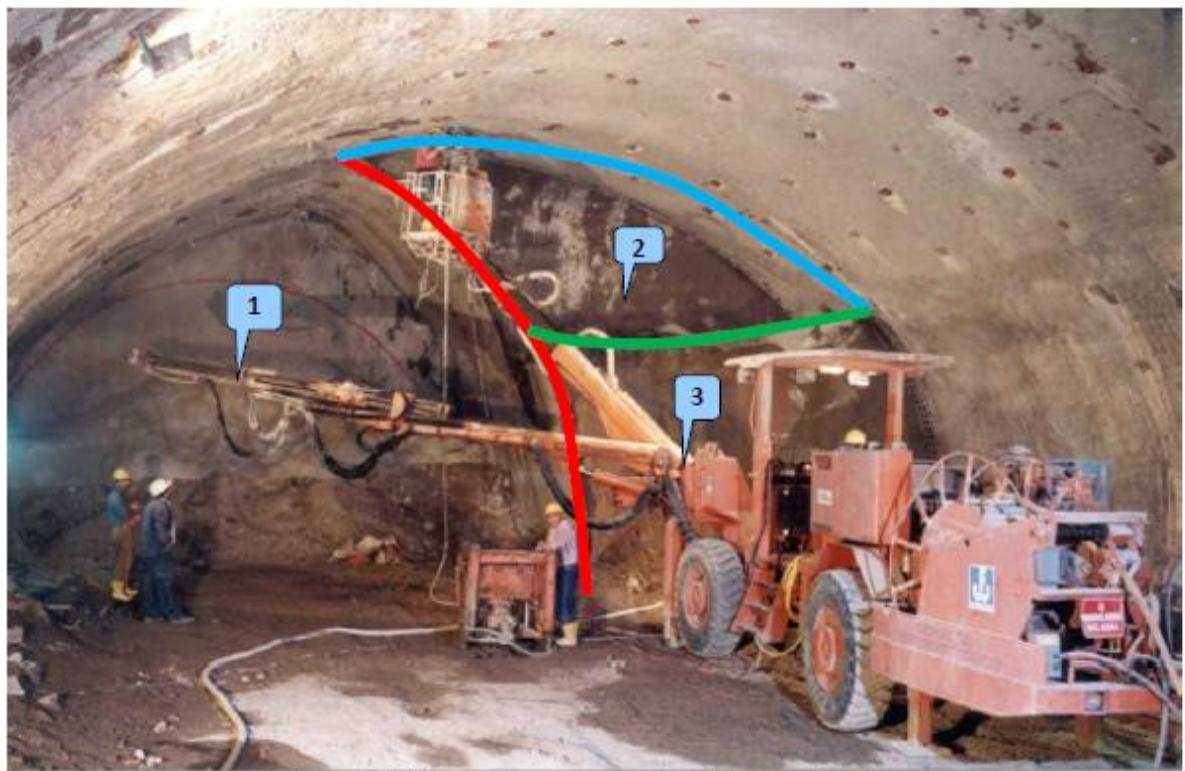
Bu resimde üst yanında ikinci kat hasır çelik montajı görülmektedir. I. Kat Hasır ve P beton atılmıştır.



Tünel ilk kaplamasının son püskürtme betonu bitmeden bulon çakma işlemi bitirilmektedir. Nedeni, bulon başlarının koruma içine alınmasıdır.



Parçalı Tünel kazısı üst yarı tam destekli, alt yarı Püskürtme betona hazır..



T2 istasyon tüneli Kazısı 3 aşamada yapıldı ve iksa montajları yukarıdaki gibi parçalı yapıldı.

### **c-3-) Geçici Invert :-**

Yukarıda bahsi geçen zayıf zeminlerde kazı aynası sayısı (üst yarı, alt yarı, invert gibi ) çoğaltılabılır ve bu zeminlerde invert yüzeyine püskürtme beton atılarak alt kemer oluşturulur. Bu kemer her kademedeki kazıda gerekirse yapılır (bkz şekil). Invert kemeri çevre dairesini tamamlayarak tünel tüpüne gelen yükleri alt zemine iletir ( ring closure). Normal şartlarda invertte püskürtme beton ve hasır çelik konulur. Eğer çok aşırı deformasyon var ve zaman çok kısa ise inverte deformasyonu önleyici ve çabucak yerleştirilebilen ilave çelik şeritler konulur ve bu şeritler iki doğrultuda tevzi edilir, boyuna istikamette istenilen boyda kesilir.

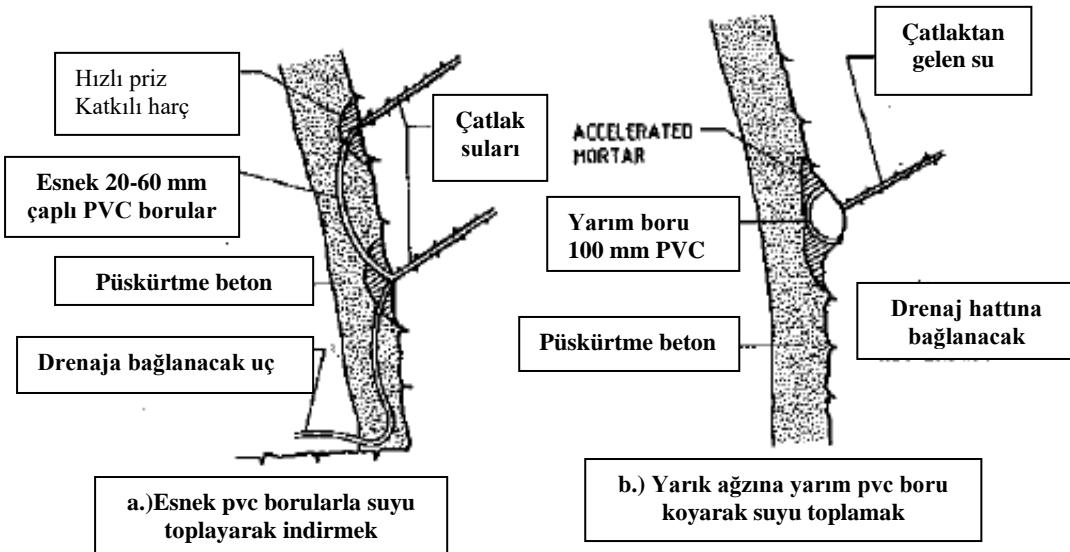
### **c-4-) İnşaat Sırasında Su çıkışması ve drenaj önlemleri :-**

Tünelde su çıkışması işi çok karmaşık hale getirir ve İnşaat faaliyetinin yöntemine tesir eder. Su sızıntısı olan yüzeyde Püskürtme beton uygulaması ancak priz hızlandırıcı katığının artırılması ile mümkünür, bu ise Püskürtme betonun son mukavemetinin düşmesi anlamına gelir. Priz almamış taze atılmış Püskürtme betonunun su basıncına dayanımı sınırlıdır, bu yüzden sızıntı ve kaynak suları PVC borular ile zemin yüzeyinde toplanarak yine boru ile inverte indirilecektir ve P. Beton atmaya ondan sonra başlanacaktır.

Şekilde görüldüğü gibi iki tip su toplanabilir:

- a-) esnek boru ile her noktadan alma (20-60 mm çap)
- b-) Yarım kesilmiş büyük çaplı boru ile zemin yüzeyindeki suları toplama (100 mm çaplı ).

Uzun süreli aynadaki çalışmaya yarar sağlayacak çözüm ise ayna üzerinde, suyu zeminden uzaklaştırın drenaj delgisi yapıp (56-84 mm çap ve istenilen boyda), suyu kazılacak yerden emniyetle uzaklaştırmaktır. Bu deliklerin içine kazı ve patlatma sırasında kapanmaması ve delik göçüğü olmaması için delikli (perfore) PVC boru döşenir.



Tünel içindeki su sızıntılarının püskürtme betonu arasından zemine indirme şekilleri

## 2.2. NATM Tünel Metodunu tamamlayan (destekleyen) Sistemler:

### 2.2.1 Genel: -

NATM tünel inşaat metodunun gelişiminde ilk adım 50-60 yıl önce zemin orijini kaya olan ve su santralları projesindeki tünel inşaatlarıdır. 70 li yılların başında Almanya'da metro inşaatında NATM metodu uygulanarak yerleşim yeri ve zayıf zeminde de kullanımı tanınmıştır. Hatta 40-45 yıl önceleri FRANKFURT /Almanya'da metro inşaatı tünelinde bu metot sert kilde dahi uygulanmıştır.

Bu bölümde anlatılacak sistemler, tünel inşaatının genelde yerleşim yerlerinde olması ve tünel yapımının zaten karmaşık olan şehir yaşamına; bir de yolları kısmen veya tamamen keserek trafik sıkışıklığını eklemekten sakınmak için kullanılır. Birçok şehirlerde NATM metodu zayıf zeminlerde ve çok büyük kesitli tünel inşaatlarında olduğu gibi MRT sisteminden daha uygun metot kabul edilmiştir. Bu metotlar metro inşaatlarının yeraltına yapılmasını sağladığı için istasyonların çevreye, binalara, diğer alt yapı tesislerine kabul edilebilir en az zarar verecek şekilde projelendirilmesi elastikiyetini ve imkanını da vermiştir.

Yeraltı ve sualtıının en istenmeyen şartlarında NATM metodunu tamamlayan özel teknolojiler geliştirilmiştir. Bu tamamlayıcı sistem aktiviteleri şunları içerir:

- Çelik Borudan şemsiye kemer (Umbrella) oluşturma
- Basınçlı Enjeksiyondan yatay beton kolon oluşturma (jet grouting)
- Basınçlı Hava ile su altında kazı imkanı sağlama
- Suni olarak Zemin Dondurulması
- Özel Enjeksiyon-kimyasal (çimento ve/ kimyasallar)
- Zemin Suyu Seviyesinin Düşürülmesi

Tamamlayıcı aktiviteler NATM metodunda tünel açma işleminin ekonomik ve elverişli (fizibil) olmasını sağlayan aşağıdaki konularda da etkin olan çözümlerdir:

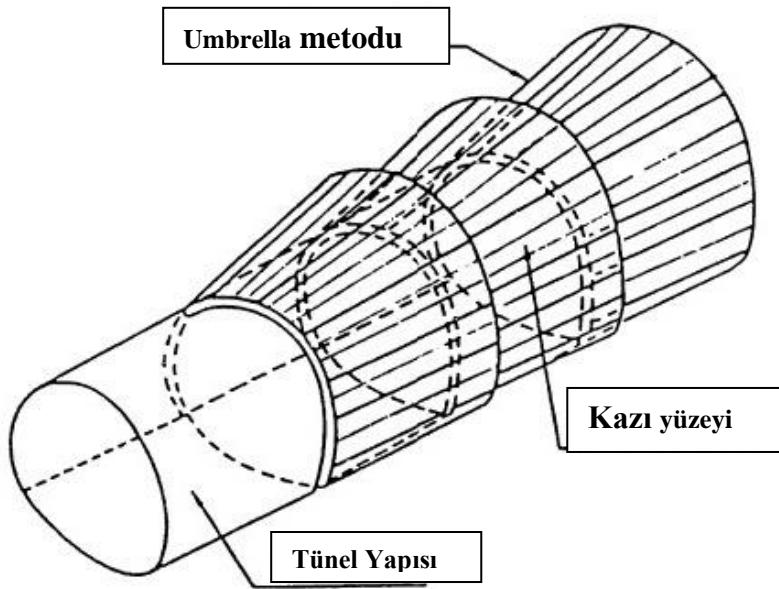
- Zeminin fiziki durumunun iyileştirilmesi (mukavemet artırma gibi)
- Tüneli çevrelenen zeminde boşluk suyu basıncını düşürülmesinin önlenmesi

Tamamlayıcı aktivite seçimi ve projelendirilmesi; çevre şartlarına, yüzeydeki zorlamalara, toprak tabaka kalınlığına, tünel tip ve ölçülerine, zemin suyu şartlarına, esasen altyapının kendi ve zemin koşullarına bağlıdır.

### **3.2. Bindirmeli çelik boru (Umbrella) yöntemi ile tavanda destekleme:**

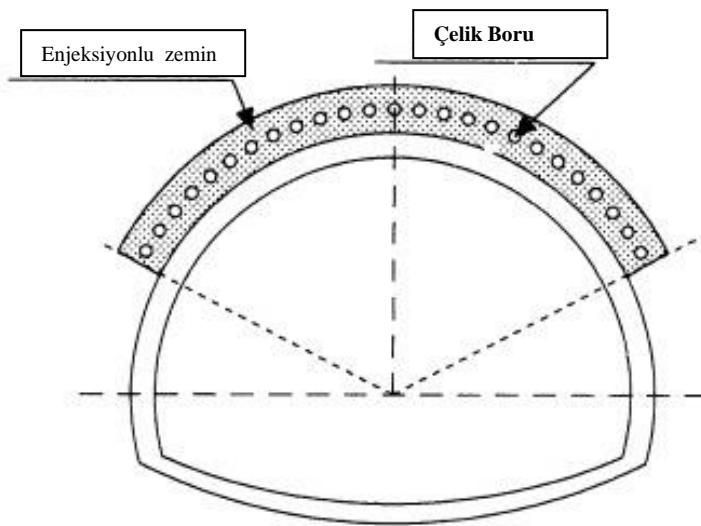
Yerleşim yerlerinden hattın geçmesi durumunda tünel yapma zorunluluğu kaçınılmazdır. Eğer bu koşullarda zemin zayıf olup da zemin kalınlığı tünel yapımını tehlikeye sokacak durumlar oluşursa o zaman tünel tavanını emniyet altına alan yeni bir yöntem kullanma ihtiyacı ortaya çıkacaktır.

Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi; bu koşullarda tünel tavanında çelik borulu umbrella sistemi uygulanması gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

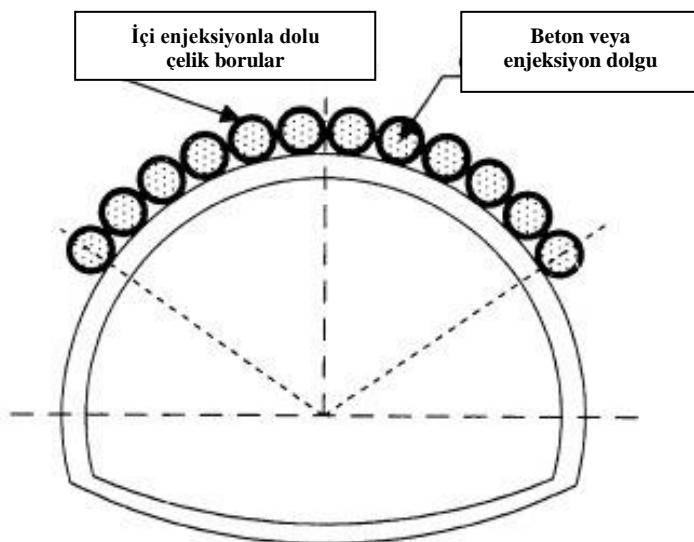


Bu sistemde çelik borular tünel kesitinin iç kaplaması içindeki iksaların üstünden 7-10 derece açıyla tünel aynasına dik ve boyuna hatta paralel olacak şekilde çakılacaktır. Boruları içi ve çevresi enjeksiyon ile doldurulacaktır. Ayrıca boru çapı daha büyük yapılrsa içi uygun sınıfta beton ile doldurulabilir. Boru çakma aralıkları ve çakma sırası sayısı da zeminin yapısına göre projelendirilir. Aşağıdaki şekillerde daire biçimimdeki bir tünelin normal şartlardaki taşınması gereklili kemer yükü teorik olarak gösterilmektedir. Umbrella malzemesi olacak boru, içi doldurulacaksa büyük çaplı seçilir. Çevresi enjeksiyonlu olacak ise çapı küçük ama çevresi delikli olarak temin edilir. Boyuna olarak iksaların üstünden çakılır.

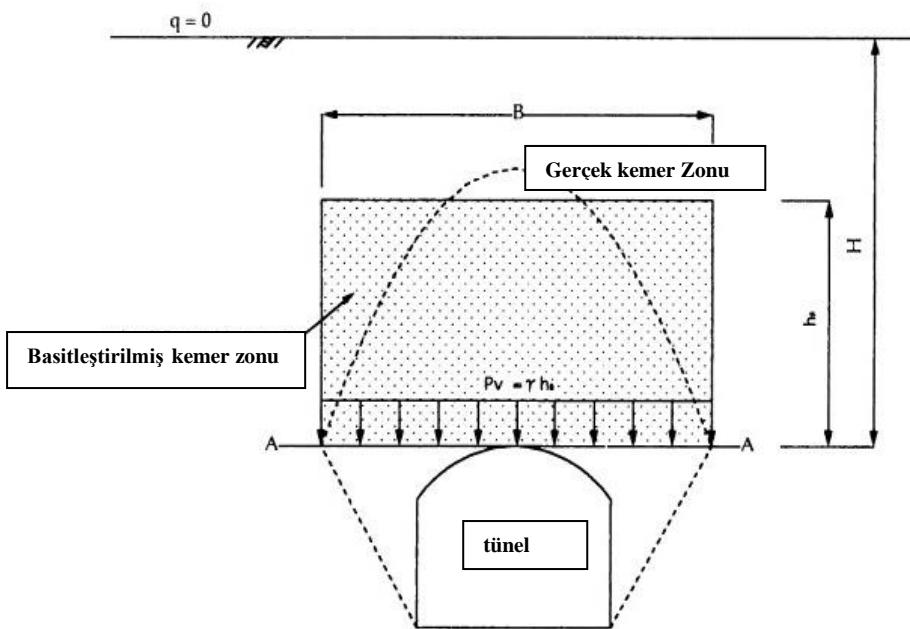
Bu çakılmış boruların altında umrella boyunun yüzde 60 veya yüzde 70 kadar kazı ilerlemesi yapılır. Kalan uc kısmı ubrellanın ön mesnedi (dayanağı) olmak üzere bırakılır. Bu noktada eskiye paralel, yeni konulan ve tünel kesitindeki iksa üzerinden yeni umbrella takımı çakılır. Yukarıdaki işlemler tekrarlanarak tünelin kazılacak boyu geçilir. Tünelin boyuna kesitindeki umbrellaların konumu ile statik olarak nasıl çalıştığını gösteren şekil aşağıda gösterilmektedir.



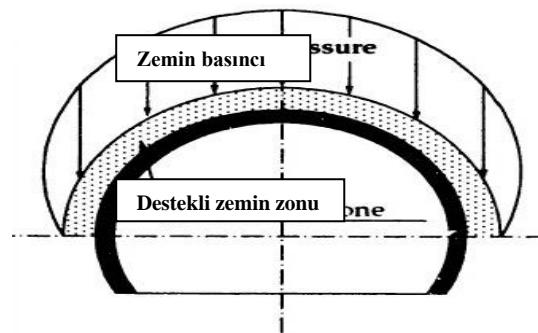
Enjeksiyonlu boru ile yapılan umbrella



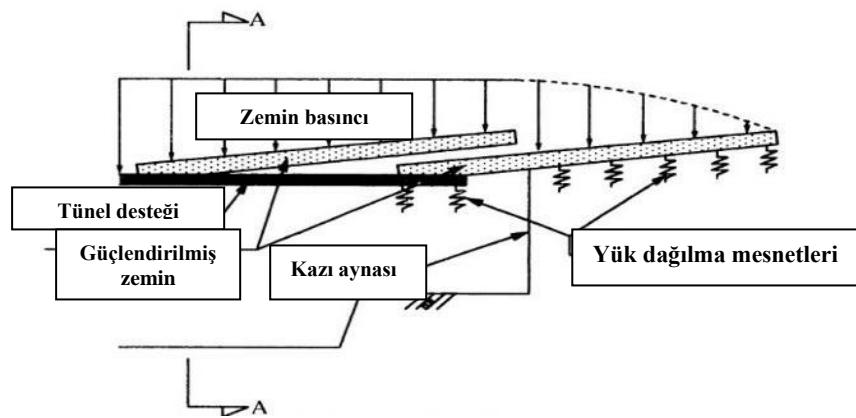
Borudan şemsiye çatı yapımı gösterim kesiti



*Tünel tavanında zemindeki kemer oluşumunun at nalı tipi tünelde basit gösterilmesi*

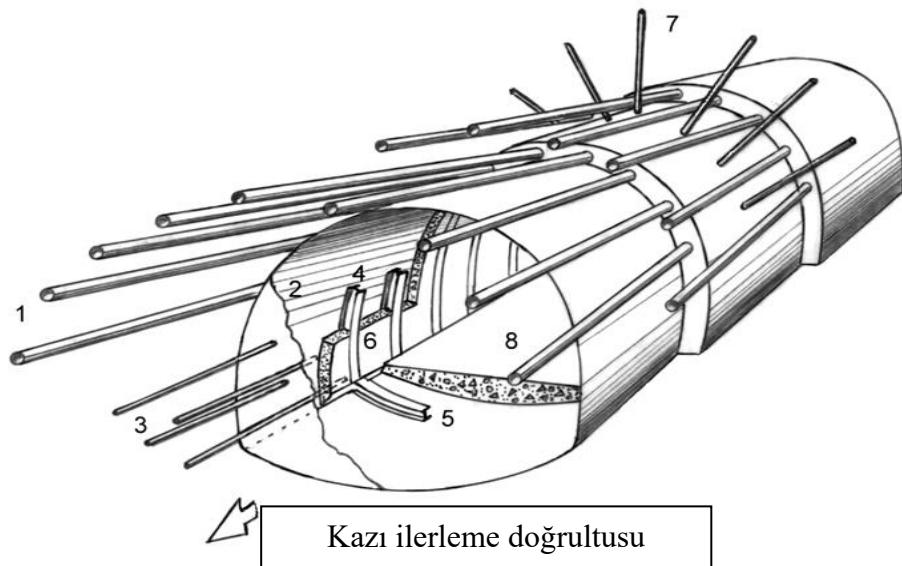


*Umbrelladan sonra zemin kemerleşmesinin suni olarak artması ve basınç değerinin azalması*



### **Boyuna kesitte umbrella uygulamasının görünüsü ve teknik anlatımı.**

Burada umbrellanın ön ucunun zemini mesnet olarak kullanması ve arka ucunun da tünel içindek iksaların ilk mesnet olarak kabul edilmesi açıklanmaktadır.



### **Zayıf zeminlerde tünel inşaatı aşamalarının 3 boyutlu olarak gösterilmesi:**

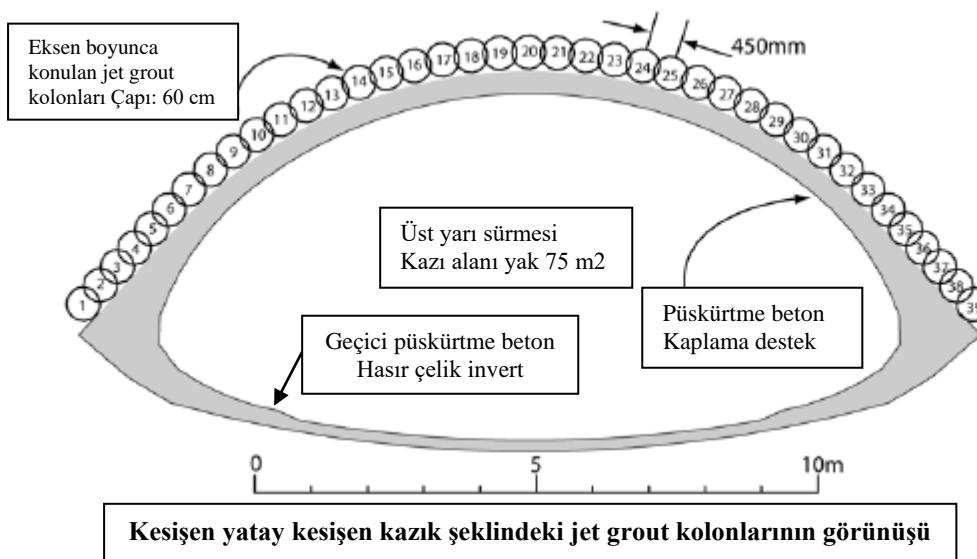
- 1-) Umbrella uygulaması**
- 2-) Püskürtme beton ve hasır çelik ile yüzey ilk destekleme**
- Ayna yüzeyi civileri**
- 4-) Çelik profilden iksa konulması**
- 5-) invertte iksa ile destekleme**
- betonların tamamlanması**
- 3-) Son kat püskürtme**

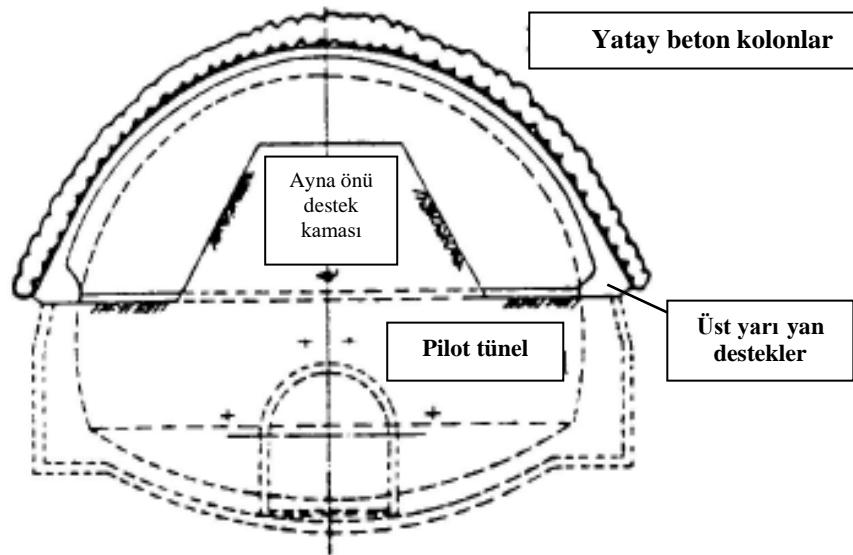
**7-) Umbrelle arasından kademe başlarında bulon çakılması      8-) İvert güçlendirme için püskürtme beton atılması**

### **3.3. Basınçlı Enjeksiyon ile yatay kolon oluşturma – ( Jet grouting )**

Basınçlı enjeksiyon (jet grouting) CCP metodu adı altında tanıtılan 15-20 yıl önce Japonya'da geliştirildi. Birkaç yıl sonra daha Avrupa'da bu metot iyileştirildi ve geliştirildi ve özel tünel problemlerinde kullanıldı.

Basınçlı enjeksiyon metodu yeni kazılmış tünel raundunda ilk kaplamanın yeterli mukavemete ulaşıcaya dek ayna zeminindeki stabilitenin korunması ve bunun başarılmasını sağlamak için bir nevi süren gibi kullanılır. Bu işlemi gerçekleştirmek için tünel profilinin çevresine az eğimli olarak yataya yakın delinmiş deliklere yüksek basınç altında çimento harcı enjekte edilir(basılır). Delme ve enjeksiyonlama usul (procedure) türleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir:

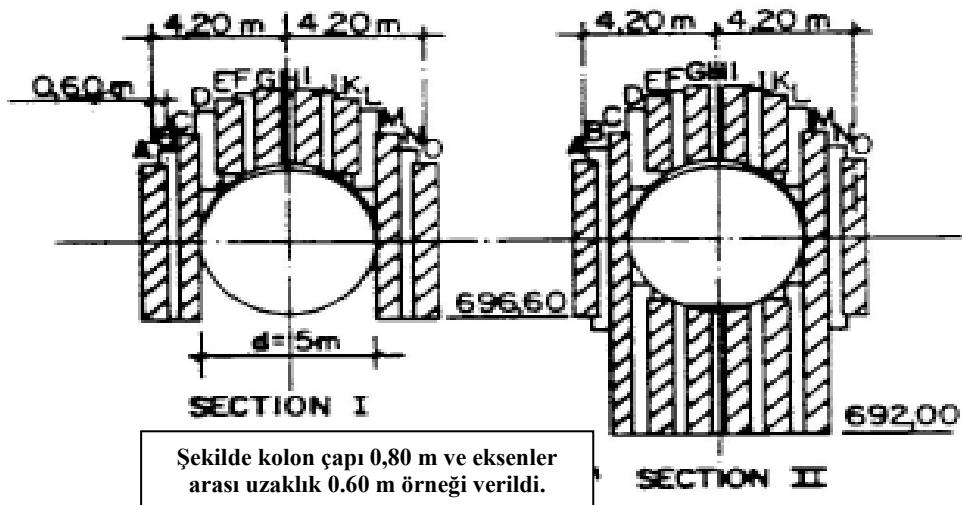


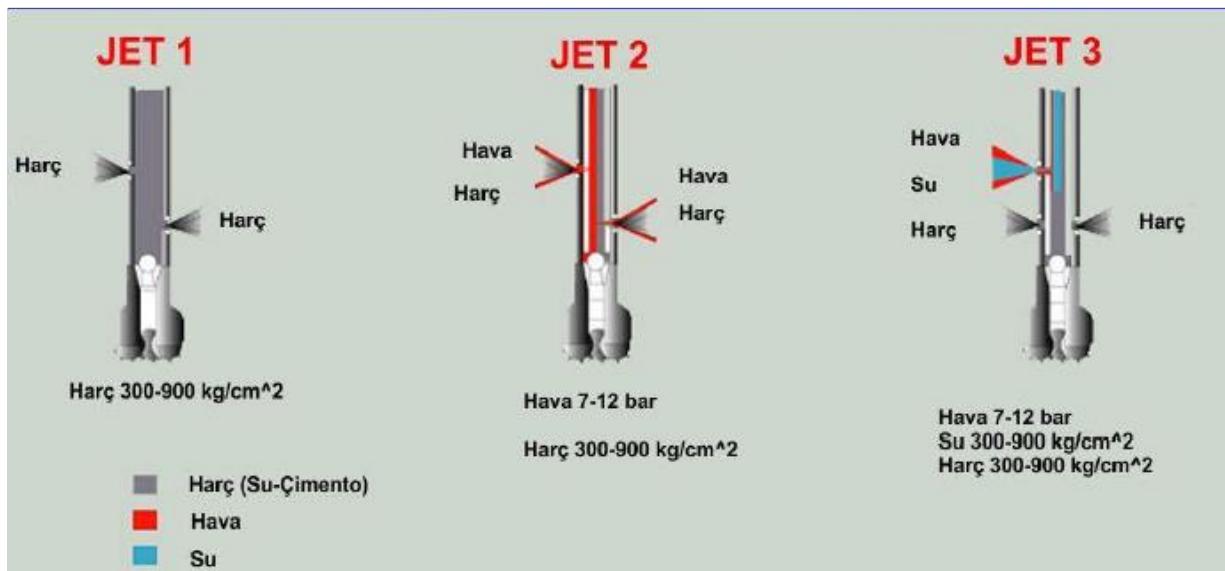


**Cök zayıf zeminlerde:** I-) Üstte yatay jet grout kolonlar, II-) Pilot tünel, III) Üst yarı yanların ek beton ile desteklenmesi ve yanlara destek vermesi.

#### Düşey şekilde jet grout yapımı şekilleri:

Bu derin olmayan ve zayıf olan zeminlerde zemini iyileştirek yapılması gereklili jet grout şekilleridir. Tünel üstündeki veya tünelin geçeceği zemin bu işlemlerle güçlendirilir (jet grouted envelope). Jet grout yeterince zemini iyileştirince kazı işlemi bu bölümde sürdürülür. Zeminin jeomekanik değerleri yükselmiş ve kazı sırasında duraylılık değeri artmıştır.





Yumuşak ve ince daneli zeminlerde yüksek basınçlı enjeksiyon 2-3 kademe uygulanır. ( 30- 60 MPa ). İlk kademe zemin su jeti ile kesilir, ikinci ve gerekirse üçüncü kademe zemin enjeksiyon ile 40-80 cm çapında enjeksiyonlu kazık oluşturacak şekilde karıştırılır. Bu silindirin çapı zeminin cinsine ve uygulanacak enjeksiyonun çeşidine bağlıdır. Çok yüksek basınlı enjeksiyon kazık çapında homojen olmuyan durumlar yaratır. Esasen enjeksiyon kazıkları (jet piles) ,zemin çimento karışımından meydana gelen ön çevre ringi ve ortasında da çimento taşılarından oluşur. Bu arada şu konu belirtilmelidir ki bu oluşturulan enjeksiyon şemsiyesi su geçirmez değildir ve su akışına su geçirmezlik görevi yapamazlar, bu nedenle su akışı problemine çözüm değildir.

Enjeksiyonun çalışma değerleri aşağıdaki listede verilmiştir:

- delik çapı	76-115 mm
- basınçlı püskürtme (jet) uc sayısı	2-4 ad
- uc çapı	1,5-3 mm
- enjeksiyon basıncı	30-60 Mpa
- enjeksiyonda su/çimento oranı	0,80-2,00
- Delgi matkabı dönüş hızı	10-20 dev/dakika
- Delgi matkabı geri çekme hızı	0,25-0,50 m/dakika
- Enjeksiyon hacmi	5-8 m <sup>3</sup> /saat
- Enjeksiyon harcaması	0,2-0,3 m <sup>3</sup> /m tul

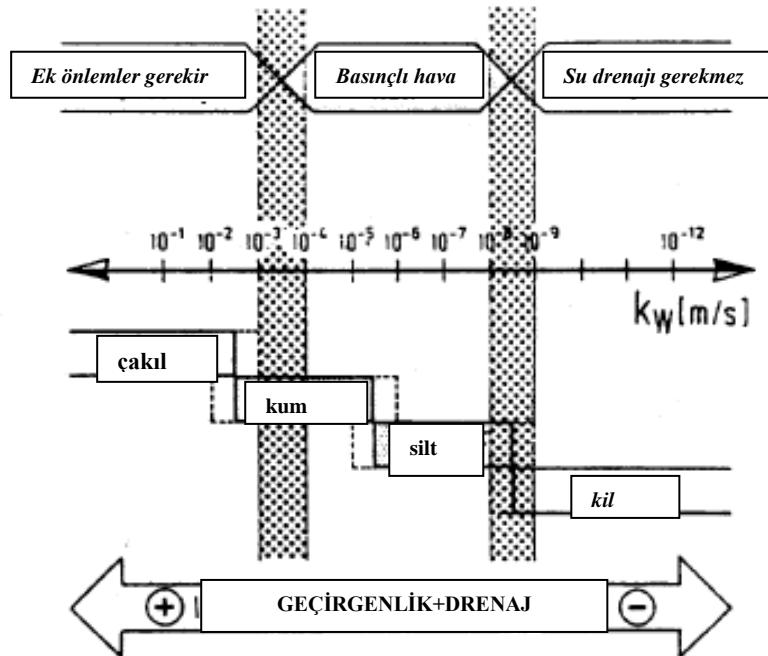
Kazıkların ortalama basınç dayanımları zeminin ince kısmının (%) yüzde oranına ve enjeksiyonun su/çimento oranına bağlıdır. Basınçlı enjeksiyon (jet-piling) ile yapılan yatay kazık (Jet Pile)ların çeşitli zeminlerdeki basınç dayanımları ve elastiklik modülleri aşağıda listelenmiştir

Killi silt	0,3- 0,5	60- 450
Kumlu silt	0,5- 1,5	500- 3000
Siltli kum	5,0-10,0	2000- 5000
Çakılı kum	5,0-15,0	3000- 10000
Kumlu çakıl	5,0-20,0	4000- 20000

## 2.1 – Basınçlı Hava

Basınçlı hava NATM sistemle birlikte kullanılan en yaygın kullanılan tamamlayıcı sistemdir. 1979 yılında İlk defa Münih Metrosunun birçok yerinde birden NATM metodu basınçlı hava ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır. O zamana kadar basınçlı hava sadece şild tünel delme metodunda kullanılmıştı. Son yıllarda NATM ile birlikte Basınçlı hava kullanımı; zemin su şartlarının sabit tutulması, kazı yüzeyinin stabil tutulması, yüzey oturmalarını en aza indirmesi ile ekonomik ve etkin bir metot olduğunu ispat etmiştir.

Zemin geçirgenliğine dayalı basınçlı havanın uygulama aşamalarını (application range) gösteren şekil aşağıdadır: Zemin geçirgenlik katsayıısı:  $k_w = 10^{-3}$  ile  $k_w = 10^{-9}$  (m/saniye) aralığı uygundur.



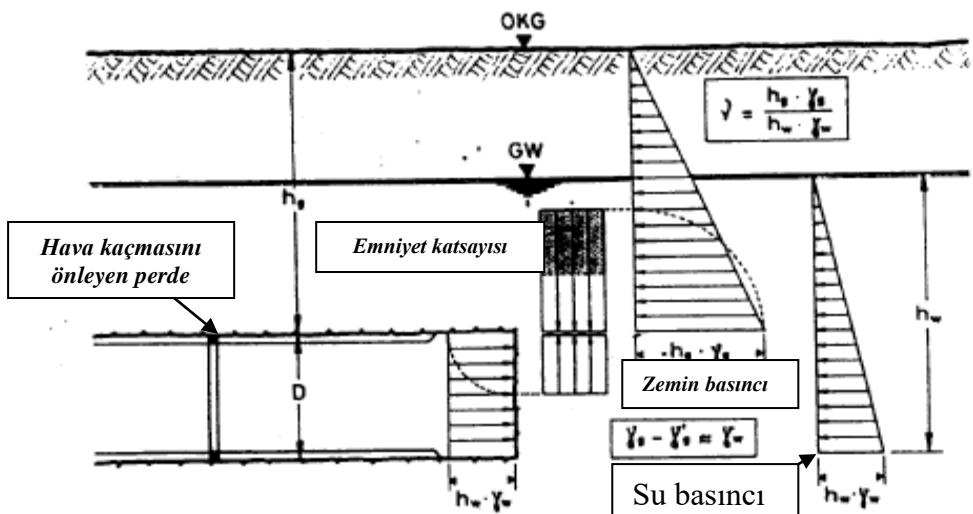
## ZEMİN CİNSİNE GÖRE BASINÇLI HAVA UYGULAMA ARALIĞI

Diğer tamamlayıcı metodlar ile kıyaslanınca **basınçlı hava uygulaması** özellikle su içinde inşa olunan tünelerde aşağıda açıklanan birkaç **avantaja** sahiptir:

- Hava basıncı çevredeki su basıncına göre ayarlanabilir.
- Basınçlı hava diğer ekipmanlara bağlanabilir ( veya birlikte çalışabilir).
- Basınçlı hava su seviyesine ve su kimyasına etki etmez.
- Aynı zamanda yüzey oturmasının miktarını azaltır.
- Basınçlı Hava kazılmış açık yüzeyli zemine geçici destek etkisi de yapar.  
( Zemin yüzeyine geçici destek)

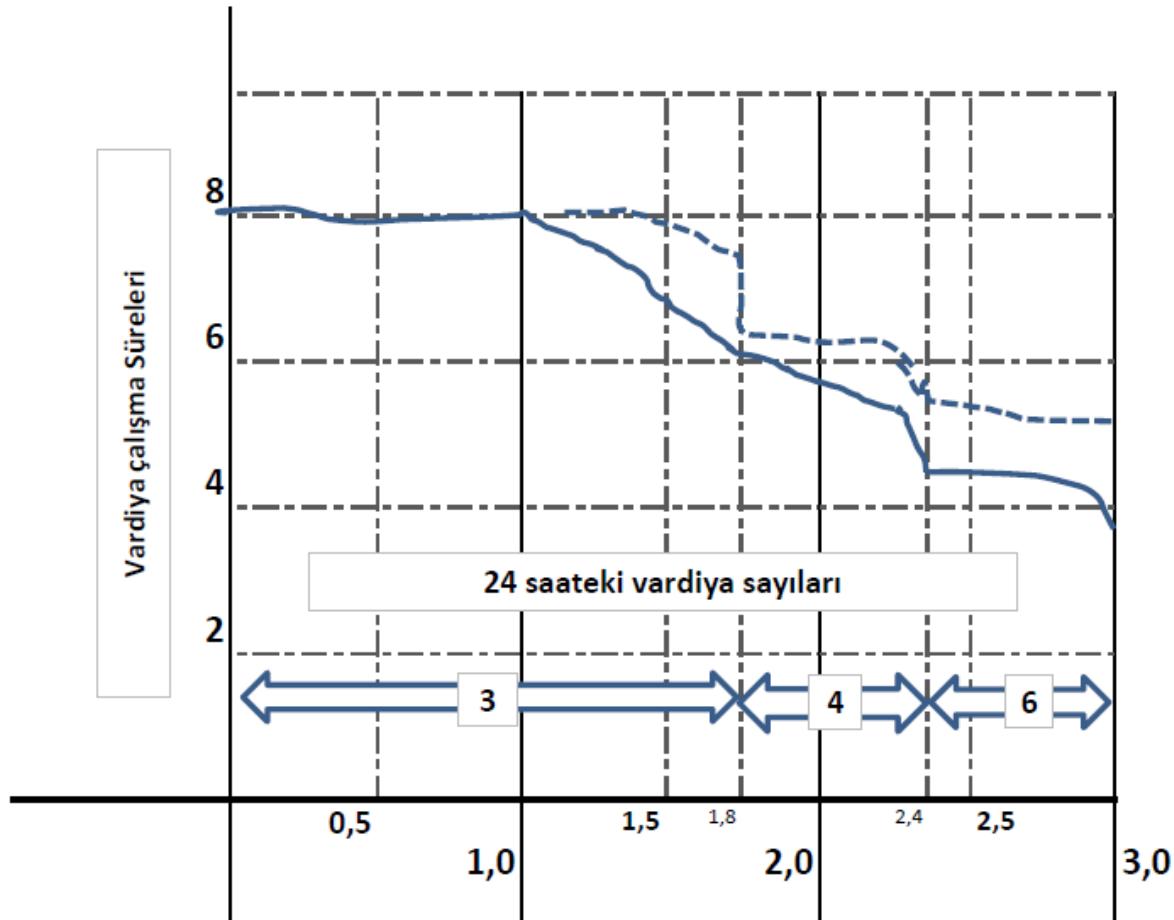
Bu metodun da sistemli ve hassas kontrol aynı zamanda bazı tedbirler ile en aza indirgense de tünel inşaatında (basınçlı hava ) bazı riskleri mevcuttur. Bu **riskler** şunlardır:

- Hava basıncının aniden düşmesi ( tünel işçisine hayatı tehlikedir ve tünelde göçme tehlikesi yaratır ).
- Basınçlı Havanın zeminden kaçması ( hava kaçağına karşı emniyet alınmalıdır)
- Kontrol edilemeyen hava basınç düşmesi ile tehlikeli tünele su inmesi veya göçük tehlikesi.



### **TÜNEL KESİTİNDE SU BASINCI VARKEN BASINÇLI HAVA İLE ÇALIŞMA KOŞULLARI**

Eğer mümkün ise hava basıncı tünel kazısı sırasında 1,2 barı geçmemelidir. Yüksek hava basınçları işçilerin çalışma odasına özel giriş (lock-in, lock-out) ve çıkışlarının süresini uzatır ayrıca işçilerin verimli iş görme süresinin düşmesine neden olur. Hava basıncına göre 24 saatte gerekli vardiya sayısı şekilde gösterilmektedir. Tünel inşaatında basınçlı hava ile su seviyesinin bir miktar düşürülmesi sistemlerinin birlikte kullanılması; gerekli basınçlı havanın en aza indirilmesinde başarılı bir usul olduğu ispatlanmıştır.



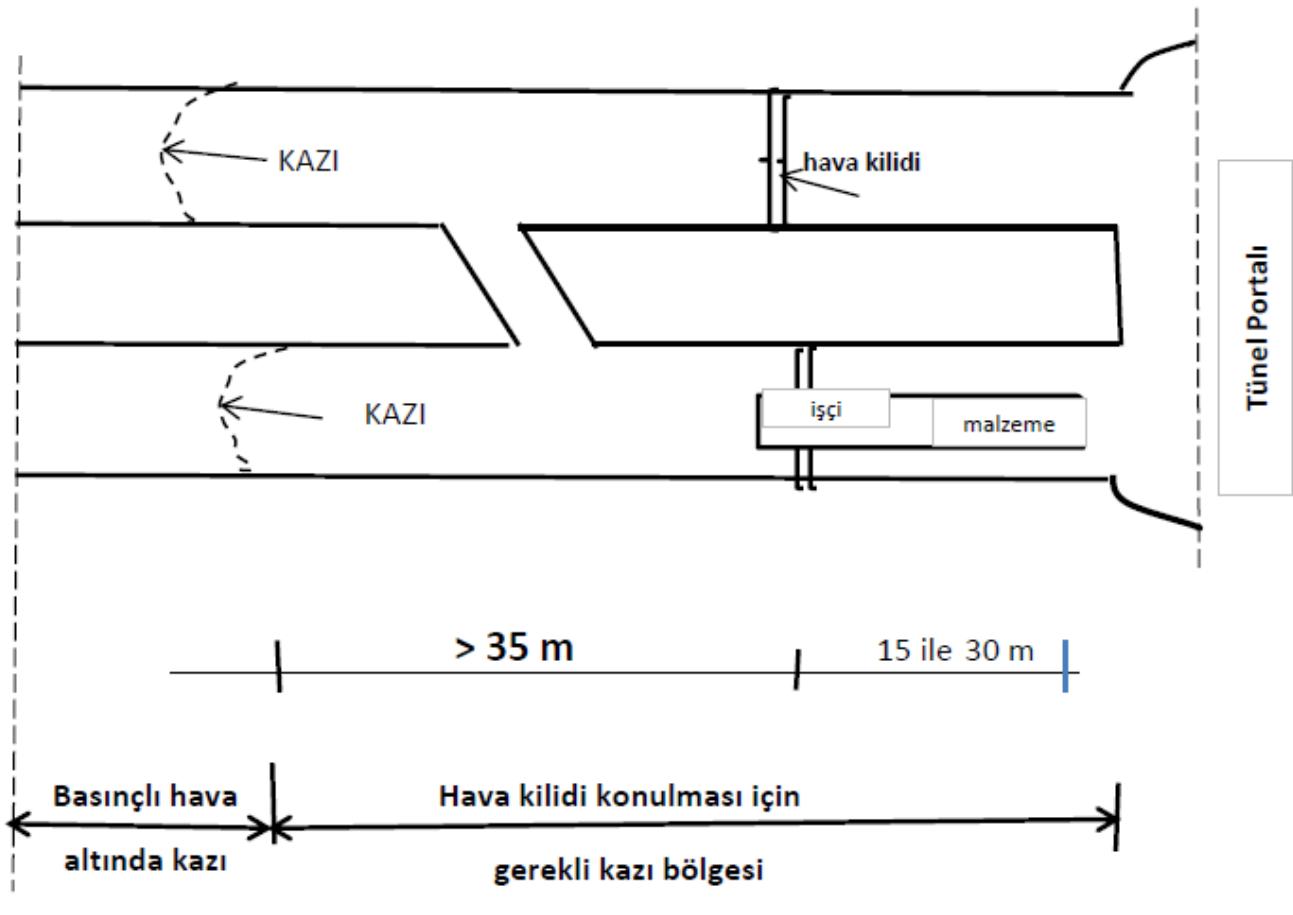
Ekiplerin Basınçlı Hava Altında Kalma Süresi Şartnemesi (Yıl 1972)

NATM uygulamasının yapıldığı yumuşak zeminlerde tünel kaplaması normalde iki tabaka halinde projelendirilir. İlk destekleme (çevre dış kaplaması) Püskürme betonu, hasır çelik ve çelik iksalar sürdürülün hava basıncı altında yerleştirilir. İç kaplama betonu ise çoğunlukla tünel kazısı tamamen bitirildikten sonra atmosfer basıncı (açık hava) şartları altında dökülür.

Bu durum; İlk kaplamanın proje değerleri; hava basıncı olmadığı halde dahi su basıncını da karşılayabiliyor anlamına gelmektedir.

Münih/Almanya'da aynı jeolojik koşullarda fakat atmosferik koşul ile hava basıncı şartlar arasındaki iki tünelde karşılaştırma yapıldığında **düşey yüzey oturmasının; atmosferik koşullu tünele göre;** basınç altındaki tünelde pratik olarak % 50 daha az olduğu görülmüştür.

Aşağıdaki şekilde iki paralel tünel gurubunda kazı ve personel için yapılan basıncı hava kapama düzenleme planı görülmektedir.



### 3.4-) Çimento veya Kimyasallarla Enjeksiyon

( Su geçirimsizlik artırımı )

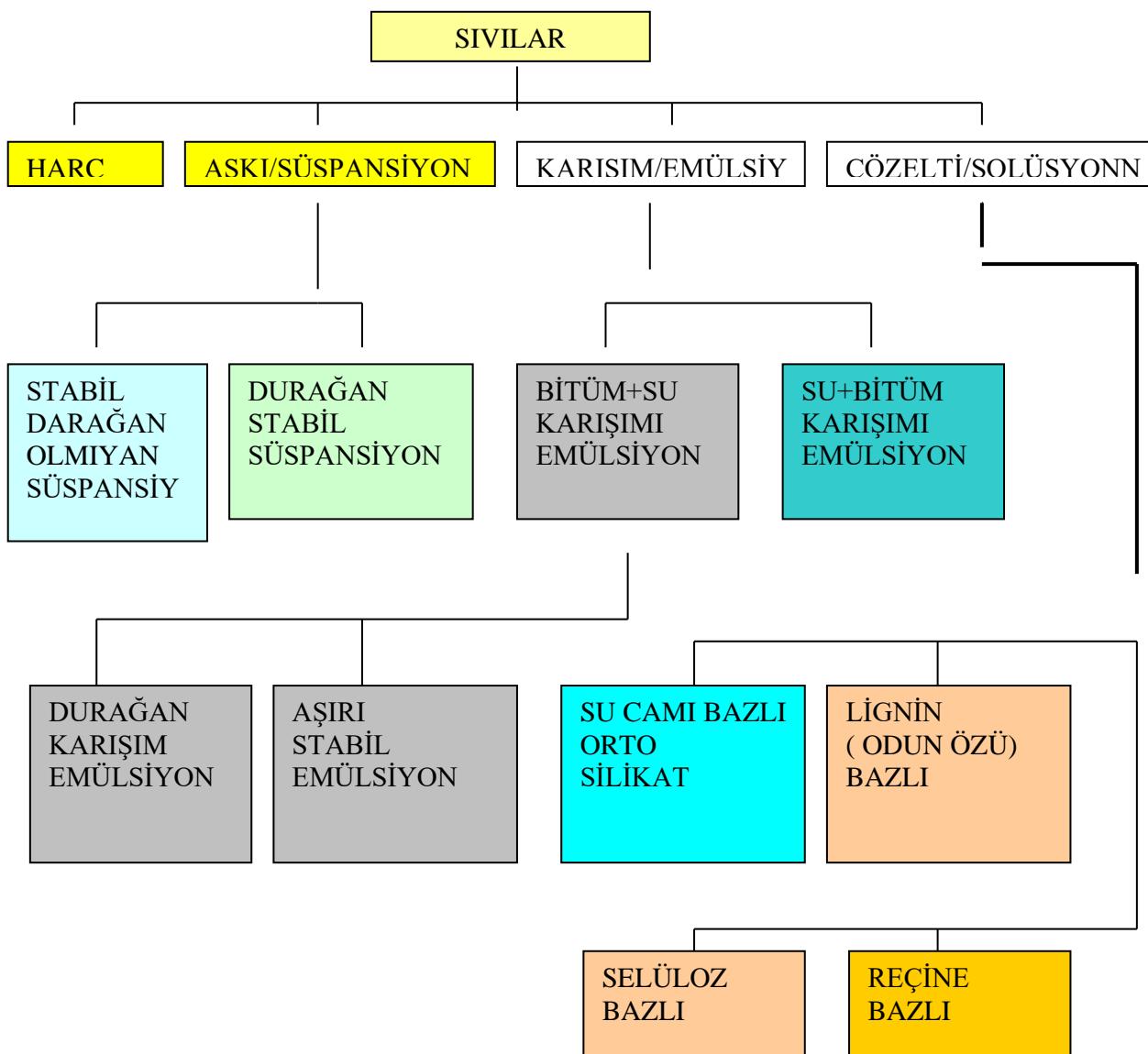
Enjeksiyon uygulaması; daha ziyade yumuşak ve kohezyonsuz zeminlerde, zeminin taşıma kapasitesini artırmak ve tünel yapımı açısından zeminin havada durma zamanını uzatmak suretiyle zeminin kalitesini kazı yapmaya yararlı şekilde geliştirmek için gereklidir. Tünel işinde aşırı su akışının azaltılması için enjeksiyon yapma ise uygulamanın diğer bir dalıdır. Diğer taraftan enjeksiyonun zemin suyu akışına ve zemin suyu kalitesine daimi olarak etki edebileceği hatırdan çıkarılmamalıdır. Yeraltı su kaynağının kamu (şehir) suyu temininde kullanıldığı yerlerde normal şartlar altında kimyasal enjeksiyon yasaklanmıştır.

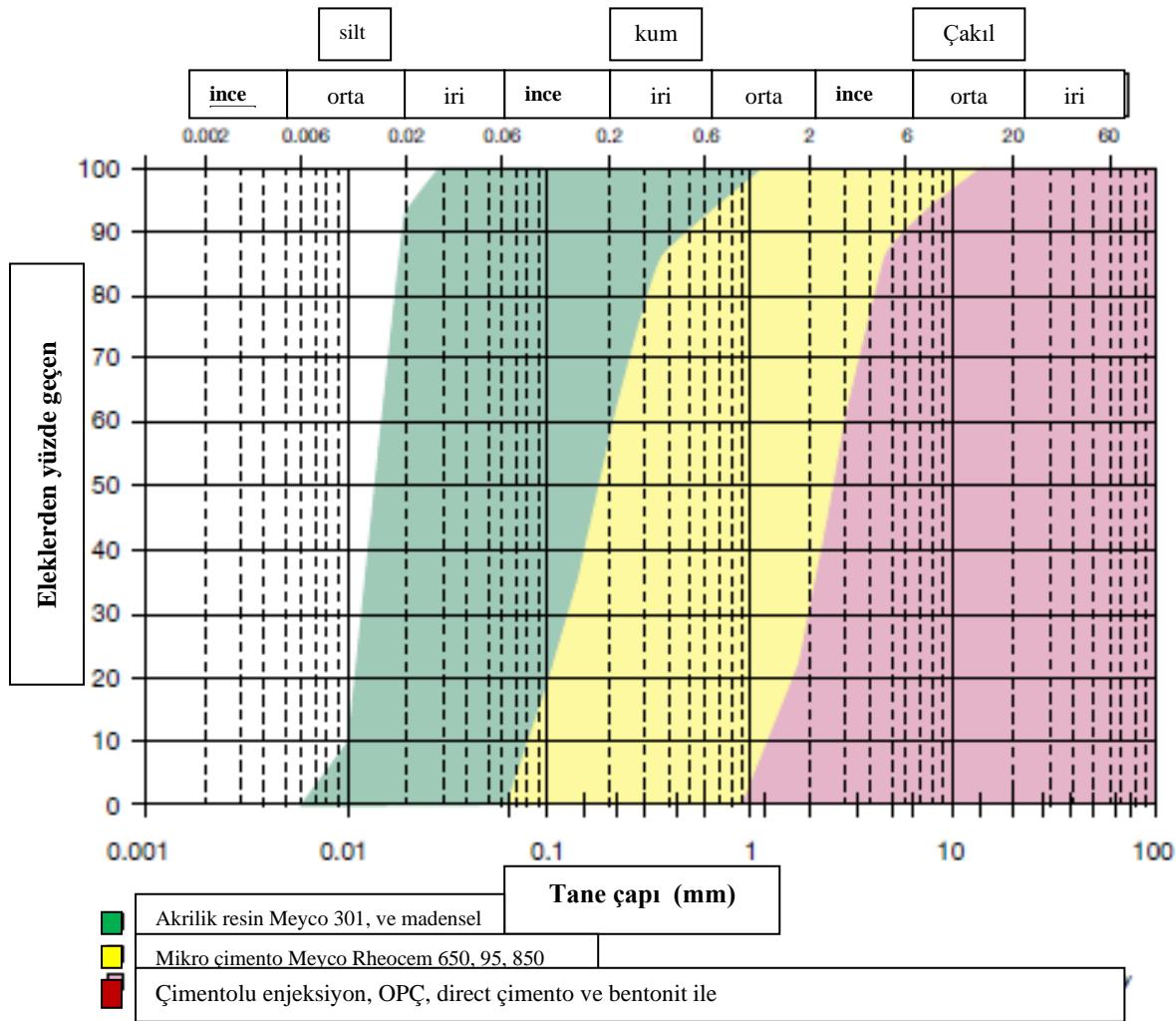
Enjeksiyon metodunun başarısı; daha ziyade delginin hassasiyetine ve seçilen enjeksiyon malzemesine bağlıdır. Delikler arası mesafe planı, enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon basıncı bu neviden pahalı işlemlerde başarı ve başarısızlıklar için kesin sonuç alıcı bilgiler verebilir.

Enjeksiyon malzemesi seçiminde aşağıdaki zemin karakterleri dikkate alınır:

- Jeolojik yapı (formasyon)
- Tabakaların kalınlıkları ve sınırları
- Mineralojik ve kimyasal yapı (kompozisyon)
- Parça dane boyutu dağılımı
- Sıkışabilirlik
- Boşluk oranı
- Su geçirgenliği
- Zemin suyu şartları: Su seviyesi, su seviye değişimi, akışın doğrultusu, akış hızı  
Suyun kimyasal özellikleri vs.
- Sıcaklık

Aşağıda birinci tabloda dane çaplarına göre gerekli enjeksiyon malzemeleri gösteriliyor. Grafikte ise enjeksiyonlanacak zeminin dane çapına göre uygulamaların sınırları belirtilmiştir:





#### ■ ZEMİNLERDE ENJEKSİYON İLE İYİLEŞTİRME KLAVUZU

### 3.5-) ZEMİNİN DONDURULMASI:

Yapay/suni zemin dondurulması, zemin iyileştirilmesi ve zemin suyunun yönlendirilmesi gibi arzu edilen iki etkiyi bir kerede içine alan bir kombinasyondur. Zeminin donan çevresi (ring) istenen mukavemeti kazanır ve zemin hemen hemen geçirimsizdir. Soğutucu olarak likit azot veya salamura sodyum kullanılabilir. Sodyum salamura kullanımı ucuzdur ama daimi kalıcı ring oluşturması uzun sürer. Soğutucular; tünel çevresi dışına yerleştirilen yeterli sayıda çelik borular vasıtası ile devri-daim (sirküle)

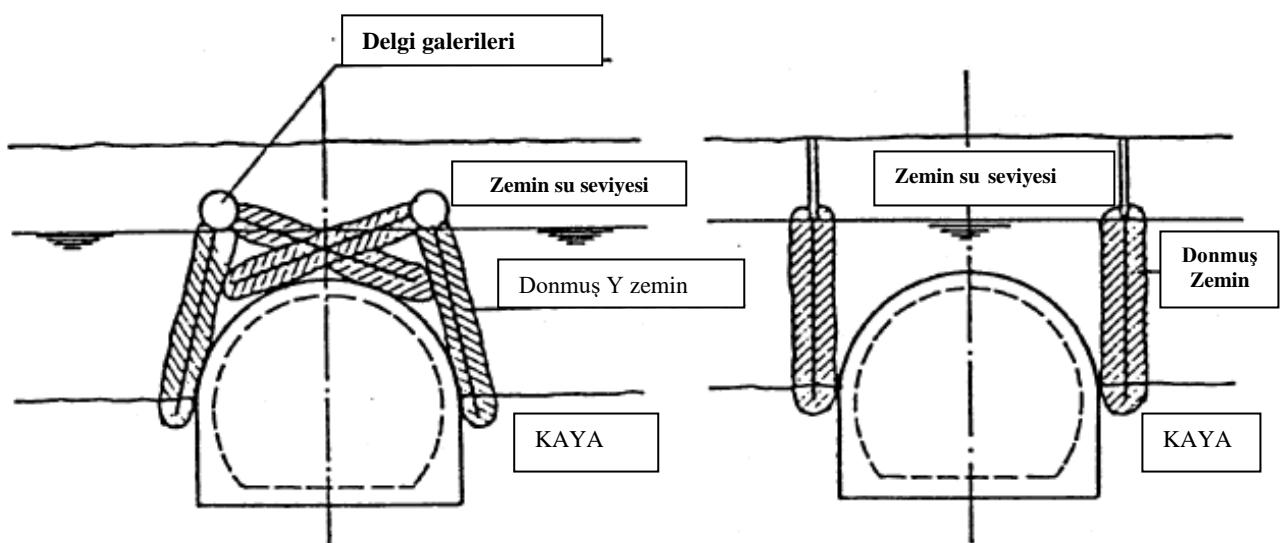
ettirilir. Çelik borular, soğutucuların üretim yaptığı ve stokladığı ve bu nedenle dondurma/soğutma plenti (ürtim yer) denen yere bağlıdır.

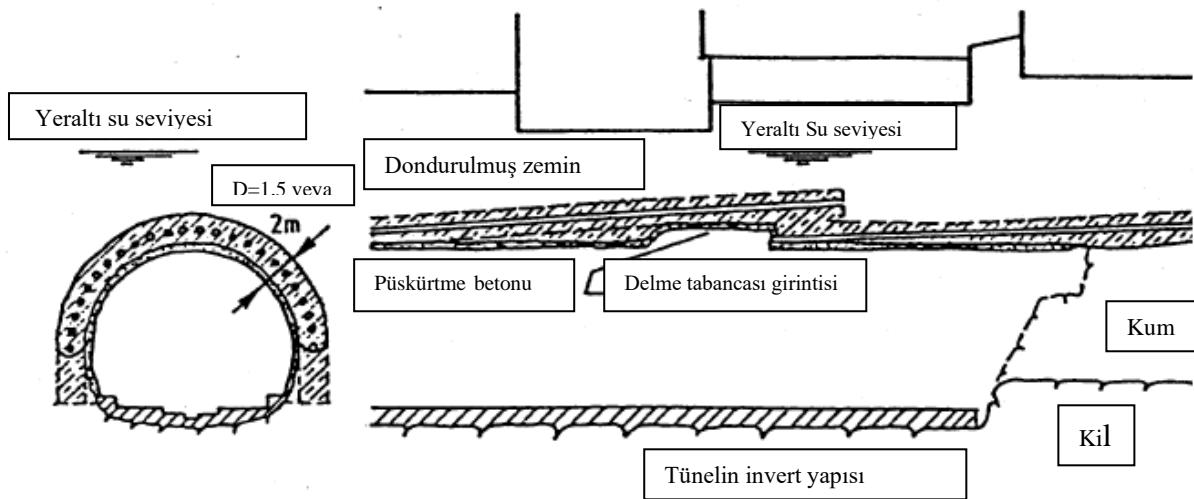
Böyle donmuş bir zemin ringi; zemin suyunun ve zemin tabakalarının yarattığı basıncı karşılayabilecek kapasitededir. Yüklerin devamlı transferi neticesi jeolojik bir davranış olan akma (creep) ya neden olduğundan tünelin kaplaması dışındaki donmuş ring zaman bakımından sınırlı bir kapasiteye sahiptir. Tünel çevresinde donmuş ring mevcut olduğu sürece tünelin su geçirmezlik fonksiyonu sürer.

Donma sırasında zemin kabarmasına özel dikkat /özen göstermek gereklidir. Zeminde kabarmayı en aza indirmek (minimize) soğutma işlemi çok dikkatli olarak gerçekleştirilir. Sodyum salamurasını kullanmak, tünel etrafında donmuş ring oluşturulduktan sonra kesikli olarak soğutma ister. Buz (donmuş) ringin muhafaza ve bakımı; ısıyı kontrol için özel borular içine yerleştirilmiş ısısal gözleyici (Termal sensor ) tarafından kontrol edilmeli ve kayıtlanmalıdır. Her dondurma borusu ayrı ayrı şarj edilebilmelidir, böylece kabarmaya veya düzgün olmayan erimeye müdahale imkanı doğar.

Soğutma/dondurma delikleri için delme işleminin ölçü hassasiyeti çok önemlidir. Kabul edilebilir delme hassasiyeti miktarı % 1 (yüzde bir ) olmalıdır. Her delik özel elektronik alet ile yakından hassas bir şekilde ölçülmelidir. En kesit üzerinde her bir boru ve delik yerinin değerleri ve mesafelerini gösterecek ve diğerleri ile mesafesini gösterecek ve diğerleri ile ayarlama yapabilecek ölçü ve biçimleri düzenleyecek şekilde çizim yapılır. Donmuş ring üzerinde standart deliklerin gerçek yerleri tam görünür ise, ilave edilebilecek delik yerleri gerektiğinde kolayca tespit edilip konulur.

Dondurulma işleminin bedeli yüksek olduğu için aşırı güçlükteki zeminlerde bu metodun kullanımı sınırlıdır. Birkaç yıl öncesine göre tünel yapım metodlarının devamlı gelişmesi suni dondurma işlemi metodunun daha az cazip olmasını doğurduğu bilinmelidir.

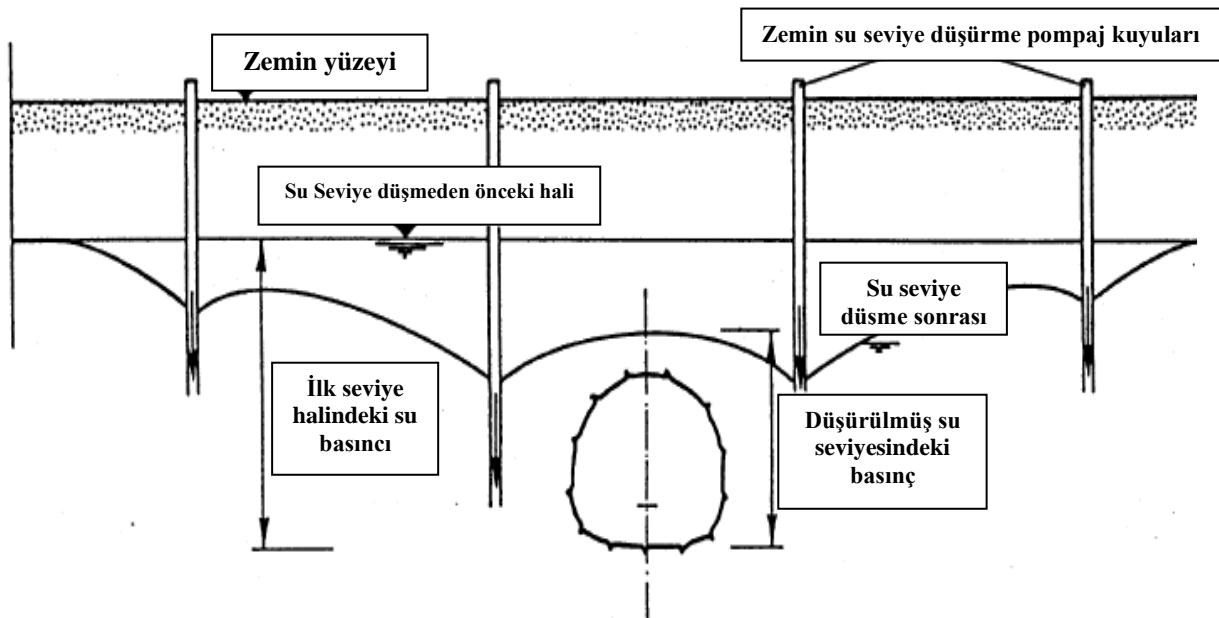




### 3.6-) ZEMİN SUYU SEVİYESİNİN DÜŞÜRÜLMESİ METODU:

Kazı sırasında tünel stabilitesine (duraylılık) zemin suyunun tesirinin azaltılması için kısmi olarak basınçlı hava (bu metotta basınçlı hava da kullanılır) için gerekli basıncın azaltılması veya tümden zemin suyunun seviyesinin düşürülmesi dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte su çekilirken yüzey oturmaları ve çevre binalara etkileri ve aynı anda zemin suyunun değerleri bizzat dikkatlice ölçülmelidir.

Kısmi su seviyesi düşürülmesi, hava basıncını düşürerek tünel kazı (sürme) işinde basınçlı hava ile birlikte birçok kere başarı ile kullanılmıştır. Su seviyesi düşürme uygulamasının basınçlı hava ile birlikte kullanılması hali şematik olarak aşağıda gösterilmektedir:



NATM sistemini destekleyen usul ve işlemlerin zemin dane çapına göre değerlendirilmiş uygulama sırasını gösteren tablo aşağıdadır:

Çökelme Hızı				İNGİLİZ STANDARTLARI																	
Cm / saniye				20 0 10 0 5 2 2 5 1 4																	
5. 0	4. 0	3. 0	2. 0	1. 0	30 0	15 0	7 2	3 6	1 8	1 0	7	1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4.	1.	1.5.	2	3
ÇIMENTO ENJEKSİYONU																					
BENTONİT ENJEKSİYONU																					
SİLİKAT ve REÇİNELER																					
KİMYASAL ENJEKSİYON: AM9, TOM vesaire																					
ZEMİN DONDURULMASI																					
BASINÇLI HAVA																					
SEVİYE DÜŞÜRME																					
OZMOZ																					
001.	01.			1		1			10							1 00.					
ZEMİN PARÇACIKLARI BOYUTLARI mm OLARAK																					
kil	ince	orta	iri	ince	orta	iri	ince	orta	iri												
	silt				kum											çakıl					
																MOLoz					

# **ÇEŞİTLİ ZEMİN İYİLEŞTİRME METODLARININ UYGULAMA SIRASI**

## **3.0– KAZI KADEMELERİ:**

Kazı kademelendirilmesinin seçimi ve projelendirilmesi öncelikle zemin durumu ve tünel Boyutu olmakla birlikte birçok parametrelere ( değişik etkenler ) bağlıdır.

Ana etkenler aşağıda listelenmiştir:

- Tünel boyutları
- Kaya ve zeminin cinsi
- Deformasyon sınırlandırılmaları ( kısıtlamaları )
- Titreşim (vibrasyon) /delme-patlatma kısıtlamaları
- Ekipmanın tip ve kapasiteleri
- Müteahhit ve işverenin deneyimleri
- İnşaat süresi ve programı

### **3.1-) İyi (stabil / duraylı) kaya durumu:**

a-) Küçük tüneller ( kesit alanı 25 m<sup>2</sup> ye kadar olan ) :

Küçük tüneller genellikle tam kesit delme ve patlatma metodu ile kazılır. Yerleşim yerleri ve bina yanlarındaki titreşim kısıtlamaları kaya kırcı kullanımını gerektirir veya gecikmeli bir şekilde patlayıcı sarjının sınırlandırılması için kazı yüzeyini birkaç patlatma bölgесine (kademesine) ayırmasını gerektirir.

Tünel boyu birkaç yüz metreyi geçince kesit dar olduğundan kazı nakli için raylı sistemle kullanım ekonomik olur. Kısa tünellerde kazının dışarı atılması ve malzemenin içeri taşınması için lastik tekerlekli yükleyiciler üstten aşırı yükleyiciler veya yandan yükleyenler ve özel ekipmanlar da kullanılabilir.

b-) Orta ölçüde tüneller ( $25\text{-}60 \text{ m}^2$  kesit alanlı):

Bu kesit ölçüsündeki iyi kaya klasındaki tünellerde tüm kesit kazı yapılabilir, fakat tünel ekipmanın kapasitesi dikkate alınması neticesi bu tünelleri üst yarı ve alt yarı olarak kazmak önemli bir yoldur. Destekleme bu tip zeminde sınırlıdır, lokal olarak birkaç kaya bulonu yerleştirme ve ince tabaka püskürme beton uygulamasından ibarettir.

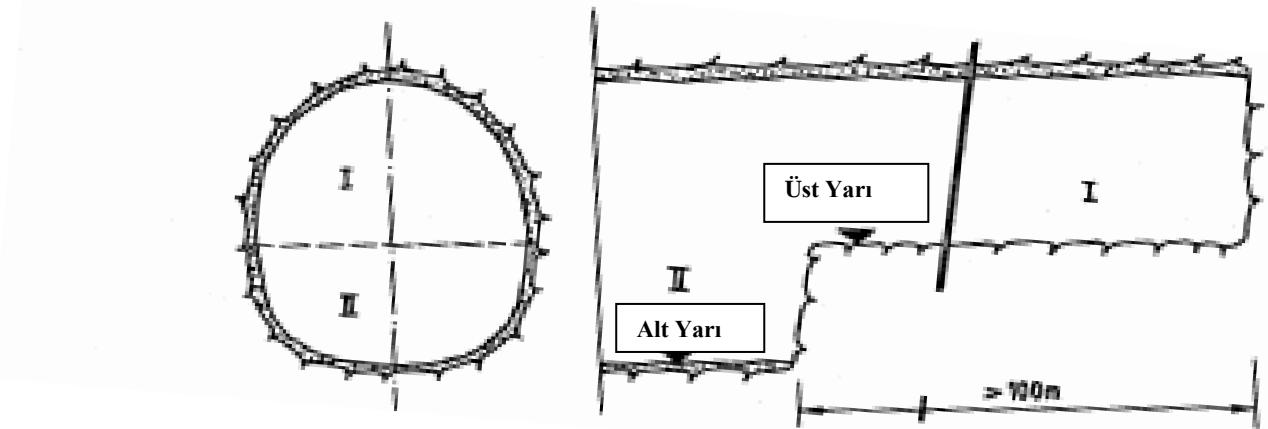
Kazı nakli ve malzeme temini yine kazılacak tünelin boyuna bağlıdır. Bu tipteki daha büyük tünellerde lastik tekerlekli ekipmanlar - tünel daha uzun olsa dahi- kullanımı fizibil olmaktadır.

c-) Büyük ve çok büyük kesit ölçüsündeki tüneller:

Büyük tüneller ve yeraltı depolarında, iyi klastaki zeminde dahi inşa edilse, yapım zorunluluğu bakımından kazı alanı alt böümlere ayrılmalıdır. Kazı için parçalı uygulama gereklidir. Ölçü dışı tünellerde delme, geçirimsizlik temini işleri ve desteklemenin yerleştirilmesi özel ekipman gerektirir. Ekonomik nedenlerden ve kayanın değişik çeşitleri olmasından dolayı tüneli korumayı başarmak için standart ekipmanların imkan olduğu kadar ilave edilerek kullanımı sağlanmalıdır.

Buna ilaveten; tünelde zemin çatlak dağılımı aralıklarına olarak tünel boyutları uygunsuz hale gelebilir, hatta stabilite problemleri çok önemli hale gelebilir. Büyük boşluk oluşturan kazılarda ilk olarak dökülme aşırı sökülme riski hemen artar. Emniyet için gerekli desteklemenin kademe kademe ilave edilmesi lazımdır. Tünel aynasını birkaç kademede kazmak çalışma sahasını artırdığı gibi aynı anda birkaç işin de değişik aynalarda yapımını sağlar. İki hatlı karayollarındaki ve demiryollarındaki tünellerde genellikle üst yarı ve alt yarı kazısı olarak iki kademede kazı yapmak yeterlidir, büyük çaplı tünellerde birkaç kademeli kazı yapılır, hatta aynı kazı seviyesinde birkaç ayna açma tercih edilebilir.

İyi klastaki kayada üst yarı platformunun uzunluğu sadece belirlenen yapım tarzı ve makine parkına göre uzun veya kısa seçilebilir ve buna en uygun uzunluğa karar verilir ( üst yarı ile alt yarı arası mesafe en az 100 m ).



### 3.2-) ZAYIF ve OLDUKÇA ÇATLAKLI KAYA

a-) Küçük Boyutlu Tüneller : (5-25 m<sup>2</sup>)

Tünel ayna yüksekliği 4-5 m ye kadar olan tünellerde kazı tam kesit olarak yapılabilir fakat kazı kademe boyu azaltılır. Destekleme; kaya kitlesini kuvvetlendirmek için ve aşırı dökülmeyi önlemek için genellikle bulonlama ve püskürtme betondan oluşan birliktelik kombinasyonu şeklinde tünel aynasına yakın bir konumda uygulanır.

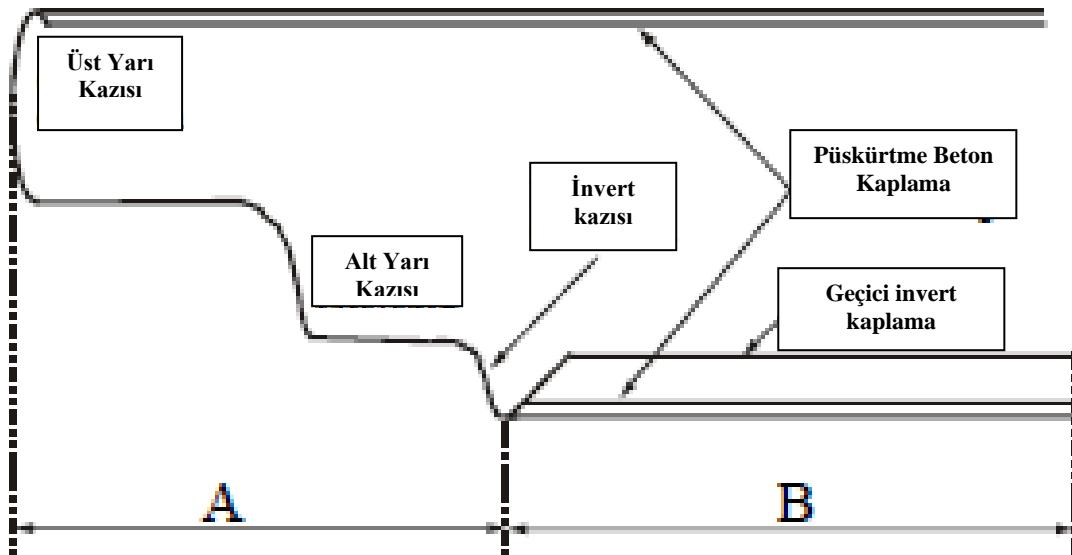
b-) Orta Boyutlu Tüneller: (25-60 m<sup>2</sup>)

Zayıf zemin koşullarında stabilite problemi olacağı için orta ölçüdeki tünellerde tam kesit kazı uygun ve ekonomik olmamaktadır. Birçok nedenle her roundda ilk desteklemeyi hemen yerleştirmek koşulu olduğundan kesitlerde üst yarı ve alt yarı olarak kazı yapılır. Aşırı istenmeyen dökülmeyi (overbreak) önlemek için çok çatlaklı zeminde süren de gerekecektir.

Bu gibi zeminlerin ilk destekleme şartı püskürtme beton ile bağlantılı sistematik (paternli) kaya bulonu yerleştirmektir. Püskürtme beton içinde hasır çelik veya onun karşılığı fibre tel olmalıdır.

İlk baskıların (deformasyonların) verdiği bilgilere göre invertte oluşturulan geçici erken kapama (ringclosure ) gerekebilir, bu sebeple alt yarı uzunluğu çok kısa olarak sınırlanır. Yanal baskılar ve

deformasyonlar invert aracılığı ile diğer tarafa aktarılır ve yük dengelenmesi sağlanır ve hareket durdurulur.



#### c-) Büyük Kesitli ve çok büyük kesitli Tünellerin Çok çataklı Zeminde Kazısı:

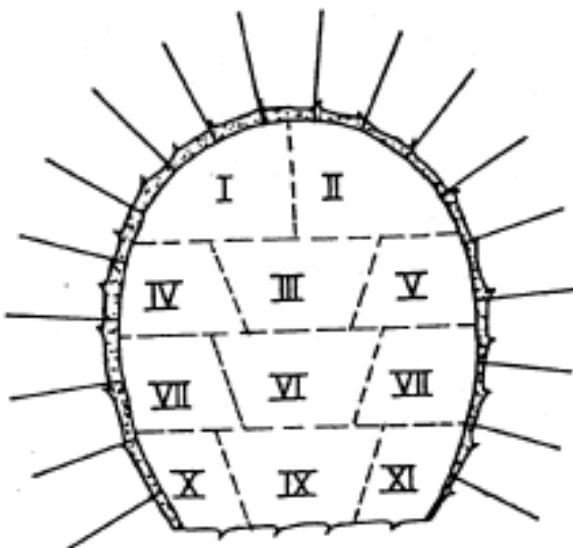
Bu kesitlerdeki tünellerde zayıf zemin koşulları, kazının çok dikkatli ve küçük adımlarla yapılmasını , ayrıca da bir sonraki kazıdan evvel şu anda kazılmış bulunan kesimdeki tüm destekleme işlerinin de tamamlanmış olmasını gerektirir. Kazı kademeleri ; kayanın ayakta durma zamanı (stand-by time ) içinde

ve emniyetli bir şekilde desteklemenin yapılabilmesine göre ayarlanmalıdır. Tünellerin açıklık ve yükseklikleri artması halinde p. Betonu kaya kitlelerinin çatlaklarını ve diğer süreksizliklerinin kaplanması ve kayanın dökülmesini önlemesi fonksiyonu sınırlı hale gelir, bu durumda kaya bulonlarının kullanımı çok önem kazanır.

Yan galeriler ve pilot (klavuz ) tüneller; tünel aynasının mümkün olduğu kadar küçük yüzey ve kademe teşkili edilmiş hale getirilmesi için sık sık kullanılır.

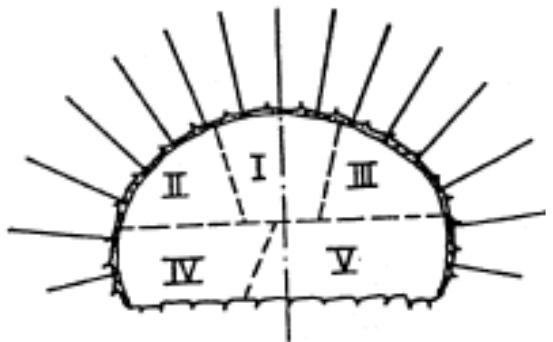
Orta kesitteki tünellerde olduğu gibi, bu durumda zeminlerde de dökülmeleri önlemek için sürenler kullanılır. Büyük kesitteki kazıda tünel aynasının ayna kademelendirilmesinden başka; tünel boyuna kazı kademelendirilmesi; belirlenmiş delgi ekipman, uygulama usulü ve kazı sitemine göre yapılır.

Uzun bölümlerdeki eş zamanlı kazılar için zaman gereksinimi kaçınılmaz olduğu halde; daha kısa tünellerde ana üst yarı kazısının başlamasından önce yan galerilerin bitirilmesi tavsiye edilmektedir. Çeşitli aynalardaki kazılar; kazı aynalarındaki karışıklığı en aza indirmek için uygun mesafeler ile ayrılr serpiştirilir (seperated) ve en az mesafe 30 m olmalıdır.



**Kesiti büyük olan tünellerde  
zayıf zeminde yapılan kazının  
çok sayıda kademelendirilmesi**

**Orta ölçekteki kesitte zayıf  
zeminde kazı kademelerinin  
şekilde gösterilmesi**



0 2 4 6 10  
Ölçek metredir

### 3.3- YUMUŞAK ZEMİNLEREDE TÜNEL KAZISI:

#### a-) Küçük kesitli Tüneller ( 25 m<sup>2</sup> )

Duraylılığının (standup time) süresi sıfıra yaklaşan yumuşak zeminlerde, destek malzemesinin bir çeşidini (örneğin püskütme beton ile kaplama) hemen uygulanması suretiyle ve çok küçük adımlar ile kazı yapılmalıdır. Kazıdan sonra hemen gevşeyen zeminlerde, küçük tünellerde; zeminin fırlamasını ve dökülmesini önlemek gerekektir. Bu durumda kohezyonlu cinsler için boru süren, kohezyonsuz zeminler için sac sürenler kullanılmalıdır.

Ekipmanlar küçük tunnelde kazı yapmaya uygun olacaktır ve desteklemeye ve işçilerin çalışmasına yetecek saha tunnel içinde hazırlanmalıdır.

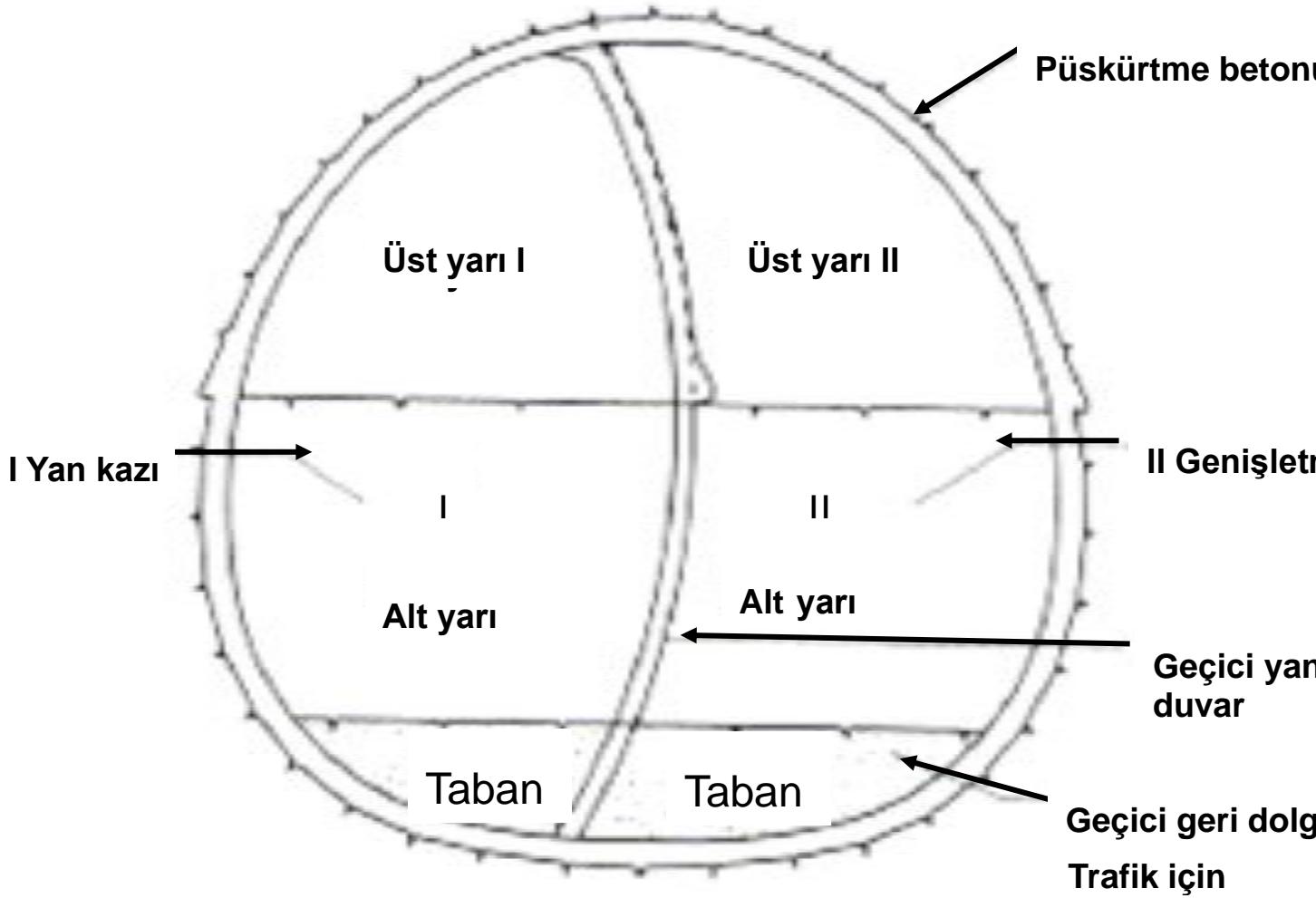
Yumuşak zeminlerde eğer daire tamamlama (ring closure) önemli ise bu olay kazı kademesi düzenlemesine tesir eder. Yüzeyin parçalanarak kazılması nedeni ile ekskavatörün alttan yetişmesi için alt yarı kademe uzunluğu 3-4 m olarak seçilir.

#### **b-) Yumuşak zeminde Orta kesit büyülüğündeki Tüneller:**

Orta boyuttaki tünellerde de zayıf zeminde küçük tüneller için önerilen kademeli çalışma en geçerli usuldür. Tunel aynasını parçalar bölmek ve çalışma aşamasını kısa tutmak gereklidir. Sebebi ise tavan açıklığı ve kazı boyunun azaltarak az moment vermesini temin içindir. Eğer boyutları yarıya düşürürsek esnemeye ve düşmeye çalışacak dökülme değeri dörtte birine eşit olacaktır.  $M_1 = P l^2 / 8$  iken  $M_2 =$

$$P \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{Pl^2}{32} \text{ olur.} \quad [ ]$$

NATM tunnel metodunda orta ölçekli tunnelde uygulanan kazı kademeleri için birkaç çeşit örnek aşağıda verilmektedir:



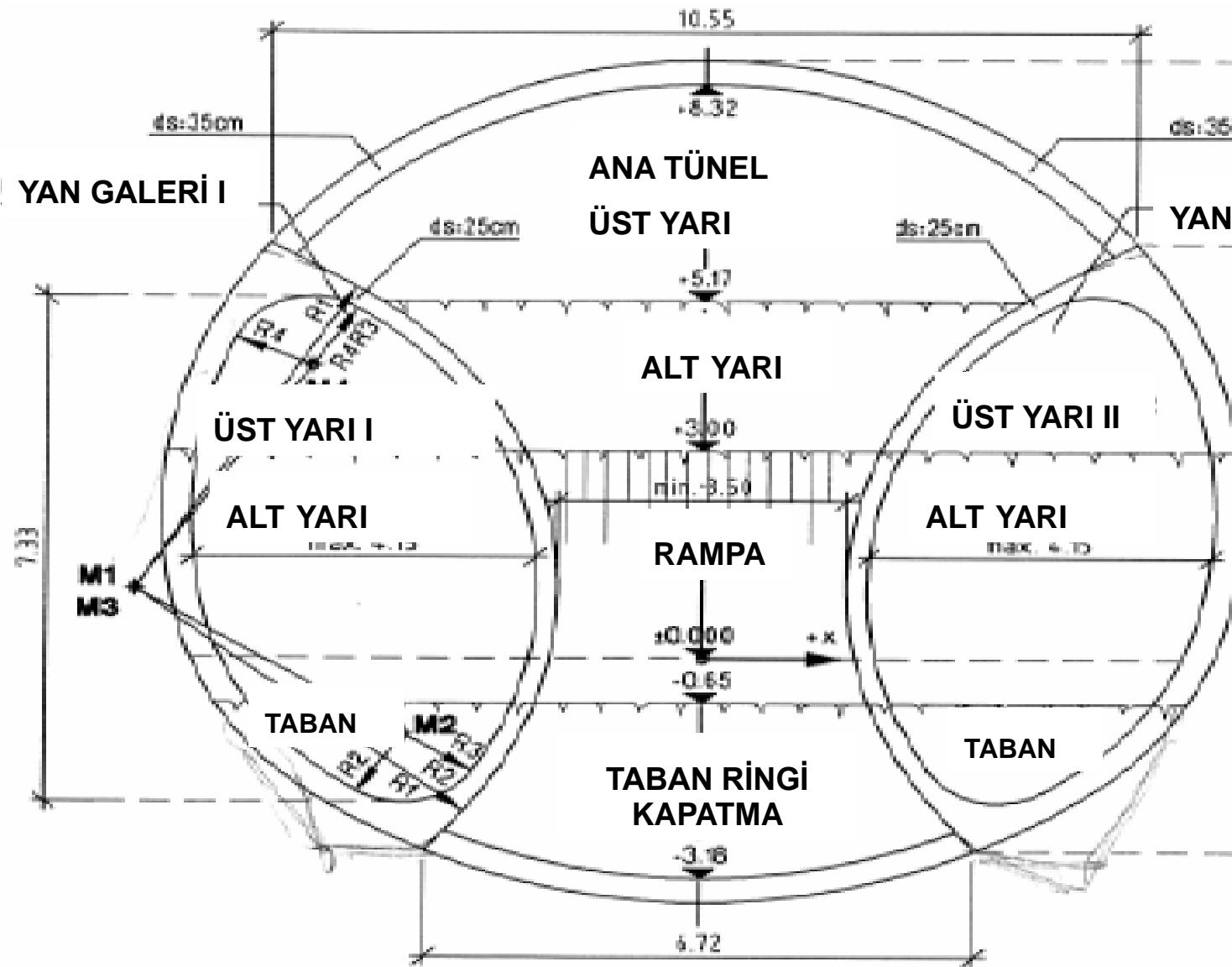
Bir defada kazılacak olan alanın tayini; daha çok kayanın / zeminin kalitesine ve tünel ekibinin tecrübesine dayalıdır. Yumuşak zeminlerde orta kalınlıktaki yük altındaki tünellerde invert ringi konuluncaya kadar kazı öncesi ve kazı sırasında oluşacak deformasyonun büyük kısmı oluşur. Sonuç olarak daha çabuk kazı ve destekleme yapılır ise deformasyon olması azalır. Bu nedenle çok iyi şantiye organizasyonu gereklidir.

#### c-) Büyük ve çok büyük (ölçü dışı = extra büyük ) Zayıf Zemindeki Tüneller:

Yumuşak zemindeki büyük ve çok büyük kesit ölçüindeki tünellerde de yukarıda bahse konu yumuşak zemin yöntem prensipleri takip edilmelidir ancak bu işlerde destekleme daha önemlidir.

Kaplama kalınlığı NATM sisteminde zarif arzulandığı halde bu zeminlerde büyük açıklık olduğu için büyük eğilme momentleri oluşur, kaplama kalınlığı kalın düşer, bunu zarif hale getirmek için kaplamanın içine demir teçhizat konur. Eğilme momentleri kaplama / tünel kesitine uygun geometrik şekil seçerek minimize edilebilir. Kazı paterni / şekli zayıf zeminlerde olduğu gibidir ve sistematik olarak boru süren

veya sac süren gerekir. Ana üst yarıyı sürerek tünel açmaya yan galeriler ile zemin desteklenir ise kazıya izin verilir. Tamamlanan yan galeriler tünel tavanına ilk destekleme için kenar ayak destek görevi yapar (abutment). Galerilerin dış duvarlarındaki püskürtme betonu, kaya bulonu, kablo ankrajı konularak veya enjeksiyon ilavesi ile kuvvetlendirilir ve böylece destek en sonunda taşıyacağı yüze hazır hale getirilerek havada durması sağlanır.





Kazı kademelerinin parçalı yapılmasına örnek fotoğraf.

## 4 - ) CİHAZLANDIRMA VE ÖLÇÜMLEMELER

### 4.1 -Tanım:

Cihazlandırma ve ölçme programları, özellikle NATM tünel metodu ile inşa edilen tünel işini tamamlayan bir bütününe parçasıdır.

Ölçmelerin amaçları aşağıdakiler (konuları ) içermelidir:

- Proje parametreleri ve proje modelini ihtiva eden proje varsayımlarının doğrulanması, İnşaat metodu, destek sistemleri ve diğer ilave işler; zeminin gerçek durumuna göre ayarlanacak
- İnşaat sırasında tehlike ve risklerin en aza indirgenecek,
- İnşaatın çevreye zararlı tesirinden sakınmanın sağlanacak.

## **4.2 - Ölçüm izlemelerinin değiştirgeleri (parametreleri- etkenleri) :**

Tünel inşaatının aşamaları ve özellik arz eden gereksinimleri düşünüldüğünde (göz önüne alındığında ) aşağıdaki değiştirgelerin incelenmesi gerekmektedir:

### **- Zemin Suyu**

- Zemin suyu seviyesinin inşaattan önce ve inşaat sırasında gözlemlenmesi
- Tünel aynasına ve kaplamasına gelen su sızıntısının gözlemlenmesi
- Drenaj ve su boşaltma yapıldı ise bu boşaltmanın şeklinin kaydı ve miktarı

### **- Zeminin Deformasyonu (hareketler)**

- o Zemin yüzeyinde ve yüzey altında olan oturmalar
- o Yatay yer değiştirmeye ve hareketler

### **- Zeminin yapısının içsel etkileri**

- Zemin ankrajlarının yükleri
- Tünel kaplamasının bozulma hali
- İnvertte mümkün olabilecek kabarma
- Tünel etrafındaki çözülen (gevşeyen) zeminin artıp-artmadığı (çevreye yayılımı)
- Kaplamanın merkeze doğru gerilme ve teğetsel gerilme ölçütleri
- Kaplamaya gelen su basıncı

### **- Çevresel Gözlemler ( yapılara ve binalara bitişik olma hali )**

\* Özellikle portallara yakın yerlerde ve az kalınlıkta üst tabakası olan tünelerde:

- İnşaata başlamadan önce binaların etüd/rölöve ile durum tespiti
- Oturma ve kabarma ölçümüleri
- Yatay Hareket ölçümüleri
- Eğiklik ölçmeleri (çaprazlaşma)
- Patlatmadan doğacak titreşim ölçmeleri

### **- Yapım Faaliyetinin İzlemesi:**

Ceşitli gözlemlerin verdiği verilerden doğru yorumlama yapmak için inşaat sahalarına bağlı onunla ilgili bilgilere ihtiyaç vardır. Aşağıdaki bilgiler gözlemlenmeli ve kayıt edilmelidir:

- Tahmin edilmiş zemin ile karşılaştırılan gerçek zemin şartları

- Belirlenmiş kaya klası
- Kazı sürme metodu ve kazı hız değeri
- Geçici destek elemanları cins ve tipi ve süresi ve de yerleştirme kademelendirilmesi ve herhangi ilave zemin iyileştirilmesi
- Tünel aynasının durumu
- Olağanüstü olaylar

#### **4.3- Tünel En kesiti Gözlemlemesi:**

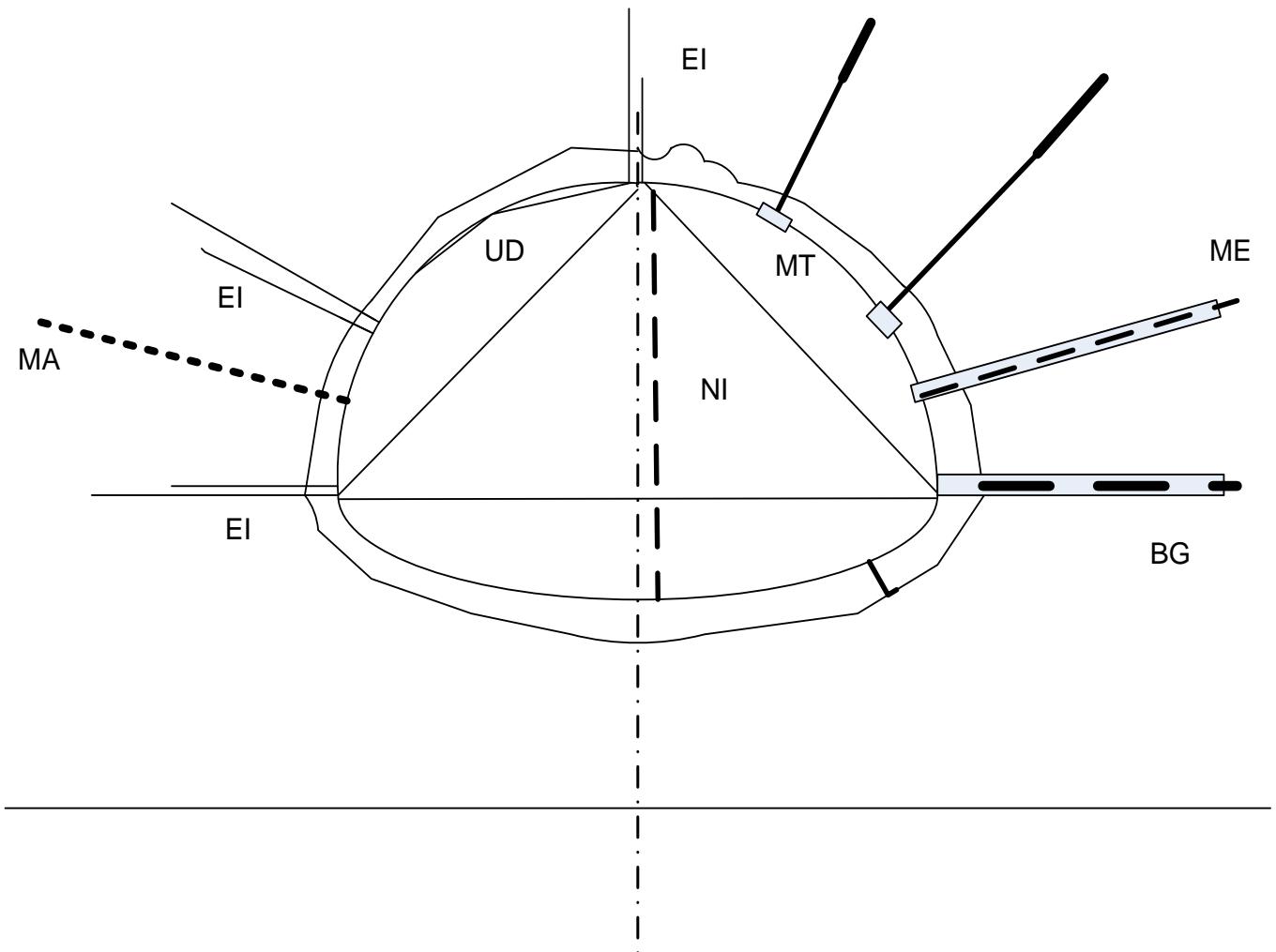
Tünel en kesiti üzerinde cihaz yerleştirmek için yer seçimi; okunan değerlerden en fazla yorum ve bilgi alacak şekilde yerleştirilir. Aynı okuma kesitine birkaç çeşit izleme cihazı yerleştirme düzenlemesi en iyi uygulama olacaktır. Zemin değeri inceleme ve tünele yerleştirilmekte zeminin klaslarının gereği iki veya üç çeşit sıralama yapılan en kesit gözleme kesiti oluşturulabilir.

( Bunlar: A: muntazam-düzenli gereksinim; B: orta seviyede detaylı; C: esas inceleme kesiti).

Düzenli-normal ölçüm kesitinde iki ila altı konvergenz ölçümünü verebilecek üçgen ölçüm bulonları mevcuttur.(1-2 yatay,H1; H2, bir düşey, V; 2-4 Çapraz-diyagonal, D1-D4). Derin olmayan (yüzeye Yakın-örtü kalınlığı az) tünellerde inşaatlarında yapım sırasında zemin yüzeyindeki deformasyon (oturma)ları ölçmek için izleme noktaları tesis edilir. Ölçümlerden sağlanan bilgiler; inşaat metodу verimliliğinin tamamen ortaya konulmasına yardımcı olur. Konulan cihazlar (tesisler) ucuzdur ve ölçümler çok hızlı yapılabilir, izleme kesitleri hat(güzergâh) boyunca düzenli olarak yerleştirilir.

Esas inceleme kesitinde tüm zemin değerleri gözlenmelidir. Kaya zemin tünellerde düzenli(normal) teçhizatlandırma kesitindeki cihazlara ilaveten yerleşik bulon(ankraj) okumalarını gösteren basınç hücresi, ankraj yük hücresi, ekstensometre ve piyezometre de dahil edilmelidir. Basınç hücreleri tünel çevresi boyunca düzenli(paternli) olarak yerleştirilir. Aşağıdaki şekilde normal (regular) olarak cihazlandırılmış kesit görülmektedir:

- KV Üçgen ölçüm hattı
- UD Çevre deformasyonu
- E Extensometre
- ME Mini extensometre
- MA Ölçme Bulonu
- MT Ankraj yük hücresi
- BG Anraj Deligi'ne konulan Basınç Hücresi
- NI Seviye ölçme çubuğu



Cihazlar tünel içine yerleştirilir. Elbette bu şekildeki tesis etme bize bize tünel aynasının kazısından sonra ve geri kilometreler hakkında bilgi verir. Pilot tünel, şaft, yaklaşım tüneli veya iki paralel tünel kazılacak ise ana tünele daha isabetli tesis kurma ve cihazlandırma imkânı doğar.

#### 4.4 Ölçüm Cihazları :-

Tünel ölçümelerini şöyle özetleyebiliriz:

- 4.4.1- Tünel çevre kaplama hareketleri / deformasyonları ölçümleri
- 4.4.2- Tünel Kaplaması gerilme durumu ölçümleri
- 4.4.3- Ankrajlara gelen yüklerin ölçümleri
- 4.4.4- Tünel çevresi zemin deformasyon ve hareket ölçümleri
- 4.4.5- Tünel civarı Su seviye ve hareketleri ölçümleri
- 4.4.6- Tünel civarı Bina hareketleri ölçümleri
- 4.4.7- Patlatmalı kazılarda çevreye etki ölçümleri

Basit ölçüm sistemlerinden teorik(sofistike) biçimlerde basınç ve deformasyon cihazları ve kayıt şekilleri geliştirildi. Bu kadar çeşitli cihazlardan en uygunu; kolay ve hızlı tesis edilen, basit olan, kullanılıp

kalibre edilebilen ve okuma değerine güvenilen cihazdır. Ancak bu cihazların yerleştikten sonra iş bitimine kadar uzun ömürlü, dayanıklı olması da dikkate alınır.

Aşağıda bazı özellikli ölçüm cihazları listelenmiştir. Bu cihazların hepsinin aynı anda tünel zemini parametrelerini bulmak için kullanılması gerekmeyebilir. Bunlardan birkaç yeterli olabilir.

#### **4.4.1 Kaplamanın Hareketi-yer değiştirmesi:**

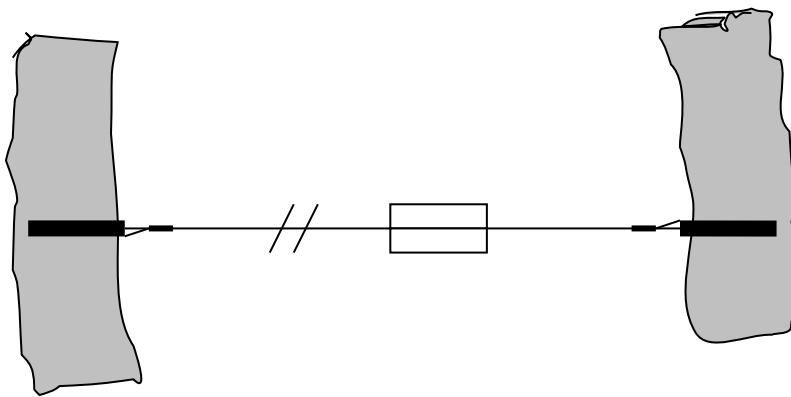
##### **a)- Tape ekstensometre kullanarak üçgen ölçümü:**

###### ***Uygulama:***

Şaftların, yeraltı boşluklarının ve tünelerin merkezi (radyal) hareketlerine bağlı kaplamanın ölçümü, Konvergenz ölçümler tünel deformasının tüm etkileri hakkında çokça bilgi verir. Bu cihaz ile ölçümler noktanın gerçek hareketinin bilgisini tam vermeye uygun değildir, fakat stabilite analizi için oldukça hassas ekipmandır.

###### ***Uygulama Prensibi:***

Portatif olan ölçüm cihazı; püskürme betonuna veya az delinen kaya deliğine enjeksiyon ile tutturulmuş olan referans demir çubuklarının arasındaki hareketleri (yer değiştirmeleri) ölçer. (bkz: Şekil )



## **Ölçüm cihazının özellikleri:**

### **Parçaları:**

Bu ölçüm aleti ortasında oldukça hafif çerçeve mevcut olup hassas sonuç almak için bu bölümde son değerleri almak üzere okuma merceği vardır (ince ayarlı mikrometre gibi). Cihaz gerdirilip iyice tutturulur, bu çerçevenin bir tarafında sabit kısım, ortada serbest uç mevcuttur. Serbest ucu gerdirerek son pozisyonu getirilip pim ile son şekli tespit ettirilir. Okuma tüm uzunluk okunarak kayıt yapılır. Tarif ettiğimiz cihazın ölçme hassasiyeti **0,05** mm dir. Yani bu cihaz, tünel en kesiti üzerinde tespit edilmiş iki noktanın ara mesafesini milimetrenin yüzde beslik hassasiyeti ile ölçer.

Bu okumalarla iki yan duvar arası mesafeyi veya tavandaki nokta ile yan duvarda mevcut nokta arası mesafeler ortaya konmuş olur. Ölçüler kazıdan sonra her gün bir hafta süre ile yapılır. Daha sonra iki günde bir ölçü yapılır. Hareket var ise ve önemli ise ölçme sıklığı daha kısa olur. Bu ölçülerin gün gün grafiği çizilerek hareketin hangi noktalarda ve ne miktarda olduğu kayıtlara göre değerlendirilir.

Bu deformasyonlar beklenenin üstünde ise ilave destek gereklidir. Bu projelendirilip uygulanır ve yine o bölgede ölçüm yapılır. Eğer hareket önceden tahmin edilen ve istenen seviyeye getirilmiş ise destekleme işi durdurulur. Eğer yine deformasyon var ise onu karşılayacak yeni destekleme elemanı yerleştirilir.

Bu ölçüm aleti ortasında oldukça hafif çerçeve mevcut olup hassas sonuç almak için bu bölümde son değerleri almak üzere okuma merceği vardır (ince ayarlı mikrometre gibi).

Cihaz gerdirilip iyice tutturulur, bu çerçevenin bir tarafında sabit kısım, ortada serbest uç mevcuttur. Serbest ucu gerdirerek son pozisyonu getirilip pim ile son şekli tespit ettirilir. Okuma tüm uzunluk okunarak kayıt yapılır. Bu okumalar iki yan duvar arası mesafeyi veya tavandaki nokta ile yan duvarda mevcut nokta arası mesafeyi ölçer.

**Ölçme peryodu:**

Ölçüler kazıdan sonra ilk hafta her gün yapılır. Daha sonraki haftada iki günde bir ölçü yapılır. Hareket var ise ve önemli ise ölçme sıklığı daha kısa olur. Bu ölçülerin gün gün grafiği çizilerek hareketin hangi noktalarda ve ne miktarda olduğu kayıtlara göre değerlendirilir.

Bu deformasyonlar beklenenin üstünde ise ilave destek gereklidir. Bu projelendirilip uygulanır ve yine o bölgede ölçüm yapılır. Eğer hareket önceden tahmin edilen ve istenen seviyeye getirilmiş ise destekleme işi durdurulur. Eğer yine deformasyon var ise onu karşılayacak yeni destekleme elemanı yerleştirilir.

### **Kullanım Prensipleri :-**

Elle taşınabilen bu cihaz, ilk kaplama olan püskürme betonunda veya enjeksiyon ile kısa delgi yapılarak konulan referans bulonlar ikilisi arasındaki hareketleri ölçer.

Tape ekstensometer ünitesi eşit aralıklı hassas delinmiş delikleri olan paslanmaz çelikten mamul ölçüme şeridini üzerinde taşıır.

#### ***Avantajları ve sınırları:***

- Pozitif şekilde şeridi gerdirerek okuma yapmak çok kolay, gerçekçi ve basittir.
- Bir insan tarafından kullanılabilir ve genellikle okuma bir uçtan yapılır.
- Ölçü aralığı 1 ile 20 m arasındadır.
- Bağıl bir ölçü alınır, sıcaklık değişimi metre boyunu az da olsa etkiler.

#### ***Performansı, verimliliği:***

- Operatörün deneyimine bağlı olarak tüm ölçme işlemi hassasiyeti 0,1 mm 1/100 mm dir.
- Ekstensometre şeridi normal şantiye koşullarında mekanik hasara dayanıklı ve paslanmazdır.
- Bir okuma yalnız bir operatör tarafından 2-3 dakika içinde yapılır.

Ölçüm referans noktalarının tesisi:- Referans noktaları, önceden belirlenen paternlere göre konulur.

Önceden projelendirilir.

#### ***b-) Zemine temas etmeden yapılan üçgen (deformasyon ) ölçümleri:***

Genellikle ölçüm ekipmanı, yüksek hassasiyette üçgen ve mesafe ölçümlerini yapan hassas cihazlar ve bilgisayarları kapsar.

Elektronik cihazlar, vibrasyon, toz ve nemlilik vs tesirleri altında hata vermeye özellikle meyillidirler. Tünelin kendine has çevresel çalışma şartları; tekrar tekrar göstermiştir ki, özenle seçilmiş ekipmanın performansına dahi göz ardı edilmeyecek zararı verir.

Bu sebeple, çalışma koşulları olması durumlarında yapılan ölçümlerin hassas kontrolu gereklidir. İlaveten, ekipman bedelinin de kabul edilebilir belli bir seviyede tutulması gereklidir.

Konvergenz bulonlarında olduğu gibi + / - **1 mm** den daha hassas değerlerin ölçümünün başarıla bilmesi için kaplama üzerinde tespit edilmiş belli-yeterli hedefler olmalıdır.

Ölçme değerlendirme ekipmanına ait ekstra masraf ile hedefler arasındaki değerlerden küçük olanı seçilmelidir. (Şekil 13- 4)

Sonra şunları belirlemek mümkündür,

- Kesitteki deformasyon ölçümünün tamamlanması,
- Profilin fazla veya eksik kazılması durumunun ortaya çıkması
- Toplam ölçülen kesit alanı; tüm teorik veya proje alanı gibi
- 

#### ***c – Kaplamanın Oturma Ölçüleri***

Seviye hassas ölçümleri gibi, kaplama deformasyonları da topografik tünel ölçüm cihazları ile gerçekleşebilir.

Çoğu durumda üst yarı kazısının tavan ve taban noktaları ve bazen de invert gözlenir.

## **4.2 Kaplamanın Gerilmeleri**

### ***a-) Hidrolik Basınç Hücresi***

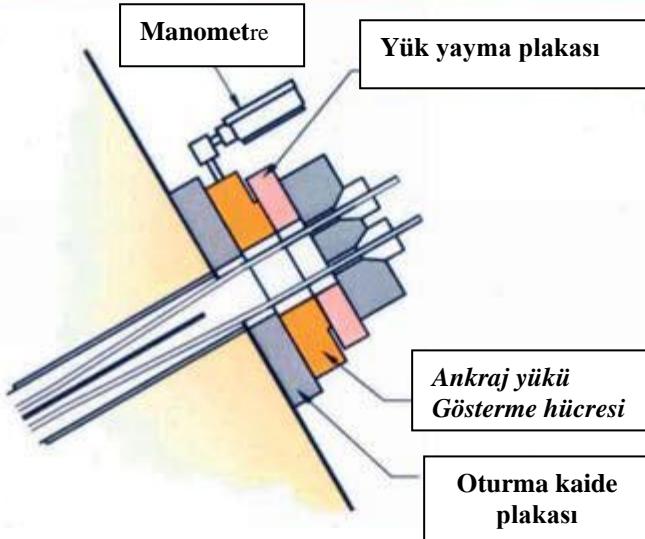
#### **Uygulanışı**

Tünel kaplamalarında gerilme dağılımlarının ölçümü için iki çeşit düzenleme kullanılır; birincisi: çevresel yönde tesir eden püskürtme betonu ile kaya yüzeyi arasındaki basınçların değerlendirilmesi, diğer biri de püskürtme betonu kaplamasına dikey olarak tesir eden basınçların ölçümü.

#### **Yapım – çalışma Prensipleri (yapım ilkeleri)**

Hidrolik basınç hücresi kaya yüzeyine veya püskürtme beton yüzeyine yerleştirilmiş tablalı bir krikodur, böylece değeri artan beton basıncı tablalı krikoya etki eder.

Tablalı hücre basınç haznesine bağlanmış yaygın tipi Glötzl hücresidir. Ölçüm cihazından hücrenin hidrolik sistemini diyafram ayırrır. Hücreyi sıvı ile (genellikle petrol türevi yağı) dolduruktan ve az bir basınç uyguladıktan sonra doldurma tüpü kapatılır. Hassas valf ile pompaya bağlı basınç hattındaki basıncı artırarak hüre basıncı dengelenip düzeltılır. Akışkan (sıvı) diyafram geri döndürüldüğü zaman sıvı madde geri dönüş 2. hattı ile geri döner. Basınç yaratılması balansı (= düzeltilmesi) duyarlı manometrede okunur. Tüm sistemdeki birkaç hücrenin okunmasının kolaylığı için tüm sistem valfler ve dağıtım sistemi ile birbirine bağlanır.



### **b-) Püskürtme beton İçsel Gerilme ölçeri: SSM-1 (shotcrete strain meter)**

Uygulamaları;

Gerilme ölçüm değerlerinin etkisi tegetsel doğrultudadır.

Püskürtme beton gerilme ölçeri; inşaat sırasında püskürtme betonunun yük alması süreci ve taze püskürtme betonun malzeme özelliklerinin teknik gereksinimlerine her iki hale uygun olarak projelendirilmiştir.

Cihaz basınç gerilmesini olduğu gibi çekme kaydı olarak kaydedilebilir.

Bu suretle bu cihaz, tünel kaplamasındaki gerilmenin ortaya koyulması için değerli bir cihazdır, çünkü özellikle gerilme ölçerin (duble ekipmanlı) uygun düzenlemesini kullanarak eğilme gerilmesini dahi ölçme mümkündür.

Avantajları;

Özellikle konvensiyonel ölçüm metodu ile karşılaşıldığında, uygulamanın yönteminde, aşağıdaki avantajların olduğu bellidir.

- Yerleştirme metodunda önemli miktarda tasarruf (kazanç)
- Beton dökümünden sonra veya püskürtme beton atımından hemen sıfır okuma yapılması
- Ölçüm sonuçlarında daha iyi gerçeklik ve yüksek hassasiyet
- Toplamda daha az masraf

## Gerilme Ölçerin Prensipleri ve Cihazın Açıklaması

Resimdeki SSM-1 püskürtme gerilme ölçeri, priz alması yavaş ilerleyen, yavaş sertleşen püskürtme betonu içine gömülü iki paralel çelik çubuk ile ortada bunlara bağlı tüpten oluşur. Püskürtme betonun deformasyonu, iki çelik çubuğu bağışlı hareketini orta tüpe deformasyon olarak ileter.

Bu deformasyon, sıcaklık etkisinin tesir ayarı ile düzeltılır. Orta tüpe iyice yapıştırılmış uzama ölçüsü kabulü yapılır. Sayısal değer dıştan okuma cihazından okunur.

Okuma hassasiyeti (kesinliği) 1mm/ 1 m dir. = 1/1000 dir.

İki sağlam çelik çubuktan merkezdeki tüpe yük aktarması gerçekleştirilebilir garantili ölçümlemenin prensibi oldukça basittir. Yaş püskürtme betonu içinde olduğu gibi kritik durumlarda güçlük olabilir. Tüm hassas parçalar, yaş püskürtme betonundaki sonuçtan oluşan mekanik, rutubet hasarına ve paslanmaya karşı gereğinden fazla korunmuştur.

### Yerleşim şekli ve Okuma biçimi: Şekil 13-6b gibi

Şantiyede hızlı yerleştirme şeklini garanti altına almak için SSM-1 cihazı; nemden korunmuş kutu ve en yüksek derecede birleşmeyi sağlayan fişler, arzu edilen uzunlukta kabloları taşıyan komple takım olarak dağıtilır ve satılır. (temin şekli böyledir) .

Yanlışlıklardan korunmak için, gergi metresi, kabloları ve dağıtım kutusu açık ve anlaşılır bir şekilde (montaj için) işaretlenir.

Gerilme ölçer; hasır çeliklere tel kablo veya kablo bantları ile bağlanır.

- Eğer ikili ekipman kurulur veya belli gabariler (yerleşim ölçüler) gözlenirse, hasır çeliğin buna uygun şekilde önceden yayılması tercih edilir.
- Yerleştirilen gerilme ölçerin yeri tam ölçüler ile yerleşim raporuna kaydedilir.

Birkaç cihazdan gelen okuma kabloları, ahşap kutu içerisine yerleştirilmiş merkezi dağıtım kutusuna bağlanmıştır. İnşaat üretiminin gecikmesini azaltmak için okuma soketlerinin son yerleşimleri üretimi engellemeyecek şekilde ayrı bir işlem olarak yapılabilir. Sıfır okuma püskürtme beton atılması biter bitmez veya betonda kalıp açmanın ardından derhal yapılmalıdır.

Ard arda okumalar, diğer çalışma işlemlerini rahatsız etmeden ve gerektiği sıklıkta yapılmalıdır.

Tüm bunlar, elle ve kolaylıkla taşınabilir okuma cihazı ve ölçü kablolarının bağlanması ve sonra okumaların not edilmesi için gereklidir. Basit okuma işlemi ve doğru ölçümü başarır. Hem gerilme ölçerinden hem de okuma cihazlarından yanlış okuma neticesi hasar riski yoktur.



Gerilme ölçer cihaz Parçaları  
yerleştirilmesi



Gerilme ölçerin kaplama içine

### Tespit, değerlendirme

Okumalar kabul edilir özel formlar üzerine kayıt edilir. Bu suretle, önceki okumaların farklılıkları, olduğu zaman derhal tanımlanabilir. Bu sonuçların kayıtları, zaman – deformasyon diyagramında olduğu gibi, tetkik edilen yapının gerçek gerilme varlığının hızlı olarak tanımlanmasını mümkün kılar.

Aşağıdaki maddelerde bulunan tanımlamaları hemen kapsar:

- Gerilme tipi, (gerilme, basınçlandırma, bükülme)
- Zorlanmanın bağıl ölçüsü, (miktari)
- Üç doğrultuda zorlanmanın dağılımı

Ölçülen deformasyondan oluşan zorlanma- gerilim hesaplanması; özellikle püskürtme beton atılırken yapılmış laboratuar testlerinin de eklerinde sunulmasını gerektirir. Bu testler ile; şantiyede uygulanan püskürtme betonun kendine has gerilim-gerilme bağlantısını sağlamak mümkündür.

Testler sünme ve gevşeme davranışlarını da göz önüne alır.

Test örnekleri gerçek şantiye şartları altında ve şantiyedeki malzeme ve ekipmanları kullanarak üretilmelidir. Bu örneklerde uygulanan yük gerilme kontrolü **yapılabilir** biçimde teşkil edilir. Yapıldığı bilinen gerilme ölçümu gibi, tipik deformasyondan gelen gerilme de adapte edilir (dönüşürlür.)

Bu suretle şantiyede ölçülen gerilme işlemi için gerekli olan zorlanma kademeleri bulunabilir.

Test sonuçlarına bağlılı gerilme özetinden zorlanma hesapları için özel bilgisayar yazılım elde edilebilir. Yazılım, gelen basınç kuvvetlerini ve eğilme momentlerinin hesaplarını dahi kapsar.

Bazı testlerde numunelerin kırılıncaya kadar deneyi yapılır, kırılmış (başarısız) testler ve o degerdeki zorlama tayin edilebilir. Bu şartlara göre gerçek püskürtme beton kaplamasındaki mukavemetten faydalananma derecesi sonuçları çizilebilir.

Bu doğrudan olmayan zorlama ölçmesi, bu gün halen egemen olan tüm gerilme analizi ile benzesir ve onlarla kıyaslanabilir. Bu sebeple, kaplamanın yerleşiminden sonra 3 (üç) gün içinde gerilme dağılımının ölçümünün ilk ölçümünü yapmak mümkündür.

Kazılan tünel boşluğu etrafındaki gerilme dağılımının önemli bir parçasının sıkılıkla bu ilk peryotta meydana geldiği tünel uzmanları tarafından bilinir. Bu ilk 3 günlük zaman, iş üremesinin ve püskürtme

Betonu malzeme özelliklerinin her ikisinin birden gerilme oluşumu ve deformasyon oluşumuna en güçlü etkileri olduğu süredir.

Gerçek arazi tecrübe, SSM-1'in tüm uygulamalarında güvenli ve faydalı bir ölçüm cihazı olduğu ispatlanmıştır. Diğer taraftan zeminin davranışına (kazı metodu ile destek elemanlarının uygulama durumuna bağlı olarak) hızlı bir biçimde tepki vermesi mümkündür. Çünkü bu cihaz **anında etkilenebilir** verimlilikte olarak yapılmıştır. Ayrıca bu cihazın kolay taşınabilirliği ve katı cisim olarak yapıldığı için, uzun süreli işlerde kontrol işlerinde bu cihaz tercih edilir ve kullanılır.

Hepsinden de ayrı olarak; iyi kullanımıla, laboratuvar test destekli olarak ve değerlendirmeler ile gelecekteki yapıların projelendirilmesinde karar vermede yardımcı olacağı umulur.

### **Uygulama**

Gerilme ölçü cihazları doğrudan çelik iksaya tutturulur ve grimle ölçüleri, baskısı, eğilme momenti ve normal kuvvetlerin iksa üstündeki durumları hesaplamada kullanılabilir.

Çeşitli şekilde gerilme ölçer uygulamaları, çelik iksa tip ve çelik şekline uygun olarak temin edilebilir ve bu cihazlar istenen bu çelik iksalara tespit edilir.

## **ANKRAJLARA GELEN KUVVETLER**

### **a)- Ölçme bulonu:**

#### ***Uygulaması;***

Bu, kaya formasyonunun destekleme ringinin sistemli ankrayılandığı yerlerde, tüm yer altı boşluk yapılarında çok kullanışlı bir ölçüm metodudur. Üzerinde ölçü cihazı bulunan ankrayı genleşme ölçer yani ekstansometre ve ankrayı ile bağlantılı şekildedir. Kayanın gevşeme tesirine bağlı olarak oluşan yüklerin bulunduğu yerde bu metot ile o bölge derinliklerinin oluşumu ortaya konulabilir. Bu sebeple bulonun tutturulacağı yerin ve yerleşik bulonun doğru elverişli seçilmesi halinde buradaki değerlendirmeler iyi sonuç verir. O zaman bulonla inceleme metodu uygun olur.

### **Avantajları:**

- Sistem konulan ankrajın yerini alır,
- Özel bir delgi makinesi istemez mevcut bulon delme jumbosu buna gerekli delgi işini yapar,
- Üzerindeki değerler mekanik olarak kolayca okunur.

Mekanik ölçüm ankrajının içi boş bir ankraj gövdesi vardır. Gövdede belli kotlarda okuma yapılabilecek 4(dört) ayrı boyda çubuk vardır. Baş kısmında okuma ölçüği(cihaz) ve düz plakalar mevcuttur. Bu ankraj kesit ve malzeme yapısı olarak mevcut destekleme ankrajına uyumludur. Ölçüm çubukları minyatür boyutta ankraj başlıklarına bağlanabilir. Bu suretle mekanik ölçüm çubuklarının uzama değişiklikleri veya her bir ankraj noktasının aralarındaki basınçlar ortaya konulabilir. Her derinlikteki ankrajların boylarına gelen yüklerin kontrolü böylece mümkün olur.

İnşaat süresi sistem ankrajlarının boyuna denk düşürülmelidir. Yatay ve düşey yerleşim sırasında herhangi bir eğik sapma olabilir. Ölçüm bulonları, sistem bulonları gibi tüm uzunluğu boyunca enjeksiyon ile kaplanmalıdır.

Cihazın okuma hassasiyeti 0,01 mm dir.

### **b) Load Cell / Yük Hücreleri**

Uygulamaları:

Yükün kontrol ve ölçüyü şunları kapsar;

- Kaya bulonlarındaki Yüklerin ölçümü
- Kablo Ankrajı ve Gergi teli (tendon) lerin gerilmelerinin ölçümü

İşlem Prensipleri:

Ortadan delikli hücrelerin kendisine gerilme ölçer kaynakla yapıtırlmış sağlam çelik gövdesi vardır. Çelik gerilmelerinin ölçümünden ankraj kuvvetleri hesaplanır. Herbir yük hücresi kullanılmadan evvel kalibre edilmelidir.

Gerilme ölçerlerin yerleştirilmelerinin uygun şekilde düzenlenmesi halinde bunların basınç altında merkezden kaçık durumda olması halini veya onlardan herhangi birinde kırılmış kopmuş tel olduğunu anlamak mümkündür.

Avantajları ve sınırları:

- Cihaz basit, sağlam ve güvenilir bir alettir.
- Veri (data) alımı, tarama ve okuma sonucu çıkarma için ideal cihazdır.

Verimi:

1000 tona kadar ölçme yapabilecek ağır yük hücreleri temin edilebilir.

**Yük Hücrelerinin Kurulumu**

En güvenli sonucu işlemden almak için yük hücresi altına konulan dayanma yastığı; yapı betonu yüzüne paralel olacak şekilde yüzeyi düzgün olarak hazırlanacak ama yastığın kuvvet uygulanacak yüzü bulon veya ankraj çekme doğrultusuna dik olacaktır. Germe için takım merkezlenir ve bulon veya kabloya az bir gerilme verilecek şekilde tutularak konumu ayarlanır. Tam gerilme yastık betonu priz alınca 2-3 gün sonra tatbik olunur. Daha çabuk gerdirmeye ihtiyacı olursa o zaman yastık betonuna priz hızlandırıcı özel katkı konulur. Ancak ankraj ve bulonların kendi enjeksiyonu şartnamesine göre yeterli dayanımını almış olmalıdır.



Yük hücresi genel görünümü.



Yük hüresinin baskı şekli detayı



Yumuşak zemin yüzeyine dağılmış birkaç yük hücre  
Başlıklı bulonlar



Hücrenin açık resmi

## **4-ZEMİN DEFORMASYONU**

### **a)Ekstansometre ( genleşme-uzama ölçer)**

Uygulanışı:

- Tünel kaplaması üstünde bir noktanın hareketinin gerçek ve orijinal değerini saptamak için deformasyonların tespit edilmesi.
- Tünel çevresinde oluşan akma, gevşeme olayları dahil tüm gerilmelerin ortaya konulması

Kullanım Prensipleri:

Tekli çubuk ekstansometre (genleşmeölçer) delik çevresine oturan ve dayanak tübü içerisindenden Geçerek deliğin uç kısmına ankrajlanmış bir çelik paslanmaz çubuktan ibarettir. Ankrajlı uç hareket ettikçe uç kısım ile tüp arasındaki bağıl hareketler çubuğu serbest ucuna tutturulmuş bir ibreli cihaz ile veya bağlantı tüpüne yerleştirilmiş elektrikli güç çevirici cihaz ile okunur ve bu serbest uçtan kayıt yapılır. Mesafenin ayarlanması çubuk (=rod) ucundaki cıvata hareketi ile sağlanır, çubuk ucu ile okuma aralığı ibreli cihazdan sağlanır.

#### **Çoklu çubuklu genleşmeölçer:**

Her bir ekstansometre çubuğu ayrı tüpler içinde ve çeşitli boylarda imal edilir ve aynı ölçüme kafa plakasında birleştirilir. Her bir çubuk bağımsız hareket edebilir, alt uçları farklı derinliklere ankraj şeklinde tutturulur. Gövde zemin ile temastadır, çubuk hareketi serbesttir.

Genleşmeölçerlerin konulması ve okunması kolaydır, sonuçları doğrudur ve güvenlidir.

Okuma hassasiyeti (doğruluğu) 0,01 mm dir.

#### **Çoklu ekstansometre yerleştirme:**

Çoklu cihaz 50 cm çapta genişletilen delik içerisinde konulur, her birinin malzeme çapları 45mm dir. Delgi boyu ekstansometre boyundan 10-20 cm uzun yapılır.

Eğer gerek görülürse çubuk boyaları kısaltılabilir. Bunun için tüp ve kablo takımdan ayrırlır, çubuk veya halat kesilir, dış tüpü ona göre kapatılır ve aynı başlığa birlikte takılır. Kayıt belgesine bu kısaltılmış yeni boy belgelenip kaydedilir.

Ekstensometreler, konulurken başlık kısmı temiz tutulur ve enjeksiyonun tüp içine girmemesi sağlanır. Başlık kısmı zemin veya kayanın yüzeyine yatay olarak tespit edilir. Ekstansometre takımı delinen delik ortasında gergin olarak sabitlenir, havanın çıkışmasını temin için bir boru konulur, kuyu enjeksiyon ile doldurulur. Boru ağzından enjeksiyon dönüsü görülmüşen enjeksiyon işlemi durdurulur ve boru ağzı tipki başlık plakası altı gibi iyice geçirimsiz yapılip enjeksiyon boru ağzı tikanır.

Enjeksiyon içine kumaş vesaire toz katılmaz, bunların içeri girmesi önlenir. Mümkün olursa enjeksiyona biraz şişme katkısı katılır. Enjeksiyon priz alınca çubuklar gerdilir. Hava borusu kesilir. Başlık kısmına koruyucu kapak konulur kapak ve ölçüme cihazları toz darbe vesaire den konulur.

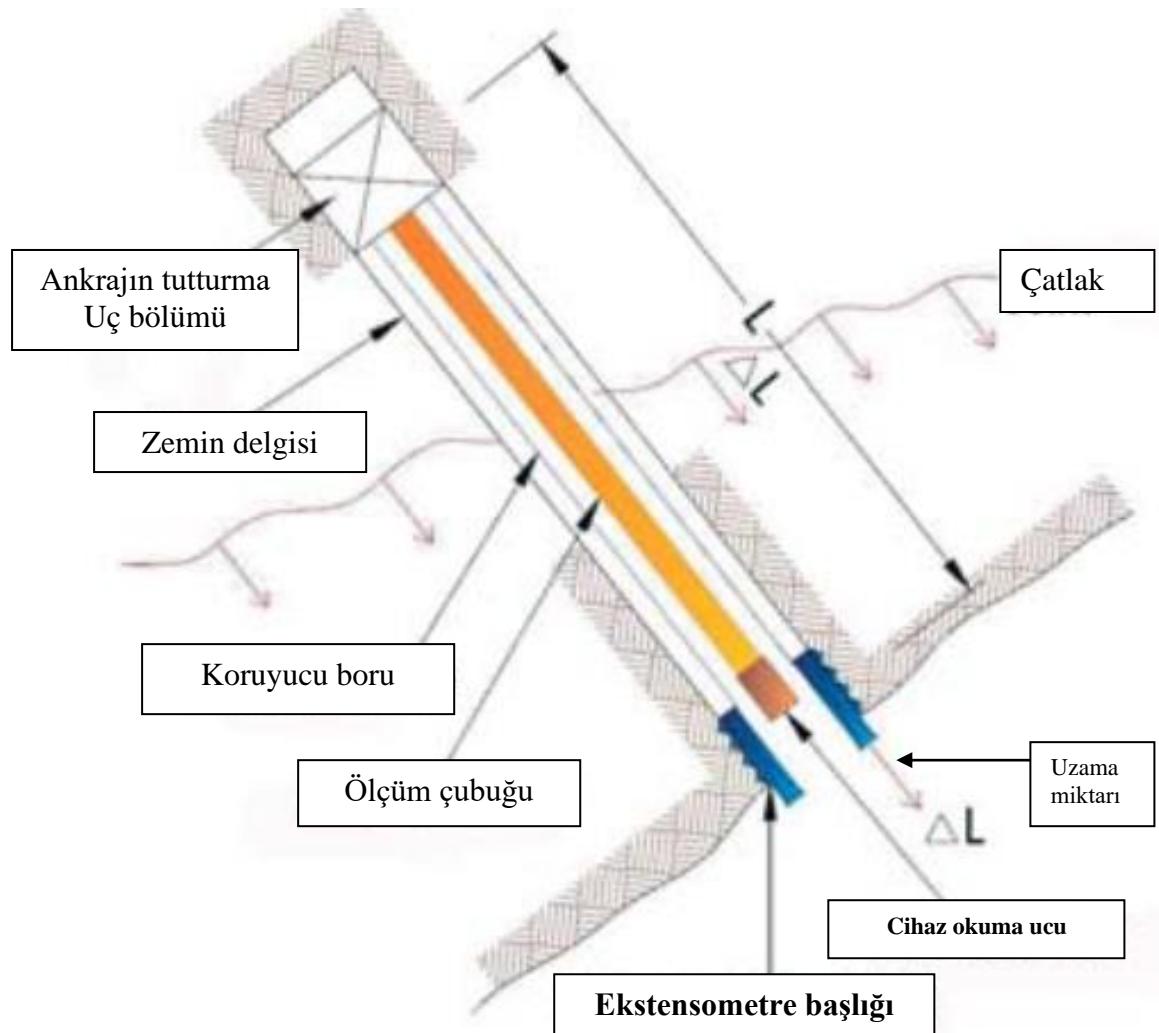
İlk gerdirme yapılmınca sıfır okuma yapılır.

### **Zemin Gerilmelerinin Hesaplanması:**

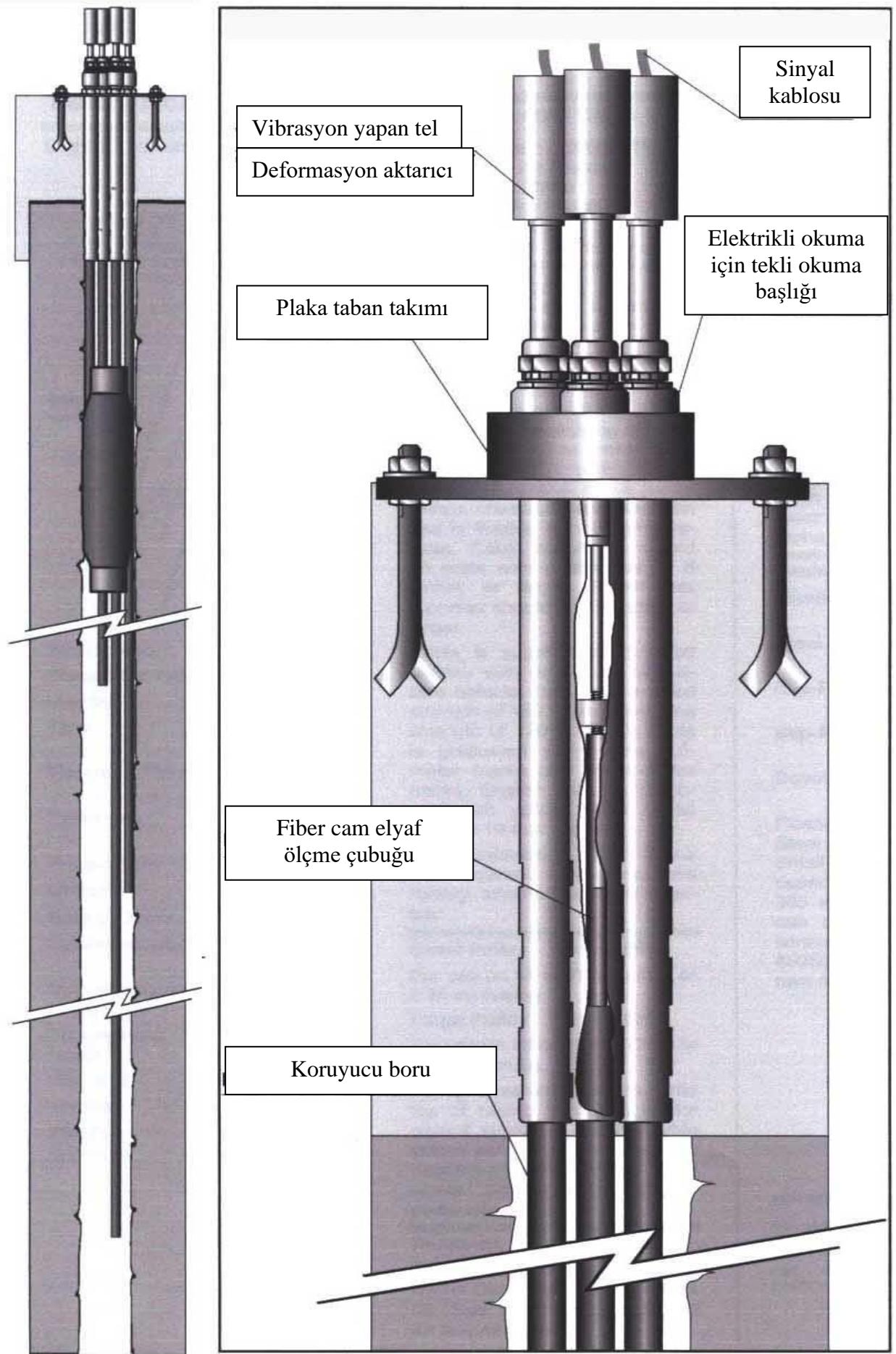
Gerilmeler; her bir kesitteki tekli ekstansometre uzamalarının çeşitli okuma sonuçlarından hesap edilir:

Gösterimde uzamalar;  $e_1, e_2, e_3$ , çubuk deformasyonları;  $d_1, d_2, d_3$  ve çubuk boyları;  $L_1, L_2, L_3$  ise:

Uzamalar:  $e_1 = d_1 / L_1$   $e_2 = (d_2 - d_1) / (L_2 - L_1)$   $e_3 = (d_3 - d_2) / (L_3 - L_2)$  olur.







Elektronik okumalı çok çubuklu Ekstensometre genel görünümü ve açılmış şekli.

### **b) Meyil ölçer, eğimölçer (inclinometre):**

Uygulanışı:

Delik ekseni boyunca zeminin yatay hareketlerinin ölçülmesinde kullanılır.

Kullanım Prensipleri:

Dört adet kanal yatak bulunan giriş PVC tüp, delinen delik içine tüp dışı enjeksiyonla doldurularak konulur. Gerekli görülen ölçüm doğrultusundaki tamamen kuru olan tüpün iki kanalı içerisinde meyil ölçer yerleştirilir ve boru boyunca aşağı yukarı hareket ettirilir. Meyil ölçer içinde hareket ettiği boru doğrultusunun zemin etkisi ile değişmesini algılar ve bu bilgiler bu meyil/sapmaları dışarıdaki göstergeye bilgi olarak gönderir.

Deformasyonlar, 0,5 m ile 1,0 m aralıklarla cihazı derinlere burakarak ölçülür ve portatif okuyucu cihazda veriler izlenir ayrıca kayıt edilir.

#### ***Avantajları ve Sınırlılıkları:***

- Okunuşu ve tesis edilişi basit ve güvenlidir.
- İçte bilgi veren tekerlekli ölçü veren parça(=probe) kalibre edilmelidir.
- Bir cihaz ile aynı çapta konulmuş birçok inclonometre kuyularında ölçü yapılabilir.
- Eğer hareket eden yer varsa bu tüp sayesinde denk gelen o bölüm için deplasman(def) profili çıkarılabilir
- Ölçümler dik iki doğrultuda yapılabilir.
- İnşaat sırasında PVC tüpler çıkarılabilir veya ilave olunabilir.
- Otomatik ve devamlı okuma imkanı yoktur

#### ***Beceri/ başarı ve verimliliği:***

PVC borunun giriş konumu yani boru aksı yer yüzeyine dik olmalıdır. Ama arazi çok dalgalı ise bu +/\_ 30 derece saptırılarak da tesis edilebilir. Boru boyu 200 m ye kadar olabilir.

Hassasiyeti :- ***0,01 derece = 0,175 mm / 1 m de*** (yani 1 metrede 0,175 mm sapmayı dahi ölçübiliyoruz).

#### ***Yerleştirilmesi:***

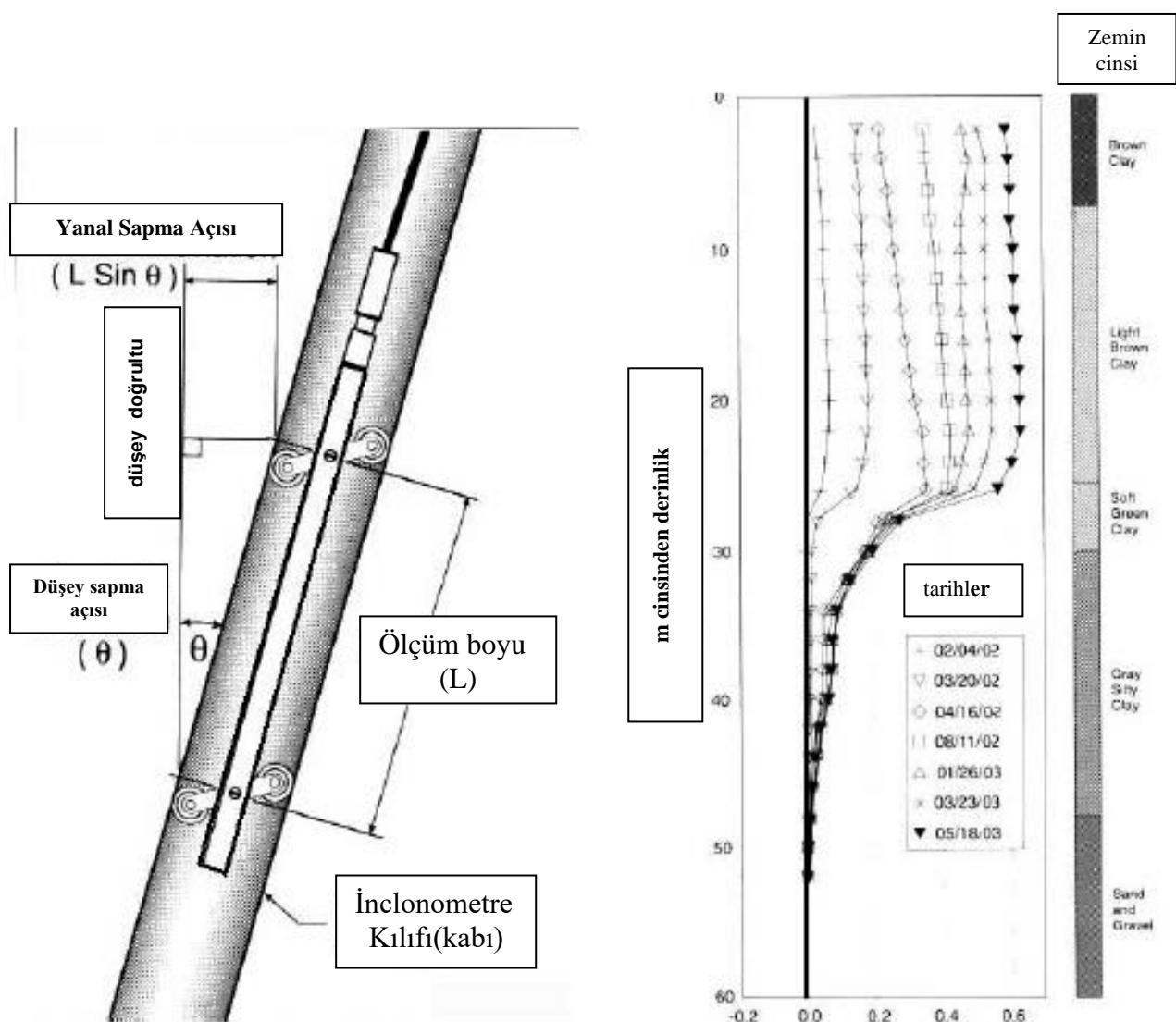
Hareket etmesi beklenen zemin bölgesinin gerisine tahmin edilen derinlikte 10-20 cm çapında delikl açılması en yaygın yöntemlerdendir. Delgi için kaya zeminde darbeli dönmeli makine, toprak zeminde iseburgu kullanılır. Eğer delik göçüyorrsa delgi muhafaza borusu ile yapılır ve boru konulacak zaman o işlemle birlikte borudan istifade edilerek ölçme borusu konulur.

Giriş tüpleri özel yapıştırıcılar ile yapıştırılır. Çevreden ve enjeksiyondan gelen su basınçları boruyu dışarı itmemesi borunun yüzmemesi ve için boru içi su doldurularak yerine konulur, sonra içi sudan arındırılır. Kuru delgide 30 m den daha uzun delgi yapılan yerlerde tüpler birbirinden ağırlıkça ayrılmaması için o uzunlukta alt tüp üst tüpe telle bağlanır.

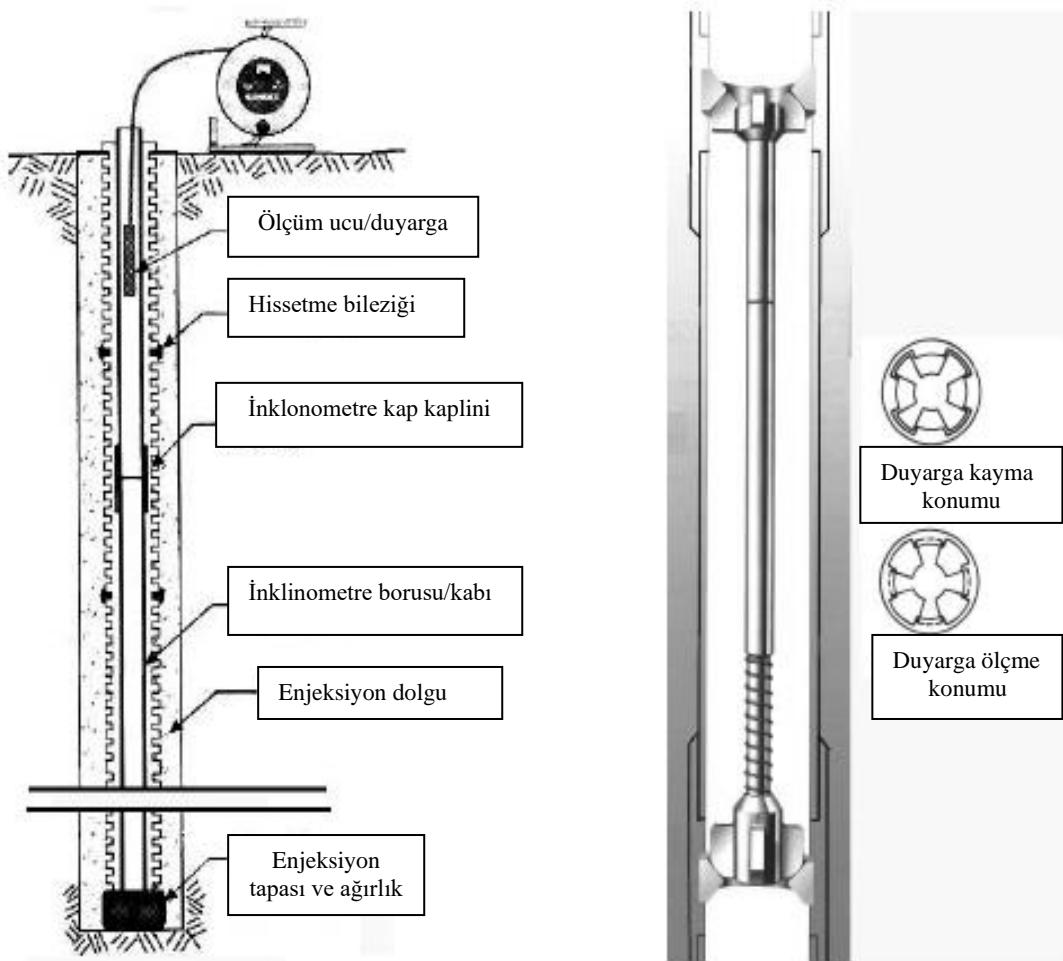
Tüm borular takım halinde; probe denilen ölçücü cihazın hareket edeceği kanallar aynı doğrultuya gelecek şekilde ayarlanır. Kuyunun içi boru dışı boş kalmaması zeminle iyi temas etmesi için termiye ince boru ile ve enjeksiyonla doldurulur. Enjeksiyon çevre zeminin özelliklerini kıyaslayabilmek için, bentonit - çimento karışımından yapılır. Enjeksiyon priz alınca konulan bu giriş tüpü temiz su ile yıkılır.

Yeraltı suyu veya artezyen suyu normal enjeksiyona randıman vermez, bu hallerde özellikle taneli zeminlerde veya çok çatlaklı kayada boru çevre dolgusuna kum veya ince taneli çakıl ilave edilir.

Tüpün zemin yüzeyindeki ucuna okuma cihazına yataklık yapması için  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$  boyutlarında beton yastık başlık yapılır. Tüm kendi ucu, bir kapak ve koruyucu başlık ile sonlandırılır ve boru boğazı ile beton arası da enjeksiyon ile doldurulur.



İnclinometre ölçümünün kesit üzerindeki görünüm örneği:



## 5. ZEMİN SUYU İNCELEME

### a.) Piyezometre / su seviye ölçeri

#### *Uygulanışı:*

*Su seviye ölçümleri* toprak zeminde, zayıf kumlu ve tabakalı zeminde yapılan tünel inşaatında zorunlu ve en temel bilgi toplama değerlerinden biridir. Su seviye ölçme işi tünel proje aşaması sırasında, tünel inşaatı sırasında ve inşaat bitiminden sonra da izlenmeli, değerlendirilip kayıtlanmalıdır. Proje aşaması; su seviyesinin tünel projesinin tipi, destekleme şekli ve tünel yapım metoduna etkisi olacağı için su ölçümlemelerinin proje ve yapım metodu hazırlık merkezine bildirilmesi gereklidir. Tünel inşaatı sırasında su seviye ölçümleri; inşaat sırasında su basınç değişikliklerinin hesabı, bunun tünele etkisini saptamak için gereklidir.

Kaya tünelinde su seviye ölçümü standart değildir, ancak özel durumlar için derin tünelde, ama az derin tünelde basınç yaratma ihtiyali olan hallerde piyezometre incelemesi yapılır.

## **İşletme prensipleri:**

Piyezometreler; boşluk suyunun pozitif değerli boru basıncını ölçerler. Bu cihazlar, suyun kolayca boru içine girmesini sağlamak için bir kısmı delikli eleman olarak yapılmıştır. Piyezometre borusu önceden belirlenen bir derinliğe kadar delinen delik içerisinde yerleştirilir. Piyezometrenin delikli elemanı delik içindeki kum katmanı seviyesine konulur. Filtre zonu üzerindeki delgi, geçirgen yanlara ve bitişik zeminlere yayılmayı önlemek için bu bölümde geçirimsiz hale getirilir. Delik içerisinde değişik seviyelerde birkaç piyezometre konulması mümkündür.

### **Cihaz çeşitleri**

Zeminin geçirimliliğine ve tabakalanma (katmanlanma) durumuna göre seçilmiş çeşitli tipte piyezometreler mevcuttur. Çakılı ve siltli kum olan zeminlerde, uzun süre için güvenirliği olan ve kolayca montajı yapılabilen açık tip piyezometreler tercih edilir. İnce taneli zemin olması durumunda, basınç değişikliklerinin etkisi neticesi oluşacak zaman darlığını azaltmak için kapalı tip piyezometreler gereklidir.

### **Gözetleme Kuyusu**

Bu genellikle eğer gerekli ise taneli zeminlerde keçe veya ağ örgü ile kaplı bir kanal veya borudan ibarettir. Bu tesis zeminin su seviyesini ölçmekte kullanılır. Eğer izleme derinliği boru alt ucuna göre sınırlı ise o zaman boruda yükselen belirli basınçtaki su basıncı ölçülebilir.

### **Açık Piyezometre**

Ölçüm için gerekli su hacmini azaltmak için iç çapı 10-15 mm olan küçük çaplı PVC tesisat borusu geçirimli elemana tutturulur ( casagrande piyezometresi ). Bu tipteki su basıncı borudaki su tablası / seviye için bir bağlantı kurar. Su seviye ölçümü suya sesle veya ışık ile ikaz vermekle ortaya çıkarılır.

### **Hava Basınçlı Piyezometre**

Delikli parçanın esnek bir diyafram perdesi vardır. Bu esnek membranı boşluk suyu etki ve basınç yaparak esnetir. Diğer tarafta hava veya azot ile dengelenir. Eğer ölçüm istasyonu su tablası altında ise dengeleyici bir çeşit yağ bile kullanılır. Genellikle kapalı olan iki tüp hava ile su basıncı eşitlemesi (balansı) için kullanılır. Çıkış tüpünden çıkan havanın verdiği bilgiler ile eşitleme sağlanır. Burada az zaman kaybı olur ve boru içi suya ihtiyaç yoktur. Poroz elemanın doymuşluğuna ihtiyaç vardır. Kaliteli piyezometre bilgileri için özel tedarikçilerin izleme cihazları ve piyezometre çeşitleri kullanılmalıdır.

### **Elektrikli Piyezometre**

Delikli olan tür ve su geçirmez bölüm diyagram tarafından bölünmüştür. Su basıncının uygulanmasına göre diyafram ters yönde hareket eder. Ters yönlendirme, gerilme cihazına yayın gerginliğinin vurması veya gerilme cihazının sürtünmesi gibi bir aktarıcının ölçülmesi ile olur.

Bu piyezometrelerde zaman kaybı azdır ve bunlar çok hassas cihazdır. Titreşimli kablolu cihaz, çok etkin fakat pahalı bir cihazdır. Ölçüm ekipmanları ve çeşitleri özel imalatçılardan temin edilip kullanılabilir.

## **BİNA HAREKETLERİ**

### **a.) Oturma ölçüleri**

#### ***Uygulanışı***

Tesislerin, yapıların ve binaların oturma ölçüleri genelde optik cihazlar ile oturma noktalarının (=oturma istasyonları) seviye ölçümlerinin okunması (kayıtlanması) ile meydana getirilir. Seviye kontrolü yerleştirilmiş oturma noktaları ile veya zemin yüzeyinden daha alta tesis edilmiş (gömülü) noktalarla ölçülür. Referans noktası için işaret noktası okuma yerinden belli bir mesafede tesis edilmelidir.

#### ***İşletme Prensipleri***

Ölçme istasyonlarındaki düzenli ölçümler inşaatın önünde, inşaat sırasında ve inşaattan sonra alınmalıdır. İnşaat süresine bağlı olarak, ölçü alma sıklıkları/aralıkları haftada bir veya ayda bir olabilir. Ölçümün daha sık frekansları günde veya iki günde bir şartı- tünel aynası ölçme yapısına 10 m ye yaklaşınca olduğu gibi kritik inşaat durumlarında uygulanır. Standart cihaz ile seviye ölçme çabuk olur çok zor bir eğitim gerektirmez. Hassasiyetin 5 mm ye kadar inmesi sağlanır. Deneyimli topoğraf 1-2 mm hassasiyetle ölçer. Çok hassas ölçüm cihazı ile 0,1 mm ye kadar hassasiyetin inmesi mümkündür.

#### ***Deformasyon Okuma Noktaları***

Okuma noktaları; sert bir yüzeye tutturulmuş pimlerdir (pim). Bu noktaların kotları doğru ve emin şekilde tespit edilir ve yerleri inşaat sırasında çalışmalardan etkilenmez konumda olmalıdır. Kolay görülebilmeli ve yanına kolay ulaşılabilmelidir. Yapım faaliyetinden evvel tesis edilir ve trafik ile çeşitli çevre etkilerinden zarar görmez olmalıdır.

Binanın ve yapı sisteminin durumuna ve boyutlarına göre çok sayıda ölçüm noktaları konulmalıdır. Oturmalarda farklılık olabileceği düşünülerek binalarda olusabilecek hasar tespiti için bina çevresine en az sayı olarak 4(dört) köşesine 4 nokta konulması düşünülmelidir. Farklı oturmaları anlamak için aynı doğrultuda en az 3(üç) nokta değeri gerekir.

### **b.) Tiltmeter / eğimi ölçer / devrilme ölçer**

#### ***Uygulaması***

Devrilme /eğimi ölçer: Bina ve yapının değişmiş oturmalarının ortaya konulması için ek bir cihazdır ve binanın eğilme/devrilmesini ölçmeye yarar. Bu cihazlar duvar üzerine veya dösemeye monte edilir, ayrıca binanın birkaç yerine de montajlanabilir.

#### ***Çalışma Prensibi***

Bu bir ekip takımıdır ve içinde izleyici ve seyyar eğimi ölçer bulunan ve duvara harç ile tutturulan eğim plakası mevcuttur. Plaka; eğimin değişikliği (açısal değişimeyi) duyan hisseden, referans noktalarını doğrultusuna getiren civileri üzerinde taşıır.

Eğimi ölçerler; iki eksenli değişiklikleri ölçebilirler. Uzun süreli inceleme için eğimi ölçerler kalıcı olarak tesis edilir.

## **TÜNEL YAPIMINDA PATLATMA SARSINTISININ ÇEVREYE ETKİSİNİN ÖLÇÜMÜ**

### **Sismograf / titreşim ölçer**

#### **Uygulanışı:**

Patlatmanın çevreye verdiği hasarın en yaygın şekli zemin titreşimi sonucu oluşur.

Zemin titreşimi çevre binalara etkileşim iletilir. Patlayıcı deliğinde patlayıcı infilak edince bu infilak kayada gerilme dalga hareketi meydana getirir. Patlatma titreşimi ve bunun gibi titreşimin etkileri; yerleşim yeri ve binalara yakın olması durumunda zararlı hale gelebilir. Titreşim dalgaları yapıların üstünden ve altından geçerken bu dalgalar, binaları aşağı yukarı, sağa sola veya ileri geri hareket ettirir.

Depremsel hareket (titreşim)in şiddetine; binalardan/objelerden çeşitli uzaklıklara göre patlayıcı şarj planlarını kabul edilebilir şekilde sokulması suretiyle çeşitli tarzlarda izin verilebilir. Titreşim şiddet hesabı teoriktir ve uygulamada şikayetlere sebebiyet verebilir. Bu sebeple inşaat sırasında, yerinde ve zamanında ölçümler yapılması gereklidir. Kazı ve patlatma sistemi bu ölçümlemeler ile geliştirilir.

Gerçek şantiye şartlarında birkaç ölçüm noktası tesis edilir. Bu işlem genellikle patlatma noktasına yakın binalar üzerine tesis olmalı ve bu civarda birkaç nokta tarafından titreşim algılanmalıdır. Kayıt istasyonları ekseriyetle 500 m mesafede yerleştirilir. Tüneldeki nişlere yanı patlatma noktası yakınına sarsıntı ölçüleri/sismograf konulur, bu bilgiler ışığında kazı ve patlatma usulü modifiye edilir (değişiklik yapılır veya azaltılır).

Sismik dalgalar vasıtası ile oluşan parçacıkların hareketi sismograf yardımım ile ölçülür. Prensip olarak cihazlar aslıda durağan olan varlıkların hareketinin geniş anlamda kayıtlarını yapar. Bu durağan cisimler asında yerçekimine bağlı olarak duran parçalar veya asında durmakta olan çok büyük ağırlığı olan asında durağan halde olan varlıklardır.

Sismograflar hareketin yatayda iki doğrultusun ve düşeyde bir doğrultusu olmak üzere 3 yönde ölçme yapabilirler. Hız ölçen sismograflar; -zamana göre dalga salınımının değişikliğini ölçen cihazlar – patlatma ile oluşan zemin hareketini ölçmek için geniş anlamda kullanılır. Diğer tip cihazlar ise deplasman ve ivme ölçen sismograflardır.

Ölçme cihazının zemin tabanına tam temas ederek tutturulması önemlidir. Bağlantı kablolarının hepsi su geçirmez olmalıdır.

#### ***Izin Verilen Titreşim Hızı***

Binaların yapım şartlarına göre hasar için yeterli hareket seviyesinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Aşağıdaki bazı bilgiler yapılara hasar vermeyen titreşim hızlarının izin verilen standartlarını göstermektedir:

Alman Standardı: DIN 4150 ye göre:

Frekans .. : ..50 – 100 Hz

Hız	40-50 mm/saniye	Endüstri yapıları
	15-20 mm/saniye	Oturulan/yaşanan yapılar
	8-10 mm/saniye	tarihi eser olarak sınıflanan yapılar

İsviçre Standartı: SN 640 312 ye göre:

Frekans....60-90 Hz

Hız	30-40 mm/saniye	sanayi sahası yapıları (betonarme)
	18-25 mm/saniye	Betonarme döşeme + yiğma binalar
	12-18 mm/ saniye	Ahşap döşeme + yiğma binalar
	8- 12 mm/saniye	Anıtsal yapılar

Avusturya Standartı: ÖNORM S9020

.c = 500-3000 m/ saniye için

Hız	30-39 mm/saniye	Endüstri yapıları
	20-26 mm/saniye	Yaşam binaları/apartmanlar
	10-13 mm/saniye	Düşük kalite yapılar
	5-7 mm/ saniye	Anıtsal yapılar

ABD de müsaade edilen en yüksek titreşim hızı **v=50** mm/saniye civarındadır.

İsviçre de kayanın ABD den sert olduğu yerde en yüksek titreşim hızı **v=70** mm/saniyedir.

Kanada, İsviçre ile aynı sertlik kayaya sahiptir orada en yüksek hız **v= 80** m/saniyedir.

İngiltere de maksimum hız **v=50** mm/saniye ve Norveç İsviçre ile aynı **v= 70** mm/saniyedir.

Yukarıda listelenen farklılıklar, genellikle değişik ülke şartları ve değişken kaya koşullarına bağlıdır. Yumuşak kayada zemin titreşim yayılması hızı daha az, ama hepsinden önemlisi, zemin titreşimi hızlı olarak çevreye yayılır ve düşük freksnlarda vibrasyon hızı düşür olur.

Ayrıca patlatma tekniği kitaplarında anlatıldığı şekilde kaya cinslerine göre basınç ve kesme dalga hızı tabloları şunu göstermektedir:

Örnek olarak kilde bu hız 500 m/saniye granitte ise 4500-5000 m/saniye civarındadır.

$$\text{Kayada hız yayılması} \quad v = A \sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}} \quad \text{formülü ile bulunmaktadır.}$$

Burada

$Q$  = Bu patlatma anında konulan patlayıcı şarjı ağırlık olarak **kg**,

$R$  = uzaklık Yapı-patlatma yeri arası uzunluk olarak **m**,

$V$  = vibrasyon parçacık hızı olarak **mm/saniye**,

$K$  = kaya titreşim aktarma faktörü (100 – 400 arasında) sabite  
Kaya homojenliği ve mevcut çatlaklıara bağlı bir katsayı

Bu **K** katsayısına ve şarj seviyesi olarak adlandırılan  $Q/R^{3/2}$  miktarlarına göre hızın (**v**) çeşitli tabloları vardır ve grafik olarak bulunabilir.



SARSINTI HIZI (mm/s)	HASAR
51	Hasar alt sınırı, görünür hasar yok, eski binalardaki hasar bile %5'ten az
127	Hafif hasar, siva çatlağı, ciddi şikayetlerin başlangıcı
305	Tahkimatsız galerilerde göçük
635	Kırılma başlangıcı
2540	Kırılma

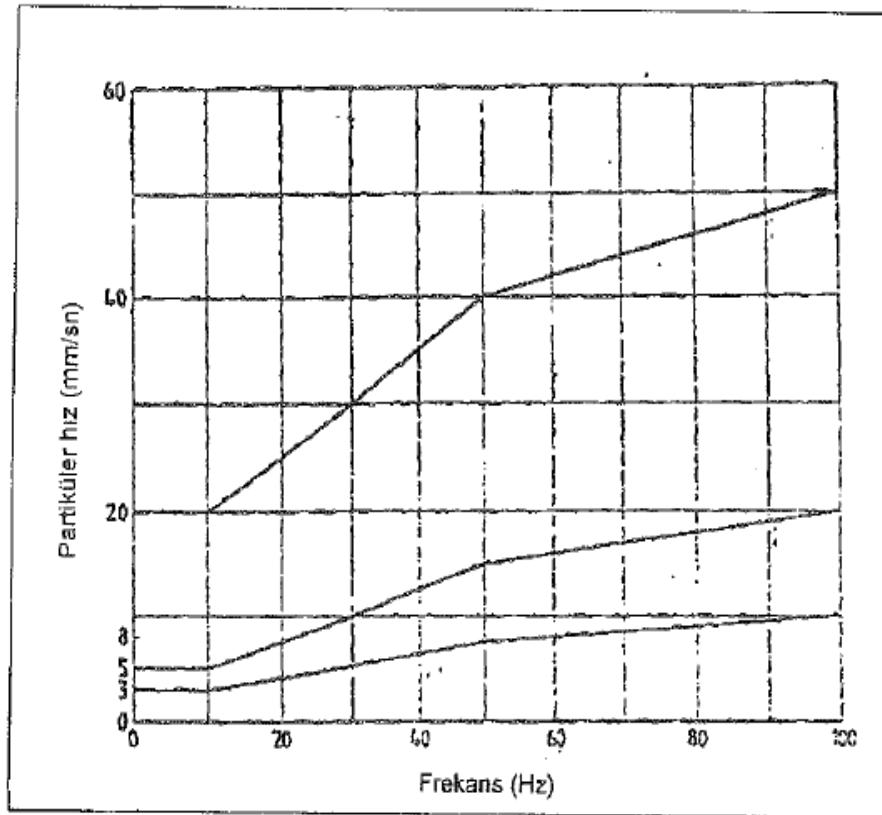
Kayaç içi titreşim hızının ( $V$ )  $1/2 - 1/5$ 'i  $V_0$  değeri olarak kabul edilmektedir

- Tablo 2:Bina temeli titreşim hızı ( $V_0$ ) değerlerine bağlı olarak patlatma nedeniyle hasar görebilecek bina türleri

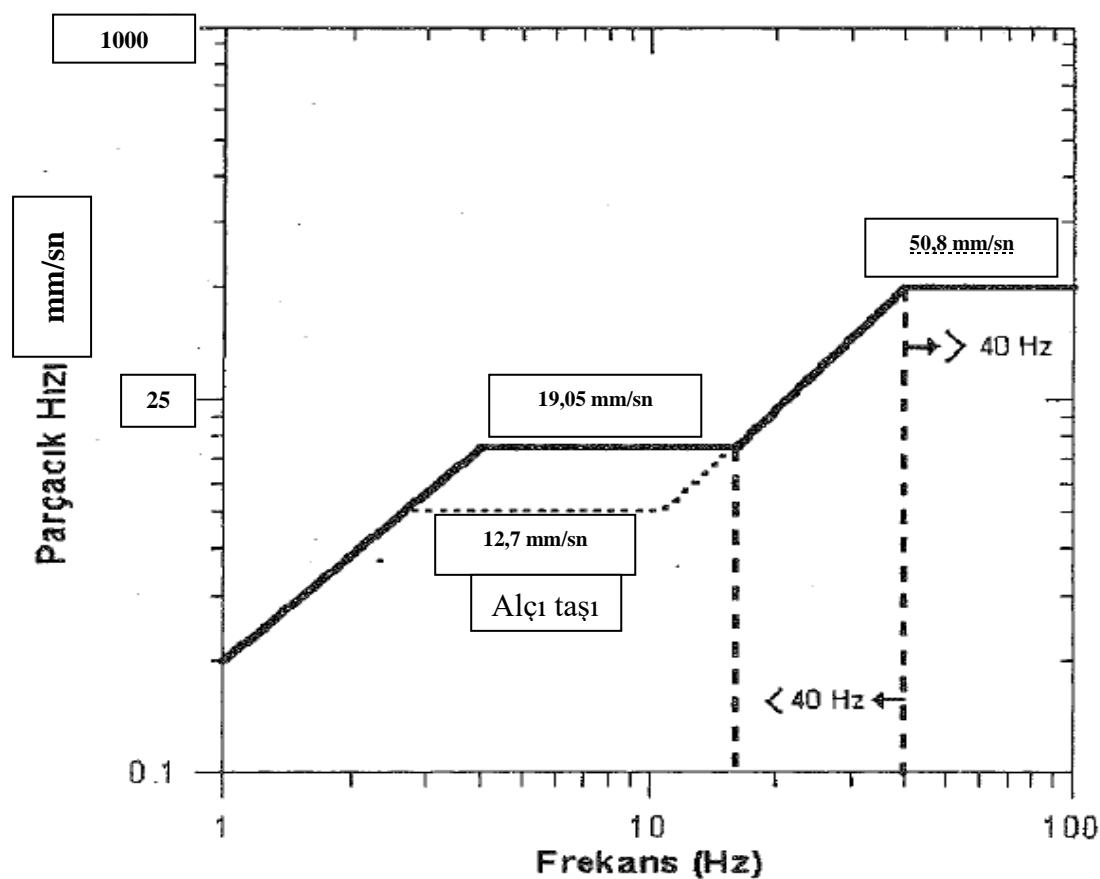
Bina Türü	$V_0$ (mm/sn)
a-Yıkılmaya yüz tutmuş çok eski tarihi binalar	2
b-Sıvalı biriket, kerpiç, yiğma tuğla evler	5
c-Betonarme binalar	10
d-Fabrika gibi çok sağlam yapıda endüstriyel binalar	10-40

Tablo-23:Patlatma yapılan kaya türü ve bina temeli altındaki kayaç türüne bağlı olarak değişim gösteren K katsayısı asgari ve azami değerleri

Patlatma Yapılan Birim	Temel Altı Kayaç Türü	K Katsayıları	
		Minimum	Maksimum
Kaya	Kaya	0.57	1.15
Kaya	Kil (Toprak)	1.15	2.30
Kil (Toprak)	Kaya	1.15	2.30
Kil (Toprak)	Kil Toprak	2.30	3.40



**Sekil 2.** DIN 4150 Alman Normu'na göre Frekans ve Partikül (parçacık) hızı arasındaki ilişki.



**Sekil 1.** Amerika Madencilik Bürosu tarafından önerilen hasar kriteri.

## TÜNELDEKİ CİHAZ OKUMALARININ KAYDA GEÇİRİLMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.TÜNEL ÖLÇME VERİLERİNİN KAYITLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 4.1 Veri Kayıtlanması

Kapsamlı miktarda verileri içine alan topografik ve jeoteknik ölçüler, verimli olur. Küçük projeler için alınan veriler elle yapılabılır ama büyük projeler; bilgisayar destekli veri toplamaya ihtiyaç duyar.

Ölçme işlemi ve veri kayıtlama aşağıdaki görevleri içine alır.

- Açık net talimatla taze (ham) verilerin kayıtlanması,
- Değerlendirme için gerekli sonuçların hesaplanması,
- Sonuçların grafik olarak sunulması

##### 4.1.1 Elle Veri kayıtlarının yapılması:

Birkaç çeşit jeoteknik ölçümlemeler için yeterli miktarda kağıtlar kullanıma hazır olmalıdır. Ekstansometre ve konvergenz (üçgen ölçüm) için standart örnekler ekli tablolarda gösterilmiştir. Bir miktar hesap makinesi ile hesap yapılması gerekeceği gibi, bilgisayar kullanılması ve hazır boş tablo halinde kağıt kullanımı önerilmektedir. Bu zaman tasarrufunu ve hata önlenmesini sağlar.

##### 4.1.2 Bilgisayarlı Veri Kayıtlanması:

Eğer jeoteknik ölçümlemelerin( konvergenz ölçümü, ekstensometre, seviye ölçümü, ölçüm ankrajları, basınç ve gerilme ölçerler) standart programı uygulanacaksa birkaç değişik okuma cihazı kullanımında olmalıdır.

Bu şartlar altında taze bilgiler not defterine yazılmalıdır, sonra kayıt defterlerine veya bilgisayarlı veri tabanına aktarılır.

Son gelişmeler, tünel kaplamasının kesin deformasyonunun jeoteknik ölçümlemesini almaya yönelmiştir. Bu nedenle, ana işlerin elektronik cihaz (teodolit gibi) ile yapıldığı yerde veri aktarmaları tam otomatik olarak aktarılabilir. Bu işlem, elektronik kayıt cihazının olduğu yerde bile diğer jeoteknik ölçmeler için mümkündür.

#### 4.2. Ölçme verilerinin Yorumlanması:

Ölçme değerlerinin yorumlanması aşağıdaki konuları amaçlar:

- Tüm tünel yapısının dengeliliği/stabilitesinin analizi,
- Zemin arızası/hasarı ve gerilme dağılımı ile birlikte mekanik olayların analizi,
- Destekleme elemanlarının (örneğin: bulonlar, püskürtme betonu, çelik iksalar gibi) yük almasının analizi,

##### 4.2.1. İzleme metoduna göre Yorumlama:

Gözlemsel iş için izlemenin çeşitli metodlarının uygunluğu da değişiktir. Çeşitli ölçmelerin temini yorumlama için esas teşkil eder:

###### a.) Kesin deformasyonların topografik ölçümlemesi:

Tünel kaplaması çevresindeki birkaç noktanın kesin deformasyonunun (yer değiştirmesinin) bilgisi; yorumlamaya geçmek için en temel esastır. Ölçümler yoluyla özel jeolojik durumlar yansıtıldığı **bu metot**, çok aydınlatıcıdır ve desteklemenin çok hassas ayarlanması sağlayabilir.

### **b.) Konvergenz ( Üçgenleme ölçümü):**

Genel duraylılığın değerlendirilmesi için çok hassas cihazlar kullanılmaktadır. Konvergenz ölçümü kesin deformasyonların detaylarını sağlamaz, çünkü bu ölçümden bağıl deformasyonlar ortaya konur. Yine de tünelin yapısını oluşturan elemanların dengede olduğu ve tüm yapının da buna bağlı olarak stabil olduğu konvergenz ölçümünün sonucundan çıkarılabilir.

Kayanın ve desteklemenin zamana bağlı özelliklerinde; her hangi bir tünel inşaatında geçici bir stabilité olabilir ve gözle fak edilmeyen adım adım ilerleyen çok büyük deformasyonlar meydana çıkabilir. Bölgesel kaya boşalması, su ve kil baskısı gibi.

Bu sebeple tünel içinde tüm tünel boyunca deformasyon ölçümünün kayıtlaması bu deformasyonların uzun sürede teknik olarak emniyetli bir zaman sonuna kadar hatta sönümleninceye kadar sürdürülecektir. (Örnek: Kravanken Tüneli Avusturya- Slovenya arasında: Trafiğe açıldıktan yıllar sonra belli bir yerinde baskı olmuştur.)

### **c.) Seviye ölçümü:**

Seviye ölçümü konvergenz ölçümü ile birlikte öncelikli ve zorunlu bilgilerin yorumu için değer ortaya koyar. Üst yarı kazısının oturma (deformasyon) yaptığı çok kritik zayıf zeminlerde ve az derinlikte olan tünel inşası koşullarında denge (stabilité) analizi için en ilk çözüm tavan seviyesi ölçümüdür. Bu tür zeminlerde tavan ve yanların bağıl deformasyonundan başka, bir takım mekanik hadiseler de gözlenebilir (yüklerin aktarılması, zemin zonunun zayıflaması, taşıma gücü kaybı ve plastikleşme gibi).

### **d.) Delinmiş delgi içinde ekstansometere yerleştirilmesi:**

Delgideki ekstensometreler, zeminin deformasyonu hakkında bilgi verir. Bu cihazın uzunluğu boyunca meydana gelen bu deformasyonların miktar ve dağılımı zemin yüklenmesinin durumu hakkında niteliksel değerlendirmeye imkan verir. Bu konuda değerlendirmelerin ortaya konmasının verileri delgideki ankrat sayılarına bağlıdır. Bağıl mesafeye göre kısa olanı çok hassas sonuç verebilir. Çok kez delgi içine yerleştirilen ekstensometreler, tünel çevresindeki zeminin zayıf bölümünün değerlendirilmesinin ve ortaya çıkarılmasının imkanını verir. Ekstensometre zayıf zemin kesitinde projelendirilmiş daha çok bulonlama gerektirdiğini göstereceği gibi, bulon boyları hakkında da fikir ortaya koyar.

### **e.) Ölçüm Ankratları:**

Okumalar yerleştirilmiş kaya bulonları ile birlikte (1,5 aralıkta) bağıl bir deformasyon sonucunu verir. Elastik durumlarda ortalama gerilmelerden ortalama kuvvet hesaplanabilir. Bazı hallerde gerilmeler tesir ettiği malzemenin akma değerinden fazla olabilir, bu durumda Hook kanunları geçerli olmaz. Kuvvet akma sınırı değeri olarak kabul edilir. Kaya zeminlerdeki tümyle enjeksiyonlu bulonun deformasyonu kendi uzunluğu boyunca çok değişikler gösterebilir. Bu sebepten kuvvet hesabı gayet kaba sadeleştirmediir.

### **f.) Gerilme ölçmeleri:**

Bunlar tesis (cihaz) konulmuş bölgelerdeki püskürtme betondan oluşan kaplamanın deformasyonunun ortaya çıkarılması işine yarar. Kaplamanın nerede en kritik olacağı bilinen yere cihaz konulur ve püskürtme betonu kaplamasının yük alması esas olarak uygulandığı günden itibaren birkaç gün içinde kendini gösterir. Bu sebeple; ilk yüklemelerin değerlendirilmesi; lokal bir bölge için ve geçici desteklemenin tüm dengesi için çok gereklidir. Bu tesislerde püskürtme betonu sıcaklık değişimi ile düzenli tabakanma sağlanamaz. Bu sebeple yük hücresi bağlılığı yerde tabakanın yeterli mukavemet alamaması nedeniyle püskürtme betonu gerilmesi hakkında tatmin olmayan okuma sonuçları verebilir. Püskürtme betonu gerilme ölçüleri birkaç gün sonundaki yüklemenin daha iyi ortaya konulması için geliştirilmiştir.

Gerilmeler; laboratuvardaki akma testlerinde kalibre edilmiş, maddenin sıvı özelliklerini esas alan gerilme geçmişlerinden (hikâyeleri) hesap edilir. Model sıcaklık, büzülme(rötre), değiştirilemez sünme ve iki taraflı deformasyon ve sünme değerlerini ihtiva eder. Genellikle ölçüm istasyonunda çift gerilme ölçer cihazı tesis edilir, eğilme momenti, gerilme ve bunlardan yararlanma derecesi hesap edilir.

Eğer düzgün model kurulması ve akma testi yapılması imkanı yoksa, değerlendirme limit değerlerinin yorumlanması konusunda tecrübeli tünel mühendislerine gerilme veri değerleri bizzat kıymetlendirilme içinde yardımcı olur.

Bu ölçme işi NATM tünel kazı yönteminde Geoconsult firmasınca tanıtılan çok ileri bir gelişmedir. Eğer gerilme ölçüleri; üçgen ölçümü, ekstensometre ölçümü ile de birleştirilirse, zemin destekleme sisteminin yapısal davranışlarının tamamen anlaşılması mümkün olacaktır.

#### 4.2.2 Verilerin Çiziminin Yapılması:

Yorumlama için *verilerin* grafik olarak görünmesi özel önemi haizdir. İlaveten, kazı aynasının (üst yarı, alt yarı, invert) konumunun veri çiziminde zamana bağlı olarak gösterilmesi gereklidir.

Deformasyonlar için aşağıdaki verilerin bilinmesi faydalı olacaktır:

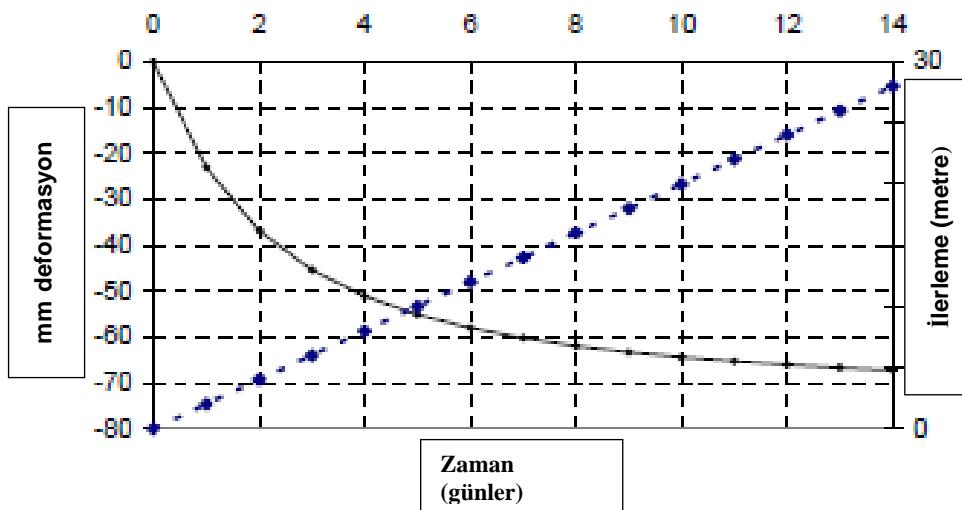
- Zamana göre ölçümler,
- Zamanın logaritmik değerine göre ölçümler,
- Tünel kesitine ve zamana göre ölçümler,
- Kazı aynasından mesafeye göre ölçümler,
- Tesisin bulunduğu km ve zamana göre ölçümler

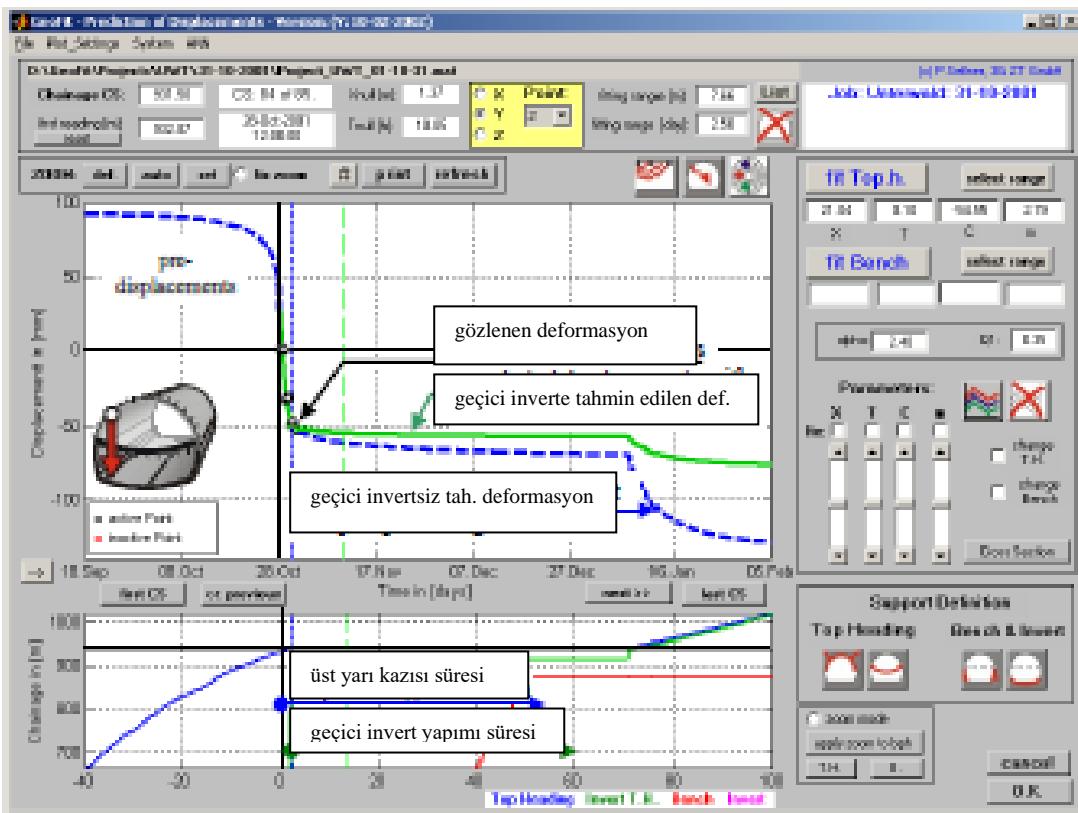
Delgiye yerleşik ekstensometre, ölçüm ankrajının bulunduğu esas inceleme en kesiti için, ölçme verileri genellikle tünel kesiti üzerinde çizim yapılarak gösterim yapılır. Kazının adımlarındaki değişimlerden oluşan gözle görünür önemli değişimler ayrı bir örnekçeden (patern) incelenir.

Aşağıda verilerin değerlendirilmesi ve sunumu ile ilgili birkaç örnek gösterilmektedir:

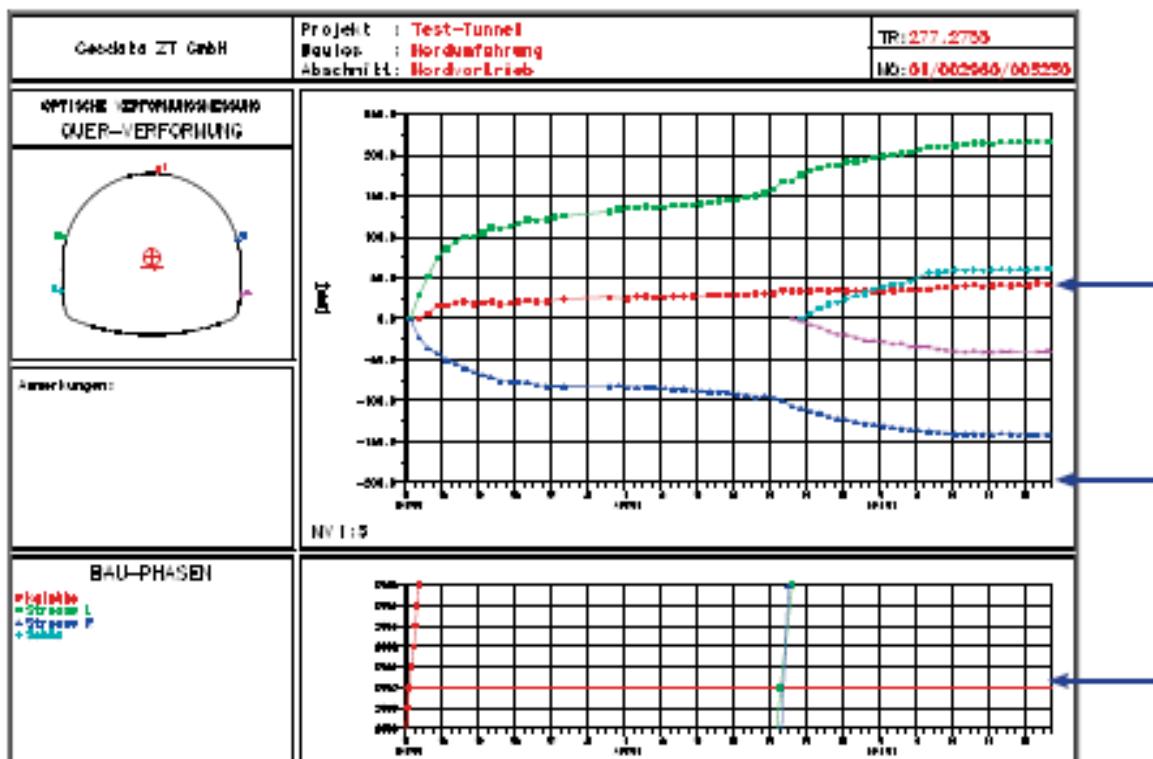
##### a.) Zamana bağlı deformasyonlar

Örnek çizim: Tek bir noktanın zamana ve ilerlemeye göre deformasyon şekli:

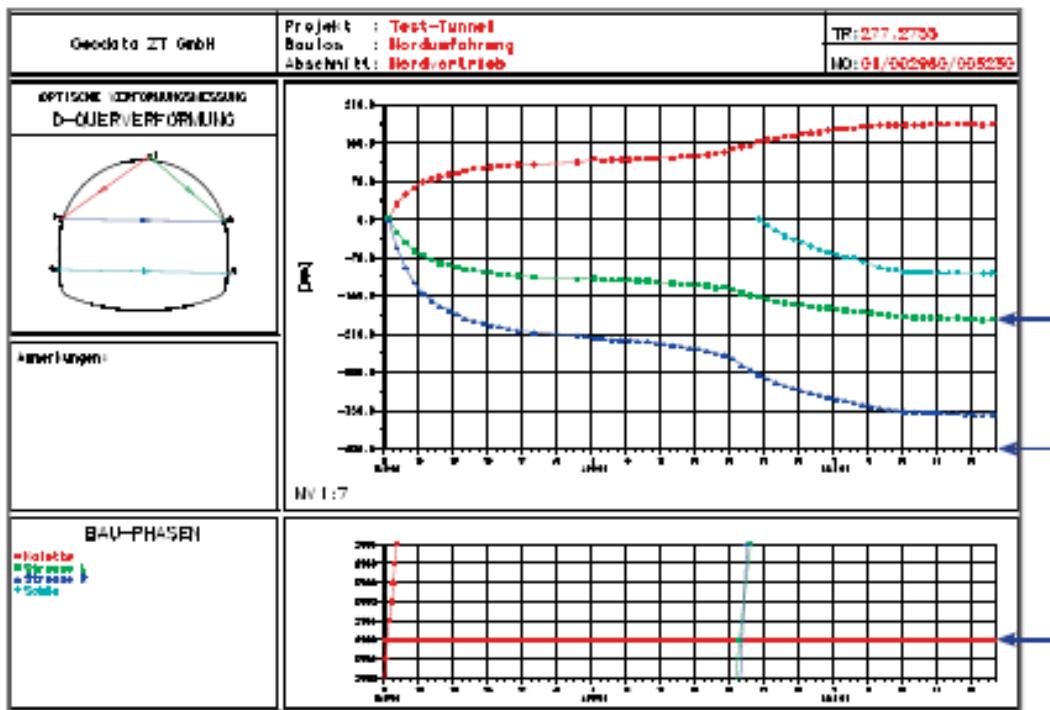




Zamana karşı tünel yanlarındaki düşey yer değiştirmeleri- Tünel çevresinde-  
Her Noktanın renkli çizgisi o noktanın zamana göre hareket değişimini göstermektedir.



**Zamana karşı tünel kesitindeki konvergenz ölçümüleri**  
**Her Noktanın renkli çizgisi o noktanın zamana göre hareketini göstermektedir.**



Üstteki grafikte belli km deki üst yarı kazısı sırasındaki yan duvarlardaki kotlarda deformasyonun kazı ilerledikçe ve geçici invertin yapılip yapılmadığına göre deformasyon durumlarını göstermektedir. Altta ki grafikte ise aynı km deki kazılar sırasındaki konvergenz ölçümü gösterilmektedir. Bu grafikte aynı km nin üst yarı, alt yarı, invert kazı zamanlarının eğrisini gösterir. Grafikten deformasyonların çeşitli oranlardaki görünümüne göre destekleme dayanımının artırılmasına ve kazı adımlarının nasıl olacağını karar verilir. Yani, hareket beklenenden az ise desteklemenin gereğinden fazla olduğu veya kazı adımlarının kısa olduğu izlenimini alırız. Bu durumda aşırı destekli ve emniyetli ama ekonomik değil anlamını taşır. Kazı kademelerini ve destekleme malzeme değerlerini bir kademe daha iyi klastaki desteklemeye göre yapmalıyız. Tekrar ölçme değerleri takip edilir tahmin edilen değerlerde ise uygun kazı klası ve destekleme türünde olma durumumuz var demektir. Eğer değerler düşükse destekleme zayıf zemin klasına göre seçilir.

**b.) Kazı yüzeyinin uzaklığuna göre deformasyonu:**

Şekilde yüzey kazı km sinine bağlı olarak sol aynadaki ölçüm istasyonundaki jeodezik ölçümülerden elde edilen kesin deformasyonlar gösterilmektedir. Aynı ölçme kesitinde birden fazla nokta atılır ve o noktaların kazı aynası uzaklaştıkça deformasyon değerleri ölçülür. Şekilde tavan kazısı sırasında alt yarı kazısı sırasında ve invert kazısı sırasındaki her bir noktadaki ölçme değerleri gösterilmektedir. Burada jeolojik durum değişikliği olan yerlerde deformasyon eğrilerinin de dikleşmesinin değiştiği gözlenebilir.

**c.) Tesis edildiği istasyon Km ve zaman konumuna göre deformasyon:**

Deformasyonların Km ve zamana göre çizimi bir kesitin bir noktası için ayrı ayrı yapılır. Ancak o kesitte deformasyonlarda beklenmedik durum (fazla miktarda baskı) varsa o bölgede daha uzun bulonlarla veya daha değişik tipte ve uzun bulonlarla destekleme yapılır. Böylece baskılı bölümde deformasyonun devamının önüne geçirilir. Ayrıca kemer şeklindeki çelik iksalara da ekleme yapılır, Hasır çelik ve ilave püskürtme beton atılır (buna ek kuşaklama denir).

**d.) Tunelde ankrajın ve ekstensometrenin ölçülmesi:**

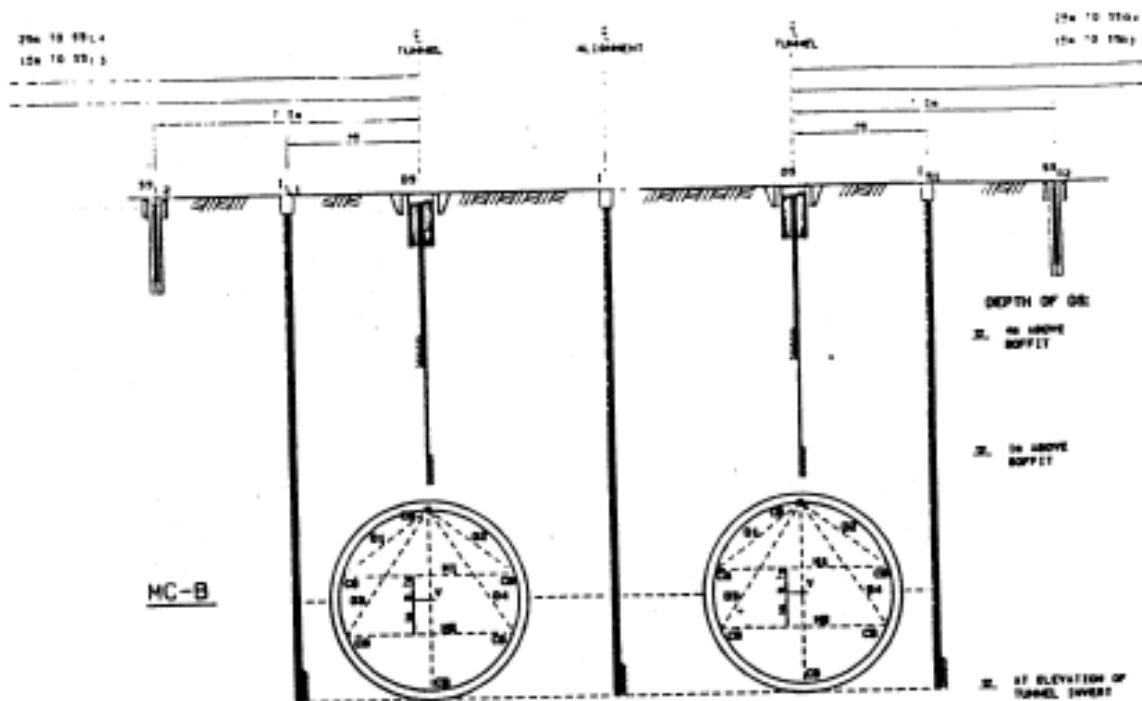
Ekstensometrelerin grafikleri iki çeşit zemin formasyonunda iki çeşit veri grafiği ortaya koyarlar. Eğer ekstensometre konulan yer sert ve masif bir zemin ise (kuarsit vs gibi), zemin gerilme değerleri dağılımı sürekli ve küçük değerlerde olur. Zayıf kuvars veya mika şist gibi zayıf formasyonlarda zemin gerilmeleri dağılma şekli geliş gizel ve büyük değerde olur. Bozulma ve yıkılma zonu da bu gibi zeminlerde olur.

**e.) Az derinlikte olan tünelerde oturmalar:**

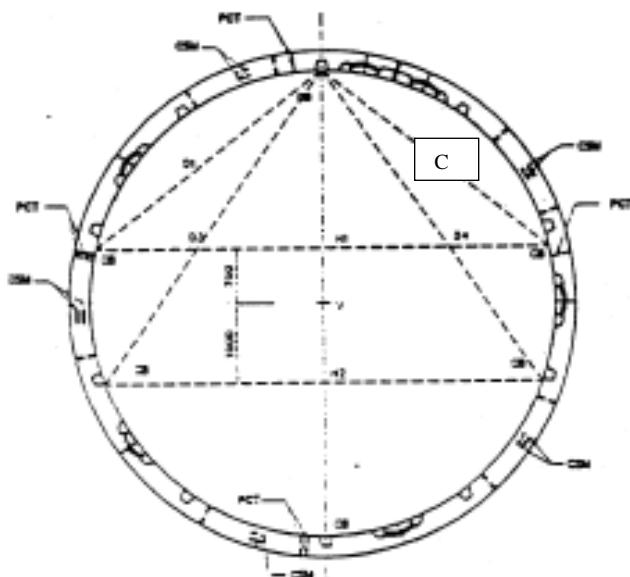
Bu gibi yerlerde yüzey ekstensometreleri konulmaktadır. Şekilde görülen örnekte zayıf zeminde tesis edilen ve 20 m derinlikte olan bir tünel gösterilmektedir. Bu cihaza ait grafiğe ait değerlendirmelerden gerilme dağılımı; üst yarı, alt yarı, invert kazısı sırasında ne gibi davranış gösterdiği tanımlanmaktadır. Ayrıca bu eğrinin ilerletilmesinden kayma zonunun nasıl oluşacağı da değerlendirilebilir.

**f.) Püskürtme Betonu Kaplamasında Yük Gelişimi:**

Örnek şekilde zayıf şist kayasında püskürtme betonu gerilme ölçüleri (strain meter) kullanarak tünelde taze (priz almamış) püskürtme betonunda gerilme dağılımı gösterilmektedir. Çizim de püskürtme beton gerilmesinin temsili çizimini içermektedir.,

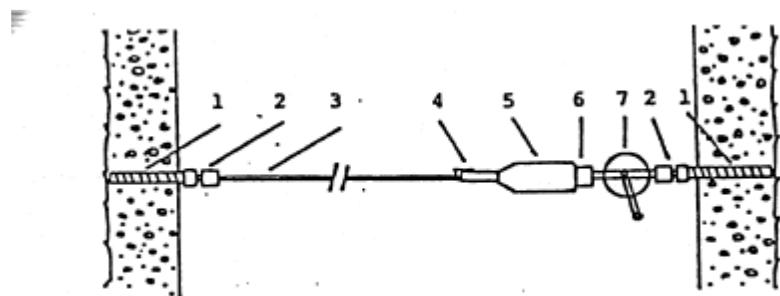
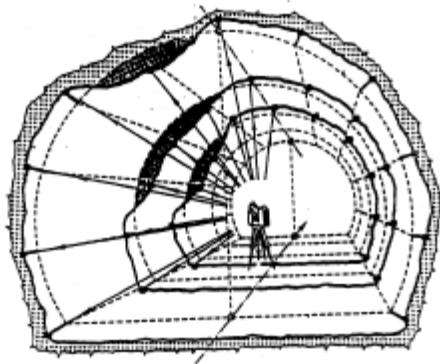


Legend:



CB	Convergency Bolt
H1,H2	Horiz. Convergency
V	Vertical Convergency
D1-D4	Diagonal Convergency
SS	Shallow Subsurface Statio
DS	Deep Subsurface Station
I	Inclinometer
PCT	Tang. Pressure Cell
CSM	Concrete Strain Meter

**TÜNEL KESİTİNDEN GEOMEKANİK ÖLÇÜ CİHAZLARININ KESİTTE GÖSTERİLMESİ**



### KONVERGENZ ve EKSTANSOMETRE OKUMALARI

Nokta		Km:		km:0+201,6		KONVERGENZ						
No	Tarih	Zaman	kalibr	Okuma	Boy	Bağ	Top	Konv	Hizi			
Yıl	Ay	Gün	Saat		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/gün)			
1	97	8	3	1	0	100,00	100,00	0,0	0,0	0,0		
2	97	8	4	6	5	90,00	89,95	-10,0	-10,0	-10,0		
3	97	8	5	2	0	82,50	82,50	-7,5	-17,5	-7,5		
4	97	8	9	3	0	76,00	76,00	-6,5	-24,0	-1,6		
5	97	8	25	4	0	70,00	70,00	-6,0	-30,0	-0,4		
6	97	9	10	7	0	68,90	68,90	-1,1	-31,1	-0,1		

*Üçgen köşe ölçümlemesi (konvergenz)*

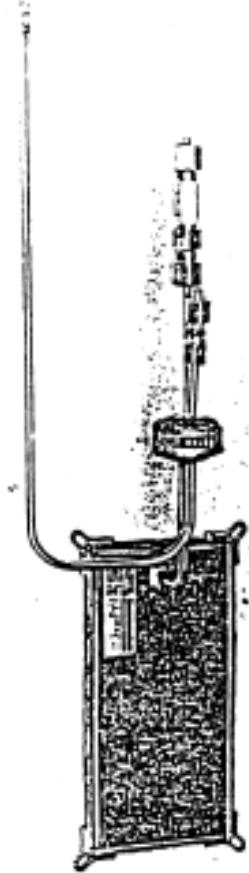
Başlık ile tespit noktası arası mesafe

11= 3 (m)

12= 6 (m)

13= 9 (m)

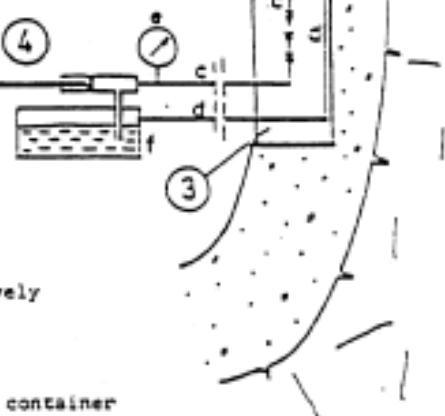
No	Tarih	Okumalar			Deformasyonlar			Gerilmeler			
		zaman	M1	M2	M3	D1	D2	D3	$\epsilon_{0/1}$	$\epsilon_{0/2}$	$\epsilon_{0/3}$
		Yıl	Ay	Gün	saat	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	97	9	10	7	12,95	39,30	30,00	0,0	0,0	0,0	0,0
2	97	9	11	13	13,06	39,83	30,63	0,1	0,5	0,6	0,1
3	97	9	21	19	13,25	40,31	31,09	0,30	1,0	1,1	0,1
4	97	9	29	18	13,35	40,96	31,89	0,4	1,7	1,9	0,1
5	97	10	3	15	13,39	41,52	32,25	0,4	2,2	2,3	0,1
6	97	10	8	18	13,41	42,05	32,98	0,5	2,8	3,0	0,2

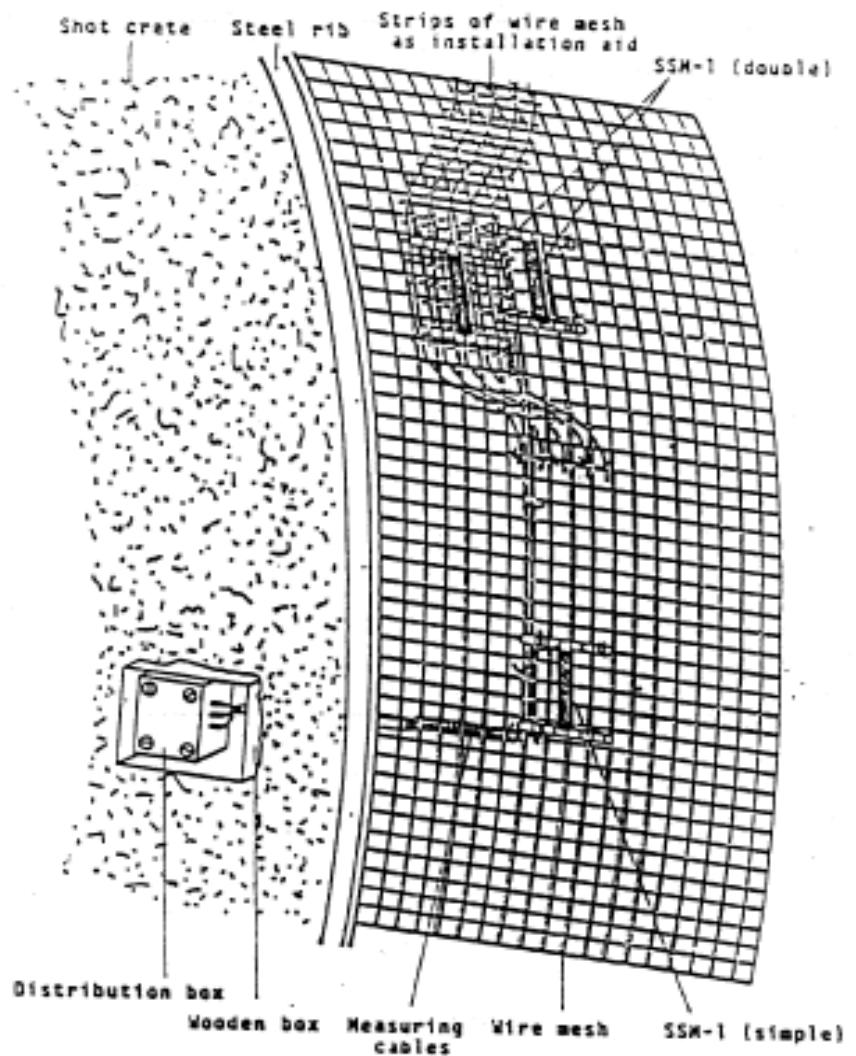


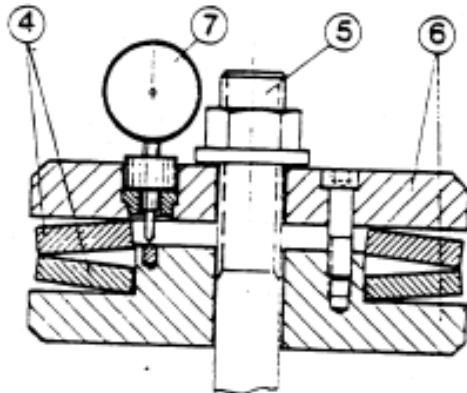
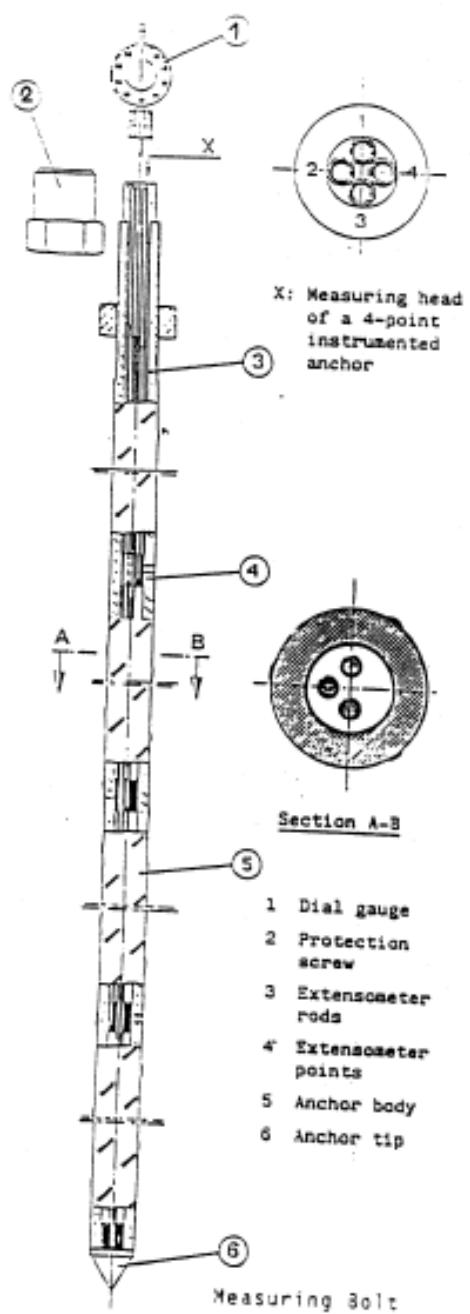
Hydraulic Stress Cell

DESCRIPTION OF SKETCH:

- 1 contact stress cell (for radial stress)  
installed at contact rock/concrete
- 2 concrete cell (tangential stress)  
installed in concrete
- 3 switching- and distribution unit  
for connection of cell and pump, protectively  
installed against damaging
- 4 hydraulic pump  
with a) precision manometer and f) reflux container

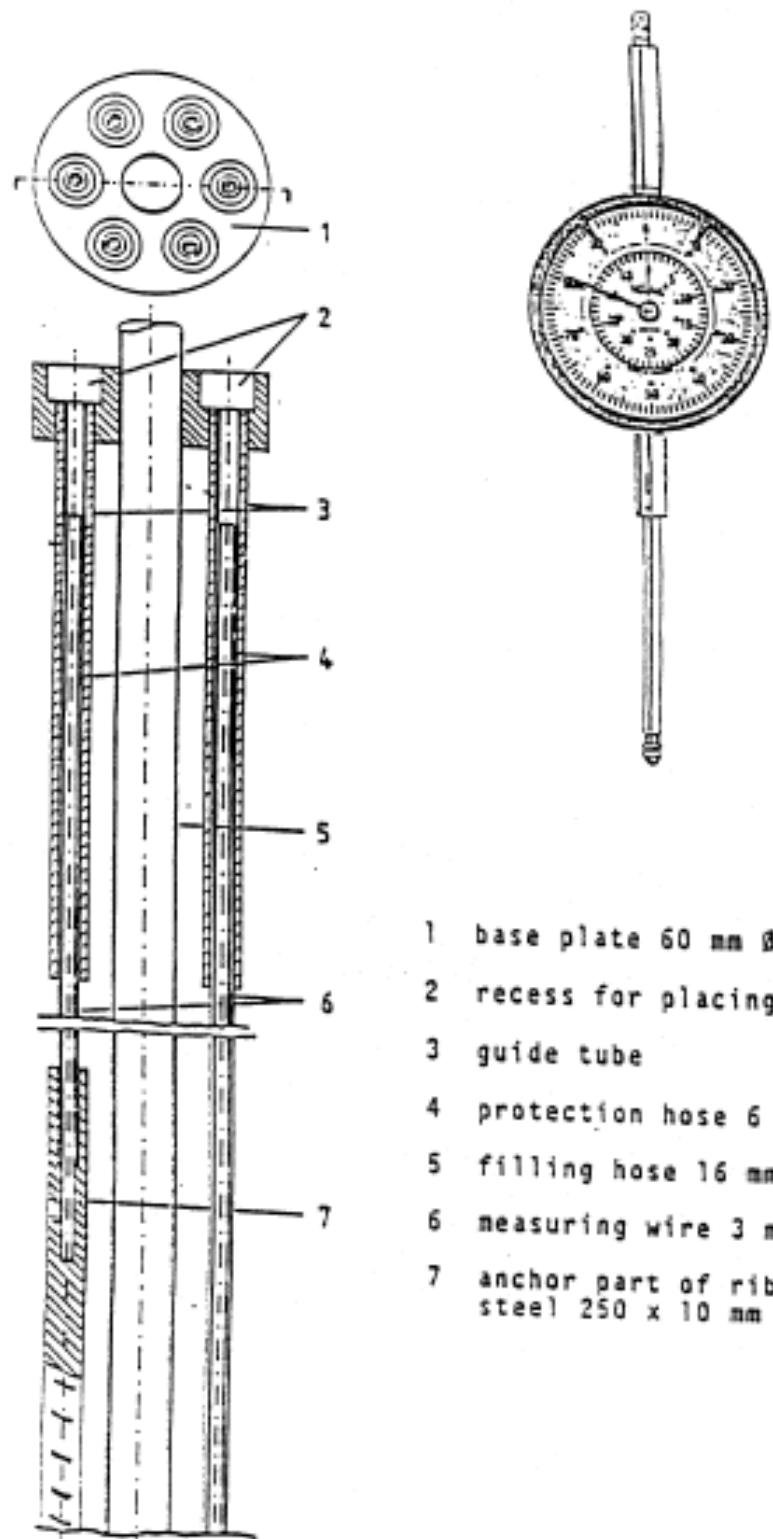




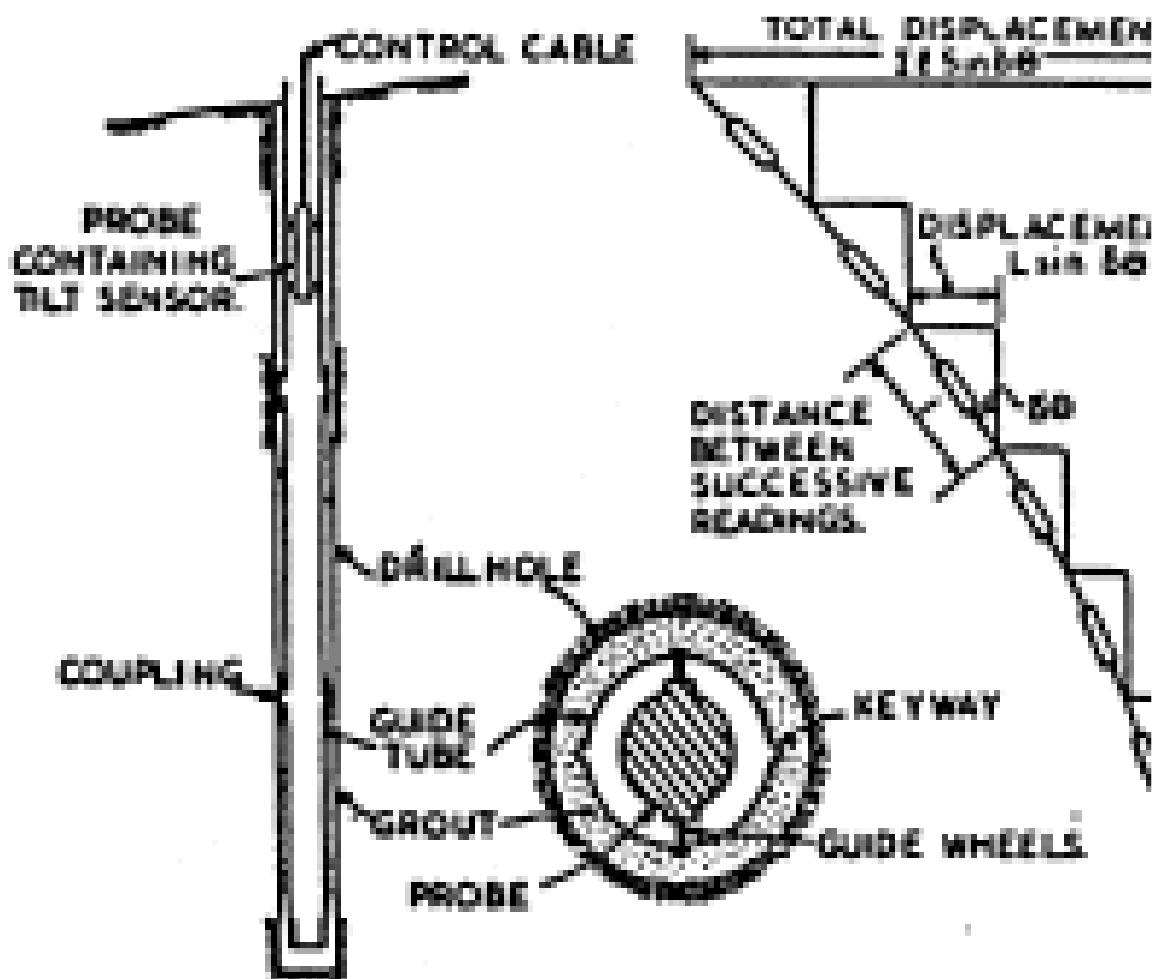


4 Plate Spring  
 5 Bolt  
 6 Load Distribution Plate  
 7 Dial Gage

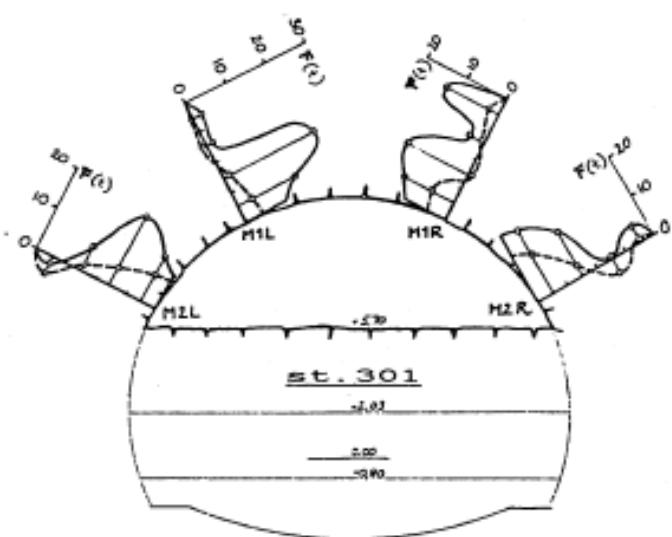
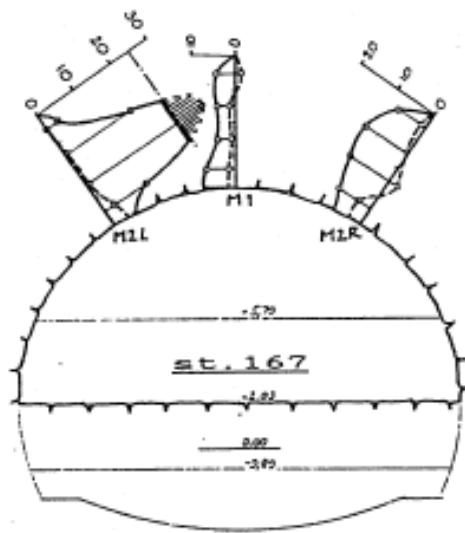
Fig. 13-8 Anchor Load Cell

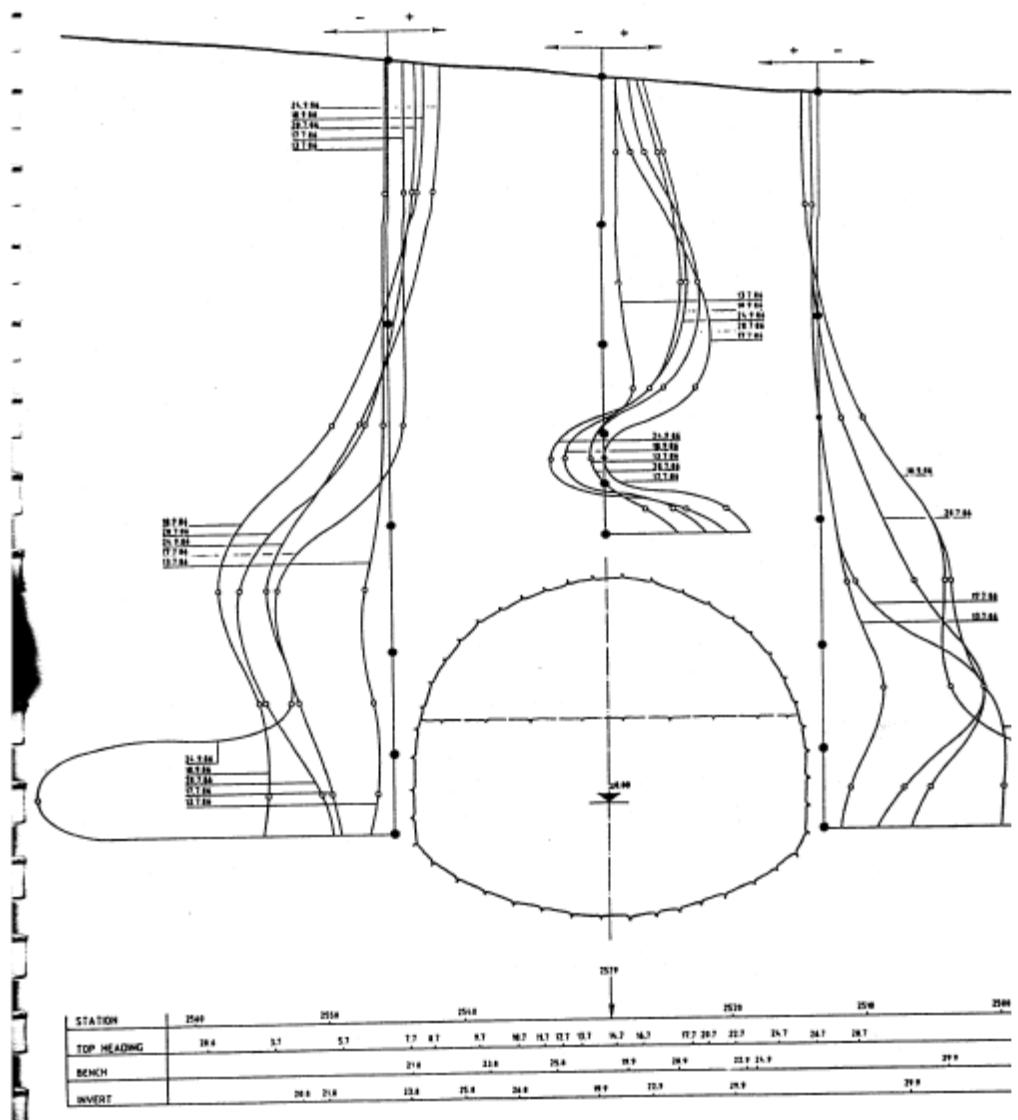


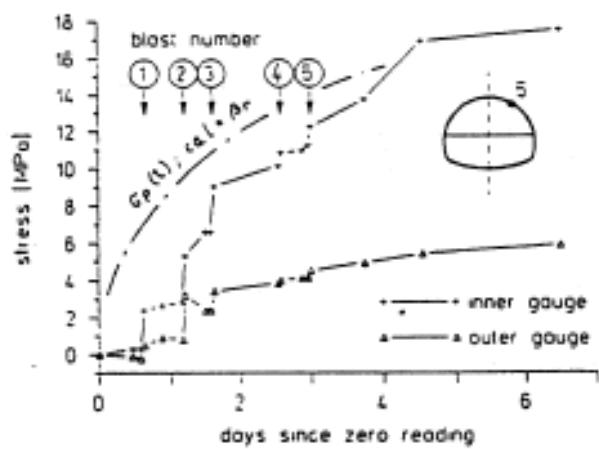
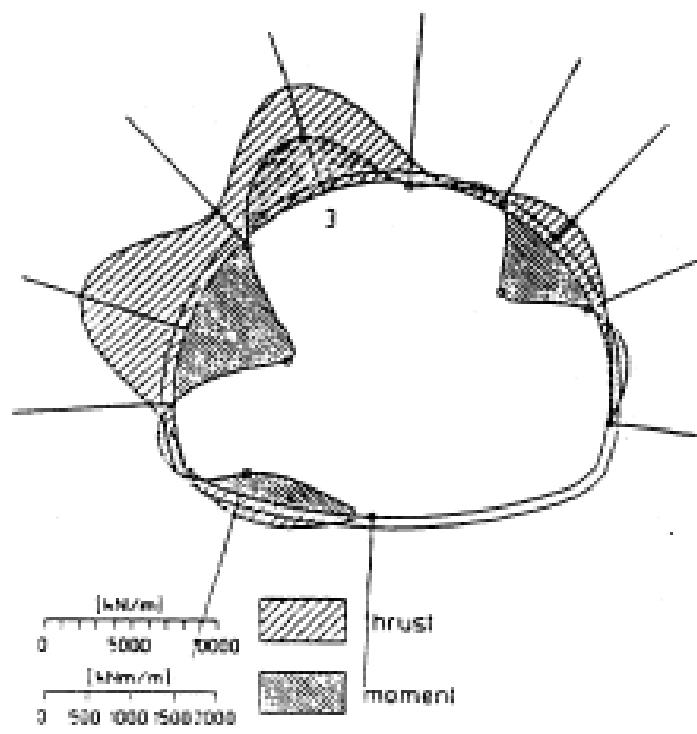
- 1 base plate 60 mm Ø
- 2 recess for placing dial gauge
- 3 guide tube
- 4 protection hose 6 x 4 mm
- 5 filling hose 16 mm Ø
- 6 measuring wire 3 mm Ø
- 7 anchor part of ribbed steel 250 x 10 mm

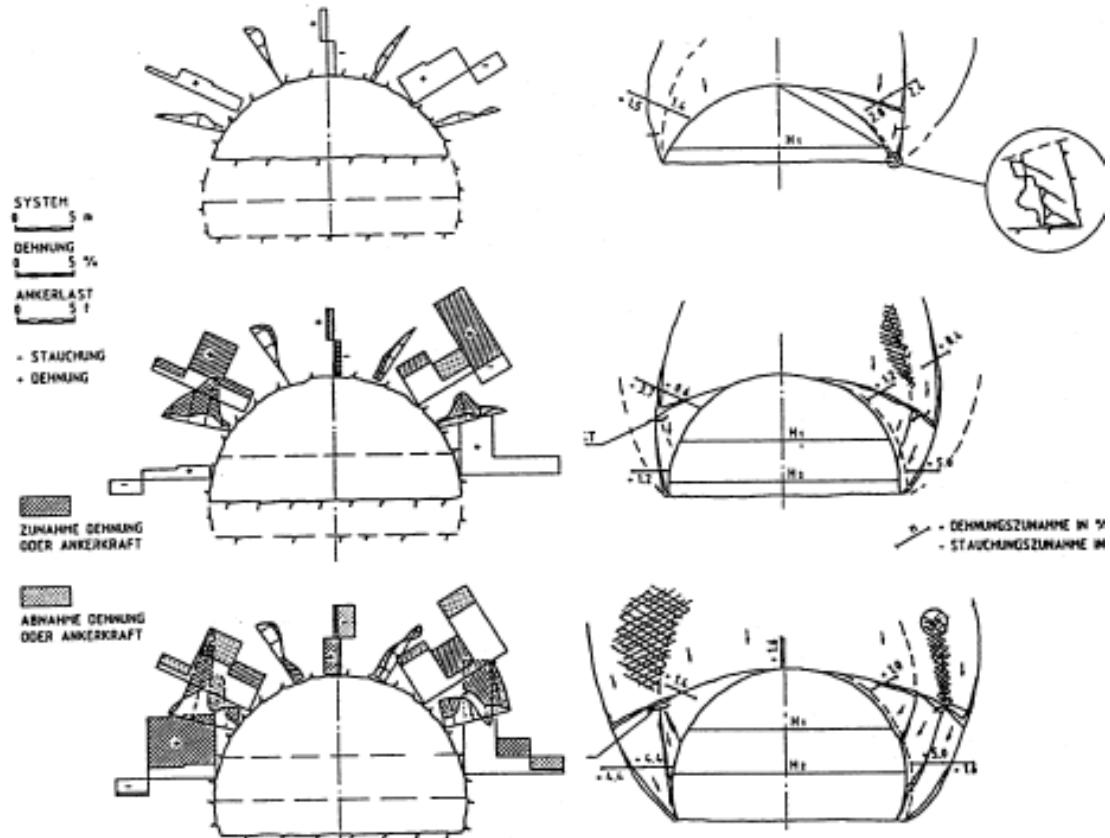


Principle of operation of probe inclinometer





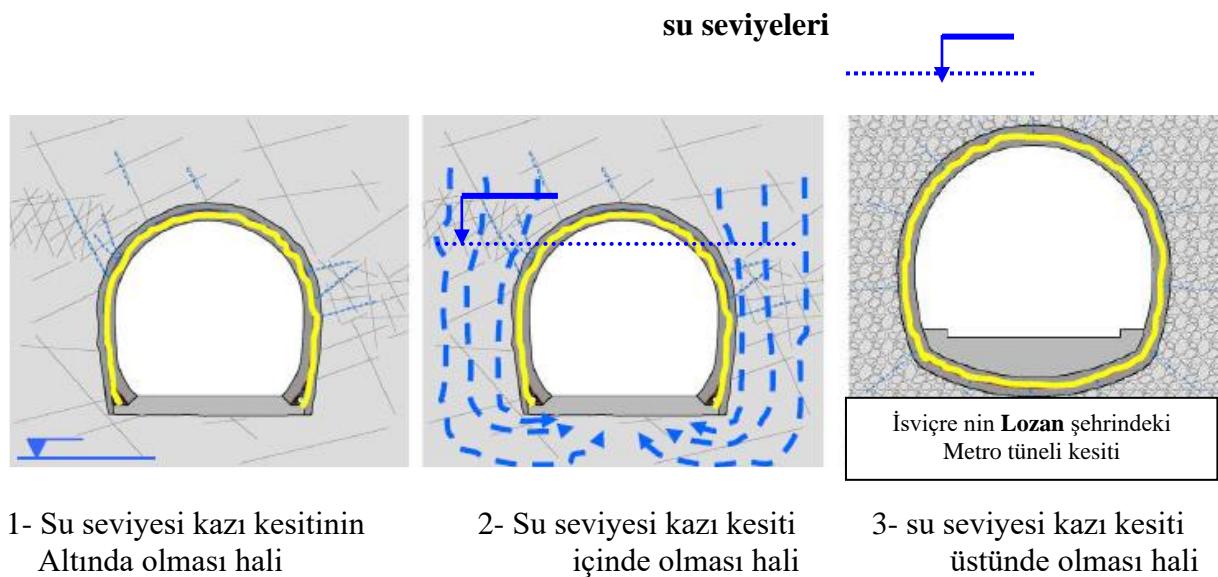




## SU PROBLEMİ OLAN TÜNELLERDE SU DRENAJININ SAĞLANMASI

### Giriş :

Tünellerin yapımı sırasında zemin içerisinde bulunan su seviyesi **piyezometre** kuyuları açma yolu ile tespit edilir. Bu güne kadar su seviyesi 3 (üç) tür konumda olabildiği aşağıdaki şekillerde görülmektedir:



1- Su seviyesi kazı kesitinin Altında olması hali

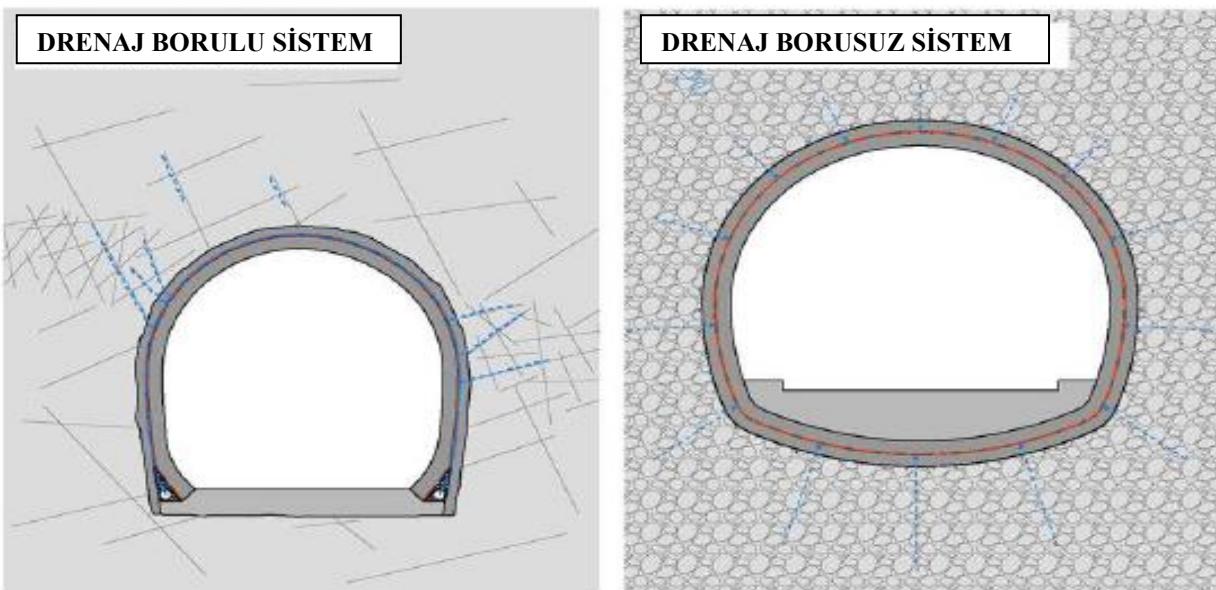
2- Su seviyesi kazı kesiti içinde olması hali

3- su seviyesi kazı kesiti üstünde olmasi hali

Kesitlerden de anlaşılmış gibi su üst seviyesinin kesit içerisinde olmaması drenaj bakımından problem doğurmaz. Ancak su seviyesinin üst kota gerek kesit içerisinde gerekse kesit üzerinde bir yerde ise bu tünel inşaatında hem inşaat sırasında hem de inşaat sonrası drenaj problemi var olacaktır.

Bu bölümde inşaat sırasında alınacak drenaj önlemlerinden daha çok inşaat sonrası kalıcı önlemlerden bahsedeceğiz.

Aşağıda görüldüğü gibi tünel kesitlerinde iki türlü drenaj sistemi önerilmektedir:



- 1- ) Tünel çevresindeki suları invert seviyesine indirip gelen suyu dışarı atan **drenaj borulu sistem**
- 2- ) Tünel çevresindeki suyu hiç içerisinde almayan su dışında **drenaj borusuz sistem**

Bu iki sistemin yaraları ve sakıncaları aşağıda örneklerle anlatılacaktır.

#### **1-) Drenaj Borulu Sistem:**

İzmir Metro I.Aşama İnşaatında 1996-1999 yıllarında birinci alternatif sistem uygulanmıştır. Ayrıca KGM nin yaptığı tüm karayolu yol ve otoyol tünellerinde bu uygulanmıştır.(x)

##### Sistemin avantajları

- a. Borularla su dışarı serbest akış ile akışılacağı için; tünel kesitini oluşturan kaplamaya ilave su basıncı yükü gelmez.
- b. Yüklerin az olması kesit için gerekli ilave beton kalınlığı ve donatı istemez.
- c. Kemerin iki yanından içeriye doğru ek su basıncı olmayacağından invertte ek tedbirler gerektirmez. Invert zemin cinsine bağlı olarak yapılır. Her yerde çok büyük kesitte bile invert yapısı gerektirmez.
- d. Eğer beton kaplamayı geçirmsiz klasta dökülmesini yaparsak daima su seviyesi altında olmayan tünellerde çevrede çok su basıncı olmayacağı için membrane kaplama dahi gerekmez. (Raylı sistemelerde)
- e. **Özetle bu çözüm yapılmış sırasında ekonomiktir.**

##### Sistemin dezavantajları:

- a. İşletme sırasında drenaj boruları belirli yerlerde bırakılan gözlem kontrol ile belli aralıklarla temizlenir. **Gerekli yerlerden pompaj ve bakım ister**

- b.** Eğer beton dökümü çok itinalı yapılmazsa inşaat bitiminde suyu önlemek için kabul sırasında ek masraf çıkarır. Suyun gelişini kesmek için ek kimyasal enjeksiyon gerektirir.
- c.** İşletme sırasında yer yer sızıntılar olabilir tavanda ek tamir gerektirebilir.

## **2- Drenaj Borusuz Kapalı Sistem**

İstanbul Metrosunda yer yer de Ankara Metrosunda bu sistem uygulanmıştır. Ayrıca I. Aşamada yapılan EPBM tünel delme sistemi de buna benzer. (xx)

### **Sistemin avantajları:**

- a.** İşletme sırasında eğer membrane kaplama sağlıklı yapılmış ise su sorunu olmaz ve ***su hattı olmadığından hat bakımı istemez.***

### **Sistemin dezavantajları:**

- a.** İnşaat sırasında su seviyesi altında daima dairesel invert mecburiyeti olacağından yapım güçlüğü çekilir.
- b.** Kesitte beton ve demir miktarı artar ve ek maliyet getirir.
- c.** Invert kesiti kadar tünel boyunca ek kazı ve beton gerektirir.
- d.** ***Özetle bu sistem yapım sırasında pahalı ilerisi için problemsizdir.***

## **TÜNEL YAPIMINDA KALİTE KONTROL İŞLERİ**

**Tünel yapımının ana iş kalemleri şunlardır:**

- 1- Kazı**
- 2- Desteklemeler ( Püskürtme beton, Hasır çelik, Çelik iksa, Bulon, süren vs)**
- 3- Jeoteknik ölçmeler**
- 4- Su geçirmezlik temini (Keçe, membrane kaplama)**
- 5- İç kaplama**
- 6- Diğer İşler**

Burada şimdiye kadar anlatılan tünel işlerini başarılı olması ve ileride tünel kullanımı sırasında herhangibir sorun olmaması için her işin kendine has nitelik ve niceliği vardır. Burada aşağıda verilen cetvelde işleri yapmada yeterli olabilen en az sayıda ve çeşitlilikteki kontrol aktiviteleri özetlenmektedir. Bu miktarın üstünde kontrollük işleri yapılrsa her iş daha iyi ve sağlam yapılmış olur.

Sıra ile özetleyelim;

**1-Kazı :** - Kazının projesine uygunluğu kesit ve doğrultu boyutlarının değerlerinin her 5 m de bir kontrol edilmeli gereklidir. Patlatma veya kazı metodlarında aşırı dökülmeye neden olacak işlemlerden kaçınılmalı ve ileride ek maliyeti doğuracak olayların önüne geçilmelidir.

## 2-Desteklemeler

- a. **Püskürtme beton:** Malzeme kalitesi, uygulama yerleştirme kurallarının uygunluğu, püskürtme ekipmanın yeterliliği, konulan kaplamanın kalınlık ve dayanımı tetslenmeli
- b. **Hasır Çelik:** Malzeme kalitesi, kullanılan malzemelerin proje boyutunda ve şartname sınırlarında olması gerektiği, zemine uygun şekilde yerleştirilmesi kontrol edilmeli
- c. **Çelik İksa:** Projesine ve şartnamesine uygun çelik olması, arazide ise projesine uygun aralıkda konulması ve diğer iksalarla bağlantılı olmasını, kontrol etmeliyiz
- d. **Bulonlar:** Malzemesi şartnameye uygun olmalı, yerleşme aralıkları ve boyutları proje kayıtlarına paralel yapılmalıdır. Yerleştirme sonucu test edilerek sağlamlığı kontrol edilir. Ayrıca bulonların yerine konulması için gerekli harçın, delik durumunun kontrolo yapılır.
- e. **Sürenler:** Bu kazının yapımı sırasında geçici destek olduğu halde projesinde boyutu, malzemesi, sayısı belliidir. Zemin cinsine göre seçilen bu malzemenin de kontrolo gereklidir.

## 3-Ölçüm cihazları:

Tünel kazısı süresince ikinci kaplama işlemi başlayıncaya kadar tünel projesinin belli kesitlerinde zeminin hareketlerini izlemek için gerekli cihazlar yerleştirilir. Bu cihazların şartnameye uygun malzemelerden olması, okumalarının kayıtları ve değerlendirilmesi işleri takip edilir. Tünel yapımının emniyetle tehlikesiz bir şekilde yürümesi bunların verdiği bilgilere dayanır. Problem olup olmadığı sonucuna göre; seçilen malzeme, destekleme şekli ve uygulanan metod bu bilgiler ile doğrulanır.

## 4-Su Geçirmezlik Temini:

Suyun drenajı bölümünde anlatılan ve tünelin sudan zarar görmemesi için yapılan işlerde ne gibi malzeme kullanılacağı, uygulamasının metodu proje ve eki raporlarda mevcuttur. Burada önemli olan püskürtme betonu yüzeyinin belli şekilde membrane malzemesine zarar vermeyecek şekilde olması esası, keçenin kalınlığı, metre karede kaç özel başlıklı çivi ile tutturulacağı, membrane PVC malzeme özellikleri tutturma ve ekleme şekilleri, test edilmesi ve geçirimsizliğin ispatı gibi konular kontrol edilir.

## 5-İç Kaplama yapılması (Beton dökülmesi):

Beton imali için gerekli malzemelerin (çimento, Agrega=çakıl, kum, kırmaş, su, katkılar) şartname koşullarında olduğunun kontrolu, beton dökmeye elverişli ekipmanın (beton santrali, mikserler, beton pompası, vibratör ve projeye uygun kalıp) varlığının tesbiti, betonun konulacağı kalıp yapısının beton dökülmesi sırasında proje boyutlarından başka ölçüye kaçmamasını sağlayan yeterli

desteklemeyi taşıdığını da ve ayrıca hava şartlarının uygunluğu kontrol edilir. Deneyimli işçi ve şartlar uygun ise beton dökülmesi sağlanır. Aşağıda tabloda açıklanan şekilde betonun döküm öncesi, döküm sırası ve sonrası takipleri yapılır. Kendini taşıyacak dayanımı beton kazanmadan kalıp açılmaz.

## 7- Diğer İşler:

- a. **Drenaj şartları:** İnşaat yapımı sırasında ve inşaatın bitiminde inşa edilen tünel yapısına ve ileride içerisinde gececek taşılara suyun zarar vermemesini sağlamak ve projesine göre var olan suyun tünelden uzaklaşmasını sağlamak
- b. **Enerji temini:** İnşaat sırasında ve sonrasında tünele gerekli elektrik enerjisinin teminini projesine göre tesis ettirmek
- c. **Aydınlatma:** Tünelin aydınlatmasını proje ve şartname koşullarında sağlamak
- d. **Havalandırma:** Tünel yapımı ve işletmesi sırasında gerekli havanın sağlanması tesislerinin yapımını sağlamak
- e. **Yangından Korunma Tesisleri:** Proje ve şartnamele göre Tüneli yangından koruyacak tesis ve malzemelerin yerine konulmasını sağlamak
- f. **İşletme binaları:** Tünele servis verecek personel makine ve teçhizatın yerleşmesini sağlayacak binaların yapımını sağlamak.

**TÜNEL İŞLERİNDE KALİTE KONTROL, YÖNTEM, GEREKSİNİM ve FASILALARI**

GENEL	İŞ FAALİYET	KALİTE KONTROL GÖREVİ	USUL-METOD	İHTİYAÇ / ŞART	ARA FASILA
KAZI	DELME	DELİKLER Boyu Durumu (Yeri) Doğrultusu	Gözle ve Ölçme ile	Patlatma Paterni şekline göre	Günlük Günlük Günlük
	DOLDURMA	Patlama Ekipmanı	Üretici şartnamesi	Şartname gibi	Aylık
	PATLATMA	Patlama Hattı Emniyet İhtiyaçları Depolama Nakliye Yükleme, Boşaltma	Akim kontrolü Gözle Muayene Gözle Muayene Gözle Muayene	Teorik direnç ölçümüne göre	Her Patlatma
	GENEL	Profil Hassasiyet Doğu kazi profili (Deformasyon için)	Gözle tetkik Lazer işininden olan Mesafe ölçümü ile	Dökülme olmamalı Kabul edilen toleransa göre	Günlük her 5 m de
	ÇELİK İKSA	MALZEME Ölçü ve ağırlık KAYNAKLAR Boyut ve Kalite araştırması YERLEŞTİRME Doğu pozisyon	Gözle	Şartnameye göre Şartnameye göre	Her Üretim Her round
	HASIR ÇELİK	MALZEME Çap ve Ağırlık Çelik çubuk için gerilme mukavemeti YERLEŞTİRME Kazi yüzeyine yakın biçimde yerleştirme Sıkıca tutturma Doğu bindirme	Gerilme Mukavemeti testi Gözle Gözle Gözle	Şartnamesine göre Yaklaşık 5 cm Sallanmayacak 20 cm	Her Üretim Günlük Günlük Günlük
	BULONLAR	MALZEME Çap ve Ağırlık Çubuk ve Diş için gerilme mukavemeti Enjeksiyonun Karışım dizaynı Mukavemet Koyuluk, Birbirini tutma İşlerlik Çalışabilirlik YERLEŞTİRME Deliklerin doğrultusu Deliklerin temizliği Enjeksiyon ekibi Delikte uygun miktar karışının kalması için karışım koyuluğu Karışımın tam sarması Ankraj plaka tespiti Germe kuweti verme İspat testi % 80 yükte	Gerilme Mukavemeti testi Basınç mukavemeti (Küplerde) Slump test Pompalanabilmenin arazide denenmesi Gözle Gözle Gözle Gözle ve slump test Yerleştirmede gözleme Tork anahtarı Tork ile sıkma, çekme deneyi Özel aparat ile çekme deneyi	>20 MPa <20 cm Tapa olmadan Projede olduğu gibi Temiz <20 cm Dışarı akma Sıkı olacak Projede olduğu gibi ve her 100 ve 200 bulon için Şartnamede olduğu gibi	Her üretim Arasında Arasında Arasında Günlük Günlük Günlük Arasında Günlük Günlük Günlük her bulon için

ŞOTKRİT	MALZEME Çim./priz hızandrıcı uygunluğu (Birlikteşlik) Mukavemet gelişmesi ve priz alma kabulleri dahilinde (uygun luk testleri) Dane boyut dağılımı	Vikat (igne) testi son priz süresi Penetrometre testi Penetrometre direnci Test panel.ali.karotda basınç . deneyi Şatrnameye göre Elek analizi	<150 saniye 2 dak - 260 N 5 dak - 380 N 10 dak - 450 N 50x50x15 cm ebadda A > C B'ye yakın	Karışım sırası Aylık Aylık Aylık Aylık
	YERLEŞİRMЕ Sağlam olmayan malzeme ve gevşek malzemenin uzaklaşmasını temin için yüzey hazırlığı	Gözle	Temizlik	Günlük
	Kuruluk, rutubetsizlik Rebaunddan uzaklaşmasını temin için kontak yüzey temizliği	Gözle	Rutubet test Kayipsız malzeme	Günlük Günlük
	Serbest suyun uzaklaşması PÜSKÜRTME USULÜ (Bıçımı)	Gözle	Serbest su olmayacağı	Günlük
	Yüzey Mesafe Püskürme açısı	Gözle	1.0 - 1.50 mt. 90° dik olacak	Her an Her an
	Su biçimini Hava basıncı	Gözle	Temiz, berrak 6-8 atü ayarlı, kisılı	Günlük Günlük
	Demirin kaplanması Kayaya teması	Gözlem ve karot alma ile	Boşluksuz	Arasira
	Priz alma özellikleri	Penetrometre ile	Boşluksuz Yukarıda belirtildi	Arasira
	EKİPMANIN UYGUN ŞEKİLDE BAKIM VE TEMİZLİĞİ			
	Lastik contalar Çelik contalar Lastik gömlekler Hortumlar Nozul Priz hızlandırıcı cihazı	Gözle	Hava kaçağı olmayacağı aşınma olmayacağı Hasarsız olacak Kaçak olmayacağı Aşınmamış olacak Sabit miktar çıkışı	Günlük Günlük Günlük Günlük Günlük Arasira
JEOTEKNIK ÖLÇÜMLER	KAPLAMA KALİTESİ Kaplama kalınlığı Mukavemet (Dayanım)	Önceden yerleştirilen pim. ile Test panellerinden alınan karot numunelerinin testi ile	Projede olduğu gibi Projede olduğu gibi	Haftada Her 100 m <sup>3</sup> te
	Mukavemet (Dayanım)	Kaplama alınan (en az 5 test) karot numunelerinin testi ile	Projede olduğu gibi	500 m <sup>3</sup> te
	Sağlamlık	Darbe testi ile / çekici testi	Sıkı olmalı	Arasira
	CİHAZLAR	MALZEME Ayarlama Hassasiyet YERLEŞİRMЕ Yerleştirme zamanı Koruma Extensometre enjeksiyonu Extensometre doğrultusu Strainmeter durumu OKUMALAR Sıfır okuma Fasila	Üretici şartnamesine göre Üretici şartnamesine göre İlk round 0 yerde patlatma ve trafik zararlı olmayacağı şekilde Projede olduğu gibi Projede olduğu gibi İlk round Projede olduğu gibi	Şartnamede olduğu gibi Şartnamede olduğu gibi Her kesitte

SU GEÇİRİMSİZLİK TEMİNİ	KEÇE	MALZEME			
		Birim ağırlık	DIN 53854.	500 g/m2.	Herbiri
		Kalınlık	DIN 53855/3.	4 mm.	Herbiri
		Mukavemet	DIN 53857/2.	200 n/cm	Herbiri
		Elastikiyet	DIN 53857/2.	40%	Herbiri
		Geçirimsizlik	F.H Test 0.02 bar - 2 bar	(5 x 10)	Herbiri
		Kimyasal direnç	DIN 53857/2.	Şartnamede olduğu gibi	Herbiri
		YERLEŞTİRME			
		Yüzey hazırlanması	Ölçü ve lflenme biçimini	> 5 : 1	Arasında
		Geometrik durum	Gözle	Ra > 0.3 m.	Arasında
		Sotkrit düzgünlüğü	Gözle	Done < 8 mm	Arasında
		Bulonların Kaplanılması	Gözle	Kaplanmış olmalı	Günlük
		UYGULAMA			
		Yeterli gevşeklik	Gözle	Gerilme olmayacağı	Günlük
		Tutturma yer numarası	Gözle	2 - 4 /m2	Günlük
		Bindirme	Gözle	> 10 cm	Günlük
		Drenajdaki durum	Gözle		Günlük
MEMBRANE	MALZEME	MALZEME			
		Kalınlık	DIN 53370	2 mm min.	Herbiri
		Dayanım	DIN 53455	8 N / mm2 min.	Herbiri
		Elastikiyet	DIN 53455	250%	Herbiri
		Direnç	DIN 16726	Şartnamede olduğu gibi	Herbiri
		Kaynak mukavemeti	DIN 57929	malzemenin %80 i	Herbiri
		YERLEŞTİRME			
		Malzemeyi keçeye bağlama	Gözle	Sıkı	Her an
		Delik olmayacağı	Gözle	Geçirimsiz	Her an
		Yeterli gevşeklik	Gözle	Gerilme olmayacağı	Her an
		Kaynak sıkılığı	Hava ve kompresör yardımı ile ölçü	% 20' den az kaçak	Her kaynak
		Koruma koşulları	Gözlemlle		
İÇ KAPLAMA	BETON	MALZEME			
		Çimento	Blaine	3400 - 4000 ± 200 cm2/cm3	Aylık
		Çimento	İlk priz alma	2.5 - 3.5 saat	
		Çimento	Bleeding (heidelberg matod)	<18 cm3.	
		Çimento	Dayanım gelişmesi	1d>9 N/mm2 - 28N>40 n/mm2	
		Çimento	Priz alma ısısı (din 1165)	<75 cal/g.	
		Çimento	Çimento ısısı	<50 c.	Günlük
		Uçan kül (fly ash).	Blaine	4900 / -150	Aylık
		Kum, çakıl	Elek analizi	Şartname	
		KARIŞIM DİZAYNI			
		Çimento miktarı	Ağırlık	250 kg/m3	
		Uçan kül miktarı	Ağırlık	40-60 kg/m3	
		Katı malzemesi miktarı	İlk mukavemet	12 saat > 3 N / mm2	
		Katı malzemesi miktarı	Son mukavemet	Şartnamede olduğu gibi	
		Katı malzemesi miktarı	Stamp	100 -140 mm	
		Su	Su boşalması (heidelberg metodu)	< 18 m3	
		Su	Ağırlık	<160 kg / m3	

## **TÜNEL İNŞAATINDA SÖZLEŞMESEL YÖNLER**

### **1-) Tünel sözleşmesinin meydana getirilmesi**

Tünelcilikte, tünel inşaatının proje ve tekniği konusunda birçok yazarlar tarafından çok sayıda yazılı yayın yapıldığı halde, inşaatın sözleşme üzerine sadece birkaç yayın ortaya konulmuştur.

Bu konuda problemlerden biri elbette sözleşmeye ait ortamlardır. Çeşitli ülkelerde işin genel sorumluluğu bilinmezler (riziko/contingency) ve bunların taraflarca (işveren ve yüklenici) bölüşümü ve taraflar arası ilişkiler çok değişik değerde ve ayrı ifadededir. Bir ülkeye göre mantıklı gelen bir görüş diğer ülkede tamamen çözümsüz (pratik olmayan) biçimdedir. Bu sebeple sözleşme dokümanları, yalnızca teknik açıları kapsamaz; ama yöresel sözleşme deneyimi çok önemli hale gelir.

Sözleşmeyi oluşturmaya tesir eden faktörlerden bazıları şunlardır :-

- Sözleşme evraklarının detayları;

Bu işte **işveren** neler yaptı ve yapacak, **yüklenicin** bu iş ve imalattaki görevi ne olacak ?

- İşe başlamadan işin gerçekleşmesi için ön iyileştirme gerekiyor mu ?
- Yeraltı araştırmalarının elde bulunan değeri, yeterli mi ? Ek gereklilik mi ?
- İş yönetimi ve karşı iddia yönetimi (itiraz ve iddialar) kimlerce yönetilecek?
- İşin Avans miktarı, Teminat tutarı?
- İnşaatı değerlendirme mühendisliği? Sözleşmede alternatif çözüm olasılığı var mı?
- Mahkeme ve uluslararası hakem gitme kuralları?
- Bilinmezler (risk) bölüşümü düzenlemesi nasıl? Şartlar nedir?

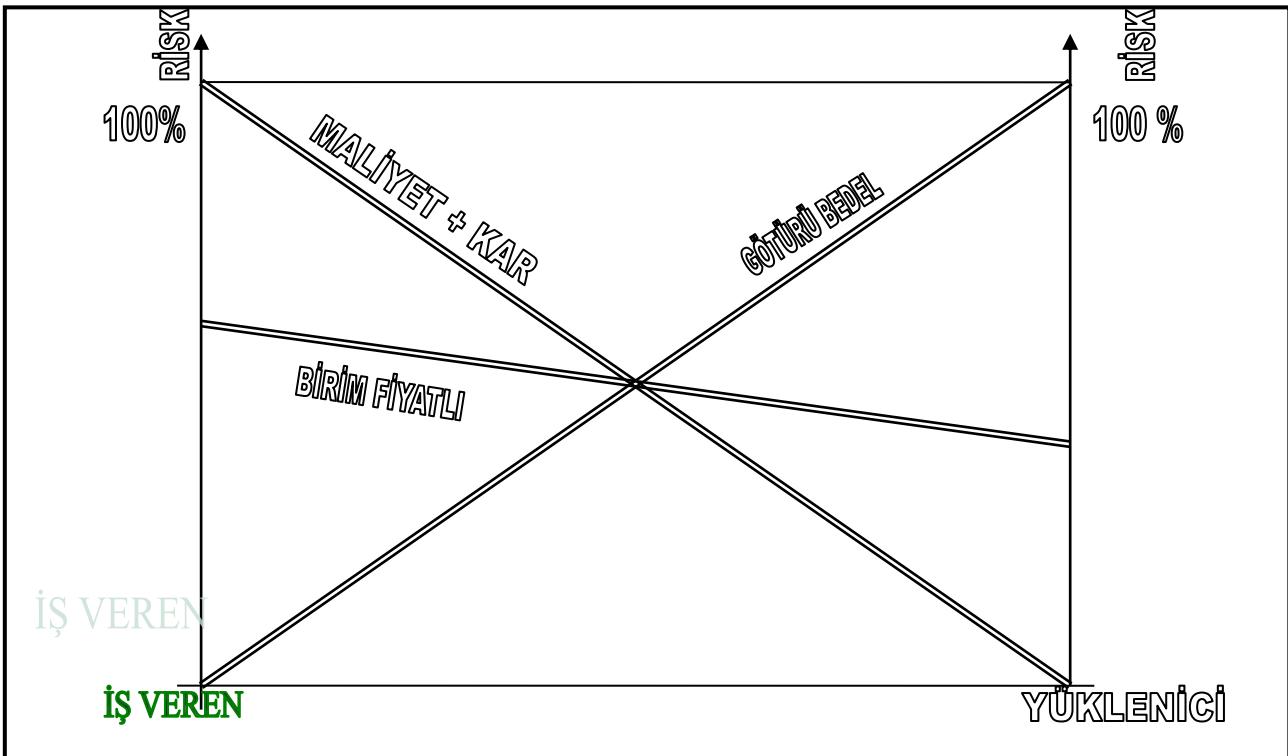
Risk bölüşümü itibarı ile tünel mukaveleleri üç (3) ana formda yapılabilir:

#### **A-) Anahtar Teslimi bedel**

- 1.Götürü bedel
- 2.Fiyat eskalasyonlu götürü bedel

#### **B-) Gerçek ve proje gereği esnek miktarlara göre **Birim fiyatlı** bedel**

#### **C-) Maliyet artı kâr bedeli (CFF – cost fixed Fe)**

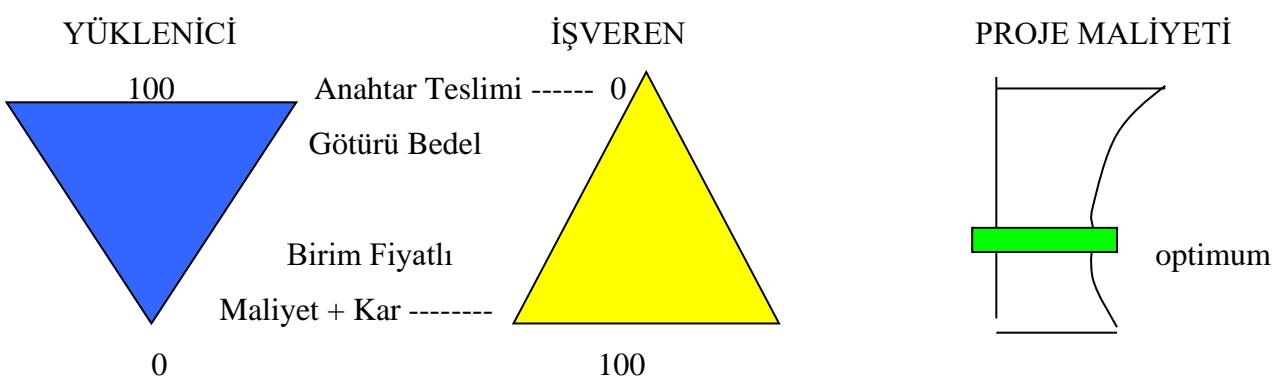


### Risk seviyesi

**İşveren**

**Yükleme**

Yukarıdaki şekil çeşitli sözleşme biçimlerine göre risk bölüm durumları % yüzdelerini göstermektedir. Ayrıca anahtar teslimi işte tasarruf olamayacağı ve yüklenicinin bilinmeyenlere karşı kendini korumak açısından daha fazla bedelle teklif vereceği göz önüne alınır. Maliyet artı kar usulünde ise maliyetin elbette fazla olabileceği kabul olunur ise en ideal ihale yönteminin birim fiyatlı işler olabileceği aşağıdaki şekillerden görülebilir: Burada risk bölümünü proje malyetine etki ediyor:



**Götürü işler** sözleşmesinde sözleşmenin anahtar teslimi olması nedeniyle bütün riskler **yükleme**ye yüklentiği halde, **maliyet artı kar** sözleşmeli işlerde işin maliyetine karın yüklenmesi garantisini olduğundan tüm riskler **işveren** üzerinde kalır.

Birim fiyatlı mukaveleler ise bu ikisinin arasında tam yeri belirlemez ama ortalarda bir yerde olduğu kabul görür. Götürü sözleşmelerde teklif ve maliyet artı sözleşmelerde de sonuç birim fiyatlı sözleşmelerden pahalıdır ve bu sözleşmelerde dengesiz tekliflerin gelmesi halinde sözleşme üzerinde fazlaca yorum yapma imkânı da olmadığından işveren zarara girebilir.

#### ***Avusturya da tünel işlerinde genellikle esneklikle imkân veren birim fiyatlı sözleşme sistemi kullanılır.***

Sözleşme bağlanmasında çözüm nedir? İki taraf için de en uygun sözleşme ne olmalıdır? Ana ilke iyi, kolay anlaşılır, inşaatın güçlüklerini dikkate alıp, açıklayıcı olmalı ve zeminin klas şartlarını da içermelidir. Klas fiyatları belirgin olmalıdır.

Yüklenici; mükemmel bir şantiye organizasyonu, her zemine göre ayrı düzende çalışma yöntemi uygular ve teknik şartnameye ve programa uygun iş ilerleme sergilerse, yüklenici de zeminin ortaya koyduğu belirgin olmayan jeolojik şartların riskini paylaşır.

Tünel inşaatı için yapılan uluslararası sözleşmelerde projeler üzerine geçmiş pratiklere / deneylere dayalı uyarılar konulmalıdır.

Tünelde inşaat sırasında olası şartları dikkate almadan yapılan lineer metre üzerinden birim fiyatlandırmada, bu şekildeki sözleşme hali, yukarıda anlatıldığı gibi Yükleniciyi zorlar ve kendisini emniyete almak için teklif değerini yükseltir ki bu da projenin yüksek bedelle mal olmasını doğurur. Ayrıca bu durum tartışma ve davalara neden olur.

Modern tünel inşaatında geçici destekleme evresi her ne şekilde olsun, kayıp (para ve zaman) anlamına gelir. Püskürtme beton, bulonlar, çelik iksalar, ilk kademe desteği olarak yerleştirilmelidir, bu ilk destekler tüm tünel desteğinin ve son aşama projesinin bir parçası olmalıdır. Bundan başka herhangi ayrı görüşün ekonomik olmayacağı ispatlanabilir.

İşin daha planlaması sırasında yükleniciden tenkit edilecek projeler gelebilir ve bu konuda gereken uyarılar yapılır. Bu olay zeminin değişik durumlarını ve ilave olabilecek şartlar göz önüne almamasındandır. İşler ilerledikçe arazideki bilgiler teknik ofise geri besleme yapar ve arazi şartlarına uygun uygulama projesi elde edilir. İlk proje bu yeni verilere esneklik göstermelidir.

Değişken ve esnek miktarları içeren; birim fiyatlarına dayalı tünel sözleşmesinde aşağıdaki maddeler bulunmalıdır:

- Kazı için birim fiyat;

Her tip kaya kılmasını kapsalıdır. Ödeme gerçekten ortaya çıkan zemin cins ve kılarsına göre yapılmalıdır.

- Tip olarak verilen destekleri değiştirmek için klavuz bilgiler olmalıdır,
- Anlaşmazlık olması halinde sebebe dayalı çözüm hazırlık ve önerileri olmalıdır.

Aşağıdaki tabloda belirli özellikteki kaya klasında kazı kademesinin açıklaması ve klaslara gerekli standart destek şartlarına örnekler gösterilmektedir:

Bulunduğu Yer	Desteklemeler		KAZI	Tahmini Deformasyon
	Destek Elemanları	Uygulama Alanı	Kademe Boyu / round (m)	cm
ÜST YARI	P.Beton ds=20 cm ve Hasır çelik çelik iksa c/c=1,00 m SN bulonlar 4-6 m c/c = 1,5 /1,0 m	Gelecek rounddan evvel Gelecek rounddan evvel Gelecek rounddan evvel Aynadan en fazla 3,0 m olana kadar konulacak	1,0-1,5 m	10-30 cm
ALT YARI YANLARI	P.Beton ds=20 cm Hasır çelik Çelik İksa Bulonlar SN 4,0 m c/c = 1,5/ 1,0 m	Her roundda Her roundda Round,round Destekleme tamamlanınca	3,0-4,0 m	10-30 cm
TÜNEL AYNASI	Yüzey P.Beton 5 cm	Ateşleme, kazıdan Sonra kazı nakli Göz önüne alınmalı	-----	-----
İNVERT	Beton db= 35 cm	Üst Yarı kazısından Sonra 30 gün içinde Gerekirse daha evvel	6,0 – 10,0 m	0-10 cm

Sözleşme eklerinde şartnameler ve zemin şartlarının resimlendirilmiş kapsamlı şekilleri bulunmalıdır. Tünel kazısında aşırı kazı(overbreak) ve kaya düşme özelliği belirli kayalarda açıklanabilir. Bu sebeple tünel profili boyunca zemin klasları kayanın (%) yüzdesi olarak verilecektir ve her aralıkta farklı klas olabilir bu km ler için kaya cinsi yüzdeleri belirlenecektir. Her km aralığında klas tahmini yüzde yüz denilemez. Örnek (% 20 Klas A2 % 60 klas B1 % 20 Klas B2 gibi değerler belirlenir.

Özellik arzeden zeminlerde ; kaya klasının durumuna göre fiyat ve ödeme tahmini tünel yapımı için gerekli sürme metodunu, kazının kademeli olarak yapılması, round boyunun sınırlı olması, invert yapımı gibi güçlük şartlarını gözönüne alarak yapılmalıdır. Bu arada bu gibi zeminlerde gerekli ve acil tedbirler; süren ve umbrella konulması, yüzey püskürme betonu, gibi geçici ilave tedbirlerin de fiyata konulması gereklidir.

İşin başında her klas için tünel ana destek malzeme ve ilk kaplamanın her kılasa göre fiyatları tesbit edilir, buna yukarıda bahsedilen ilave tedbirler hesaba katılır ayrıca kazı fiyatına ilaveten ise su güçlük zammı fiyata dahil edilir. Örnek 10 lt / sn den fazla olması durumunda özel ödeme şartları fiyata ilave edilir.

## YAYGIN SÖZLEŞMESEL TARTIŞMALAR

Hemen hemen her tünel inşaatında eninde sonunda “Bu tünelde inşaat şartları değişmiştir ” iddia ortaya atılır. Hatta yükleniciye bir pilot tünel delgi ile işi yürüt diye ön müsade verilse bile bu ön işlemin şartları değiştirmede bir şans olduğunu dahi yüklenici dener oradan değişik yararına bir çıkış yolu araştırır. Oldukça yaygın olan anlaşmazlıklardan birkaçı; jeolojik açıklamaların yetersizliği, klasların farklı olduğu, fazla kazı ve aşırı dökülme şartlarının değiştiği sayılabilir.

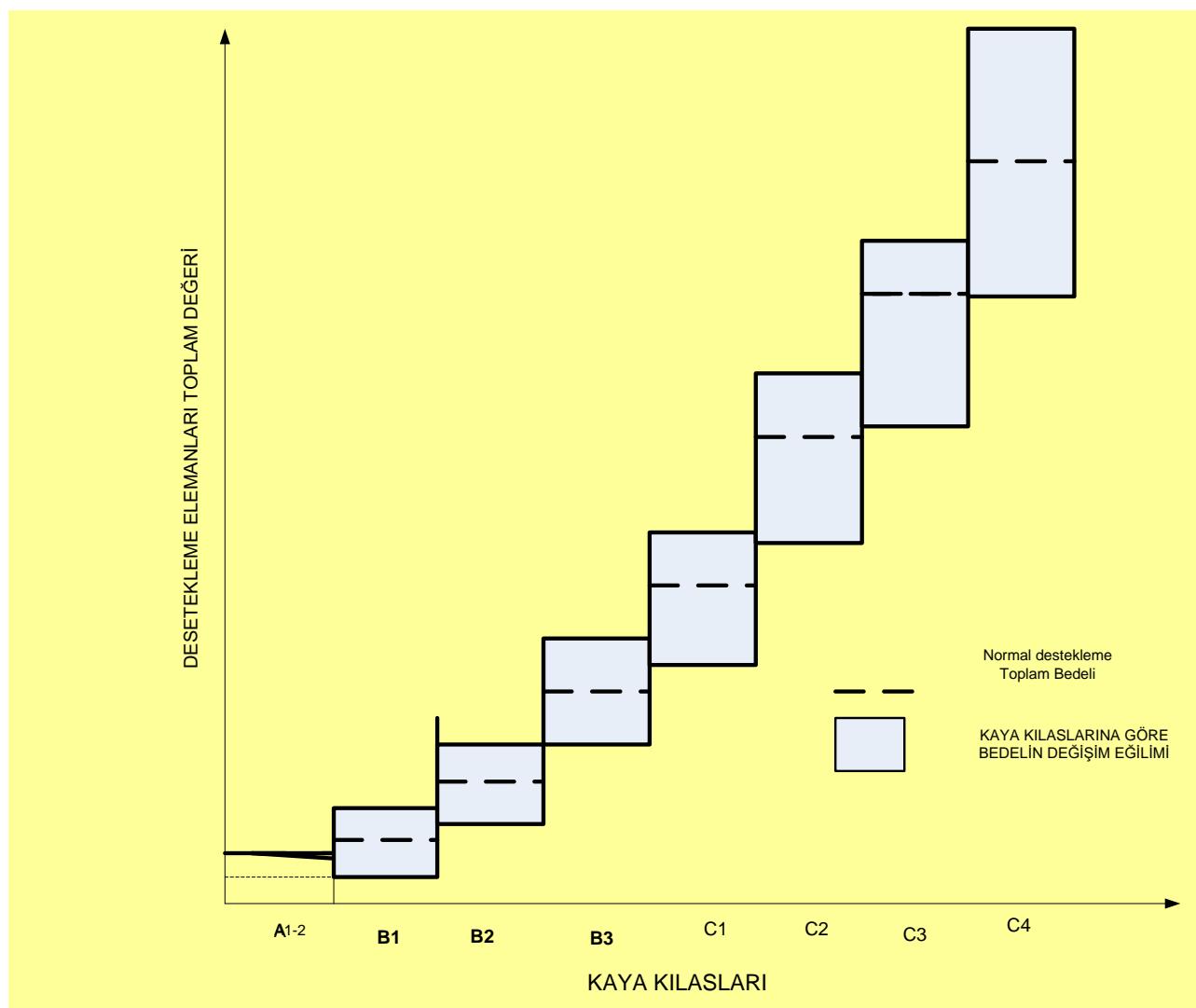
### a-) Kılaslama / sınıflama :

İşveren veya mühendisin yetkili temsilcisi ile yüklenici temsilcisi her roundda hem fikir olarak yeni yapılacak kazı için kaya klasının tipine kaya için belirlenen klas tiplerinin açıklamalarına göre karar verir. Yüklenici ile İşveren veya temsilci mühendis arasında fikir ayrılığı olduğu koşullarda sözleşme eki teknik şartnameler problemi çözecek kadar detay vermelidir ve böylece her iki taraf da sorunu teknik şartnamenin öngördüğü açıklamalarla aralarında anlaşma yapabilse.

Avusturya’ da Yüklenici bu gibi durumlarla az karşılaşmak için tarafsız ve bağımsız bir tünel uzmanı kişi ile işbirliği yapar ve onun görüşünü alır, onun kararları dikkate alınıp bu uzmanın açıklayacağı destekleme seçilir ve onun bedeli ödenir. Ancak bu uzman kişi kaya klası tarif etmeye ve onun ödemesine karar vermeye yetkili olur.

Bu koşul ana şartnamelerde kriter olarak yazılmıştır ve bu suretle ileride tartışma ve anlaşmazlıklara yer bırakılmaz.

Kaya klasları için tartışmalardan savunulmak veya tartışmaları aza indirmek için diğer bir çözüm yolu da kaya klasları için ayrı ayrı minimum, maksimum fiyatların belirlenmesi yoludur. Bu görüş aşağıdaki grafikte sergilenmektedir :



Yukarıdaki şekilde düşey doğrultu; tünelin ilk destek ringini sağlayan, püskürtme beton, hasır çelik, çelik iksalar, kaya bulonları, sürenler, invert ilk kaplaması elemanlarının 1 (bir) m deki tünel için tüm bedelini gösterir. Standart destek elemanların değerleri belirlenmiş kaya klaslarının ihale fiyatlarına göre belirlenmiş, ona göre değerlerin esas değişiklikleri yüzde (%) bazında gösterilmiştir. Kazının esas ödeme fiyatı değiştirilmeden kazı gerçek destek elemanlarının tip ve miktarını tespit etmek mümkündür.

Yukarıda açıklanan düzenlemeler, ayna kazısının yapılışında da dikkate alınmalıdır zira aynada parçalı kazı, su tesiri ve diğer ilave desteklemeler tünel hızına tesir eder ve bu ek masraf getirir. İlk kaplamanın ortaya çıkan yeni şartlara göre bölgesel olarak desteklenmesi veya tünel aynasından belli mesafede geride ilave bulon konulması kazı için ilave fiyat değil, ilave destek malzemesi ek bedelini doğurur, kazuya ek zam gerektirmez.

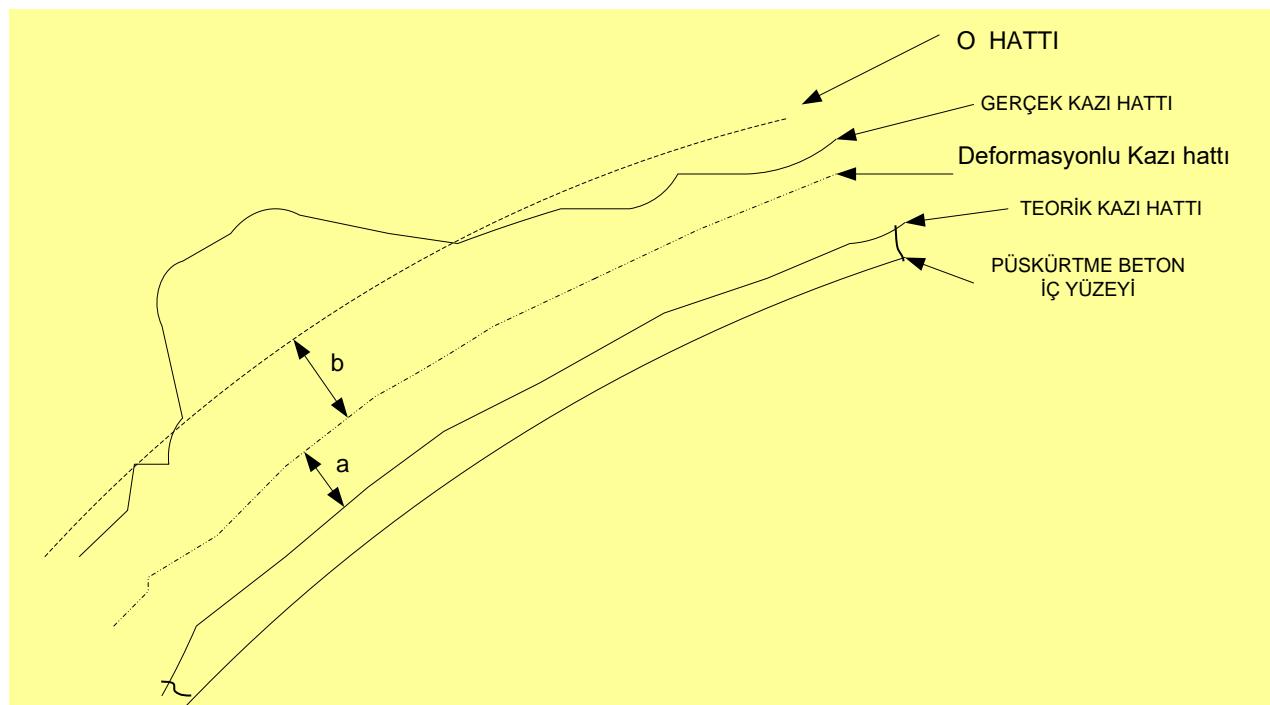
## b-) Fazla Kazı ve Aşırı Sökülme

Kazının ölçülen miktarının püskürtme beton ve beton kalınlık miktarına bağlı olduğu bilinmektedir ve buna kayanın ilave sökülme miktarı kriteri de konularak kazı miktarı genel hesaba katılır. Bu problem iki taraf arasında şartlara açıklık getirme ve risk bölüşümü kabulü işinden çok karmaşıktır. Şurası aşikardır ki bütün şartlar ve zorlamalar ortaya konulsa bile gerçek kazı hattı; teorik (proje) hattı ile aynı olamaz.

Bu işlemde en uygun risk bölüşümü işverene zeminin süreksizlik şartlarının verdiği riski vermek ve yükleniciye de bu işin işçiliğinin riskini yüklemek gereklidir. Çözümü budur.

Öneri aşağıdaki şekilde sunulmuştur:

### KAZI HATTININ ŞARTLARI:



Projelerde kazı profili olarak T HATTI dikte edilmektedir.

İnşaat toleransı ve kaya cinsine göre uygun görülen radyal deformasyon toleransı kazının son şekli düşünülerek gerekli mesafe (boşluk) kalacak şekilde kazı profili zemin yüzeyine işaretlenir ve ona göre kazı yapılır.

Özetle kaya cinsine göre kabul edilen deformasyon toleransı teorik kazı toleransına ilave edilir ve bu mesafenin ileride beton kaplama yapmadan evvel kapanacağı farz edilir. Radyal deformasyonu kapsayan –D- hattı yukarıdaki şekilde bu hat olarak gösterilmektedir. –D- Hattı kazılacak minimum (en az) kazı hattı demektir ve kazısı yapılan tünel çevre yüzeyi püskürtme betonun içine yer yer 1/3 kalınlıkta olmak şartı ile girebilir ama genelde –D- hattı izin verilen son iç hattır. (1) m<sup>2</sup> de bir noktada gibi.

Yükleneçi; kazılmış zemin/kaya yüzey çizgisinin tam -D- çizgisine oturması için deneme yaparak ve çevrede zayıf patlatma araştırarak o yolda tüm eforunu sarf ederek istenen sonuca varır. (zemine göre bunun için gerekli patlatma paterni hazırlama, patlayıcı türü deneme, patlayıcı miktarını azaltıp çoğaltma, delgi boyunu ayarlama gibi)

Her türden iyi işçilik ve düzenlemeler yapıldığı halde kayanın cinsine göre bir miktar (kaya kırınlılık durumuna bağlı olarak) aşırı sökülmeye kaçınılmazdır. Bu genellikle **kaçınılamaz sökülmeye** adlandırılır. Şekilde bu çizgi –O- hattı olarak belirtilmiştir.

-O – hattının dışında olan aşırı sökümler beklenmeyen / öngörmeyen jeolojik koşullardan mı yoksa yüklenici işçiliğinin uygun yapılmamasından mı olmuştur bu Mühendis tarafından araştırılır. Eğer Mühendis bu sökülmeye nedenini yüklenicinin kötü işçiliği ve uygun metot kullanmaması nedeni ile olması durumunu tespit ederse Yükleniciye bu iş ile ilgili tüm sorumluluklar; bu işin tamiri, yeniden tünelin eski haline getirilmesi ve bunun için gerekli ilave püskürtme betonu, hasır çelik, bulon vs gibi destekleme malzeme ve işçilikleri yüklenir, eğer, gerçekten alınan tedbirler yerinde ve işçilikler de uygun ise Mühendis/idare bunu risk kapsamına alıp ek ödemeye karar verir.

#### c-) Deformasyon:

Zayıf zeminlerde orta derecede ve yüksek derecede yük altı şartlarında deformasyon çok etkindir ve en büyük sorundur.

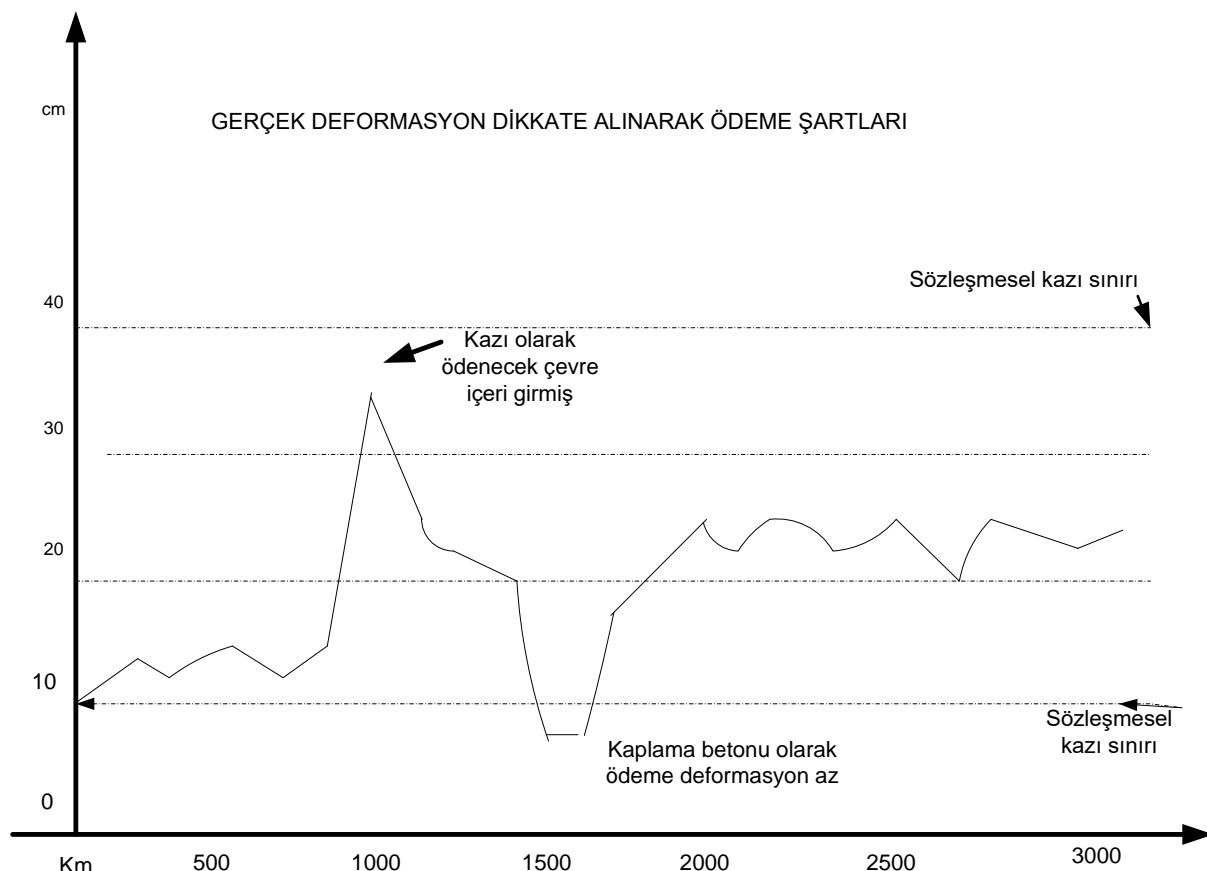
İlk kaplamanın ekonomik olması için deformasyona müsade ederek kaya ile birlikte deformasyon yaparak ona paralel işlev görmesi gereklidir ve deformasyondan sonra zemin içerisinde gerilme dağılım sistemi yeniden oluşur o durumda ilk kaplama yeni oluşan gerilmeleri karşılaşacak dayanıma erişir. İşte bu sistem tercih edilen prensip olmaktadır ve bu NATM destekleme sisteminin esas ruhunu oluşturur. Gerilme düzenlemelerine bağlı olacak önceden tahmin edilen deformasyonlar kazı ile karşılanır. Yüklenicinin kazı kesiti profilinde inşaat yapması normal işlemidir, ancak sonradan oluşan hesaba katılmayan fazla kazının miktarları ve inşaatın doğru yapılmamasından doğan kesite giren yerlerde tüm tarama işlemleri yüklenici sorumluluğunda olup tüm masrafları yüklenici tarafından karşılaşacaktır. Yüklenicinin tünel içinde riskini sınırlırmak amacı ve İşveren (idare) – yüklenici arası bazı sorumluluk bağlantılarını kurmak için aşağıdaki öneriler öngörmektedir:

Araştırma, deneyler ve ölçümler neticesine dayalı zeminlerdeki kazı sonrası beklenen deformasyon miktarları için işveren/idare ile yüklenici arasında ilk aşamada fakir birliği sağlanır ve değişikliklerin bu koşullar altında olacağı belirtilir. Deformasyonlar bu limitler içinde ise yüklenici tarafından iddiada bulunma (talep/claim) hakkı olmayacağındır ve tüm ödemeler şartname koşulları içinde anlamında karar verilir.

Deformasyonlar belirlenen limitleri aşınca (aşağıda açıklanacağı gibi) yüklenicinin ilave işçilik ve malzemeye dayalı hak talep etme yazısı yazma şartı ortaya çıkar.

Sözleşme şartlarında her kaya kılışı için deformasyonun en alt ve en üst belirtilmiş alanı tespit edilmiş ve yazılmış olmalıdır. Seviye ölçme (kot kontrolü) ve üçgen ölçümü (triangülasyon-kapanma

kontrolü) gibi ölçüm kontrolları da şartnamesede konulmuş olmalıdır



#### d-) Jeomekanik Ölçümler:

Sözleşme eki İnşaat teknik şartnamesinde ve işin maliyet keşfinde jeoteknik ölçümleri ve onun programları usulleri önemle belirtilmelidir. Ölçümlerin belli bazı formlara kayıtlanarak tutulması, bu işlerin yönetimi ya yüklenici insiyatifine bırakılması idare temsilcisi isteğine bırakılması idare isteğine bağlıdır. Fakat ne hal olursa olsun **ölçümlerin** belli şartlarda ve teknik kurallarda ve peryodik/dönüşümlü olarak **alınması çok önemlidir**.

Yüklenici bu ölçüm aparatları ve cihazlarını tünel trafiğinden patlatma işlemi tehlikesinden verilebilecek her türlü hasarlardan korunmasından sorumludur. İlk ölçümler kazılan aynaya yakın yerde alındığından tünel kazı ilerlemesine bu işlerin tesiri az da olsa olacağı göz önüne alınıp hesaba katılmalı ve her roundda ölçümleme zamanı diye bir faaliyet süresi konulmalıdır ve bu birim fiyatlarına yansıtılmalıdır. Yani ölçümler kazının ilerleme hızına da etki eder bunu birim fiyata yansıtmalıdır.

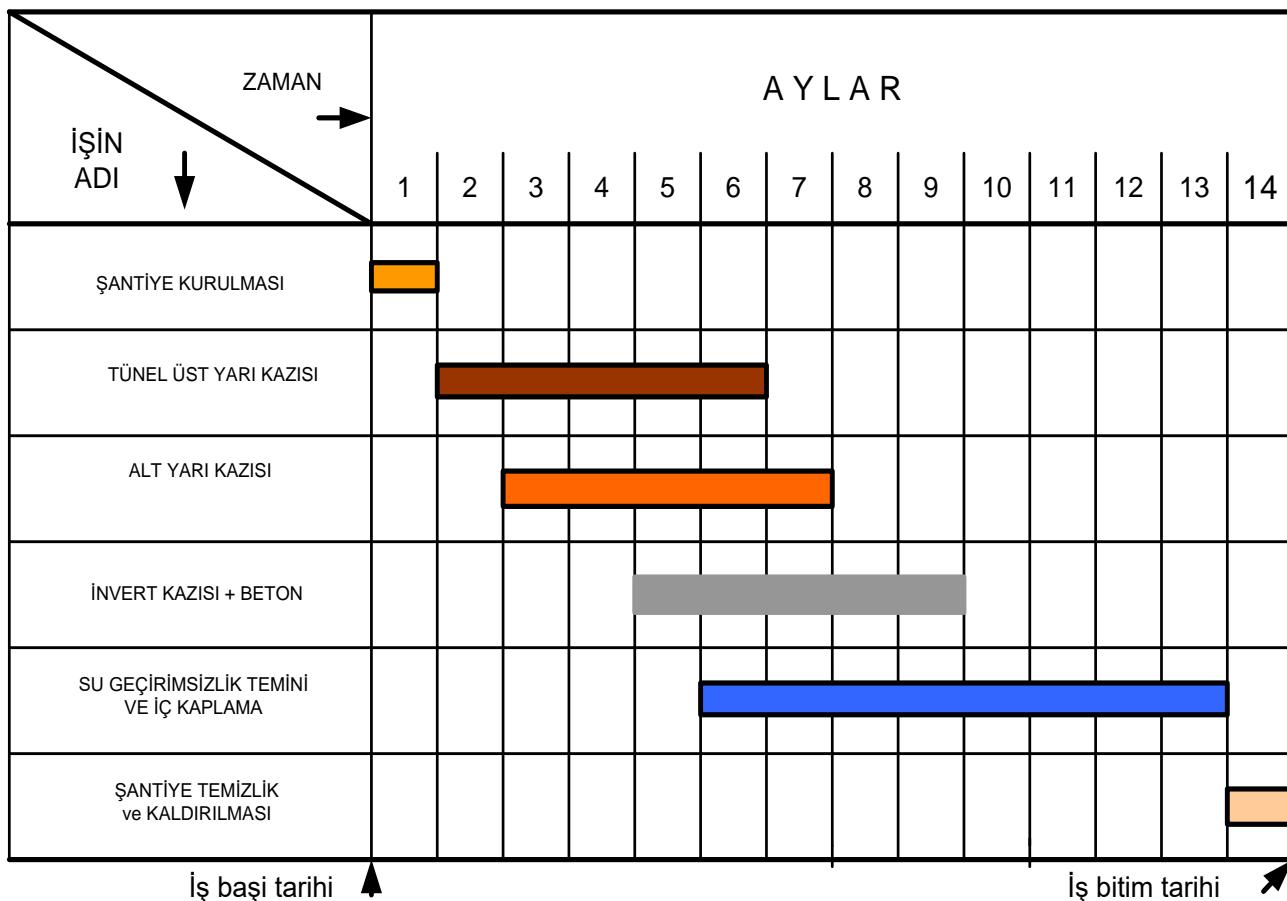
## PROGRAMLAMA ve FİYAT TAHMİNİ

### A-) PROGRAMLAMA

#### 1-) Genel:-

İşin yapılabileceği başlama zamanı tarihi ve bitirme zamanı tarihini önceden kestirmek çok sınırlıdır. İşlerin ayrı ayrı programları bu zamanın tesbit iskeletini oluşturur.

Aşağıdaki şekilde çizgisel (bar-chart) olarak işlerin programını gösterme şekli açıklanmaktadır :



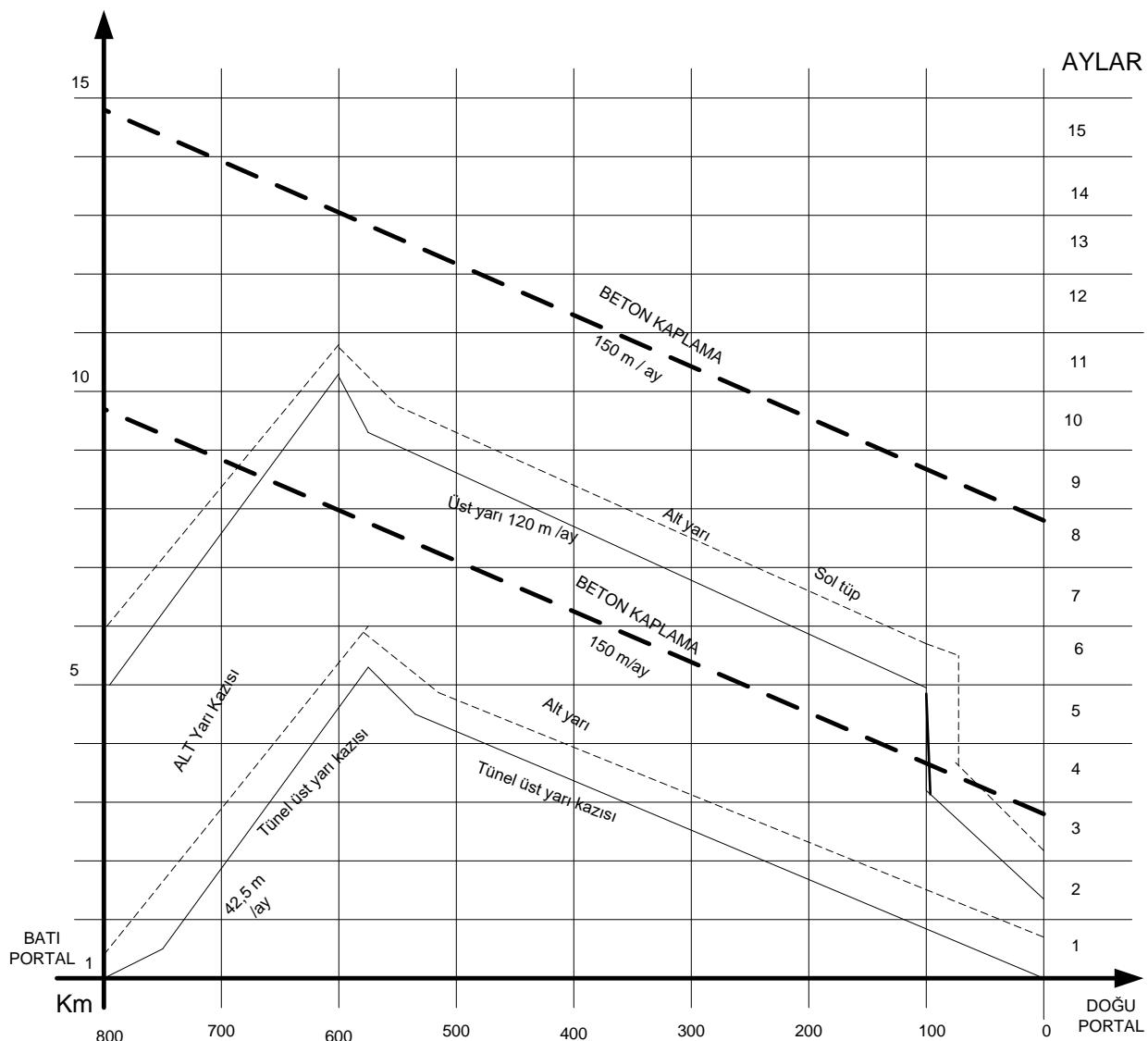
Cizgisel programda tahmini üretim görünmez, bu sebeple ayrı bir programda tahmini üretim miktarları gösterilmelidir. Çok kapsamlı programlar; CPM (critical Part Method) kritik hatlar metodudur ve bu metotta her işin miktarı, süresi, ne zaman başlayıp ne zaman biteceği, ve diğer iş kalemleri ile ne gibi bir bağlantısı bulunduğu gösterir. Ayrıca o iş kalemlerine gerekli malzemelerin temini, montajı, kabulu basamakları da gösterilir.

CPM programı bar-chart gibi basit okunaklı da düzenlenebilir. Bu program tünel işlerinde çokca yaygın olmayıp, ilk mobilizasyonda başarılıdır.

Tünel işlerinde Yol-ilerleme-zaman diyagramı çok kullanışlı olup, ana programı kontrola uygun yapacaktır.

Aşağıda herbir ana iş kaleminin ilerleme eğimi ve çalışılan kalemler, ve belirtilen ilerleme hızı şekilde olarak gösterilmiştir :

## BASIT YOL – ZAMAN DİYAGRAMI :



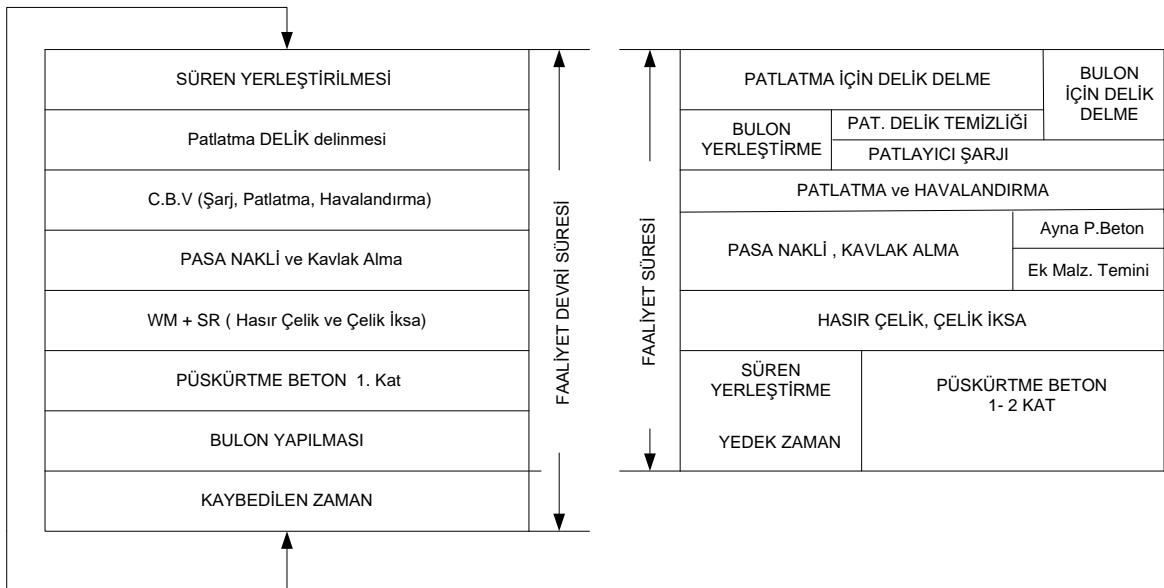
## **2-) İŞ EVRESİ TERTİBİ, DEVRE DÜZENLEMESİ (cycle arrangement) :**

Tüneldeki kazı ve desteklemenin devreleri her roundda devamlı olarak tekrarlanan aktivitelerdir ve üretim oranı (verimlilik için) belirleyici faktördür. Ekonomik uygulama her kademenin optimize edilmesi değer kazancı bakımından önemlidir.

Çeşitli faaliyetler gerekiği anda yapılmalıdır, böylece işçi, ve ekipman verimliliği de tespit edilerek artırılır.

Her bir aktivite(eylem) için özel olarak mobilizasyon zamanı gereklidir (malzeme ve ekipmanın temini ve tünel içine- dışına hareketi) Bunun için düzgün uygun olan diğer işler devam ederken yapılabilecek sistem seçilir diğer işin bitimi beklenmeden mobilizasyon tamamlanır.

Aşağıda (solda) aktivite/faaliyet basamağının biri bitip diğerinin başlaması şeklinde ve sağda ise optimize (en iyi şekilde yaparak) ederek faaliyetlerin yapılmasının kıyaslanması izlenmektedir.



İŞİN / Aktivitenin ADI		Saatler	1	2	3	4	5	6	7	8
ÜST YARI	Ölçme, hazırlık		1					6		
	Kazı Roadheader			2						8
	Kazı Dışarı Taşıma				3					
	Hasır çelik					4				
	Çelik iksa					4				
	Püskürme beton						5			
	Bulonlama							6		
ALT YARI	DİĞER									
	Hazırlık ve Ölçme					5				
	KAZI	Sol				5				
		Sağ				5				
	HASIR ÇELİK	sol					5			
		sağ					5			
RAMPALAR	İKSA	sol					5			
		sağ					5			
RAMPALAR	PÜSKÜRTME BETON	sol						6		
		sağ						6		
RAMPALAR	DİĞER								8	
	KAZI									

Yukarıdaki zaman çizelgesinde Road header makine ile Tünelde Üst yarı ve Alt yarılarının yapımının paralel organizasyonu görülmektedir. (bir vardiya için )

### **3-) Üretim Faktörü :-**

Devre (cycle) zaman-süresinin tam anlaşılması temeli üretim faktörlerinin bilinmesi ile belirlenir: Ana faktörlere etkenler aşağıdadır:

- a-) Delme Hızı
- b-) CBV/ şarj, patlatma, vantilasyon
- c-) Kazının Nakliye Kapasitesi
- d-) Püskürtme beton harcaması ve bu betonun Nozuldan çıkış hızı
- e-) Püskürtme beton Miktarı
- f-) Bulonlama Üretimi ve hızı
- g-) Süren İşleri

#### **a-) Delgi Hızı :-**

Patlatma deliklerinde delgi üretimi ilerlemesinden amaç delgi artı su ile temizlik (flushing) işinin cm/dakika hızıdır. Özel delgi hızı makine kapasitesi ve operatör kabiliyeti (yetisi) ile tayin edilmelidir.

#### **b-) Patlayıcı Madde Şarji, Patlatılması, Havalandırma :-**

Patlayıcı madde yerleştirilmesi ve kabloların geniş anlamda ehil işçi-insan gücü ve yardımcı ekipman (sepet-lift, sehpa, merdiven gibi) cins ve miktarına bağlıdır. Havalandırma süresi de, fan sisteminin kapasitesine ve patlamada kullanılan patlayıcı miktarına bağlıdır. Ülkelerin çoğunda zehirli gazların seyreltilmesi hakkında denetleyici kanunlar ve şartnameler vardır ve havalandırma gereksiniminde bu şartnameler temel olarak kullanılır.

#### **c-) Nakliye Kapasitesi :-**

Kazıda tünel için alınan kabarma ve fazla kazı miktarı katsayı 1,80 alınır.

Pasa nakli kapasitesi; yükleme kapasitesine, yükleme devir süresi (yüklenecek damper kapasitesi bağlı), boşaltma kapasitesine ve yükleme yerindeki damperlinin yer değiştirme (manevra hızı) kapasitesine gibi uygulama faktörlerine bağlıdır. Tünel içi nakliyelerinde çok fazla uzunlukta taşımalar **damperli kamyon kullanımını** onların hızı, doldurma ve boşaltma problemleri, trafik yoğunluğu ve havayı kirletme nedenleri ile sınırlar. Bu gibi hallerde raylı sistem tercih edilir.

#### **d-) Püskürtme beton kullanımı, üretimi, sarfı :-**

Malzemeyi atan Nozulcu (nozzlman) nun kabiliyeti, püskürtme makinesinin saatlik kapasitesi ( m3/saat), Püskürtme betonunun temini santraldan getirme ve Püskürtme makine ulaşımı kapasitesine bağlıdır.

#### **e-) Püskürtme beton miktarı katsayısı :-**

Bu katsayı santralda üretilen püskürtme beton miktarının Teorik olarak proje değerlerine göre atılması gerekli hesap edilen miktarla oranından çıkan sayıdır. Bu katsayı içinde teorik miktarla ilaveten, fazla kazıya giden püskürtme beton miktarı, geri dökülme(sekme) miktarı, yerinde sıkışma miktarı ve diğer mikser içi dışı kayıpların miktarları dahildir.

#### **f-) Bulonlama üretimi:-**

Bulonlamada; bulon delgisi, enjeksiyonlayıp yerleştirme, priz aldıktan sonra sıkıştırıp – gerdirme gibi işlemlerin dakika cinsinden süreleri bu işin üretim faktörlerini içerir. Bunlara tesir eden faktörler ise; delici makinenin tipi, cinsi, delgi hızı, insan gücü, enjeksiyon için gerekli yardımcı ekipmanlar ile bu işlerin birbiri üstüne gelmemesi hali.

#### **g-) Süren Üretimi:-**

Her bir boru süren için geçen zamanın dakika cinsinden değerlendirilmesi, Tesir eden faktörler: delme makinesi kapasitesi, insan gücü, yardımcı ekipmanlar (platform, lift vs), işlerin üst üste gelmemesini düzenleme.

Yukarıda açıklanan faktörlerin çoğu insan gücü ve makine gücü üretim oranı faktörlerine bağlıdır. Ekipman tamir ve bakımı işe ara verme (tatil, kaza vs) gibi zaman kaybı veya insanların verimliliğinin artırılması gibi net olmayan faktörlere de tahminci olarak bir yüzde koymak gereklidir ama bu miktar yukarıdaki nedenlerden azdır.

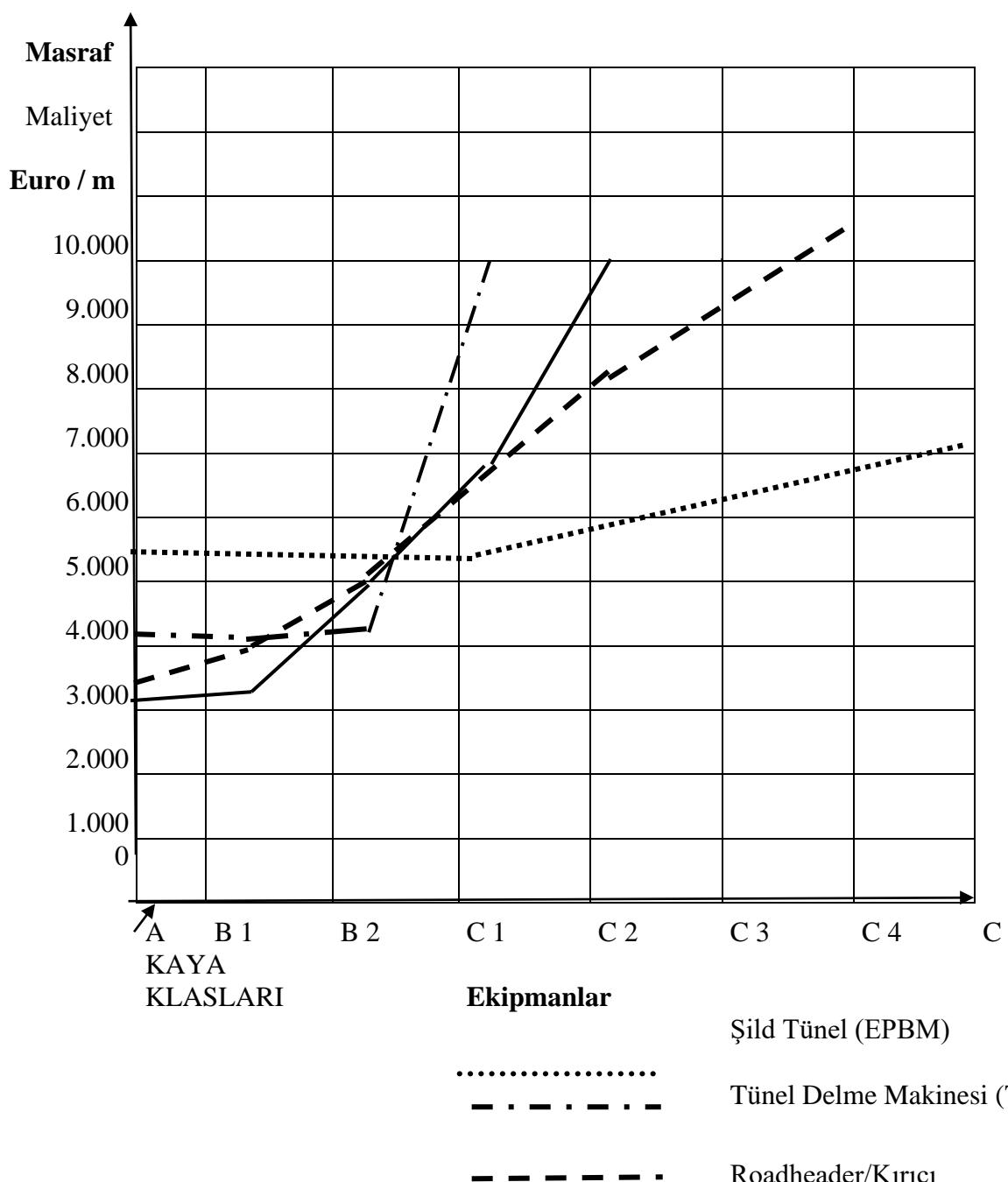
#### 4-) EKİPMAN TÜRÜ:-

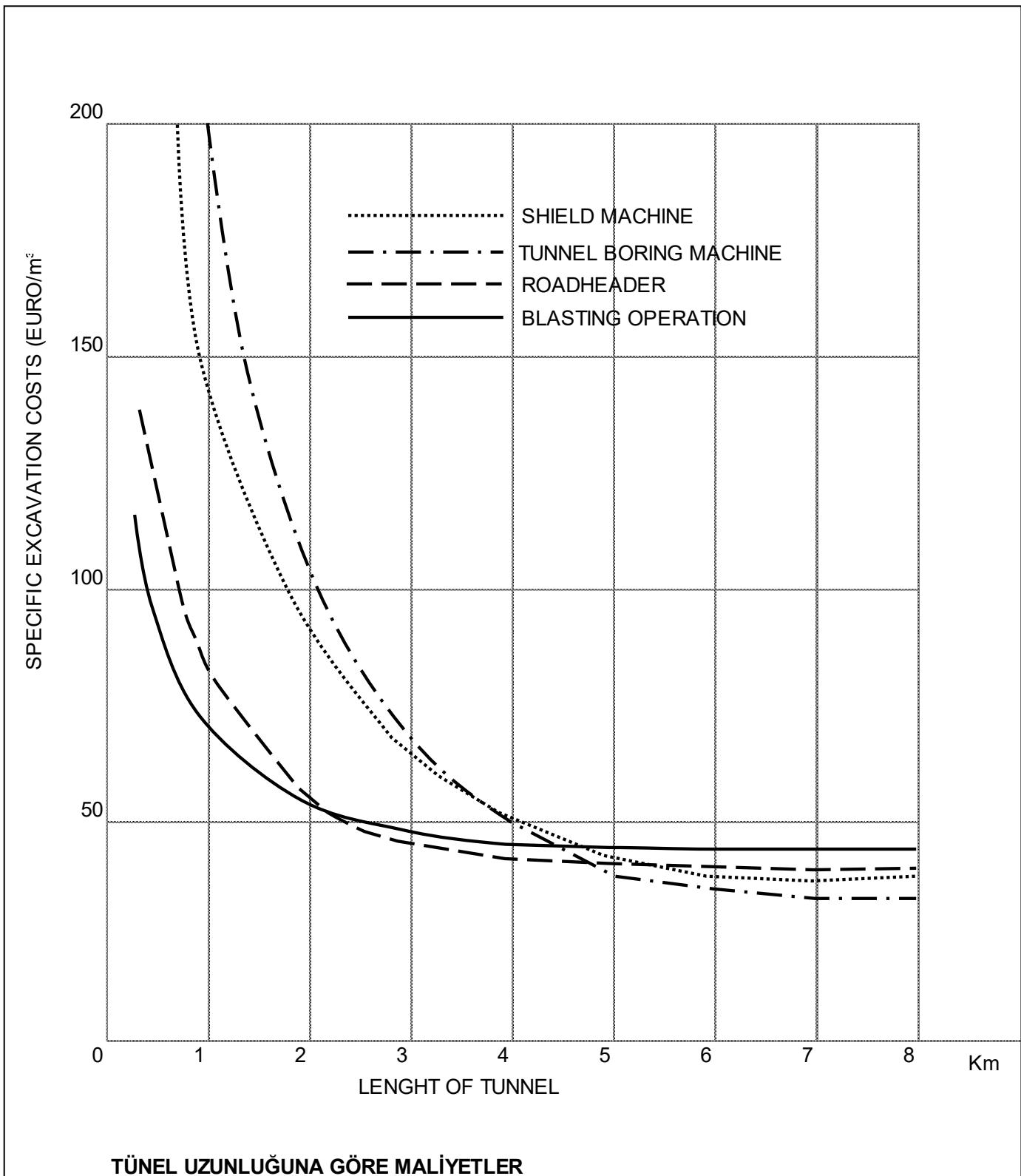
Tünellerde ekipmana sahip olmanın teknik yönü diğer bir bölümdür. Fiyat tahmini araştırmasında değişik ekipmanlar ve bu ekipmanların karışım şekilleri ortaya konulmalı ve her birini ekonomik yönden irdelemeliyiz.

Uygun ekipman seçimine, süre(zaman), kaya cinsi, kazı kesiti (tunnel boyutu), tunnel boyu her projede ayrı özellik gösterir ve bunlar tesir eder.

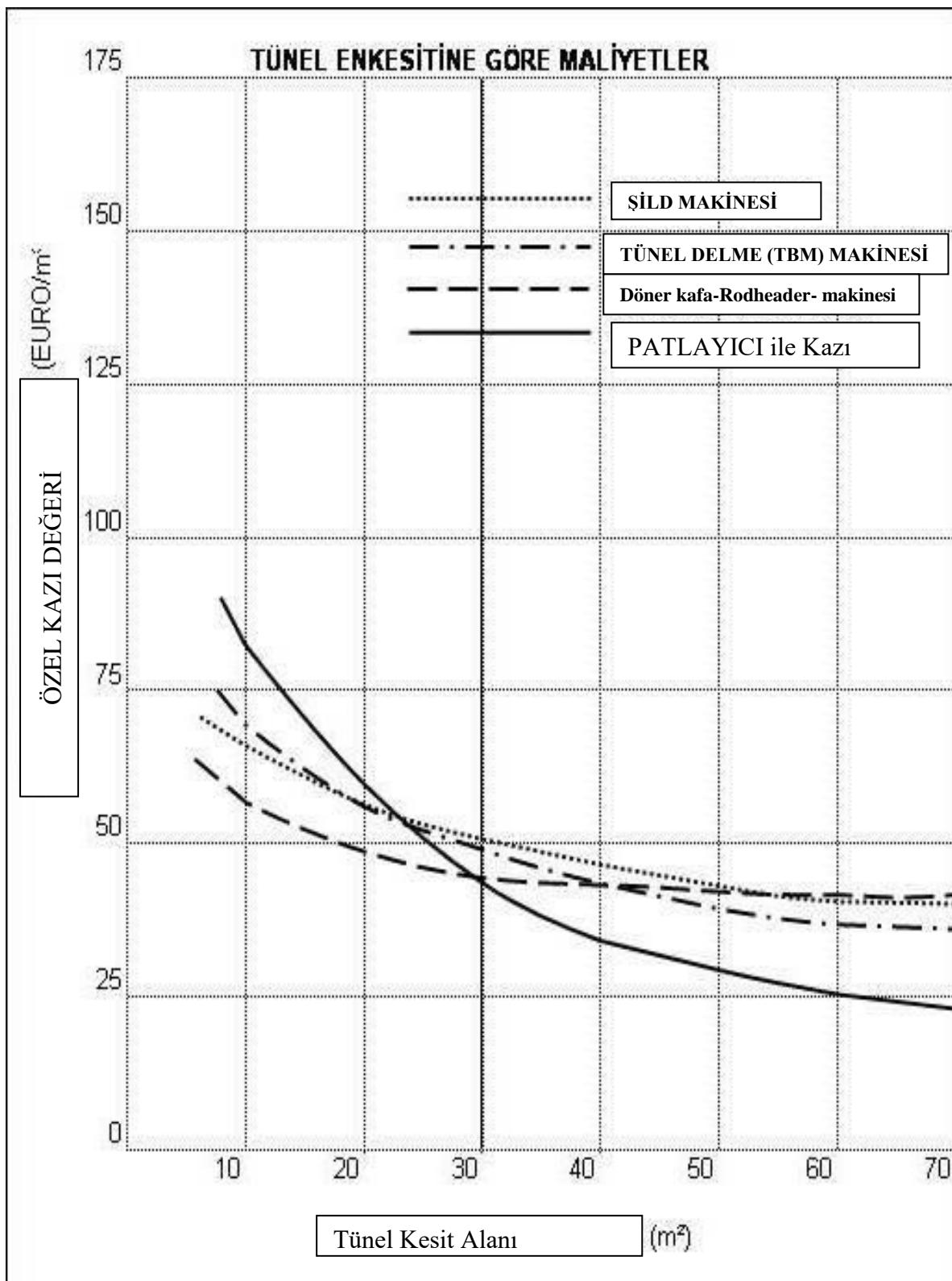
Ekteki diyagramlar kayanın klas cinsine; tunnel kesitine; ve tunnel boyuna göre kazı maliyetlerinin ekipman karşılaştırmalarını göstermektedir:

**Kaya klasına göre Ekipman Seçimi ve İnşaat maliyeti**









Kazı maliyetleri tahmini için yukarıdaki ekipman diyagramları; ekipman temininde fizibil ve ekonomik kullanım için kılavuz açıklama diyagramı olarak kullanılmalıdır.

## B-) MALİYET DEĞERİ TAHMİN HESABI

### 1-) Genel

Altyapı gibi ağır ve güç şartları taşıyan inşaatlarda Maliyet tahmini (ön keşif) bu maliyete proje mühendisliği, inşaat planlaması, inşaat metotları ve bu konudaki deneyimlerin katkıları ile ortaya çıkarılır. Değerlendirici kişi, bu işi süresinde bitirmeyi, bu sürede bitirilmesi için gerekli ekipman, üretim santralları(beton, p beton, atölyeler) ve makine, yedek parça ve işgütünü hesabını yapmalı, ayrıca bu süreyle uygun programı ve gerekli projelerinde yapımı değerlendirmesini işin masrafını da fiyatına ekleyerek işin genel maliyet fiyatını ortaya koymalıdır.

### 2-) Masrafların ayrıntıları:-

Tahmin edilecek proje masrafları 5(beş) ana gurupta detaylanabilir:

- Direkt Masraflar
- Tesisler, makine ve Ekipmanların masrafları
- Dolaylı Masraflar
- Kurtulan Malzemeler ve bilinmeyen (beklenmeyen) problemler
- Parasal/finans için nakit miktarı ve nakit akışı diyagramı tespiti

#### a-) Direkt (doğrudan işe etkili) Maliyet masrafları:

Bunlar gerçek işçilik masrafları, sigortaları, hak ediş vergileri, malzeme giderleri ve işte kullanılacak makine ekipmanın çalışma masraflarını kapsar. Ayrıca bu masraf geniş anlamda işin uygulamasının / metodunun getireceği, üretiminin getireceği belli orandaki masrafı da kapsar. İlaveten, yönetimdeki formen (supervisor), diğer çavuşların da masraflarını içerir.

#### b-) Üretim santralları ve ekipmanlar:

Projenin yapımını yapmak için gerekli teçhizat temini, üretim tesisleri ve atölyelerin masrafları bu bölümde ele alınır. Genelde 4(dört) bölüme ayrılır:

- Tesislere gerekli malzeme Masrafları
- Tesislere Gerekli İşçilik Masrafları
- Tesislerin Nakliye ve kurma işleri (Mobilizasyon) masrafları
- Makine Ekipman masrafları

Makine ve ekipmanın iş bittikten sonra bir işyerinden diğer işyerine götürülerek tekrardan değerlendirilmesi en arzu edilen severek yapılan şarttır. Ancak iş bitiminde mevcut makine ekipman o andaki değeri üzerinden satılır; bu değerden nakliye(mobilizasyon) ve montaj sökme(demontaj) değeri düşür neticede kalan işte bu değere makine ekipmanın kurtarılma değeridir (atık değer) denir.

Ekipmanlar şunlardır:

- Pompalar
- Beko, yükleyici, kamyonlar, delici makineler, kompresörler, greyderler gibi kazı makineleri
- Beton santralları
- Taşıyıcı bantlar, silindirler ve motorları,
- Beton yerleştirme Makineleri ( vinçler, vibratörler, beton pompaları vs)
- Beton agrega ısitma ve beton soğutma tesisleri
- Lokomotifler, trafolar,
- Atölye ve Ofis makineleri

- Muhtelif kamyon, pikap, otomobiller

Plentler, geçici inşaat tesisleri olup, taşınamaz ve satılamaz ünitelerdir ve iş bittiğinden sonra neticede fark edilecek bir değeri haiz değildir.

Plent nesneleri şunlardır:

- Servis yolları, onların bakımı, servis köprüleri, çeşitli iskeleler,
- Prefabrik bina ve ambar temelleri ve destek elemanları,
- Tesislerin kurulması, montaj işçilikleri
- Havalandırma işleri
- Su temini
- Elektrik temini
- Prefabrik olmayan binalar ve atölyeler

Diğer bir masraf kalemi olarak ekipman ve plantlerin ilk tesis edilmesi, nakliyeleri (mobilizasyon) masraflarıdır. Bu değerler tahminciler tarafından malzeme ve tesislerin temin şeklini de dikkate alarak hesaba katılır, zira bu malzemelerin teklifinde yerinde tesis fiyatı dahil olanlar dahil olabilir.

#### c-) Doğrudan olmayan masraflar:

Bu masraflar işin tabiatında olan ama makine, ekipmana konulamayan masraflardır.

Bazı yükleniciler bu masrafları genel şantiye masraflarına katar. Bu guruba giren masraf çeşitleri iki gurupta toplanır:

Bu bölüme giren bu kategorideki nesneler şunlardır:

Dolaylı Masraflar:

- Proje Müdürü
- Proje Müdür yardımcısı
- Mali – idari işler Müdürlüğü
- Mühendislik Hizmetleri
- Ölçüm hizmetleri
- Kesin Hesap, Hak ediş, ve Proje kontrollük hizmetleri
- Satın Alma ve Seyahat Masrafları
- Malzeme Temini ve Ambarlama Masrafları
- İşçi Münasebetleri
- İlk Yardım (sağlık Hz), Emniyet (bekçi vs) ve Odacı, kapıçı temizlik Hizmetleri
- Merkez ofis personelinin servis aracı işleri (ofis, mühendislik ve Diğer staff)
- Ofislerin vs giderleri (kırtasiye vs)
- Kanuni hak ediş ve diğer vergi giderleri,
- İzin, permi vs kağıt giderleri
- Telefon telg fax gibi iletişim giderleri
- Eğlence ve istirahat seyahati giderleri
- Genel vergi giderleri
- Genel ve işçilik sigortası giderleri
- Oduller, primler

#### **Genel Şantiye Giderleri:**

- Tesislerin Bakımı
- Yolların bakımı
- Sessiz ve Küçük Cihazlar

#### **d-) Makine ekipmanın artık değeri ve Bilinmeyen giderler:**

Artık değerler; makine ekipman ve tesislerin iş bittikten sonra söküllererek satıcısına tesliminden sonra elde edilen net gelirdir. Bu ekipmanın tekrar kullanımında göz önüne alınacak itibarı değerdir. İkinci el (kullanılmış) makine ekipman tekrardan kullanımın fikri ortaya atıldığından beri bu konuda ön tahmin (masraf ön hesabı) yapımı konusunda tahminciler arasında farklı fikirler ortaya atılmıştır.

Öngörülmeyen masraflar; ilk keşifte tahmin edilemeyen değerlerdir. Bu masraflar işin yapımı sırasında ortaya çıkan problemin çözümünde gerekli işçiliği, geçen süresi, kullanılan makine ekipman maliyeti, ve malzemeler sözleşmenin yürürlükte olduğu süreçte tespit edilen masraflardır.

Dünger bilinmeyenler şunlar olabilir:

- İşin Herhangi tehlike durumuna girmesi
- Malzeme temini ve bedellerinin beklenmeyen duruma gelmesi

#### **e-) Nakit Temini ve Hazır Bulundurma:**

Yüklenicinin yapım işini ne miktarda para ile finanse edeceğini (çevireceği) bilmesi çok önemlidir ve bu konuda yüklenicinin daha önceden elde bulunması gerekli paranın miktar ve bilgisi sınırlı olsa bile onu önceden hesap etmesi gereklidir.

Para gereksinimi genelde neleri kapsayacağı (hangi ana maddeleri ihtiyaç ettiğii) aşağıda açıklanmaktadır:

Ekipman ve Tesis Masrafları	.....
İşçilik, ücretler ve İşin Kesin Teminatı	.....
Yıllık Sigorta (1 yıllık)	.....
Demirbaş Eşya Giderleri	.....
Şantiye Hizmet Masrafları	.....
Gecikme Cezaları (mukaveleye göre)	.....
İş Avansı giderleri (avans teminatı)	.....
Çalışma (faaliyetler) sermaye	.....
Çalışma için Nakit (şantiye kasasına)	.....

TOPLAM : .....

Her ne şekilde olursa olsun; iyi bir nakit akış diyagramı yapmak için; maaş ödemeleri ve diğer masrafları yansıtın inşaat programına paralel çalışma yapmak gereklidir. Yine temel programa paralel öngörülmeyen masrafların da ne olabileceği ortaya konulmalıdır. Bütün bu çalışmalar neticesi gerçekçi bir para programı ortaya çıkarılır.

## EKLER

- 1- EPBM Tüneller Açı-Kapa Tüneller
- 2- Açı-Kapa Tüneller
- 3- Tünel Destekleme Kriterleri ve zemin klasları hakkında birkaç söz
- 4- Tünel Havalandırma
- 5- Tünelde Aydınlatma
- 6- Tünel İşlerinde İş güvenliği
- 7- Tünel Şantiyesinin kurulması

**1- EPBM**

**ZEMİN BASINCINI DENGELEYEREK**

**TÜNEL KAZISI ve YAPIMINI SAĞLAYAN**

**TÜNEL YAPIM YÖNTEMİ**

**EPBM**

**(EARTH PRESSURE BALANCED METHOD)**

Derleyen: Hasan AYDIN

İnşaat Mühendisi

## GİRİŞ

Yerleşim yerlerinde yapılacak metro tünelleri eğer zayıf zeminlerde ilerleyecek ve tünel yapısı bu zemin içinden yapıların yanından veya altından geçecek ise o durumda yapılacak her kazı hareketi çevredeki ve üstteki yapılara göçme veya oturma şeklinde etkiler vermektedir. Bu gibi durumlarda, zeminin iç basıncının kazı sırasında bozulmadan ve üstteki yapılara zarar vermeden meydana getirilen metro tüneli yapı sistemi geliştirilmiştir.

Bu bölümde 1996-1998 yıllarında İzmir'de inşaatı tamamlanan İZRAY kapsamında olan Konak-Basmane arasındaki tüp tünellerin inşaatı örnek olarak anlatılmaktadır.

Bu inşaatın meydana getirilmesinde Yapı Merkezinin Şantiye Müdürü olarak çalıştım. Yapılan işlerin hatırda kalması amacı ile bu notlar derlenmiştir.

Ayrıca EPBM yapımını desteklemesi için bu konuda çok değerli teknik bilgileri olan Sayın Prof. Dr. Ergin Arioğlu'nun da bu konudaki bazı notları ek olarak sunulmuştur.

Kendilerinin ve Yapı Merkezi topluluğunun yüksek müsaadeleriyle bu konuda ilgileneneklere yararlanacakları bilgiler bu yazıda sunulmaktadır.

**KONAK – ÇANKAYA – BASMANE  
ARASI  
YAPIM METODU  
VE  
TEKNİK ŞARTNAMESİ**

**İÇİNDEKİLER LİSTESİ**

- 1- İŞİN TANIMI
- 2- İSTASYONLARDAN ZEMİNE ve ZEMİNDEN İSTASYONLARA GİRİŞLER
- 3- EPBM MAKİNESİNİN KULLANIMI
- 4- EPBM MAKİNESİ İLE KAZI
- 5- TÜNEL KAPLAMASININ YERİNE KONULMASI
- 6- ENJEKSİYON ( Kaplama arkasına)
- 7- TÜNEL YAPIMINDA DESTEK OLARAK YAPILAN HİZMETLER
- 8- EPBM MAKİNESİNİN ÖZELLİKLERİ
- 9- SEGMENTLİ TÜNEL KAPLAMASININ TEKNİK ŞARTNAMESİ
- 10-TÜNEL KAPLAMASININ CONTALARI HAKKINDA BİLGİLER

## 1. İŞİN TANIMI

Bu inşaatta önerilen kaplama sistemi; en son standart tünel tekniklerini kapsar ve bunun birçok yerdeki inşaatlarda yeterli olduğu da kanıtlanmıştır. Tünel kaplaması, su gelişini, önleyen contalarla donatılmış, bulonlarla birbirine bağlanmış prekast elemanlardan oluşur.

Tünel kaplaması, şild arka ucundaki ring monte edici tarafından yerine konulur. Her ring (segment) kazi adımı kaplama – 7 adet segment parçası ve 1 (adet) kilit parçadan meydana gelir.

Ringler yerine konulup bulonlar ile bağlandığı zaman, hemen su geçirmez kaplama özelliğinde olur.

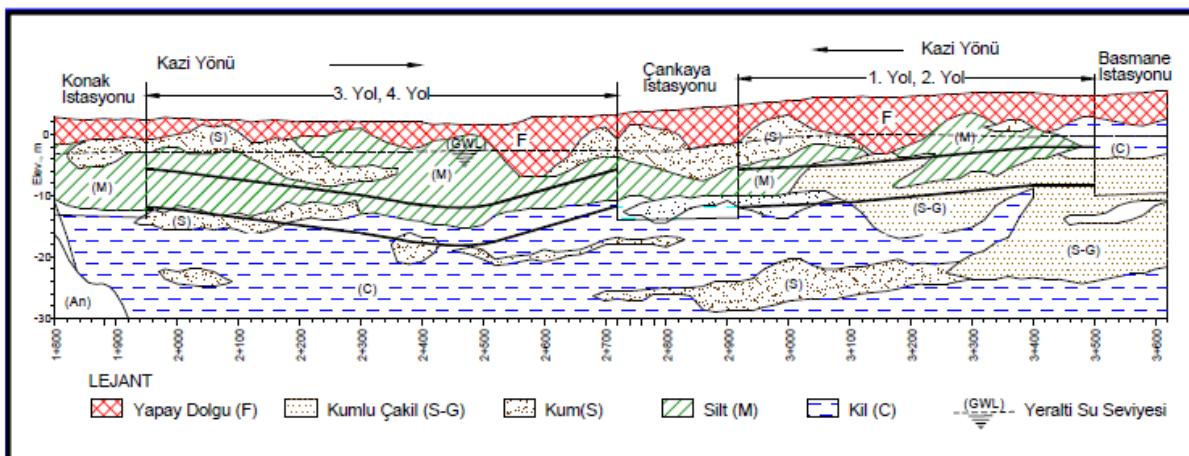
Bu İZRAY (İzmir Hafif Raylı Sistem İnşaatı) işinde sistem; Basmane –Konak, Konak Çankaya arasındaki 2 şer adet tekli tüp tünel olarak oluşturulacaktır.

## 2. İSTASYONLARDAN ZEMİNE ve ZEMİNDEN

### İSTASYONLARA GİRİŞLER:

EPBM makinesinin istasyondan zemine girmesi için istasyonu çevreleyen kutu şeklindeki diyafram duvarlarda (kırımlı yapılarak) bu makinenin girişine uygun kazi penceresi açılır. Bu kazi işi sırasında su sızıntısı veya zemin dengesi bozulması nedeniyle olumsuz durum meydana gelir. Bu nedenle istasyonu çevreleyen duvar üzerinde açılacak pencere arkasındaki zemin iyileştirilmelidir. Zemin hacmi yerine gerekli zemin çimento karışımından oluşan jet-grouting yapma işi en uygun zemin iyileştirme metodudur. Öylece diyafram arkasına geçirimsiz perde oluşturulacaktır.

Eğer jet-grout yapılacak ise bu iyileştirme yapılacak zemin kalınlığı başlama şaftı diyafram duvarından itibaren 5 m olmalıdır. Zemin iyileştirme kalınlığı da her doğrultuda aynı kalınlıkta olacaktır, ancak duvar genişliği fazla ise bu mesafede kalınlık bırakılabilir.



Hattın jeolojik profili aşağıdaki şekildedir.

### **3. EPBM MAKİNESİNİN KULLANIMI**

EPBM Makinesi önce Basmane İstasyonuna indirilmiştir ve Diyafram duvarlar içinde hazırlanan şafta en ağır tonajlı vinçlerle indirilmiştir. Burada montajı yapılmış ve yerinde testi oluşturulmuştur. Bu noktadan sonra yapılan işlemleri genel olarak özetleyelim.

EPBM bu işlemler için özel bir yatak (=cradle –beşik) imal ve montaj edilmiştir ve kazı yapılacak duvar aynasına doğru yönlendirilmiştir. Yatak üzerine indirilen EPBM makinesi proje ölçülerinde göre yönlendirilir. Makine kazı duvarına basınç uygulayarak kazı hareketini yapar, bunun için geride bulunan EPBM (jack) krikolarını basacak özel bir kafes (Frame) montajı yapılır. Bu kafes sistem makinenin her zemine girişinde o bölgeye tesis edilir. EPBM makinesi hangi istasyonun duvarında nereye varacak ise o bölge zemini tipki girişte olduğu gibi iyileştirilmiş ve diyafram duvar da kırılmış olmalıdır. Kırılmış olan diyafram duvar içine makinenin(betonarme segmentin) çapına uygun omega kesitli çelik muhafazalı çevre contası konulmuştur. Böylece diyafram arkasındaki zeminden gelebilecek suların diyafram duvar ile çevrili istasyon boşluğununa gelmesi önlenmektedir.

Makine istasyonlara varıp aç-kapa şaftta meydana çıktıığında kesici başlık kısmı gözden geçirilir, gerekli tamir ve bakımları yapılır. Eğer gerekiyor ise zemin cinsine göre kesici kafalar düzenlenmiştir. Bu projede EPBM makinesi 2. ci tüpü delmek için Çankaya'dan çıkarılıp Basmane'ye taşınmış ve aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Daha sonra EPBM makinesi Konak İstasyonu şaftına taşınmış yukarıda anlatılan tüm işlemler bu şafttan itibaren Çankaya istasyonu doğrultusunda meydana getirilmiştir.

### **4. EPBM MAKİNESİ İLE KAZININ YAPILMASI:**

EPBM makinesi ile kazı işlemeye (operasyon) başlamadan evvel operatörün aşağıdaki işlem basamaklarının yerine getirilip getirilmediğinin açıklığa kavuşturulmasını sağlamalıdır. Kazı ekipmanları tamamen proje ölçülerine uygun pozisyon'a gelmiş olmalıdır. Enjeksiyon ekipmanları tam bağlı ve her durumu ile (boruları, pompası, malzeme stokları) çalışmaya hazır olmalıdır. Tüm sistem hazır ve gözden geçirilmiş ise operatör kazıya başlayabilir.

Başlamak için EPBM operatörü, baskı pistonlarını harekete geçiren ve ayrıca bantların hareketi ve kesici kafanın hareketini sağlayan motor aksamlarını çalıştırıp gerekli başlama hareketini başlatır.

Operatör ve vardiya mühendisi TGS (tunnel jeodezik – topografik sistem) verilerini kullanarak makine yönetiminin ölçümlerini yapar ve makine hangi doğrultuda gitmesi gerekiyor ise ona gerekli doğrultu ölçümleri makineye bilgi yükleyerek makineyi yönetir.

Makine kazı aynasında kazı için girerken, gerekir ise son konulan betonarme ring (halka) inde gevşediye gergi bulonları yeniden sıkılır.

Kazı işlemi bitiminde, EPBM ilerler ve önceden hesap edilmiş toleranslar içinde bu oda basıncının kalması gözleninceye kadar bu odaya kazı aynasından zemin (toprak) içeri alınarak çalışma odası doldurulur. Operatör, boşaltma helezonu ve devamındaki taşıma bandının hızlarını ayarlayarak çalıştırır. Malzeme; helezon ve devamındaki taşıma bandı vasıtasyyla tüp içinde bekleyen hazır vaziyetteki tren vagonlarına boşaltılır. Bu teknikte, inşaat sahası üzerindeki yüzey göçmelerini önlemek için gerekli kazı yüzeyini desteklemeye ihtiyaç olan iç basıncı **EPBM** kazı adımları sırasında sağlar ve aynı anda kazının yapılması ile birlikte onun dışarı atılmasına da imkân verir.

EPBM zemini kazarken, operatör devamlı şekilde basınç monitörünü gözetler. Gerekli basınç muhafaza ederek kazı adımı bittiğinde kazı odası dolu olmalı ve helezon durmuş durumda olmalıdır..

Bilinen zemin koşulları altında operatör tarafından kazı odası içindeki zemine (taşıma bandına malzemenin yapışmaması için) su, bentonit, veya özel ilaç (foam) ilavesi gerekebilir. Bu ilaveler zemin durumuna göre zeminin kesme ve yapışma dayanımının azaltılması için yapılır, malzeme helezon ve bant yoluyla kolayca dışarıya taşınır.

Not: - Izray da Konak – Basmane arasındaki killi zeminde özel katkı (foam=köpük) eklenmiştir. Killi zemin taneli hale getirilerek helezon ile ayna (arin) dan vagonlara oradan da giriş şaftında vinç yardımı ile kamyonlara yüklenmiştir. Döküm sahasındaki zemin içindeki açık havada karıştırılan köpük üçünca doğal haline dönmuştur.

## **5. TÜNEL KAPLAMASININ YERLEŞTİRİLMESİ**

Tüp adı verilen ve tek kademedede inşa edilen tünel dış kaplaması, prefabrikasyon olarak imal edilmiş betonarme parçalarından meydana gelir. Su geçirmez bir tünel kaplaması, şild adını verdigimiz operasyonu yürüten sistemlerin monte olduğu kapalı silindirin kuyruk kısmına; tüp ringi için projesine göre hazırlanmış betonarme tüp parçalarının montajı ile tamamlanır.

Bir tüp ringi ( yüzük şeklinde silindir parçası) 7 adet segment (prefabrik yüksek vasıflı betonarme eleman) ile üzerine ilave olarak konulan konikleştirilmiş küçük kilit betonarme elemanlardan oluşur. Ring elemanlarının km artışına doğru uzunlamasına boyu L= 1,20 m dir, elemanların beton kalınlığı ise 30 cm dir. Hattın sağa, sola, virajlara girişinde sağ veya sol tarafa konulan ring parçaları 50 mm eksilerek konikleşen şekilde imal edilir ve bu suretle dönme sağlanır.

Seçilmiş olan segment (paralel ring, sağa veya sola konikleşen) ile güzergah üzerinde virajda 3 boyutlu olarak tüneli en iyi tarzda meydana getirmek (inşa etmek) mümkündür. Konikleşen ringler tünel aksı ölçümlemesinin gerektirdiği doğrultuya çevrilebilirler.

Bu sırada kilit segmentin de yeri tünel ekseninin üstüne de olmak şartı ile çeşitli pozisyonlarda montajı yapılabilir.

Teorik minimum(en az ) güzergah yarıçapı yatayda R= 250 m olarak kabul edilmiştir. Mümkün olan en az yarıçap 150 m olduğu zaman, kurb ringleri konik olarak imal edilmiş olmasından dolayı, EPBM makinesi doğrultu bulmada yanlış istikamete gider. Sebebi geriye baskı silindirleri dönme içinde gerekli hassasiyeti gösteremez.

Su sızdırmaz tüpü sağlamak amacıyla, segment parçalarının projesine göre dökülmesinde meydana getirilmiş yarıklarına neopren (lastik) profil konulur ve bu şekilde tüp derzleri paketlenmiş olarak bir araya getirilir. Kanallara konular özel alaşımımlı lastik (neopren) contaların teknik şartnamesi ileri bölmelerde ek olarak verilecektir.

İnşaatın işletimi- devamı sırasında – su sızdırmazlık için ringleri kuşatan conta ve derzler, çevresel contalar makine ilerletme pistonları ve boyuna bağlantı bulonları ile sıkıştırılır boyuna olan contalar da çevresel bağlantı bulonları ile sıkıştırılır.

Ringlerin montajı sırasında bulon sıkma işinde gerekli moment (torq) şild makinesinin hareketinin başlangıcında belirlenmiştir. İşlemin son aşamasında tünel kaplaması zemin-su basıncına göre öyle bir değerde çevresel kuvvet altında sıkıştırılırlar ki bu suretle contalar basınç altında kalma konumunu muhafaza ederler.

Zeminin göçmesine (deplasman) bağlı olarak bitişik tüp ringlerinde yarım ring uzunluktaki meydana gelen hareket contalarda sapma meydana getirmez. Bu yanal ringlerin bağlantısı sonucu ve yapısal ölçüm değerleri sonucu olarak derzlerde su kaçması oluşmasının önüne geçilmesi anlamına gelir.

Eğer contaların su geçirmezliği lokal olarak hata verirse, o zaman su sızmasını önlemek için derhal etkin ve gerçekçi çözüm metodu oluşturulmalıdır.

Statik nedenlerden dolayı birbirine eklenen ring parça takımları arasında bağlı yataklamalar gereklidir. Bu yataklama şekli bir tarafta dil, diğer tarafta kanal şeklinde olur. Bu yataklamalar boyunca hareketler sırasında eklem vazifesi gören alın yüzeyleri arasında çevresel olarak elastik ve plastik olabilen levha beton üzerine yapıştırılarak yerleştirilir.

(Örnek: **Kaubit** gibi ) Hafif raylı sistem istasyonları ile EPBM inşaatı ile yapılan tüp özel contalı derz yapılmıştır, bu suretle istasyon yapısı ile tüp tünel arasında deformasyona bağlı veya dönmeye bağlı hareketler hasara neden olmamıştır. Yukarıda açıklanan diyafram ile hat arası derz yapısı Omega profilden seçilen projesine göre ve denenmiş özel tip dikkate alınarak yapılmıştır.

Su geçirmezliği temin için çevresel derzlerdeki contalar baskılı konumunu korumalıdır. İstasyon girişinde esnek bir bağlantı yapısı sağlamak için tüpün ilk ve son 12 ringi devam eden galvanizli bulonlarla birbirine bağlanmalıdır.

## **6. ENJEKSİYON**

EPBM şildi ileri hareket ettiğinde segment dışı ve şild kuyruğu civarında oluşan boşluk bu Metro inşaatında (İzmir Raylı Sistem İnşaatı\_ İZRAY) da son 10-15 yıldan beri kullanıla gelen şild kullanımına

uygun şekilde enjeksiyon ile doldurulmuştur. Tünel kaplamasının arkasını doldurma enjeksiyonu, ringin çevresi boyunca 6 adet enjeksiyon deliğinden kuralına göre eş zamanlı olarak uygulanacaktır.

Bu suretle şild arkası ile tünel kaplaması arasındaki boşluk, makinenin (şild) ileri doğru sürülmesi sırasında derhal doldurulacaktır ve hattı çevreleyen zeminde zemin göçmesi meydana getirilmeyecektir. Bu metot yerleşim yerlerinde dahi zemin yüzeyindeki oturmaların ihmali edilecek kadar az olmasının durumunu korunmasını sağlar.

Enjeksiyonun karışımında kullanılacak malzeme ( kum, çimento, bentonite, su ilaveten gereklidir ise kömür santral külü ) işe başlamadan evvel onaya sunulacaktır.

Bu inşaatta kömür enerji santral külü ocak olarak Yeniköy – Muğla kullanılmıştır.

Soma ve Yatağan kömür külleri radyasyonlu bulunup enjeksiyon malzeme onayını almamıştır. Malzemeler EPBM makinesini iletten WAYSS und FREYTAG firmasının Almanya'daki laboratuvarında test edilmiştir.

## **7. TÜNEL MAKİNESİNE DESTEK VEREN (hizmet veren)**

### **EKİP ve EKİPMANLAR**

#### **7.1. Havalandırma:**

Tünel içinde bulunan EPBM makinesinin yönetim odasına direkt - doğrudan- hizmet veren havalandırma fani yerleştirilir. İlaveten tüp içindeki havayı destekleyen ve havanın düzenli sağlanması için indirme şaftı bölgesinde de fan konulacaktır. Fan borularının çapı bu makine için D=800 mm dir.

#### **7.2. Yaya yolu:**

Tünel içinde tünel girişinden çalışma alnına kadar yaya yolu tesis edilecektir.

#### **7.3. Tesisatlar:**

İnşaat süresince makinenin çalışması için gerekli enerjiyi temine yarayan geçici olarak, Yüksek gerilim (YG), orta gerilim (OG) ve alçak gerilim (AG), kablo ve hatları ile basınçlı su ve basınçlı hava boru hatları da tesis edilecektir.

#### **7.4. Tren ve vagonlar:**

Tam ekipmanlı dizel tren, kazının dışarı nakli ve segment parçaların içeri taşınması için getirilip sisteminin kurulmuş olması gereklidir. Tren için gerekli dizel lokomotif, segment taşıma arabaları, enjeksiyon konteynır vagonu ve toprağı taşıyıp şaft içinde boşaltabilen özel toprak vagonları temin edilmelidir. Portal vinç yardımı ile çıkarılıp vagonlardan boşaltılan malzeme etrafına yayılmaması için duvarla çevrili yere dökülmelidir. Bu kazı malzemesi zararlı katkı ile karışmış olacağının sağlığına uygun çevreye zarar vermeyen depo sahasına taşınır.

Enjeksiyon konteynırı enjeksiyon pompası tarafından beslenmeye uygun gereklidir. Çap ve uzunlukta özel hortumlara bağlı olmalıdır.

## **7.5. Basınlı hava altında çalışma:**

İşin basınç altında yapılabilmesi için EPBM makinesi için de özel bir basınçlı oda bölümü makine içinde mevcuttur.

Ayrıca basınç altında çalışırken meydana gelen kazalarda kullanılmak üzere çalışır durumda, tıbbi malzemelerle donanımlı, basıncı 4,5 bar olabilen **hava odasının**; şantiye sahasında bulundurulmak mecburiyetindendir.

Bu iş için temin edilen **basınçlı oda** EPBM makinesi ile gelmiştir, ilave olarak işçilerin sağlık ve güvenliği için Doktor bir kişi Almanya'nın Kiel kentinde 3 ay süreyle bu konuda eğitime gönderilmiştir. İşin yapımı sırasında Dr ve sağlık ekibi hazır bulundurulmakla beraber, İzmir'deki Üniversite Hastaneleri, İstanbul'da konu uzmanı bölümü olan Çapa Tıp Fakültesi Hastanesi ile de bağlantı daima canlı tutulmuştur.

## **8. EPBM MAKİNESİNİN YAPISI**

1. Genel
2. ŞİLD (kesici kafa muhafazası)
3. Kesici Kafa
4. Kesici kafayı yönlendiren ekipmanlar
5. İnsan koruma odası (basınç altında)
6. Segment yerlestiren Makine (erektör)
7. Malzeme taşıma makine ve ekipmanı- vagonlar (kazıyı dışarı, segment vs içeri)
8. Yineleme (yedekleme-backup) sisteminin kurulum donanımı
9. Elektrik Donanımları
10. Zemin iyileştirme ekipmanları
11. Basınçlı hava temin ve düzenlemeye üretim merkezi
12. Tüm makineyi proje ölçüsünde yönetmeyi merkezi.

# EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..1 ..

## Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

### 1. Genel

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
1.1.	<b>Tünel</b>	Tünel Uzunluğu ....yaklaşık : 3000 m Tünel kaplama İç Çapı : ... 5720 mm Tünel Kaplama Dış Çapı : ..6320 mm Segment Kalınlığı.....: 300 mm Segment Uzunluğu.....: 1200 mm Segment Sayısı.. : 7 + 1 ad		
1.2.	<b>Nakliye Gabarileri</b>	Nakil genişliği.. en fazla :- 7500 mm Nakil Yüksekliği en faz a :-3600 mm		
1.3.	<b>Montaj</b> <small>(bir araya getirme)</small>	İlk montaj tüm boyda olacaktır. Ekipmanların tamamı indirme şaftı içinde olacaktır.		
1.4.	<b>Montaj Sahası</b>	Yataklama yerinde birleşim / yerleşim için gerekli ŞAFT boyutları Genişlik :: .. 10,00 m Uzunluk yaklaşık:- 82,00 m Derinlik ; tünel projesine göre Diğer gerekli ekipmanlar : .. Vinç ve vinçle montaja uygun indirme şaftını çevreleyen diyafram duvarları .. Diyafram duvar konumları, gerekli halat yükleri oluşumuna göre ölçülendirilir. .. Yenileme yatağı (backup) ve şildin tam montajı bitmeli ve ölçülendirmeli. .. Güç temini, su, çalışma havası, gaz, oksijen, kaldırıcı lift temin edilmelidir. .. Ağır tonajda yük parçalarına uygun yaklaşım yolu hazırlanıp korunmalıdır. .. Ana taşıyıcı vinç sahaya ve şaftın başına hemen ulaşılmalıdır.		
1.5.	<b>Vinçler</b>	Hazırlanması		
1.6.	<b>Planlama</b>		<i>işti başaracak gibi</i>	
1.7.	<b>QA-Plan</b>		<i>işti başaracak gibi</i>	

# EPBM TÜNEL MAKİNESİ

.. 2..

## Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

### 2. Sild

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgil	Dikkat edilecek notlar	uygulama
2.1.	Genel	<p>Şild denilen çelik yapının projelendirilmesi şu koşullara uygundur</p> <p>... Yapım sırasında oluşan yükler,</p> <p>... 3 bar basıncı aşan hallerde dahi çalışabil e,</p> <p>Teknik tasarıımı çok parçalı kaynaklarla bir araya getirilmiş çelik malzemeden oluşur:</p> <p>... ön şild</p> <p>... orta şild</p> <p>... şild arkası (kuyruğu)</p>		
2.2.1.	Ön şild	<p>Çapı (sert uc hariç) D = 6520 mm</p> <p>Çapı ( sert uc dahil) D = 6530 mm</p> <p>Uzunluk .. Yaklaşık .. L= 2500 mm</p> <p>Uzunluk .. Yaklaşık .. L= 2750 mm</p> <p><u>Bağlantı Falansları:</u></p> <p>... insan kabini</p> <p>... ND 700 çaplı taşıma helezonu</p> <p>... Basınçlı hava ayar düzeneği</p> <p>Taşıyıcı helezonu su geçirimsiz yapmak için, iki başına gerekli basınçda dayanıklı 2 adet keçe mevcuttur.</p> <p>..Kesici kafa için destekler</p> <p>.. 7 adet basınç ölçer sensörler</p>	<p>sürüş bloksuz</p> <p>sürüş bloklu</p> <p>Yeraltında olan bu bölümde. S , ga temini hatları için yeterli sayıda pencere olacaktır.</p> <p>Ek yedekleme işi proje bölümü ve satın alınan koordinasyonu ile sağlanacaktır</p>	
2.2.	Orta Şild	<p>Çapı . D = 6520 mm</p> <p>Uzunluk .. Yaklaşık .. L= 2655 mm</p> <p>14 adet itici hidrolik silindir</p> <p>.. Esnek desteklenmiş</p> <p>.. Mil üzerine mekanik olarak bağlı</p> <p>12 adet sild kuyruğundaki silindirler için destek</p> <p>Gövdeye kaynaklı erekktör destek kasası</p>	Öngörülen maximum ağırlık 70 ton	

# EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..3..

## Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

### 2. Şild

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
2.3.	Şild Kuyruğu	<p>Çapı .. Yaklaşık              D = 6250 mm            Uzunluk yaklaşık            L = 3400 mm            şild kuyruğu keçesi ile birlikte</p> <p>Mekanik itici ringi keçe ile birlikte</p> <p>3 sıra halinde keçeler</p>	Kaynaklanmış yapının öngörülen ağırlığı: <b>70 ton</b>  Gres pompaları,yenileme sistemi üzerine montajlı ve teslimat kapsamı içindedir	
2.4.	İtici Silindirler	<p>Sayıları :                      28 ünite            Bölümler                        14x2 ünite            Piston seyi boyu yakl.. 1700 mm</p> <p><u>İtme kuvveti:</u></p> <p>her silindir başına.    1580 kN / 350 bar            Toplam itme kuvveti: 44 300 kN/ 350 bar</p> <p>4 ünite ölçme sistemi ile cihazlandırılmış            olarak</p> <p>En fazla itme hızı :        60 mm/ dakika            En fazla toplama hızı :250 mm/ dakika            Bu bölümde 55 kW güç tesisi vardır.</p>		
2.5.	Mafsallı şild kuyruğu silindirler	<p>Sayı ..                        12 ünite            Bölüm.... İtici silindirler arasındaki            çevresel normal dağılıma göre            Piston seyir boyu: ..    L = 150 mm            Her bir silindir basıncı: 750 kN / 370 bar            Toplam basınç kuvveti: 9000 kN/370 bar</p>		

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

.. 4 ..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 3. Kesici kafa (kesme çarkı)

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
3.1.	Genel	Jeolojik koşullara uygun kapalı şekilde bir proje yapısı vardır.	Yapım ve seçimi için müşteri koşulları ile koordinasyon şarttır.	
3.2.	Proje Yapımı	Ana sürme için flanş ile bağlı kesici kafa göbeği  Çevresel kasnak için <b>4 adet espit</b> Merkeze yönlendirici <b>4 adet kanal</b> Disk dış çevresinde <b>4 adet pencere</b> malzeme girişi için Malzeme <b>pencereleri</b> en fazla <b>250 mm</b> olmalıdır. Kesici kafa göbeğinde enjeksiyon malzemesinin kesintisiz beslemesi için <b>4 adet enjeksiyon kanalı</b>		
3.3.	İmalatı	Kaynaklı tek parçadan oluşturulmuştur. Malzeme kalitesi St 52-3 çeliktendir. Orta kısmı kaynaklı yapı olarak projelendirilmiştir. Kesici kafa mekanik flanşlar ile gövdeye bağlanmıştır.		
3.4.	Ekipmanları	Malzeme pencereleri sağ ve sol yanında makine merkezine yönlendirilmiş kesme bıçakları mevcuttur,  Kesici kafa dış espitinde malzeme giriş sağ ve sol yanlarında kepçeler var,  Ortada bir tarafa yönlü konik kesici var,  Kesici kafa dış kısmında hidrolik olarak ilerleyen içtekinin kopyası gibi kesici monte edilmiştir.		

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..5..

<b>Teknik Veriler</b>			<b>Üretici Firma : Herrenknecht .de</b>	
<b>4. Kesici kafanın sürülmesi (kullanımı)</b>				
No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
4.1.	<b>Genel</b>	<p>Sıkıca önsild üzerinde ve basınç duvarı üzerindeki flanş vida ile bağlanmıştır.</p> <p><u>Esas aksamları aşağıdaki gibidir:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Dişli kutusu</li> <li>.. Ana Dişli</li> <li>...Keçe yuvası</li> <li>.Kesme tekerine montaj için flanş yüzleri</li> <li>..Keçe alnı sacları</li> <li>..iç-dış keçe sistemleri</li> <li>.Küçük ydişli, tahrik motorları ve bilyalar</li> </ul>		
4.2.	<b>Ana ve ydişli</b>	Hidrolik motorla birlikte çok kademeli gezer (planet) çok kademeli gezer dişli Dişli yık ma dalma yeri (karter) İki bilyalı y dişliyi sürme (pinion)		
4.3.	<b>Ana Bilya</b>	İçten dişli kamalı 3 akslı dönen silindir <u>İmal ve temin eden firma:</u> Hoesch Rothe Erde or RKS/F-Avallon		
4.4.	<b>Keçe sistemi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.. İç keçe</li> <li>.. Dış keçe</li> </ul> <p>Devamlı yağlanan 3 lü keçe sistemi</p>		
4.5.	<b>Kapasite ve Teknik veriler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>.. Tümüyle hidrolik kumandalı,</li> <li>Sürekli dönme hızı.. 0 - 2,5 devir/dakika</li> <li>..En büyük dönü momenti :- 5000 kNm</li> <li>.. Sürme en fazla basıncı :- 280 bar</li> <li>.. Kurulu elektrik gücü .. 800 kW</li> <li>Dönme yönü : .. Sola / sağa</li> </ul>		

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..6..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 5. Basınçlı insan odası

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
5.1.	Genel	<p>İki taraftan sac levhalarla ayrılmış olan ikili kilitli oda</p> <p>Ön şildin rıjıt kısmı a mon e edilmiştir.</p>		
5.2.	Projesi	<p>Çifte kilitli odanın şekli ve boyutları şild üzerine montaj şartlarına uydurulmuştur</p> <p>Ayrı ayrı kilitlerin her biri iç kapalı bölüme geçecek şekilde bağlıdır.</p>		
5.3.1.	Ekipmanlar Aksamalar	<p>Herbir kapalı odanın elle kumanda edilir biçimde ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>.. İçeriye hava girişi,</li> <li>.. İçeriden dışarıya hava çıkışı,</li> <li>.. Dışarıdan dışarıya hava çıkışı, var</li> <li>.. Basınç saatı</li> <li>.. Kilitli kapı</li> <li>. Termometre</li> <li>.. Aydınlatma (ışık)</li> <li>.. Haberleşme imkanı</li> <li>.. Isıtma- soğutma düzeneği</li> <li>.. Basınç kayıt edici düzeneği var</li> </ul>		
5.3.2.	Şantiye gereksinimi	.. Yeteri sayıda yangın söndürme cihazı		
5.4.	Ölçüler	<p>Yükseklik.. Yaklaşık.. 1400 mm</p> <p>.. Eni .. Yaklaşık 1600 mm</p> <p>.. Hacim Yaklaşık.. 3 m<sup>3</sup></p> <p>Kilitli kapı yükseklik: 950 mm</p> <p>Eni : 600 mm</p>		
5.5.	Ölçü Değerleri	<p>İşletm basıncı .. 3,0 bar</p> <p>.. Test basıncı... 4,5 bar</p>		
5.6.	Dış Test	<p>.. İlk test</p> <p>... Su basıncı testi..</p>	TÜV tarafından TÜV tarafından	

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ .....7..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### **6. EREKTÖR ( Segmet yerleştirme makinesi)**

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
6.1.	<b>Genel</b>	<p><b>Segment yerleştirici</b> segment kaplama elemanlarının tekkabuk şeklinde (yekpare) yerleştirme işiinde kullanılır.</p> <p>Segment projesi için bir devri daim makinesi gibi iş görür.</p> <p>Ana hareket işlevleri orantılı olarak etkinleştirilmiştir.</p> <p>Güçü tüm hareketler için tahsis edilmiştir.</p>		
6.2.	<b>Hareketli Kiriş (ileri- geri)</b>	<p>Boyuna kullanımında olan erekktör üzerinde olan ana çerçeve orta şilde flans ile tutturulmuştur.</p> <p>Boyuna hareket yolu boyu yaklaşık 1500 mm olarak projelendirilmiştir.</p> <p>Erektör açık olarak ortadadır.</p> <p>Taşıyıcı sistem bağlantısı şildin yenileme sistemine bağlıdır.</p>		
6.3.	<b>Hareketli Çerçeve</b>	<p><b>Hareketli kafes:</b> iki yanal hidrolik silindir üzerinde olacak biçimde silindirler üzerinde boyuna doğrultuda kaydırılır,</p> <p>Çevresel dişler mevcut olup, bilyalı rulman üzerinde dönen kafes şeklindedir.</p> <p><b>Dönme hareketi:</b> hidrolik olarak kaldırın ve fren ile duran hidrolik tarihlilik motor tarafından bloke edilir.</p> <p>Dişli düzeneği; gres yağı içinde ve kapalı kutu içindedir.</p>		
6.4.	<b>Dönen Şaşı</b>	<p>2 (iki) adet bağımsız hidrolik silindir ile etkileşimlenen 2 adet teleskopik kol ile işletilir.</p> <p>teleskopik kollar, yan yollara doğrultu vermeye yarar.</p> <p>İlaveten vakum tankına bağlıdır.</p>		

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 6. Erekktör / devamı

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek not ar	uygulama
6.5.	Çaprazlayan ve kelepçeyle tutan başlık	Erekktör başlığına bağlı içten teleskopik boru bağlantıları (çapraz olarak) Doğrultu ekseni etrafında dönel olarak yapılan eğme hareketi; Eksenin enine doğrultusunda dikme ve eğme hareketi, Vakum emme plakası		
6.6.	Vakum Sistemi	Dönen çerçeve içine bağlı vakum tankı (hava emme) Vakum emme plakası vakumda toplama ve vakum acil gurubu Valfler, filtreler, ida e ü iteleri Acil pompa ve basınç anahtarı (vana) ile emniyet durumunu izleme		
6.7.	Dönel kafes için güç temini	Hidrolik enerji Kontrollü voltaj Hava ile emme (vakum)		
6.8.	Devnim hareke makinesinin teknik verileri	6 derece serbest oyuna çaprazlama yak.. 1500 mm dönme .. + / - ..... 200 mm Uzunlamasına ( tele.. ) yak.. 1000 mm Başın dönmesi + / - 1,8° kafa hareketi + / - 1,8° Kafa eğme + / - 2,5°		
6.9.	İşletme kuvveti	Boyuna çapraz 30 kN Dönme .. 150 kN Kaldırma gücü 60 k N		
06.10.	İşletme hızı	Boyuna çapraz yaklaşık 0-8 m / dak Dönme .. Yaklaşık 0-2 dev / dak Uzama Yaklaşık 0-8 m / dak		
6.11.	Güç	Kurulu elektrik gücü 45 kW		

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..9..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 7. Malzeme Nakli

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
7.1.	Genel	<p>Şild ve yenileme odası bölümündeki malzeme nakli:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>.. Kazma ve karıştırma odası</li> <li><b>.. Helezon taşıyıcısı</b></li> <li>.. Malzeme alıcı (huni-bunker) videoolu</li> <li>.. Taşıyıcı bant 1</li> <li>.. Taşıyıcı bant 2</li> </ul>		
7.2.	Taşıyıcı helezon	<p>Ön şild balmesinin basınç duvarına bağlı flanş ile monte edilmiştir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Bağlantı/montaj <b>flansı</b> (önşild içinde kaynaklı)</li> <li>. Orta şild bölümü</li> <li>. Dış uzayabilen boru</li> <li>. İç uzayabilen boru</li> <li>. Boşaltma borusu</li> <li>. Yönetim birimi (aksamı)</li> <li>. Eksen çevresinde spiral şeklinde olan helezon (burgu) gövdesi</li> <li>. Kapı vanası</li> <li>. Video kamera</li> <li>. İzleyici (kontrol paneli üzerinde)</li> </ul>		
7.2.1.	Projelendirme	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Uzayabilen helezon</li> <li>. Hidrolik tahrik motorlu hidrostatik sürme</li> <li>. Ortası çekirdek i spiral elezon</li> </ul>		
7.2.2.	Gücü	<p>Yerleşik elektrik gücü yak.. 150 kW          Hızı (son derece değişken) 0-14 dev/dak          Torku..(moment kuvveti) 216/270 kNm</p>		
7.2.3.	Ölçüleri	<p>Bağlantı flanşı NW 700 mm          Helezon çapı D = 700 mm          Çekirdek çapı d = 220 mm          spiral adım aralığı l = 600 mm          Spiral dış genişliği t = 60 mm          Toplam Boy L (yak) = 11,5 m          Uzama payı .. 1000 mm</p>		
7.2.4.	Testleri	İlk test ve su basınç testi	TÜV tarafından	
7.2.5.	Basınç	işletme basıncı..... 3,0 bar		

	ölçümleri	Test basıncı...	4,5 bar	
--	-----------	-----------------	---------	--

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..10..

**Tekni Ve iler**

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

### 7. Malzeme Nakli

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
7.3.	<b>Taşıyıcı bant Sistemi</b>	<p>Yenileme (backup) gövdesinin destek ünitelerine montajlıdır.</p> <p>..Taşıyıcı sistemi estekleme sistemi üzerinde yana doğru kaydırılabilir.</p> <p>Kurb yarıçapı 250 m olan hatta da kazı yapılabilmesi için 2 adet taşıyıcı bant var.</p>		
7.3.1.	<b>Projesi Düzeni</b>	<p>Bant ileri itici oluklar şaklindedir,</p> <p>. Malzeme alma ağızı,</p> <p>.. Kayış düzeni,</p> <p>.. Döküm bölümü,</p> <p>.. Gergi bölümü</p> <p>Hidrostatik sürüm</p>		
7.3.2.	<b>Gücü</b>	<p>Yerleşik elektrik gücü 22 kW (herbir bant için)</p> <p>Taşıma hızı yaklaşık 2 m / s</p> <p>Taşıma kapasitesi 200 m<sup>3</sup> / saat</p>		
7.3.3.	<b>Boyutları</b>	<p>Bant genişliği 800 mm</p> <p>Öngörülen bant kalınlığı 25 mm</p>	<p>Proje kavram teşkilinde değerlendirilecektir.</p>	

--	--	--	--

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..11..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 8. Yenileme (backup) Sisteminin Yerleşimi - I

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
8.1.	<b>Genel</b>	Backup sistemi şild tarafından çekilerek tekerler üzerinde hareket eder, İlerlemenin stabilitesini garantiye almak için yön verme, klavuzluk etme yapılır.		
8.2.	<b>Kavram ve İnşaat</b>	Yenileme sistemi başlıca aşağıdaki bölümleri kapsar; .. Segmentlerin nakli için olan vinç köprüsü, .. Segment besleyici (segment stoğundan) .. cihazlar ve aksamın taşıyıcısı g bi römork .. İstasyonda malzeme yükler boşaltır kovalar gibi dış iskeletli / çerçeveli vagonlar		
8.3.1.	<b>Vinç Köprüsü</b>	. Segment boşatma noktasında segment boşaltmak için . Segment boşaltma noktasından segment verme noktasına kadar segmenti taşımak için . Segment kaldırmavinci; ( 3,2 tonluk) segment taşıma ve besleme için		
8.3.2.	<b>Segment Besleyici</b>	Şild tarafından çekilen stoklama ve nakliye cihazı		
8.3.2.1.	<b>Teknik Boyutlar</b>	Toplam boy, yaklaşık.. L = 9 000 mm Toplam en, yaklaşık.. W = 1 600 mm Toplam yükseklik.. H = 500 mm Yükleme kapasitesi .....6 ad segment Taşıma strobo u yak.. S = 1 500 mm Yük kaldırma Gücü yak F = 370 kN Kaldırma yük aralığı .....h = 50 mm		
8.4.	<b>Backup gurubu</b>			

--	--	--	--

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..12..

### Teknik Veriler

*Ür tic Firma : Herrenknecht.de*

#### 8. Yenileme (Backup) Sistemi Yerleşimi - II

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek notlar	uygulama
8.4.1.	<b>Kontrol Merkezi</b>	<p>Kontrol kabinine bağlı kontrol paneli aşağıdaki bölümlerden oluşur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>..Şildin manevra silindirlerini kontrol eden baskı silindirleri,</li> <li>.. Malzeme nakli kontrol paneli,</li> <li>.. Kesici kafa sürme kontrol paneli</li> <li>..Köpük ve bentonit verme kontrol paneli</li> <li>.. Arka keçe gerss yağı kontrolu paneli Herbir panelde şunlar mevcuttur;</li> <li>... Kontrol tuşları</li> <li>... Kontrol anahtarları</li> <li>..İki yönlü-seçici- swicth-anahtarlar</li> <li>.. Ekranlar ( göstergeler)</li> <li>.. İkaz lambaları</li> </ul> <p>Bunl r m kinenin faaliyetinin sürmesine, kontroluna ve makinenin de bizzat kendisinin kontroluna yarar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Malzeme çıkış video ekranından devamlı izlenmekte ve gözle de takip edilmektedir.</li> <li>.Helezon bant ve taşıyıcı ban bu bölümde</li> </ul>		
8.4.2.	<b>Hidrolik Güç Ünitesi</b>	Baskı silindirlerinin beslemesi ve kontrolu için..		
8.4.2.1	<b>Teknik Veriler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>..Yüksek basınçlı değiştirilebilen pompa; Hacim..... 70 litre / s</li> <li>Baskı hızı.. 6 m / dakika</li> <li>Elektrik gücü 55 kW</li> <li>.. Alçak basınçlı değişken yer değişme; En fazla geri alma hızı..3,5 m dakika</li> <li>Elektrik gücü 11 kW</li> </ul>		
8.4.2.2	<b>Boyutlar</b>	<p>Uzunluk.. Yaklaşık... 3 000 mm</p> <p>Genişlik.. Yaklaşık.. 1 000 mm</p> <p>Yükseklik Yaklaşık 1 300 mm</p> <p>Tank Hacmi Yaklaşık 4 500 litre</p>		
8.4.3.	<b>Motopomp Ünitesi</b>	Kesici kafanın kullanımının kontrolu ve besle esи için		
8.4.3.1.	<b>Teknik veriler</b>	<p>Motopomp sayısı /pompa ünitesi 4 ad</p> <p>Debisi 4 x 360 litre/dak</p> <p>Kurulu gücü 4 x 200 kW</p>		

	... basınç kesme ... güç kontrolü ... debi kontrolü	
--	---	--

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..13..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 8. Yenileme (backup) Sisteminin Yerleşimi - III

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek bilgiler	uygulama
8.4.4.	<b>Motopomp Ünitesi</b>	Erektörün tüm kontrolü ve desteği için		
8.4.4.1	<b>Teknik veriler</b>	Hidrolik akış kapasitesi..Yak 100 lit/dak Kurulu elektrik gücü.. 45 kW ... basınç kesici, ... akışı kontrol edici		
8.4.5.	<b>Motopomp Ünitesi</b>	Aşağıdaki er kontrol ve destekleme için .. Dişli yağlama ve yıkama .. Bant konveyör için		
8.4.5.1.	<b>Teknik veriler</b>	.. Üçlü içten dişli pompa Hidrolik akışı yaklaşık ..80/40/40 lt/da .. Kurulu elektrik gücü. 45 kW		
8.4.6.	<b>Motopomp Ünitesi</b>	.Aşağıdakileri kontrol ve destekleme için .. Taşıyıcı helezon giriş valfi .. Taşıyıcı helezon uzatması .. Basınç odası içindeki giriş valfi		
8.4.6.1	<b>Teknik veriler</b>	.İkili içten dişli pompa, ..Akış hacmi... Yaklaşık 40 litre/dakika ..Kurulu güç ...		
8.4.7.	<b>Motopomp Ünitesi</b>	Hidrolik helezon taşıyıcı sürmesi için kontrol ve destekleme işi..		
8.4.7.1	<b>Teknik veriler</b>	Akış Hacmi 2 x 420 lt da Kurulu elektrik gücü. 2 x 75 kW ... basınç durdurma işi, .. Güç kontrolü, .. Değişken akış hacmi ayarlaması		
8.4.8.	<b>Yağ filtreleri gurubu</b>	Kesici kafa için olan tanka yakın konumda .Filtreleme için bölümlü akış		
8.4.8.1.	<b>Teknik veriler</b>	.. Düşük basınçlı helezon pompa ..Akış hacmi yaklaşık.. 600 litre / dakika .. İşletme basıncı ... 8 bar ...Filtre geçirgenliği 12µ		

	.. İşletme basıncı ...	8 bar	
--	------------------------	-------	--

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..14..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 8. Yenileme (backup) Sisteminin Yerleşimi - IV

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek bilgiler	uygulama
.4. .	<b>Elektrik alt dağılımı</b>	Aşağıda belirli kesici ekipmanlar bulunan kesici kabini; .. Vinçler, .. Acil akım, .. Aydınlatma vs Volaj kontrolu ve valfler için güç temin üniteleri,		
8.4.10.	<b>Asıl elektrik dağılımı - 1</b>	Kesici pano malzemeleri taşıyan kesici kabini (aç-kapa) .. Kesici kafa sürümü, .. Helezon band sürümü		
8.4.11.	<b>Asıl elektrik dağılımı - 2</b>	Aşağıda konular için kesici malzemesi olan kesici kabini, .. Erektör, .. Taşıyıcı bant, .. Yıkama ve filtre akım devresi .. Segment temin edici, .. Alt eşik dağılımı.. 80 kW		
8.5.	<b>Backup üzerinde ilave ekipman</b>			
8.5.1.	<b>İkincil havalandırma</b>	EPBM makinesinin içinde bulunan sahanın havalandırılması .. Fanlar, .. Ses Kesici, .. Backup üzerinde kablo ve hatlar		
8.5.1.2.	<b>Teknik Veriler</b>	Hava hacmi.. 4,5 m <sup>3</sup> / saniye Kurulu elektrik gücü.. 11,5 kW	kavram fazı sırasında ortaya çıkan ölçülere göre	
8.5.2.	<b>Havalandırma kaset boruların projelendirilmesi</b>	Havalandırma stok kaseti ... havalandırma depolanması, .. 100 m katlanmış hava (duct) kutuları .. Asma ve değiştirme aparatları		

8.5.2.1	<b>Teknik Veriler</b>	Vantilasyon depo şekli Depolama kapasitesi, Ductt (boru) çapı ..	LVS 100 m 700 mm	
---------	-----------------------	--	------------------------	--

..15..

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

### Teknik Veriler

Üretici Firma : Herrenknecht .de

### 8. Yenileme (backup) Sisteminin Yerleşimi - V

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek bilgiler	uygulama
8.6.	<b>Haberleşme Merkezi</b>	Telefon ekipmanı toplam <b>5 adet</b> .. Kontrol kabini iç telefonu .. Kapalı oda içi telefonu .. Kapalı oda içi <i>acil</i> telefonu Telefonlar, kablo ve hatlardan oluşur.		
8.7.	<b>Su temini</b>	Backup sistemin arka ucunda : soğutma ve işletme suyunun temini için ve soğuk suyun geri dönüşü için çift tamburlu hortum (boru) kasnağı; Hortum kasnağı arkasında da filtre vardır.		
8.8.	<b>Soğutma Suyu</b>	.. Temin hattından suyu bırakma.. ..yağ ve elektrikli soğutma için..		
8.9.	<b>Soğutma Suyu</b>	..kullanım suyu için su temin hattından suyu bırakma .Seri kapatma için 1 inçlik kalkış noktası		
8.10.	<b>Temizlenme</b>	Temizlik sırasında kuyruk tarafını drene etmek için kuyruk üzerinde hava ile çalışan pompa mevcuttur. Pompa kirli su biriktirme tankına bağlıdır.		
8.11.	<b>Daimi/sürekli drenaj</b>	Soğutma suyu tüneldeki 2 No lu kirli su tankına bağlı su pompası yoluyla geri gönderilir.	veya alternatif tesis edilir	

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..16..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 9. Elektrik Enerji Yerleşimi ve Güç temini

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek bilgiler	uygulama
9.1.	<b>Kablo Tamburu (makara)</b>	Voltajı.....10,5 kV Çapı..... Açılıklıkta..elle makara hareketi.	proje sırasında belirlenecek	
9.1.1.	<b>Yüksek Voltaj Kablo bobini</b>	Uzunluk.....300 m Kesiti..... Tipi..... İlk kademe enerji.....10,5 kV	proje sırasında belirlenecek	
9.2.	<b>Trafo</b>	Toplam kapasite 1600 kVA Aktarma oranı..... 10,5 / 0,4 kV Sıcaklık göstergesi.....		
9.3.	<b>Orta gerilim ( OG ) dağılımı</b>	Trafonun fazla gerilimi ve kısa devreye karşı koruma ekipmanı ile....:  Şantiyeye temin.....10,5 kV Tam yükte ilk akım.. 1600 kVA		
9.4.	<b>GÜC Kurulumları</b>	Kesici Kafa.....800 kW Helezon bant tahriki... 150 kW Erektör..... 45 kW Vakum ..... 5 kW Bant konveyör (taşıcı).... 45 kW Kaldırma Vinci 4 kW İtme pompaları.....55 kW Helezon deşarj kapısı, Erektör, Enjeksiyon İşi .. Teleskopik dişli helezon..... 75 kW Şanzıman yağ pompası..... 4 kW Gress Pompası ..... 0,25 kW Yağ devir pompası..... 15 kW Aydınlatma yaklaşık..... 30 kW İletim Hattı Kolu..... 80 kW Çalıştırma yuvaları 20 kW Kilidi ısıtma..... 1 kW	Boyut belirlemesi ve esas bilgiler kavram proje zamanında belirlenir.	
9.5.	<b>Voltajlar (enerji)</b>	Ana şebeke gerilimi.....10,5 kV İkincil şebeke (alt sistem) 400V / 250 V		

<b>gerilimi)</b>	Sistem kontrol gerilimi	24 V	
	Açil Aydınlatma (akü).....	24 V	
	Aydınlatma	200 V	
	Vana (klape) enerji voltaj	24 V	

## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..17..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 10. Zemin İyileştirme (ıslah, işleme)

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikkat edilecek bilgiler	uygulama
10.1.	<b>Köpük Tesisi</b>	<p>Sıvı pompaları... 0-22 litre/ dak 4 ad</p> <p>Hava düzenleyiciler 100-1000ln /da 4 ad</p> <p>Sıvı depo tankı..... 2500 litre</p> <p>Herbir boru hattı basınç ölçer cihazlı olarak teçhizatlandırılmıştır..</p> <p>Herbir ünite bağımsız olarak kurulabilir, ve başlatılabilir.</p>		
10.2.	<b>Stok Tankı</b>	<p>Elle kumandalı valften kesici kafaya giden veya malzeme odasına giden enjeksiyon miktarına göre değişir.</p> <p>Veri elde etme yerinde herbir hattın akışı basıncı, vs parametreleri bellidir.</p> <p>2 No lu doldurma valfi (vana) alçak-yüksek seviye gösterge sensörü ile kontrol edilir.</p>		
10.3.	<b>Bentonit Tesisi</b>	<p>Bentonit pompaları 0,05 - 6 m<sup>3</sup> / h 2 ad</p> <p>Karıştırıcı hacmi..... 2 m<sup>3</sup> dür.</p>		
10.4.	<b>Depo Tankı</b>	<p>Herhat basınç ve debi/akım göstergesi ile teçhizatlandırılmıştır.</p> <p>Kontrol kabininde veriler görüntülenir.</p> <p>Her ünite bağımsız olarak başlayabilir ve kurulabilir.</p> <p>Kontrol kabininde akışın basıncı gözlenir ve data kayıtları tutulur.</p> <p>Agitatör (karıştırıcı) pompası:</p> <p>2 No lu doldurma vanası aşağı-yukarı sensörü ile kontrol edilir.</p>		


## **EPBM TÜNEL MAKİNESİ**

..18..

Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht.de*

#### **11. Basınçlı Hava Ayar Düzeneği**

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikat edilecek bilgiler	uygulama
11.1.	<b>Vanalar</b>	Hava Girişi 2 x DN 80 Hava Çıkışı 2 x DN 50 Basınç düşürücü 2 x DN 80		
11.2.	<b>Kontrol</b>	2 adet düzenleyici (regülatör) PI		
11.3.	<b>Basınç Seyri</b>	0 - 3 bar		
11.4.	<b>Gereksinim</b>	2 x 5300 m <sup>3</sup> / saat P= 8,5 atmosfer de		


## EPBM TÜNEL MAKİNESİ

..19..

### Teknik Veriler

*Üretici Firma : Herrenknecht .de*

#### 12. Yönlendirme / klavuz sistemi ve topoğrafik cihazlar

No	Detaylar	Açıklayıcı bilgiler	Dikat edilecek bilgiler	uygulama
12.1.	Aksamalar Teçhizatlar	.. Lazer Yönlendirici ELS .. ELS bağlantı desteği .. Yansıtıcı PC IP 54 133 M Hz 16 mb Ram HDD 810 M 4 adet bağlantı noktalı Renkli ekran Yazı Paneli Dot-matrix yazıcı Theodolit Leica TC 1100 Laser GU S64 (0-3 mW) bağlantı kutusu 100 m kablo		
12.2.	Yazılım	.. EPBM konumunu belirleme .. EPBM konumunu görüntüleme .. Tünel kurb eksenine uygunluk .. Tüm verilerin elde edilmesi .. Verilerin ASCII veya EXCELL e kaydı .. O ring adımlarının hesabı .. Düzeltilmiş kurb hesabı		
12.3.	Hizmetler	..EPBM/TBM ekseninin belirlenmesi ..Harita yazılımində tünel ekseninin giriş verilerinin kaydı ve hesabın çıkarılması  .. TBM de silindir değerleri için		

	topografik nokta konulması Not- 12 ye göre ekipmanların yerleşimi tesisi.	

## **12.4 Segment Kaplamalı EPBM ile yapılan Tüneller için Kılavuz Sistemi**

### **Tünel Makinesinin Konumlandırılması:**

Kılavuz sistemi, EPBM makinesinin sürekli olarak izleme-kontrol etme- olanağı sağlar.

Bu aktif alıcı ELS( Elektronik Laser Sistem) sistemine lazer ışınları gönderilmek suretiyle sağlanır. ELS nin durumu EPBM in durumu kurulurken dikkate alınmalı ve cihazı şildin gövdesine sıkıca monte edilmelidir. Hassas iki akslı eğim/sapma ölçer cihazı, ELS ye bağlıdır ve makine hareketi sırasında boyuna sapmalar anında belirlenir ve tünel makinesinin dönüş konumu tespit edilir.

Tam rotadan sapma açısı (lazer ışığı doğrultusundan boyuna sapma) güçlü algılayıcıların analizleri ile belirlenir.Hedeflenmiş duvara sabit datası belirli lazer ışınlarının duvara asılma noktasının düşey ve yatay sapmaları ve dönme değeri boyuna sapma ve enine sapma değeri ile merkezi bilgisayara aktarılır ve seviye tanımı ve pozisyon değerlendirmesinde bu veriler kullanılır.

Tüm değerler 2-3 saniyede ELS tarafından iletilir ve merkezi kontrol bilgisayarında değerlendirilir.

Sonuçlar sürekli olarak ve hemen kontrol kabini gösterici ekranında grafik ve nümerik olarak görüntülenir. Böylece, makine operatörü kontrol işlemi sırasında makinenin tepkisini derhal anlar.

Bu garantiyi kontrol işlemi, kontrol edilemeyen hareketlerden ve sarsıntıdan sakınmak içindir bu duruma göre adapte edilmiştir.

Lazer kaynağı ile ELS arasındaki mesafe genellikle elektro-optik ve otomatik olarak ölçülü veya tünel vardiya sayısı ve hesaplanmış piston/jack itme uzamasından doğan sistemin uzatılma miktarına bağlıdır ve lazer ışınları özellikle kurb dönüşlerine ayarlanmıştır. Herhangi bir tünel inşaatında da lazer ışını kullanılarak doğrultuyu emniyete alarak tüneli sürme işi yapılabilir.

Bu lazer ışını her ne şekilde olursa olsun, kurba göre veri(data) girerek elle idare edilmelidir. Bizim Total station ve teodolitler için değiştirilmiş lazer aksamlarına bağlı olarak, ölçümleri göz ardı etmeden, ana kılavuz lazer ışığının doğrultusunu okumak mümkündür. Önceden verilen referans noktasının doğrultu kontrol işini bağımsız olarak yapmak da mümkündür.

Eğer kontrol bilgisayarına veri(=data) aktarma ve yarı otomatik olarak ayarlanabilme istenirse her elektronik teodolit lazer ekipmanı ile donatılabilir. Teodolit (=yer ölçüm cihazı) bilgisayara veri kablosu ile

bağlıdır. Lazer elle tekrar ayarlanır, ama yeni yön değerlendirme sistemine otomatik olarak aktarılır. Geçmişe dönük kaynak bilgilerin burada olması emniyetle bulunması mümkündür.

Bir yardımcı (servo) ölçüm aleti (teodolit) tam otomatik ayarlama için kullanılır. Lazer veya Total station (= veri toplar ölçüm cihazı) aleti istasyonlar değiştirmek zorunda oluncaya kadar sabit bir şekilde uyumla ayar sağlar. Tünel kaplaması inşaatı sırasında – örnek olarak EPBM kapandığında- otomatik yön kontrol yöntemi geçmiş bilgileri işleme koyar. Eğer lazer alıcı konsolu yerinden oynarsa, hareket ederse, monitörde (ekranda) hata mesajı hemen görülür.

### **Son Konulan Segment Ringinin Konumlandırılması**

Tünel, şild kuyruğu ucunda merkezlenerek yerleştirilmiş, segment şeklinde ve son konumunda olarak biçimlendirilmiştir. Eğer, nadir sebeplerle tünel yapımının ucundaki şildin kuyruğundan ring merkezi kayarsa; (off-center) kaplamalı tünelin yan duvarları, tabanı ve tepesi ölçülebilir vedataları elle data girdisi yapılabilir.

Mafsallı krikoların ve makine itkilerinin uzama miktarları otomatik olarak değerlendirilir ve direkt olarak SPS kontrol noktasından geçip bilgisayara aktarılır. Segment ringinin pozisyon ve yönü bu değerlerden hesap edilir ve ekran da görüntülenir.

### **Ring İnşaatının Adımlarının Ön hesaplaması ve Şildin Sürülmesi**

Son konulan ringin belirlenmesi (data haline gelmesi) ve tünel makinesinin adımları önceden hesap edilebilir. Küçük sapmalar olması durumunda, hedef kurb (proje kurbu) ilave sürme aksı gibi doğrudan alınabilir. Birkaç santimetre sapma olması durumunda, hata düzeltme kurbu hesaplanmalıdır. Bu konulan son ringden makineye geçen hedef kurba dönüşür ve hedef kurba teget olarak birleşir. Bu kurb, segment ringinin geometrik olasılıklarını ve makinenin kontrol imkanlarını da dikkate alarak şekillendirilir. Dairesel yayalar hata düzeltme kurb elemanları gibi kullanılır.

Küçük sapmalarda ve ayrıca düzgün makine sürümlerinde düzeltici işlemler yapılmamalıdır. Program baskılı düzeltme imkanı sunar ve işleyen makine hedef kurba paralel gider.

Tünel makinesinin önceden hesaplanan kurbu takip edebildiği kabulü düşüncesi altında, hedeflenen itici piston uzamaları hesaplanır. Bunlar, tünel makinesinin kontrol bilgisayarına aktarılır ve kontrol bilgisayarınca piston stroklarının gereği gibi yapılması için denk gelen basınçlara dönüştürülür.

Makine operatörü, düşey ve yatay düzeltme kurb yarıçaplarını belirleyebilir. Hatta, kendi tünel konumuna göre, düzeltme hesabının uygulanması için kriter adapte edilebilir (ayarlar). Konik segmentler, tam olarak seçilmiş kurbu takip edebileceği biçimde seçilirler. İlerleme (gelisme) de müsaade edilebilir bir sapma dikkate alınabilir. (- , + 4 mm tolerans gibi).

## **Belgeleme**

Tünel ilerlemesi sırasında ringlerin ve şildin verileri kayda alınabilir, ekranda görüntülenebilir, aynı zamanda doküman olarak saklamak için yazılı hale (print) getirilebilir.

Kazılan tünelin zemin loglarının doküman incelemesi çok kolaydır. Makine – şildin sürüldüğü güzergah, ve ringlerin yapımı ekranda hareketin rota şeması gibi izlenir.

## **Yer Yüzündeki Şantiye Ofisine Veri Aktarılması**

Eğer istenirse, mevcut geçici telefon hattı ile EPBM makinesinin pozisyon bilgilerini arazi üstündeki şantiye ofisine aktarmak mümkündür.

Şantiye ofisinde, makinenin sürülmlesi hemen hemen yanında ekranda izlenebilir veya örneğin telefax ile print çıktı alınır.

## **DONANIM ve YAZILIM AKSAMLARI**

### **ELS Elektronik Lazer Sistemi**

Bu şild çevre sacı (kovani) na sağlamca tutturulmuş aktif bir hedef ünitesidir. Hedef yüzeyinin ortasının düşey ve yatay konumu lazer ışını çarpması ile belirlenir. Yerleştirilmiş iki eksenli eğimölçer (inklinometer) makine boyuna eğilme (sapma)sini ve hali hazır dönmesini sağlar. Bu özel teknoloji ile çok hassas kesinlikte sapma açısı dahi ölçülür.

### **ELS Üzerine Tutturulmuş (montajlı) Yansıtıcı**

Lazer kaynağı ile hedef ünite arasındaki mesafe bellidir ve EPBM elektronik optik mesafe ölçer ile her iş vardiyasında güncellenir.

### **Piston Sürme Boyunun Bilgi Aktarımı İçin Bağlantı Birleşimi (istenirse)**

SPS tarafından kayıtlanan piston uzamaları SLS bilgisayarına aktarılır.

### **Şild Kuyruğu Gabarisinin Otomatik Ölçümü (istenirse)**

Şild içine konulan sensörler vasıtasyyla ringin iç ve dış kenarı arasındaki mesafe ölçülür ve çalışmanın bilgi dahilinde gitmesi gerekiğinde bilgiler SLS bilgisayارına aktarılır.

### **SLS Bilgisayar**

Kumanda kabini içinde kurulmuş sanayi standartlarında, renkli ekranlı, ticari küçük bir bilgisayاردır, imkan dahilinde kumanda paneli üzerinde de monte edilebilir.

### **Yazıcı**

EPBM in pozisyonlarının grafiksel olarak çıkışının, segment ringlerinin konulma sırasının, EPBM in sürme grafiğinin yazılmasını sağlar.

### **İnşaat Saha Ofisine Veri Aktarılması (istenirse)**

EPBM makinesinin halihazır durumu; modem veya iletişim ağı (şebekе) ile herhangi bir yerdeki şantiye ofisine aktarılır.

### **Lazer Bağlantıları (1-3 mW lazere uyumlu)**

Bu ölçüm cihazının herhangi bir objektifine tutturulabilen diyod bir lazerdir. Teodolit veya Total Stationun görme doğrultusuna lazer ışığı uyar ve otomatik olarak veya elle ayarlanabilir.

### **Teodolit veya Total Station**

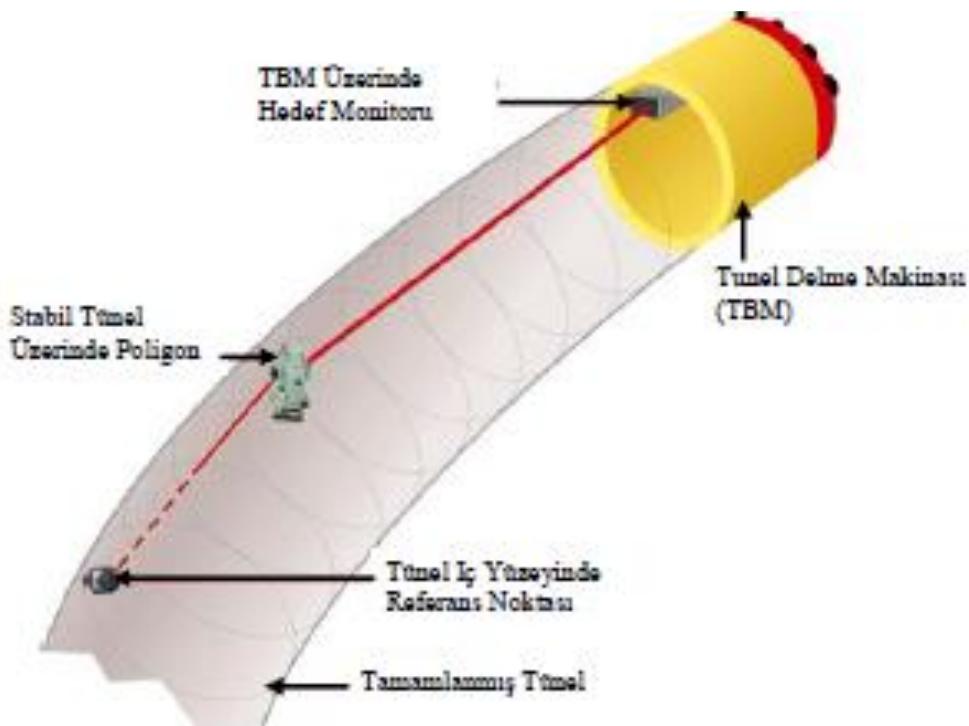
Lazer ışığının çok amaçlı yaygın ayarı olması dolayısıyla, bununla her teodolit veya total station kullanılabilir. Eğer bu gibi cihaz henüz var ise, şildin tespiti için bizim yazılımız, talep edilen gereksinimlere göre ayarlanabilir. Sistem; elle kullanılan lazerle yeniden ayarlama şeklinde, yarı otomatik ayar şeklinde veya tam otomatik yeni ayarlanabilir şekilde, yardımcı otomatik total station ile temin edilebilir.

### **Bağlantı Kutusu**

Mevcut hat veri transferini muhafaza için teodolitten SLS bilgisayارına veya tersine transfer işleminin bağlantısını sağlar. Kurulu güç, teodolit ve lazer için güç temin eder. Yeni bir iş yerinde tüm lazer istasyonun çabuk değişim planlaması basit bir yapım işidir.

## **ŞILD TESPİT PROGRAMI**

- Şild pozisyonunun hesabı için bilimsel projelendirilmiş tespit programı
- Ringin inşaat kademelerinin bilinmesi için lojistik destek (yardım)
- EPBM ve ringlerin konumları için geometriye dayalı verilerin kayıt ve depolanması
- Herhangi vakitte telefon ile cevap için ringlerin dağılımı/eğilimi ve şildin grafik çözümü
- Kontrol için gerekli ölçü verilerinin uygulanması (basma piston ve dönme değerleri, şild Pozisyonları, ve şild kuyruk gabarileri)
- Hata düzeltme kurbu hesabı için şildin hareketinin ön hesapları..

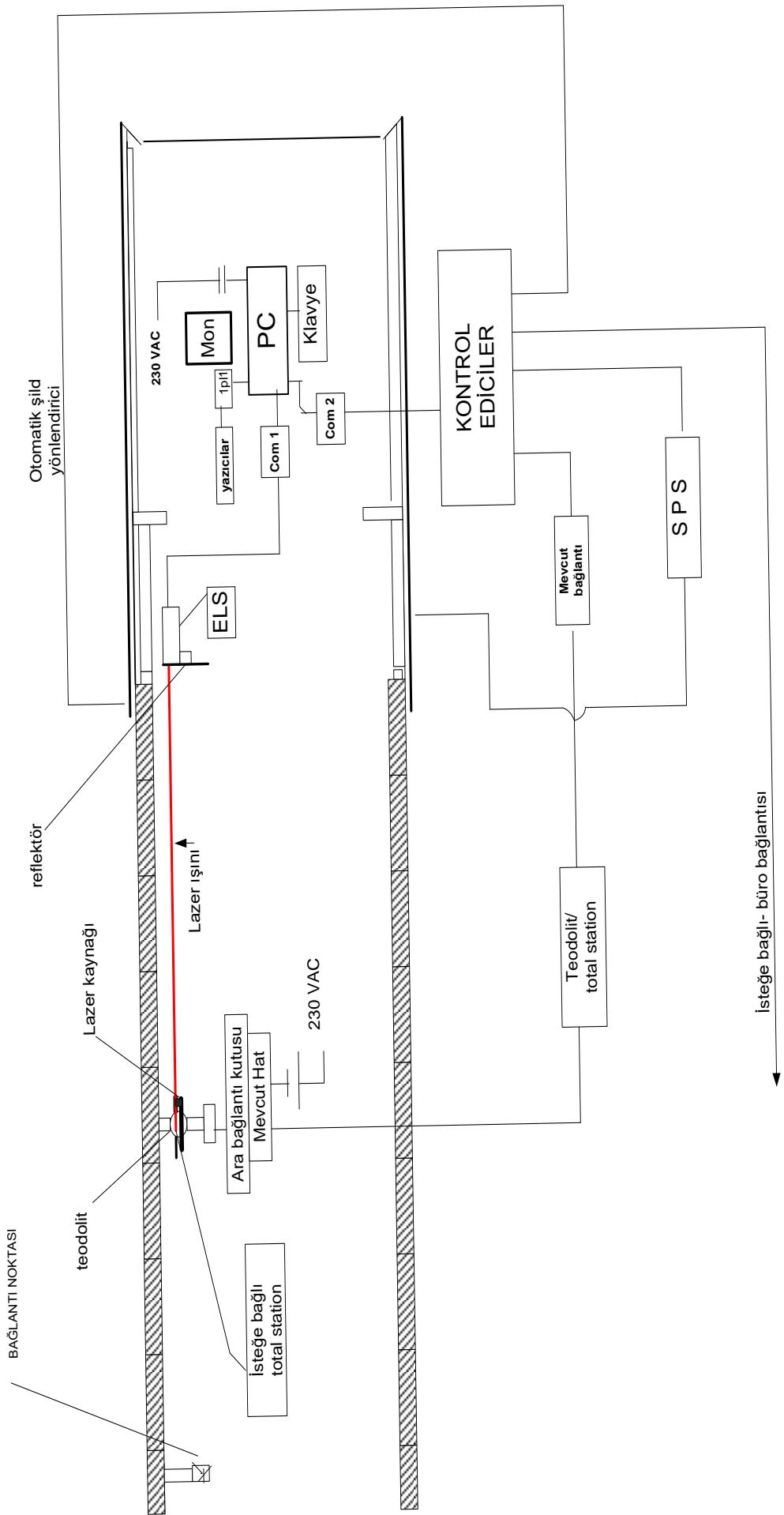


**EPBM Segmenti üzerine ölçüm hattının tespiti.. (Şematik)**



*Segment içine tespit edilmiş ölçme cihazının montajlı görünüşü.*

## EPBM/TBM MAKİNESİNİ PROJELYE GÖRE KUMANDA ETME DONANIM ŞEMASI



## C– TÜP TÜNEL İNŞAATI

### TBM/EPBM TÜNEL İNŞAATININ METODLARI

. TBM /EPBM : - TBM (Tunnel Boring Machine) sert zeminler için tünel delme makinesidir ve açık sistem çalışır. EPBM (Earth Pressure Balanced Method) zayıf zeminde çevre basıncını dengeleyen makine sistemidir ve kapalı sistemdir.

İkincisi bu Konak-Basmane arasını tüp şeklinde segmentli olarak tesis edebilir. Bu makinelerin hat üzerinde çalışmaları için hat üzerinde en az 30-36 m uzunlukta açık şaft yapılmalıdır.

#### 1-) TBM/EPBM Şantiye tesisleri:

Bu şafta makine raylı sistem teşkil edilerek vinç ile oturtulmuştur. Makine ve ona bağlı olan enjeksiyon sistemleri ilk defa şaftta çelik konstrüksiyondan yapılmış, düşey bir basınç çerçevesinden kuvvet alarak (ona dayanarak) ileri hareket ettirilmiştir. İşin sonunda hat ucunda bulunması gerekli bir şafttan vinç ile çıkarılıp diğer hattın ucuna taşınarak aynı işlemler yandaki hat için de yapılmıştır. TBM/EPBM makinesinin hatta indirildiği iş yeri başında bu makinelere hizmet verecek en az 4 MW gücünde enerji tesisi hazır edilmiştir. Elektrik kesilmesine karşı acil jeneratörler aynı güçte olarak kurulmuştur. Bunların yanında makine ekipmanın gereksinimi için en az 4 (dört) adet 900 cfm kapasiteli kompresörler tesis edilmiştir.

Makine ile yapılan alındaki kazıya; helezonlar, nakliye bandı ve vagonlara; kazılan toprağın yapışmaması için gerekli kimyasallar makine vasıtası ile zemine püskürtülmüştür.

Makinenin kazdığı çamurlu malzeme vagonlarla şafta taşınmış, orada tesis edilen 50 tonluk (vagonu tamamen kaldırıp yukarıda boşaltacak) **portal vinç** ile malzeme yukarı çıkarılmıştır. Portal vincin konsol ucunda çamurlu malzemeyi depo edecek beton duvarlı depo inşa edilmiştir.( Yaklaşık 60 m<sup>3</sup> kapasitede). Bu depodaki malzemeler toprak döküm yerine damperi sızdırmaz özel kamyonlarla nakledilmiştir. Kazı sırasında segment arkalarında oluşan boşluklara makine üzerindeki enjeksiyon düzenekleri ve pompaları vasıtası ile enjeksiyon verilmiştir.

Tüp(yatay tünel) kazısı sırasında zemin dengesini sağlamak için gerekli enjeksiyon tesisleri makinelerin tünele sokulduğu bu giriş şaftında kurulmuştur. Bu tesisler, çimento siloları, bentonit siloları, santral külü siloları, kum silolarıdır. Saatteki üretimi 15 – 25 m<sup>3</sup> olan karıştırma plenti kurulmuştur.

## **Segment Yapımı, Nakli ve Depolanması (genel) :**

Segmentler için yeterli emniyetli depo sahaları hazırlanmıştır. Segmentlerin üretildiği fabrikada kontrol, tamir ve bakımı (kürlenmesi) yapılmıştır. Segmentler istenilen dayanıma erişince projedeki sıra Nolarına göre şantiyeye özel TIR araçları ile taşınmıştır. Bu betonarme parçalar indirilirken veya yüklenirken özel vakumlu vinç veya forkliftler (lastik kaplamalı kolu olan) ve vinç(hava vakum ağızı olan vinç) kullanılmıştır. Segmentler her zaman beton şekline uygun ahşap yastık üzerinde taşınmış ve istif edilmiştir. İstif yüksekliği en fazla 4-6 parçadır. Segment parçalarının alnına levha(Kaubit) yapıştırılması ve çevresinin geçirimsizlik için contalanması (Pheonix ile) şantiyede yapılmıştır.

## **TBM/EPBM Betonarme Son Kaplama (Segmentler)**

### **1-) Genel :**

Bu Teknik Şartname İzmir Hafif Raylı Sistem İnşaatı için EPBM şeklindeki yapımın prefabrik beton segment işine ait şartları ve gereksinimlerini açıklar.

### **2-) Segmentlerin Teknik Özellikleri:**

Tünel kaplamasını oluşturacak betonarme halka (ring) şeklindeki yapı 7 parçadan oluşur ve ilaveten üzerinde küçük parça kilit segmenti bulunur. Ölçüler şöyledir :

- Segment halkası genişliği : 1,20 m
- Segment Betonarme kalınlığı : 0,30 m
- Segment Betonarme iç çapı : 5,70 m
- Seg. halkası Betonarme dış çapı: 6,32 m

Segmentlerin genişliği yol güzergahının viraj durumuna makinenin idaresini doğru olarak sağlamak için 50 mm uzatılır veya kısaltılır.(Yani segment genişliği 1200 mm yerine ihtiyaca göre kurb yarıçapını dönmek için 1175 mm veya 1225 mm olabilir).

Tüp tünelin başlangıç ve bitiş zonlarında da özel segmentler üretilicektir.

Segment parçaları 2 dik bulon ile ek yerinden boyuna ve çevresel olarak birbirine bağlanacaktır. Bu bulonlar montaj sırasında bağlanacak, montaj bitiminde bulonlar sökülecektir.

Her segment parçası yüzeyinde ring halkasını oluşturmak için montaj makinesi çalışırken parçayı vakum plakası üzerinden bağlamaya yardım edecek iki adet 80 mm çaplı delik vardır.

Her parça çevresi boyunca ileride conta yerleştirilecek kanal mevcuttur.

Betonarme Segmentlerde conta kanalları yanındaki yerler haricinde çelik malzemenin pas payı mesafesi mevcut şartnamelere göre itibarı ölçü =3,5 cm dir. Conta kanallarına pas payı mesafesi itibarı olarak=2,0 cm dir.

### **3-) Betonarme segmentin imalat ölçü Toleransları:**

Her bir tek kaplama parçası ölçü bakımından olağanüstü hassasiyeti gerektirir.

Müsaade edilebilen Toleranslar aşağıda listelenmiştir:

- Conta kanalı derinliği:  $\pm 0,5$  mm
- Conta kanalı genişliği: - 0,00 mm/+ 0,5 mm
- Conta kanalı diklik açısı:  $\pm 0,01$  °
- Conta kanalı daire eksen yarıçapı:  $\pm 1,0$  mm
- Segmentin iç yarıçapı  $\pm 1,5$  mm
- Segmentin dış yarıçapı  $\pm 1,0$  mm
- Segment genişliği  $\pm 0,5$  mm
- Segment kalınlığı  $\pm 2,0$  mm
- Segment üstü çukurlar  $\pm 1,0$  mm
- Plan görünümünde tolerans  $\pm 0,25$  mm
- Segment köşe açıları  $\pm 0,007$  °
- Boyuna eklemin merkezi sapma açısı :  $\pm 0,048$  °

Segment parçalarında toleransların değerleri çok küçük olduğundan kalıpların yapımında kabul edilebilir hassasiyet olmalıdır. Kalıplar bu şartları sağlamak için dövülmüş sert çelik sacdan yapılmalıdır.

### **4-) TBM/EPBM Yönteminde Tünel açmada gereklilikler ve Özellikleri:-**

Segmentlerin üretiminde kullanılacak malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir:

- **Beton :** DIN 1045 e göre; İtibari dayanımı min  $\beta= 45$  N/mm<sup>2</sup>  
Beton su geçirmez olacak , Seri dayanımı min  $\beta= 50$  N/ mm<sup>2</sup>
- **Beton Çeliği :** DIN 488 e göre; Bst 500 S çeliği olacaktır.  
Akma gerilmesi min  $\beta= 500$  N/mm<sup>2</sup> ve Kopma Gerilmesi min  $\beta= 550$  N/mm<sup>2</sup>
- **Bulonlar :** (segmentleri birbirine bağlayan çelik bağlantı çubukları)

Ekli (1) No lu resme göre imalatı olacaktır ve çelik kalitesi **4.6** olmalıdır.

Akma gerilme dayanımı min  $\beta= 240$  N/mm<sup>2</sup>

Kopma gerilme dayanımı min  $\beta = 400 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır.

- **Plastik Dübeller** :(segment bulonlarını kavrayan ve beton içine dökümde konulan)

Ekli (2) No lu resme göre yüksek yoğunlukta PE den imalatı olacaktır.

Yögunluk  $\geq 0,950 \text{ g/cm}^3$

Erime indeksi  $\leq 2,3 \text{ g/ 10 dakika}$

Minumum sertlik 63-65 ŞOR sertlik derecesi

- **Ayırıcı Levhalar** : (segment alınlarını koruyan polyester ağ şeklinde levhalar):

Ekli (3) No lu listede (kaubit layers) fiziki özellikler verilmiştir.

Ekli (3.1; 3.2; 3.3) No lu test sertifikalarında değerleri verilmiştir.

- **Ara Esas Contalar** :

İleride (rapor No 9210-TR-S 140) ile ayrı şartname olarak verilecektir.

## 5-) Betonarme segmentlerin imalatı:

Segment imalatında planlanacak ve gerçekleştirilecek en önemli yöntem; bu elemanların üretiminde, depolanmasında, ve nakliyesinde hiç hasar meydana getirmemektir. Segment uclarında hiçbir çatlamaya izin verilemez.

Segmentlerin kalıptan çıkarılıp üretim sahasında emniyetli şekilde depolanması için en az beton dayanımı  $20 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır ve bu elemanları kaldıracak vakumlu vinçlerin betona uygulayacağı etki  $10 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır.

Eğer kalıp içlerine beton ayırıcı kalıp yağı kullanılacak ise bu yağ özel olup, kanallardaki artığının tesiri ileride contalara zarar vermemelidir.

Taze betonun priz alması için yapılan işlemler, segmentlere ısı(sıcaklık) şoku vermemelidir. Eğer priz alma işlemini hızlandırmak için sıcaklık yükseltmek şekli seçilmiş ise ayrıca bu yöntem idare ve mühendis tarafından onaylanmalıdır.

## **6-) Segment üstündeki conta konulacak kanalların hazırlığı:**

Fabrikanın depo sahasında prizini tamamlamaya bırakılan segmentlerin üzerinde bulunan conta kanalları tel fırça ile temizlenir ve varsa beton döküm yüzey boşluğu da tel fırça ile temizlenir. Bu temizlik işleminden sonra projesi boyutlarına getirmek için gerekli boşluk doldurma işlemi yapılır. Bu boşluklar sentetik beton macunu (Sika Top 121 veya muadili) malzeme ile şartnamesine göre doldurularak tamir edilmiştir.

## **7-) Segmentlerin Onaylanması Testleri:**

Gerçek seri segment üretimine başlamadan evvel fabrikada; gerekli geometrik ve fiziksel toleransları kontrol için 2 takım segment ringi üretilmiştir. İlk Segmentlerin üretimi muhakkak Mühendis (müşavir) denetiminde olmuştur.

Segmentlerin üretimine geçilmesi için gerekli test sırasında İdare, Mühendis(müşavir), ve Yüklenici elemanları bulunacaktır. Fabrikada segmentler örnekleme yöntemiyle kontrol edilerek sevk edilecek, depo sahasında iş yeri yakınında tünele sevk edilmeden önce yeniden kontrol edilecektir. Hasarlı segment elemanları kabul edilmeyecek ve yerine yenileri üretilmiştir.

## **8-) Kalite Standartları:**

Segment üretici firma ve taşıyan, şantiyeye segmentleri teslim eden firma, (yükleyici adına ki asıl sorumlu yüklenicidir.) bu malzemelerin nasıl üretileceğini ne tip kalıpların kullanılacağını, üretim yöntemlerini, betonda dikkat edilecek noktaları, fabrikada depolamayı, yükleme ve taşıma usüllerini rapor halinde Mühendis(müşavir) ve idareye sunmuştur.

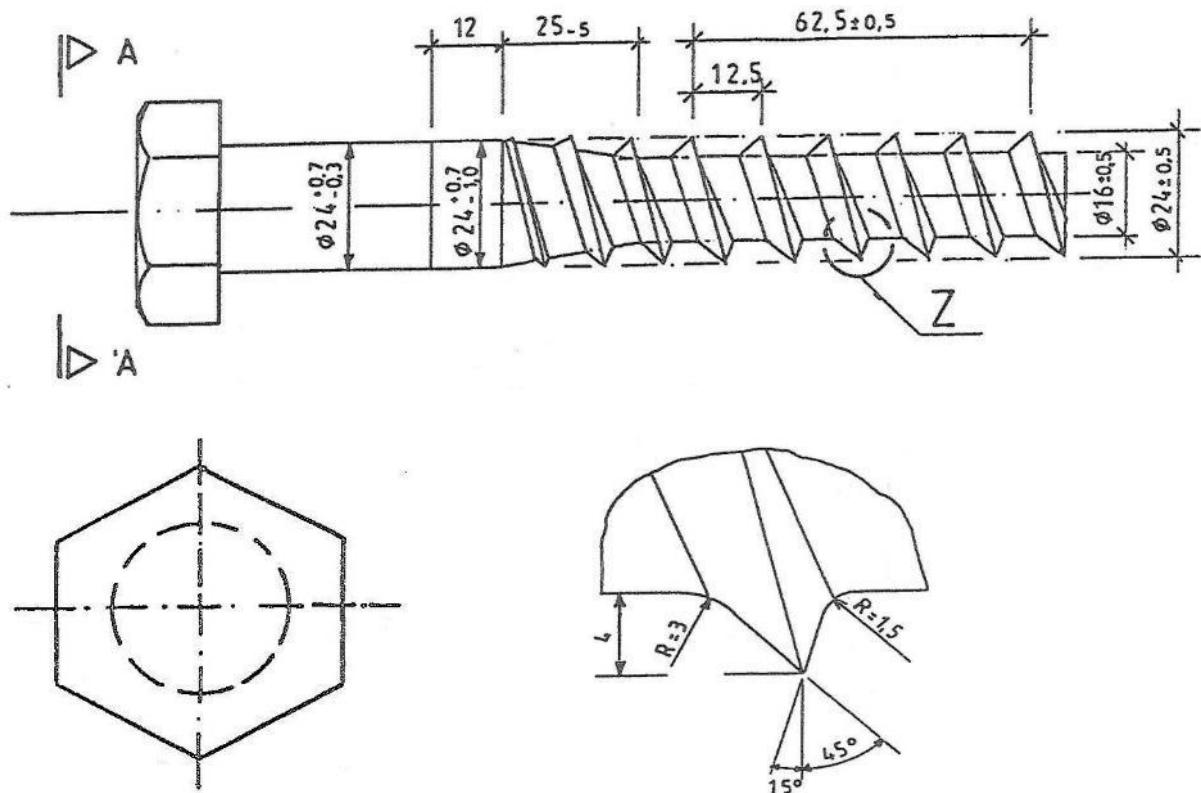
## **9-) Bu bölüm için Ekler (Conta Teknik şartnamesi hariç)**

Ek-1 Bağlantı Bulonları Şartnamesi

Ek-2 Dübel Şartnamesi

Ek-3 Kaubit Levha (polyester) İki segment arası tampon levha raporu

## EK 1 Bağlantı Bulonları Şartnamesi



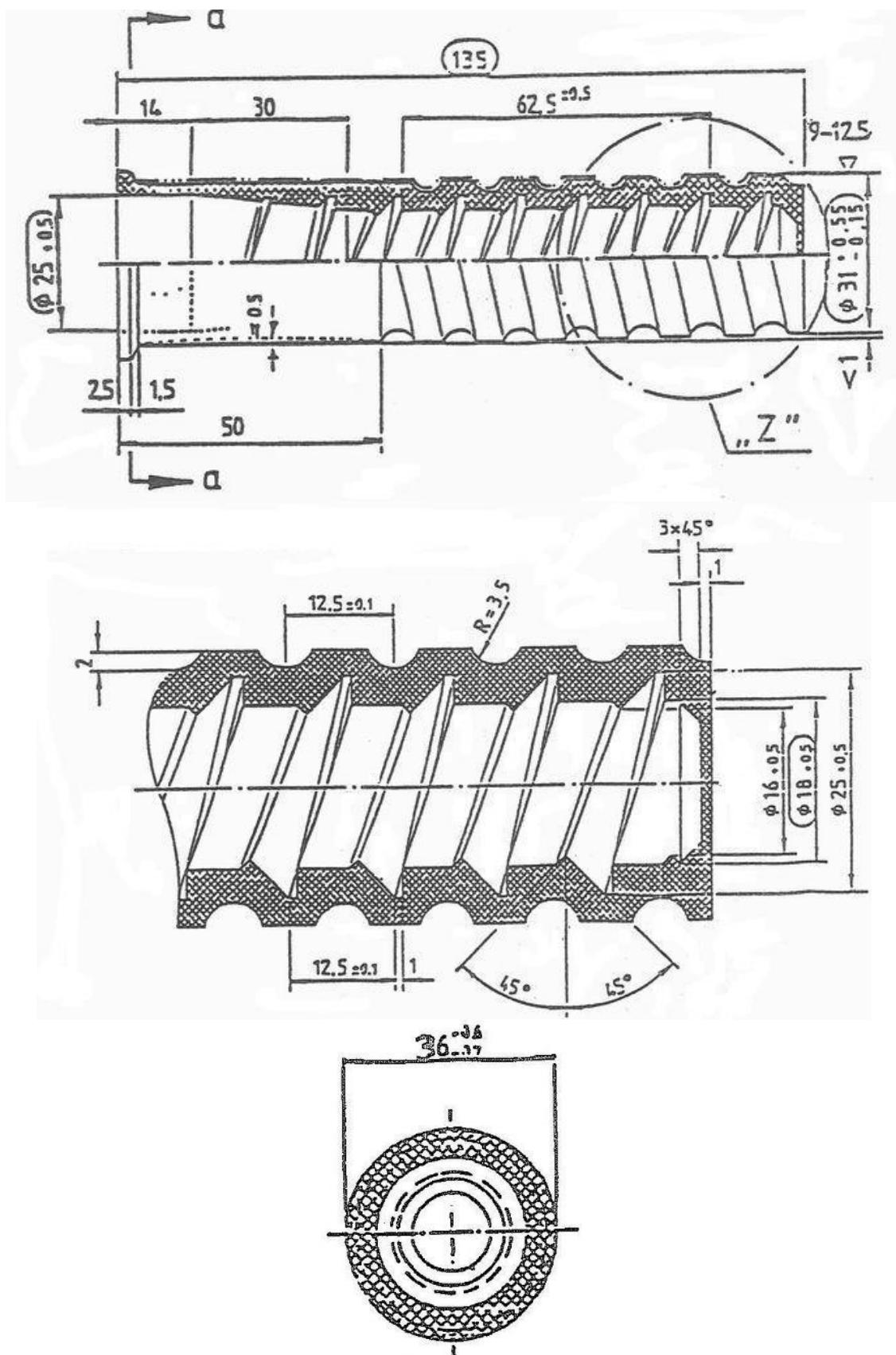
A – A Görünüşü

Z DETAYI

**Bulon Malzemesi : Çelik Derecesi : 4.6**

**Akma dayanımı :  $240 \text{ N/mm}^2$  Kopma dayanımı :  $400 \text{ N/mm}^2$**

## EK 2 Dübeller Şartnamesi



Plastik dübeller yüksek yoğunlukta ve rijit polietilen malzemeden olacaktır. Yoğunluk: 0,950 g/cm<sup>3</sup>; Erime indeksi 2,3 g/10 dakika Minimum sertlik 63-65 şor sertlikte olacaktır.

## EK 3- KAUBİT LEVHA RAPORU

### Münih Teknik Üniversitesi Bitümlü Yapı Malzemeleri ve Plastikleri Deney Ofisi

#### Deney Raporu

No. 3166 a / 81

Müşteri: Kaubit- Chemie  
GmbH. & Co. KG  
Industriesstrasse  
2843 Dinklage

Konu: Kendinden yapışkanlı farklı “Kaubit su tutucu membranları” yanında “Kaubitan” gibi emülsiyon baz üzerinde plastik bitümlü kaplama malzemesinin test edilmesi  
Re.: Münih’te 9 Aralık 1981 tarihli sözlü sipariş ve telefon fikir alışverişleri

Deney Raporu zeyilnameler dahil 14 sayfa içermektedir.

Münih, 23 Eylül 1982  
B/We

İkinci kopya

Genel Bilgi

9 Aralık 1981 tarihli görüşmeler sırasında Deney Ofisi

“Kaubitan” şeklinde emülsiyon baz üzerinde soğuk-işlenebilir plastik bitümlü kaplama malzemesi almıştır.

Bir rulo ( yaklaşık 2 m<sup>2</sup> ) her biri kendinden yapışkanlı elastomer bitümlü su tutucu membranı “Kaubit su tutucu membranları, tip hasır donatılı ” ( polyester kumaş ) olarak belirlenmiş ve „ Kaubit su tutucu membranları, tip sustaflex CK13 ( polyester filament ( fibril yada ipliksi yapı ) kırkı 150 gr / m<sup>2</sup> )

Yaklaşık 1 m<sup>2</sup> lik rulo “Kaubit su tutucu membranları, tip Sustaflex CK07 “ ( polyester filament ( fibril yada ipliksi yapı ) talaşı 50 gr / m<sup>2</sup> )

Yaklaşık 2 m<sup>2</sup> lik rulo (Donanımsız) 1mm ve 2 mm kalınlıkta Kaubit kaplaması

ve ayrıca aşağıdaki 1 er m<sup>2</sup> lik her bir donanım malzemesinin su tutucu membranlarda kullanılması

“ Kaubit polyester hasır dokuması ( kumaş yaklaşık 35 gr / m<sup>2</sup> ) ”

“ Kaubit polyester filament ( fibril yada ipliksi yapı ) kırkı 150 gr / m<sup>2</sup> ”

“ Kaubit polyester talaşı 50 gr / m<sup>2</sup> ”

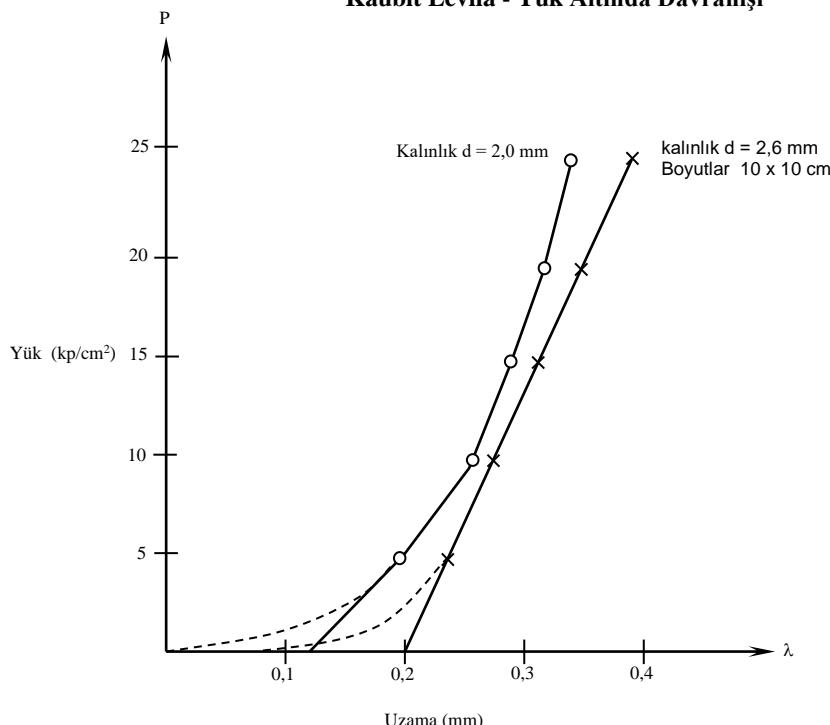
Örnekler diğerleri arasında kullanım uygunluklarına, zemin suyuna ve nemine karşı olarak binaların su izolasyonlarına ( DIN 4117 ) ve basınsız zemin ve filtre edilen suların ( DIN 4122 ) AIB test metot ve gerekliliklerine ( Alman Federal Demiryolu'nun 1953 ekinde inşaat mühendisliği için su izolasyonu kuralları ) ve belli başlı test metotları ile sıralı standartlara ait deneylere tabii tutulmuştur. Bütün bunlara ilave olarak, test ofisine genel teknik verilerin bulunduğu dokümanlar ve yönlendirmeler ile malzemelerin test ve değerlendirmeleri için de diğer bazı dokümanlarda sunulmuştur.

Deneysel planlandığı şekilde gerçekleştirilmiş ve 3165 a/81, 9 Eylül 1982 sayı ve tarihli kısa raporumuzda sizlere daha önce sunulmuş olan aşağıdaki sonuçları göstermiştir.

Kaubit Su Tutucu Membranı	Kırılma Yükü N / 50 mm 'de		Akma yükü % olarak	
	boy olarak	çapraz olarak	boy olarak	çapraz olarak
hasır çelik donatılı gerçek değer her bir deney değerinin aralığı	122 109 - 138	327 303 - 372	115 102 - 130	22 17 - 26
Sustaflex CK 13 ( 150 gr / m <sup>2</sup> ) gerçek değer her bir deney değerinin aralığı	237 228 - 249	220 197 - 245	47 37 - 52	48 45 - 55
Sustaflex CK 07 ( 50 gr / m <sup>2</sup> ) gerçek değer her bir deney değerinin aralığı	220 201 - 235	228 195 - 267	47 42 - 53	48 42 - 55

### Ek 3/7

#### Kaubit Levha - Yük Altında Davranışı



## **10-) TÜNEL KAPLAMASI (EPBM/TBM SEGMENTİ) CONTASININ TEKNİK ÖZELLİK ŞARTNAMESİ**

**İçindekiler :**

- 10.1 Genel Tanımlama
- 10.2 Özellikler
  - 10.2.1 Malzeme
  - 10.2.2 Ölçüler
  - 10.2.3 Yük Altında Esnemeler
  - 10.2.4 Su geçirmezlik
  - 10.2.5 Esneklik
- 10.3 Conta Yerleştirme
- 10.4 Kalite standartları
- 10.5 Ekler

### **10.1 Genel Tanımlama:**

Bu Teknik Şartname İzmir Hafif Raylı Sistem inşaatları TBM/EPBM tünellerinin prefabrik betonarme segmentlerinin aralarındaki **contalarına ait** özellikleri ve gerekliliklerini açıklayan teknik şartnamedir.

Contalar tünel segmentleri çevresine halka biçiminde konulur. Lastik contalar tünelin su geçirmezliğinin garantisini sağlamalıdır. Bu conta malzemeleri segment çevresi boyunca uzanarak, kanal içlerine yapıştırılır.

### **10.2 Şartname özellikleri :**

#### ***10.2.1 Malzeme :***

Contalar çekme kalıptan çıkışmış malzeme olup, bu malzemenin ek 3' te fiziksel özellikleri açıklanmaktadır. Bu listede malzemenin olabildiğince dayanıklı fiziksel yapısı olduğu gösterilmektedir.

#### ***10.2.2 Ölçüler***

Conta kesiti esas olarak 33 mm dir ama containın sıkışmış hacmi hiçbir zaman konulacağı kanal hacminden büyük olamaz (bkz. Ek1 ve 2). Hatta tünel segment ve contalarının üretim ve yerleştirme en üst toleransları su geçirmezliği emniyet altına almalı ve bunu sağlamalıdır.

Birbirinin içerisine geçen her iki malzemenin kesitleri, 10 mm yanal hareketleri (tolore) kabul edebilecek şekilde ve su geçirmezligi zarar vermeyecek halde olmalıdır.

Ek 1'de; ek yerlerinde contaların durumları ve iki türlü olası ölçüleri gösterilmiştir. Segmentteki kanal için verilen toleranslar EK 2 de gösterilmektedir.

#### ***10.2.3 Yük Altında Biçim değiştirmesi:***

Ek 4' de containın yük altında meydana getirdiği eğrisel davranış diyagramı mevcuttur. Bu işlem deneylerle ispatlanmıştır. Yüklenicinin alacağı malzeme bunu sağlamalıdır.

#### **10.2.4 Su Geçirmezlik**

Verilen bu geometride konulan conta malzemesi ek yerlerinden su geçirmezliği sağlamalıdır. Ek' 5 de malzemede mevcut bulunan su basıncına dayanıklılık kapasitesi belirtilmiştir. Contalar maksimum 2,0 bar su basıncına karşı dayanıklı olmalıdır.

#### **10.2.5 Esneklik**

Contanın esneklik özellikleri test ile ispatlanmalıdır. Karşı direnimini (reaksiyon force) 100 yıl sonra dahi %65-%70 sağlanabilmelidir.(Bkz Ek'6).

**Örnek conta olarak burada bu şartları sağlayan Phoenix M 38544 malzeme seçilmiştir.**

### **10.3 Contanın Yerleştirilmesi:**

Conta segmente uygunluğu ispatlanmış uygun yapıştırıcı ile yapıştırılacaktır.

### **10.4 Kalite Standartları**

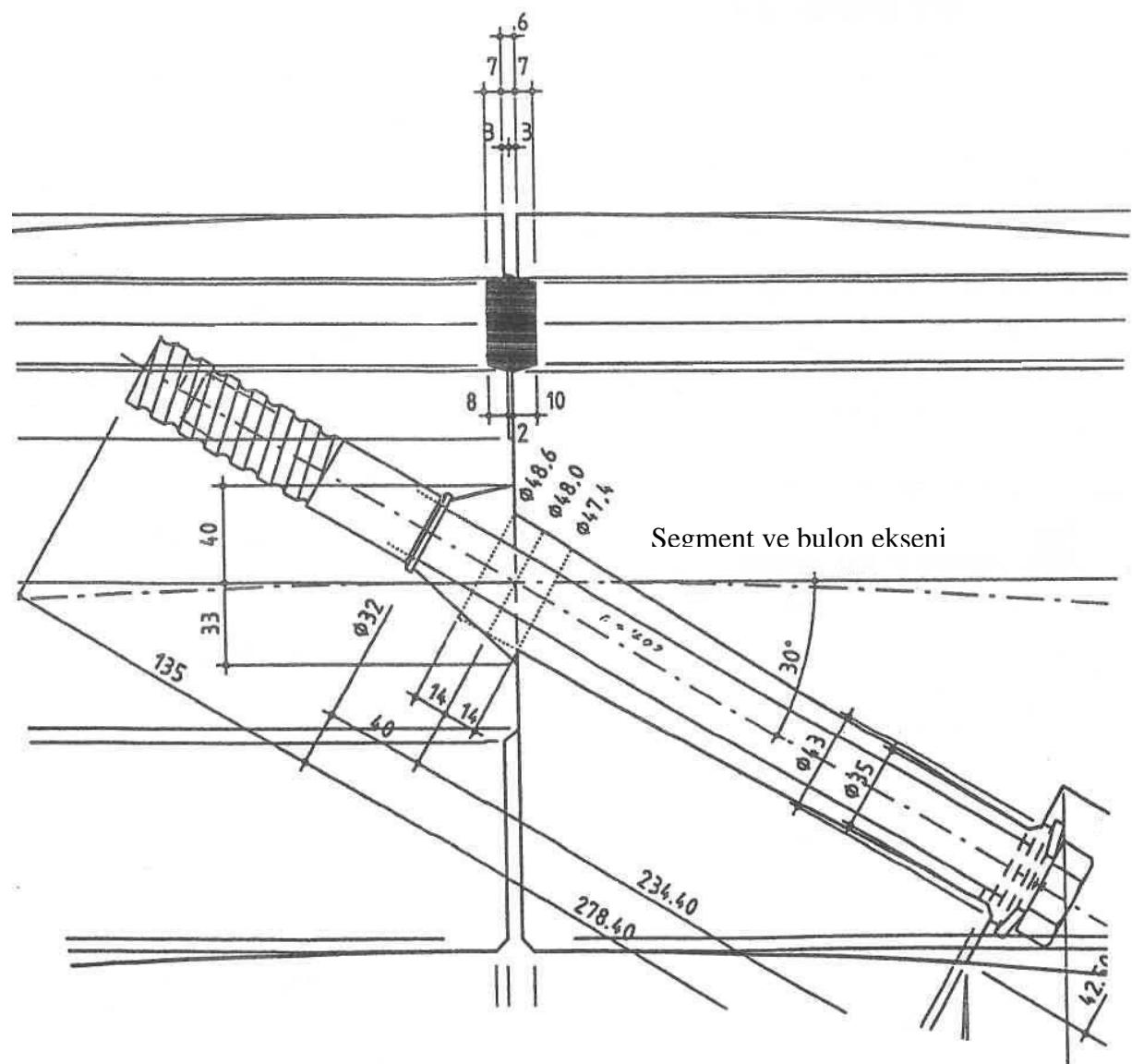
Contanın; yük-esneme eğrileri, değişken su basıncına dayanımı(su geçirmezlik), gerilme ile esneme durumları gibi tüm test sonuçları elde edilmelidir.

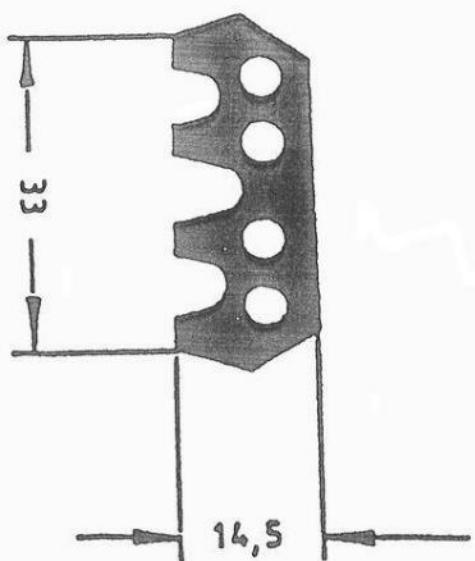
Contanın üretim ve dağıtım şartları DIN ISO 9001 e göre oluşturulmalıdır.

### **10.5 Ekler**

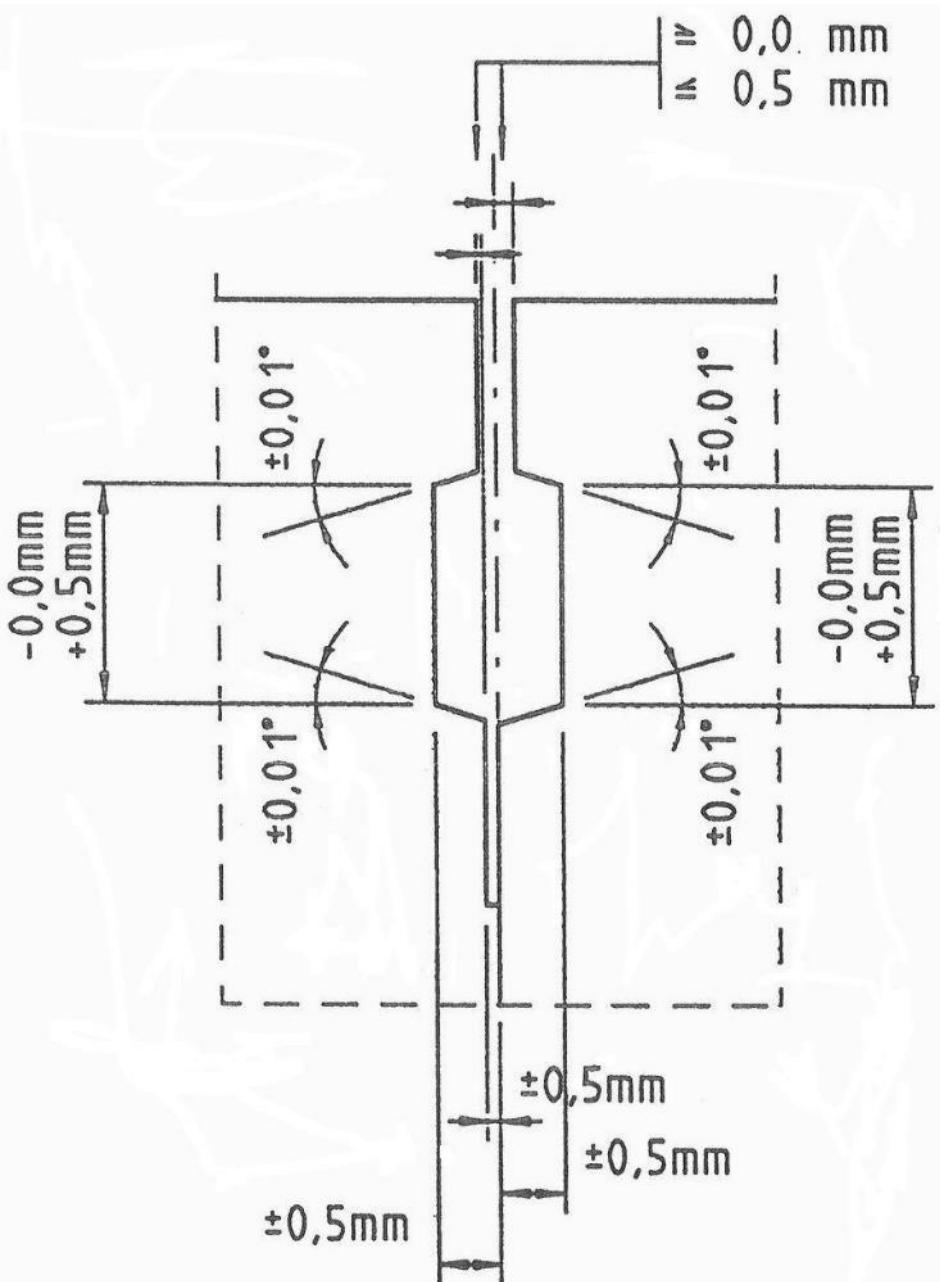
- Ek 1: Phoenix conta boyutları
- Ek 2: Kanal toleransları
- Ek 3: Phoenix M 38544 malzemenin özellikleri
- Ek 4: Phoenix M 38544 malzemenin yük-şekil değiştirme eğrisi
- Ek 5: Phoenix M 38544 malzemenin Su geçirmezliği
- Ek 6: Phoenix M 38544 malzemenin Esnekliği

### Ek 1 PHOENIX CONTA BOYUTLARI (mm cinsinden)





**PHOENIX 38544 Tip conta Boyutları**  
**EK 2 - CONTA KANALI TOLERANSLARI**



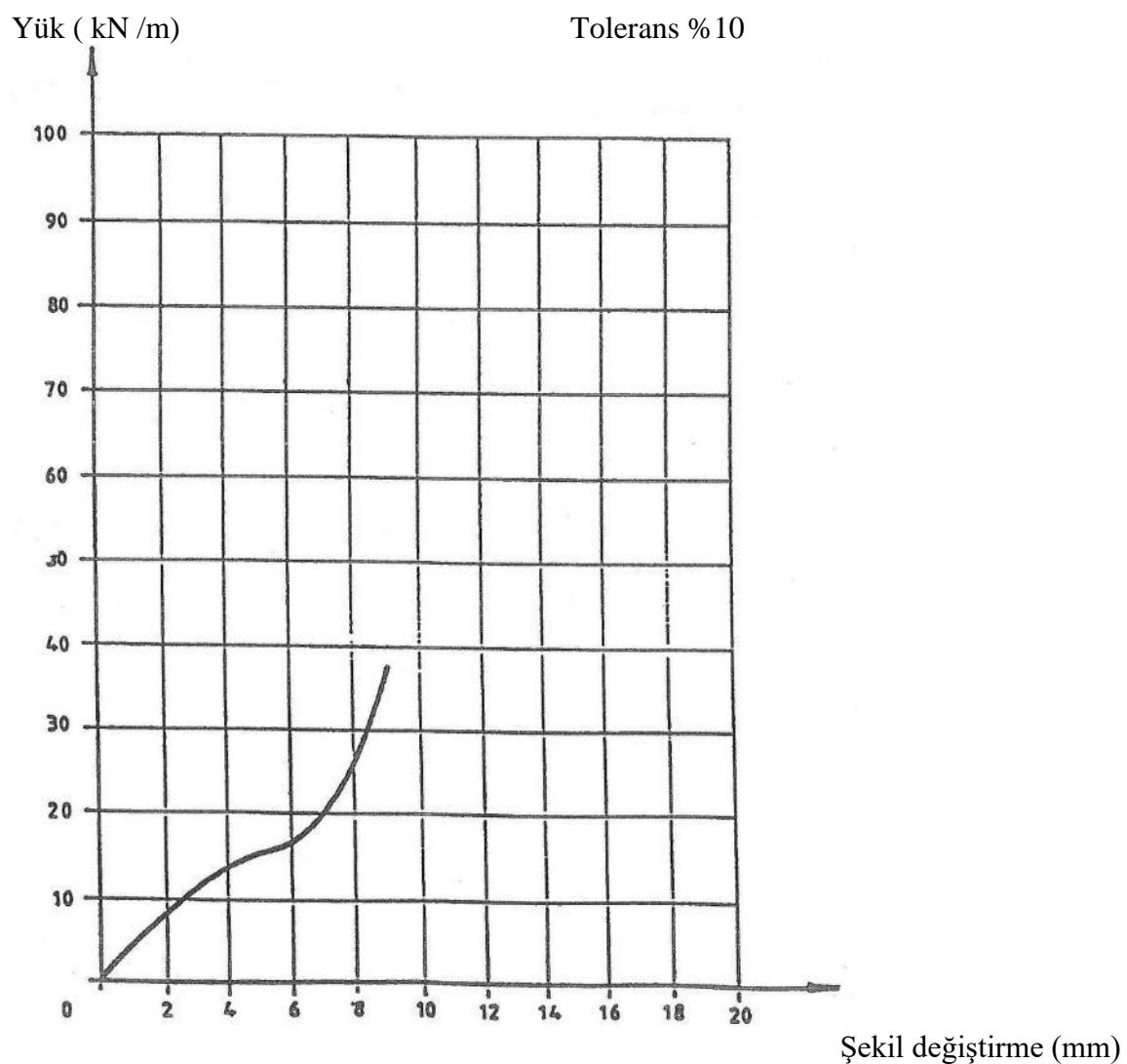
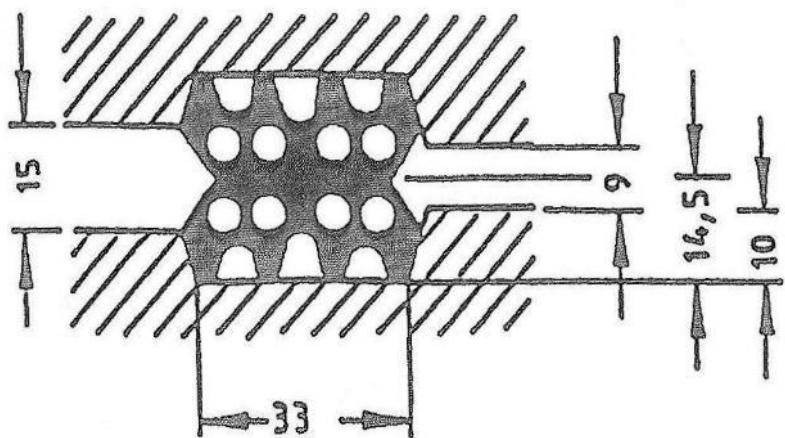
## **Ek 3 - PHOENIX CONTA TEKNİK ve FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

### **FİZİKSEL ÖZELLİKLER**

( Segment çevresi conta malzemesi için)

<u>Fiziksel özellik adı</u>	<u>İlgili standart</u>	<u>Standarda göre değer</u>
Sertlik Şor listesine göre ISO 48/DIN 53519	DIN 53505	67 ° +/- 5° 69 ° +/- 5°
Kopma dayanımı N/ mm <sup>2</sup> Uzama yüzdesi %	ISO 37/DIN 53504 ISO 37/DIN 53504	≥ 10,5 ≥ 300
<u>Basınç altında Deformasyon %</u> 22 saat / 70 ° C 72 saat / RT	ISO 815/DIN 53517	≤ 25 ≤ 15
<u>Bozuşma 70 saat / 100 ° C</u> Sertlik değişimi % Kopma dayanım değişimi % Uzama değişimi %	ISO 188/DIN 53508	+ 6 +/- 15 - 30
<u>Bozuşma 168 saat / 70 ° C</u> Sertlik değişimi % Kopma dayanım değişimi % Uzama değişimi %	ISO 188/DIN 53508	+ 5 +/- 20 - 30
<u>Suda şişme oranı</u> 168 saat / 23 ° C Hacim %	ISO 1817/DIN 53521	≤ 2
<u>Yağda şişme oranı</u> 70 saat / 70 ° C ASTM – Öl %	ISO 1817/DIN 53521	≤ 110
<u>İçeriğine OZON kabul etme derecesi</u> 100 saat /200 ppm / 23 ° C	ISO 1431/1/DIN 53509	sıfır “0”

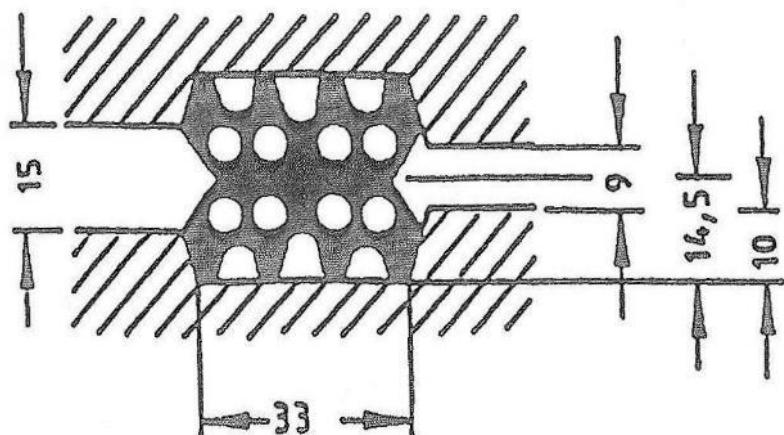
## **EK- 4 - PHOENIX M 38544 PROFİLİ ve YÜK-ŞEKİL DEĞİŞTİRME GRAFİĞİ**



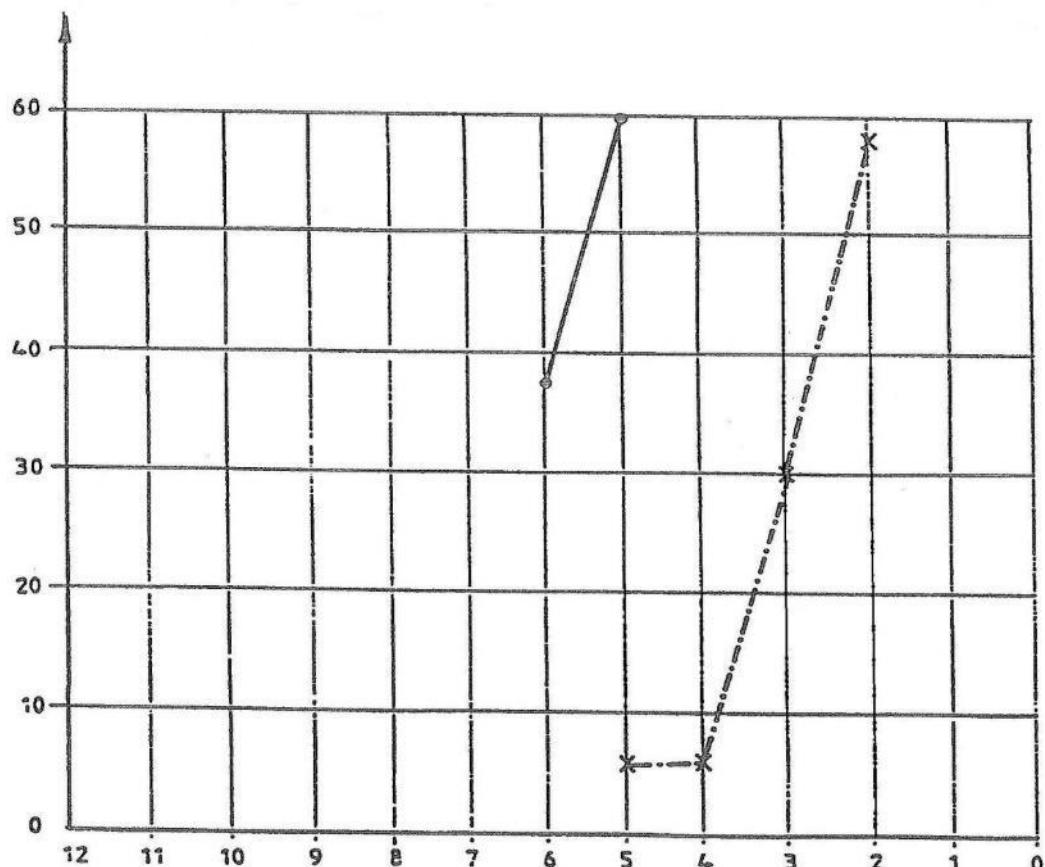
## PHOENIX M 38544 PROFİLİ ve YÜK-ŞEKİL DEĞİŞTİRME GRAFİĞİ

## EK 5 – Phoenix Conta Kesitinin Su geçirmezliği

Deney yöntemi: 0,5 bar 5 dakika  
2 bar 15 dakika



Su geçirmezlik (bar)

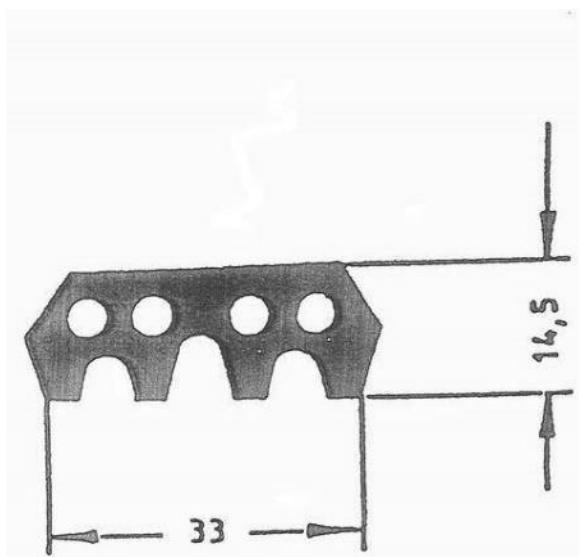


maksimum sapma(mm)

— segment sapmasız

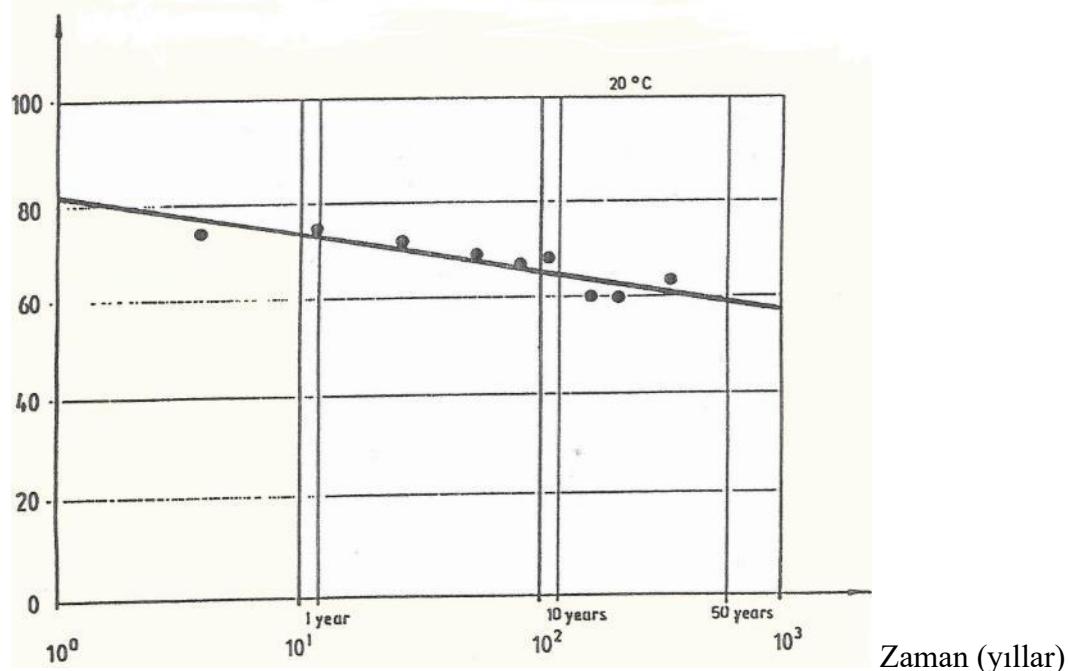
- - - - - segment sapmasız

## EK- 6 - PHOENIX M 38544 Malzemesinin kesit ESNEKLİĞİ

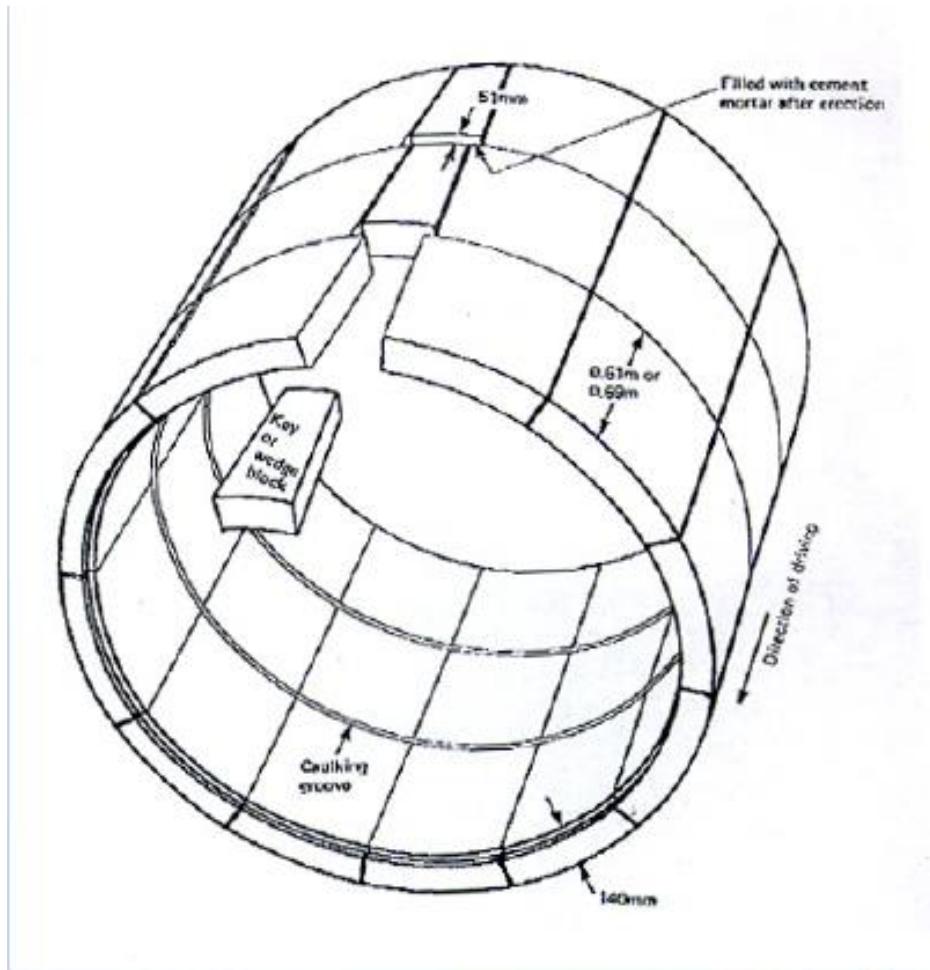


Basınç : % 24  
Çevresel : % 78  
Karışım . 3300/765

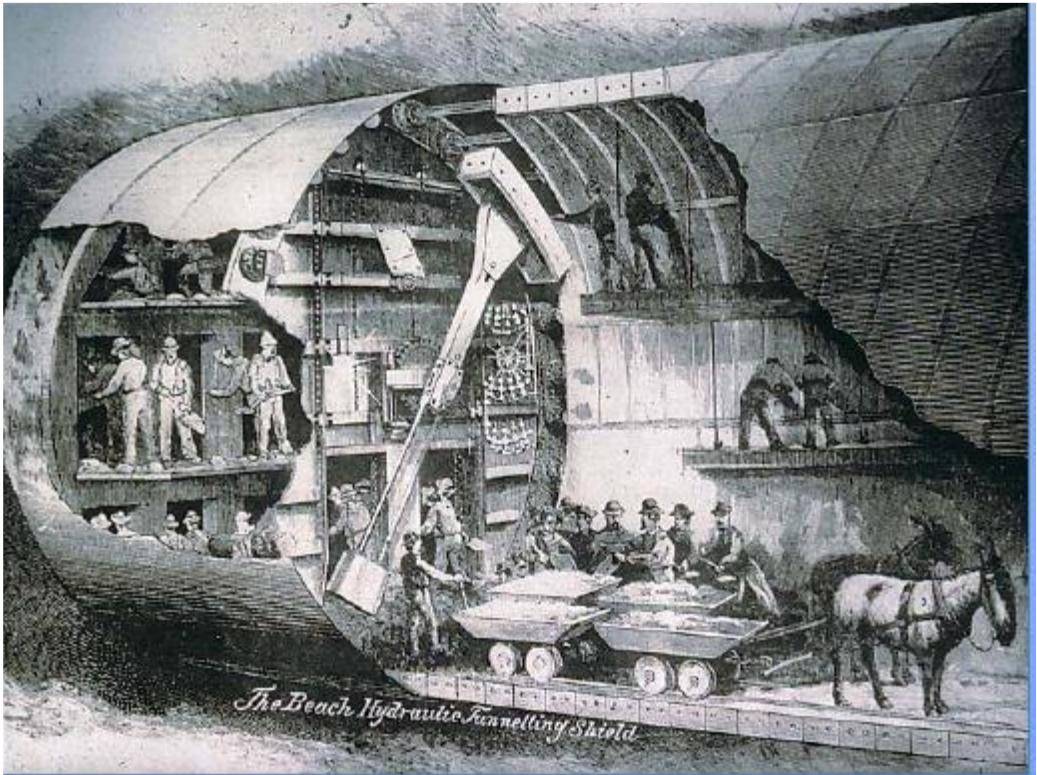
Kalıcı basınç



Bu conta her segment parçasının çevre kanallarını doldurarak eksiz tümdeñ çevrelemiñir.

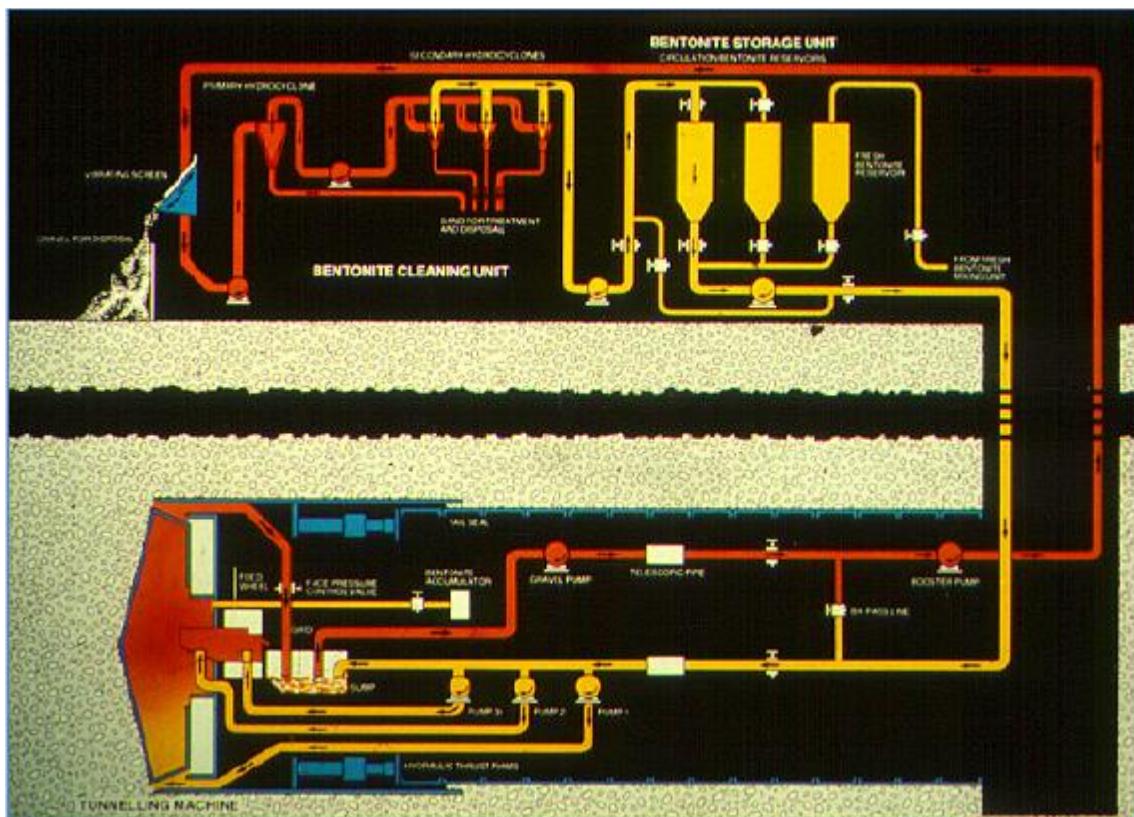


**Konulan Ringlerin montaj biçimini genel görünümü**

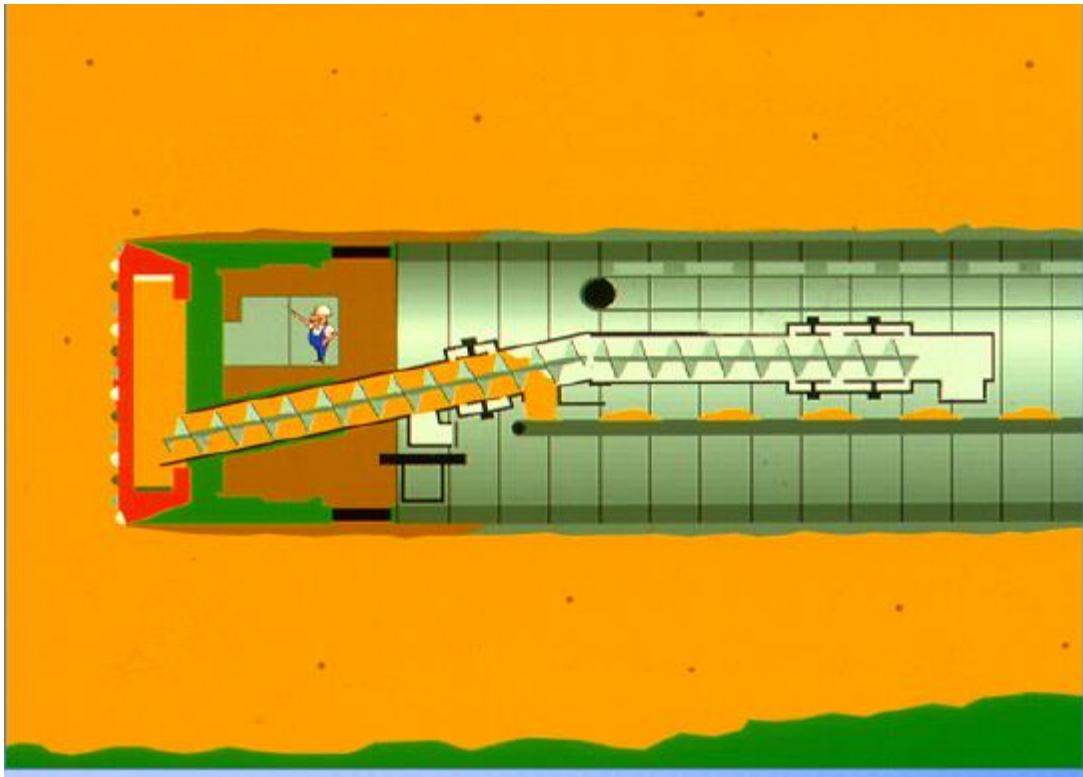


1880

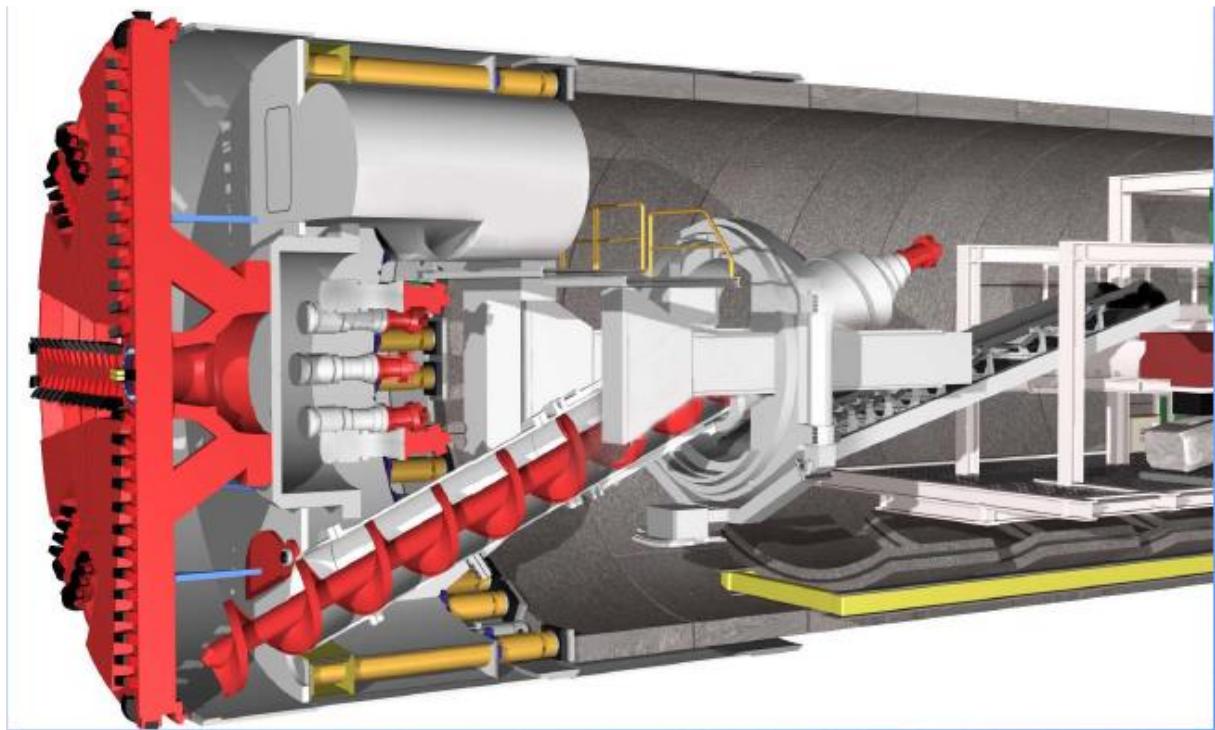
TBM veya EPBM in tarihteki ilk kullanım şekli ve genel prensipleri.



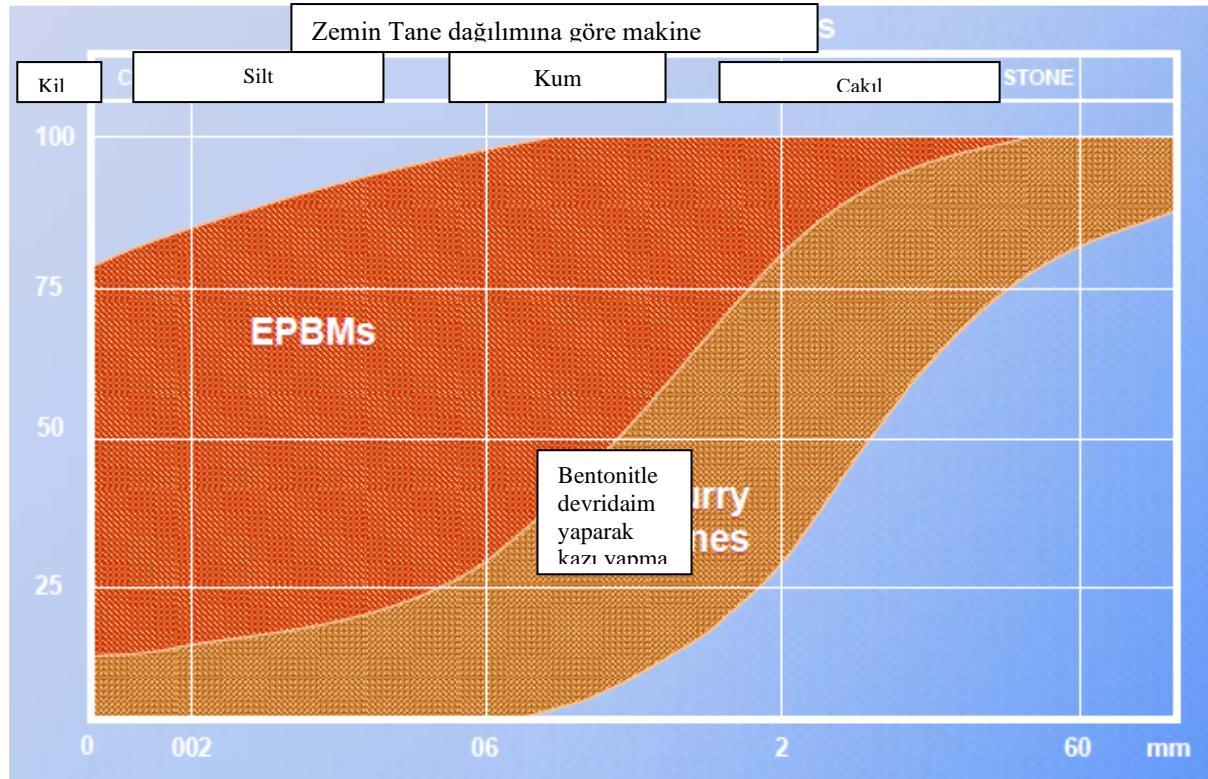
**HİDROŞİLD** sistem EPBM kesiti



**EPBM basit kesiti**



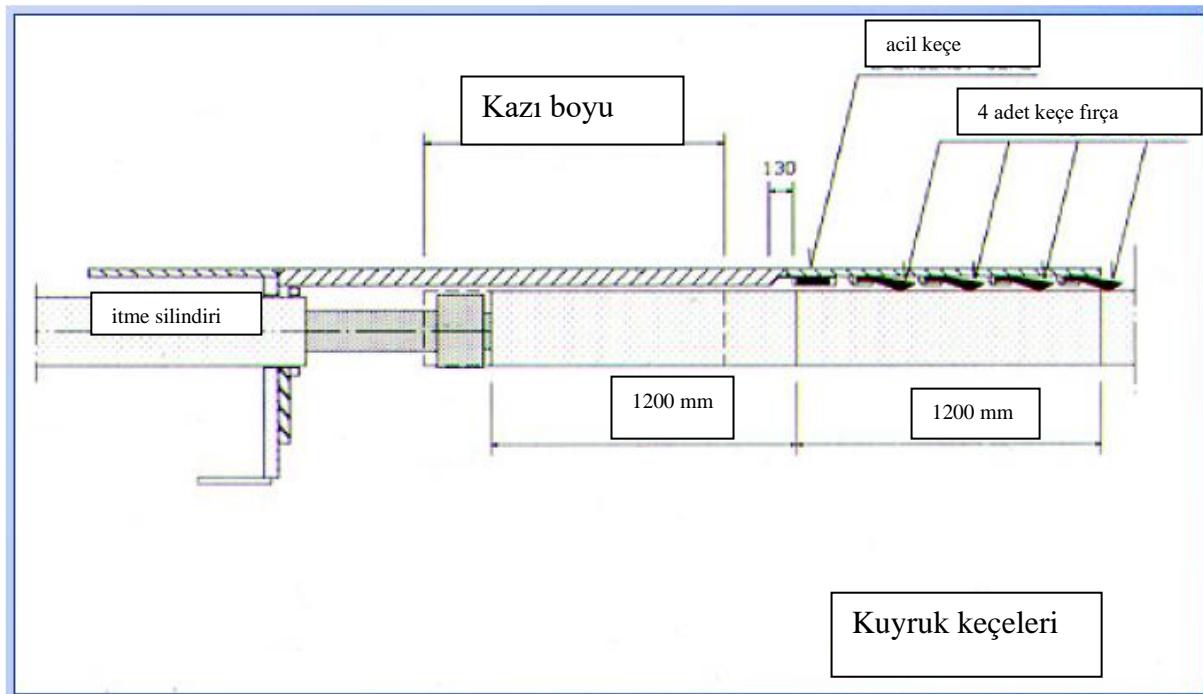
**EPBM kesit resmi**



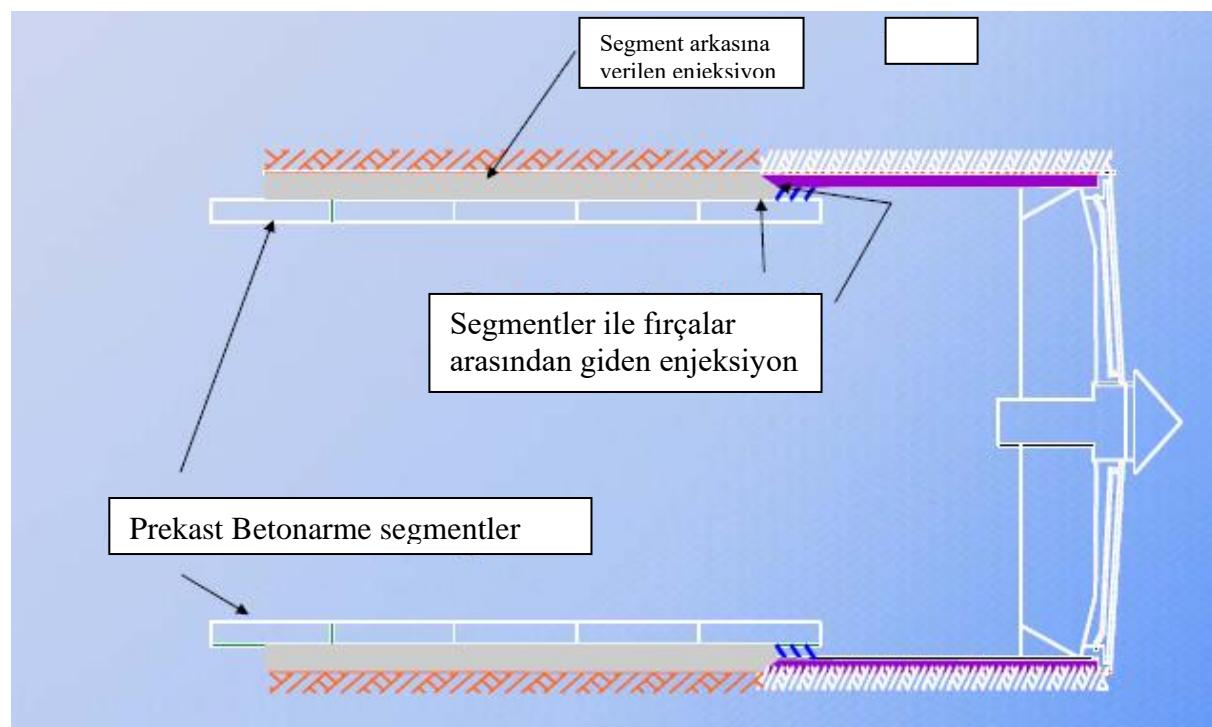
**ZEMİN karakterine göre EPBM veya SILD makine seçimi**



**EPBM makinesinin montajı biten segmentlere piston ile baskı yapmasının görünümü**

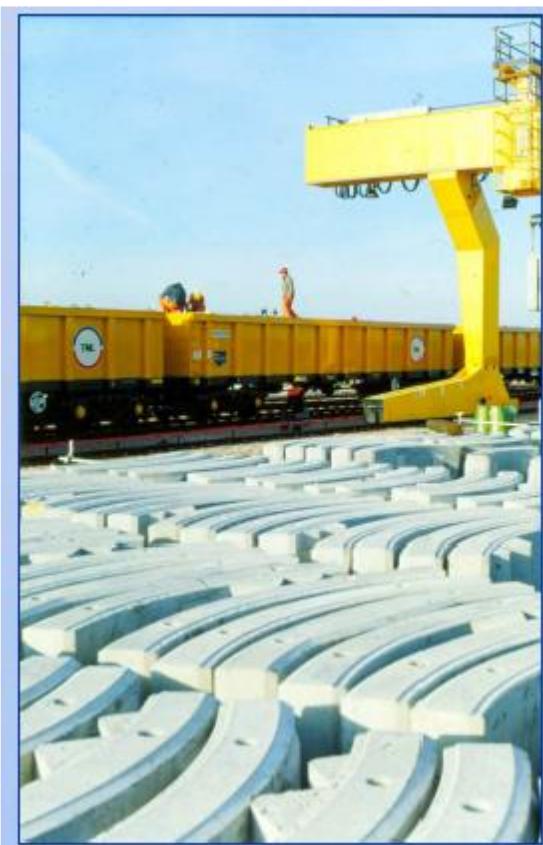


**EPBM makinesinin montajı biten segment gerisine enjeksiyon verilme kesit görüntüleri**



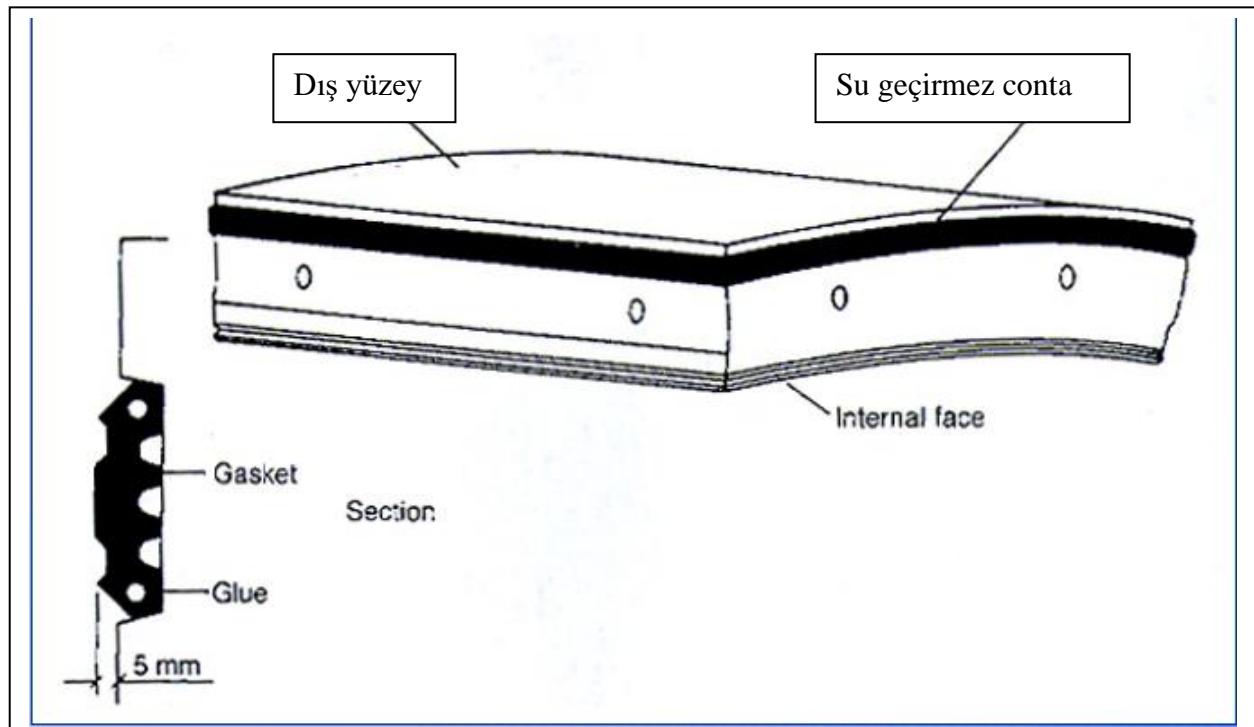


**SEGMENTLERİN** özel atölyelerde ve kendine özgü kalıp ve donatı ile hazırlanması



**SEGMENT** stok sahası

SEG  
MEN  
T  
PARÇ  
ALRI  
NIN  
ve  
CON  
TANI  
N  
TEK  
NİK  
GÖR  
ÜNÜ  
ŞÜ



#### FABRİKADA CONTALARIN YATAKLARINA ÖZEL YAPIŞTIRICI İLE YERLEŞTİRİLMESİ



SEGMENTLERİN KENDİ ÖZEL VAGONU İLE MONTAJ YERİNE NAKLİ



SEGMENTLERİN YERİNDE EREKTÖR (YERİNE YERLEŞTİREN) MAKİNE İLE  
YERLEŞTİRİLMESİ



EPBM makinesinin diyafram duvara contalı çember içinden dayanarak kazı yapması konumu. (1997)

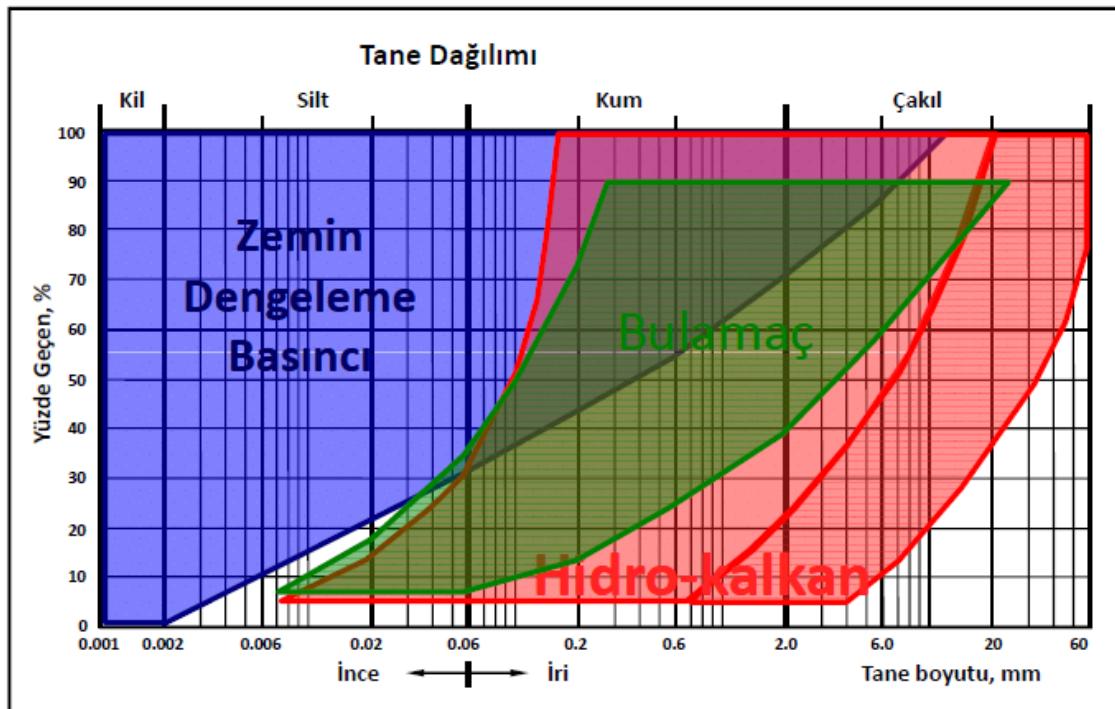


EPBM makinesinin parçalarının Basmahanedeki giriş şaftına indirilişi.. (ağustos.1997)

## EK BİLGİ:

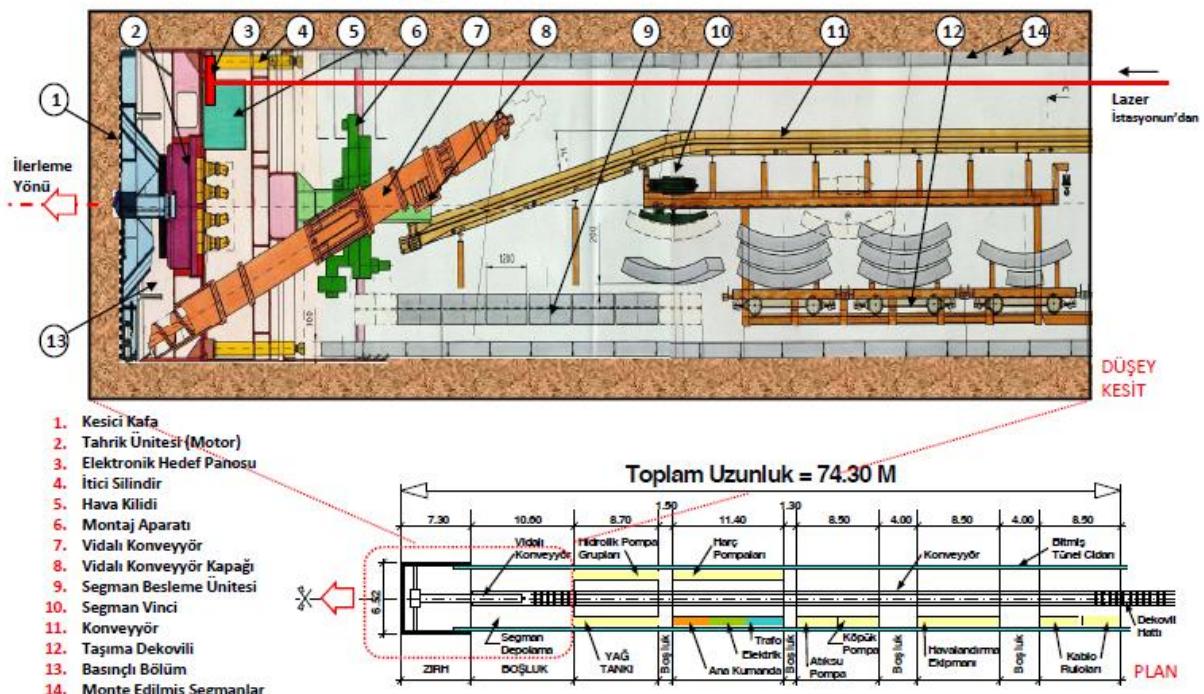
Bu bölümdeki teknik bilgiler Sn E. Arıoğlu, Prof.Dr. notlarından alınmıştır.

### ❖ Tane dağılımına göre kalkanlı tünel makinesi seçimi<sup>(\*)</sup>

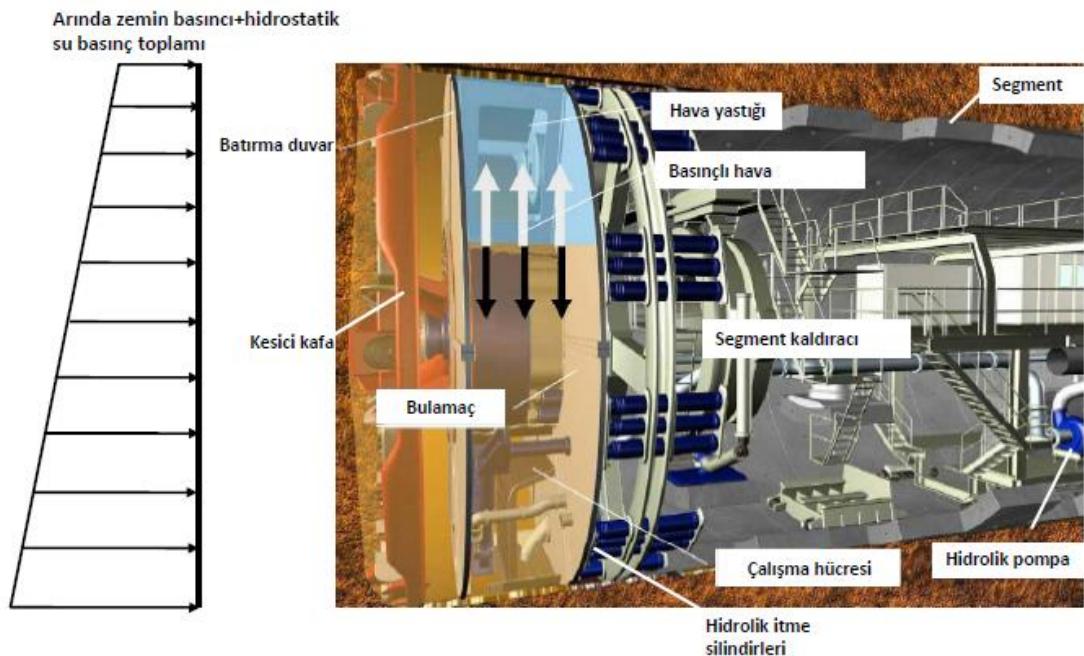


<sup>(\*)</sup> Tane dağılımına göre yapılan makine türü seçimi "mutlak" değildir. Daha açık deyişle, gelişen teknoloji ile bu aralık değişebilir.

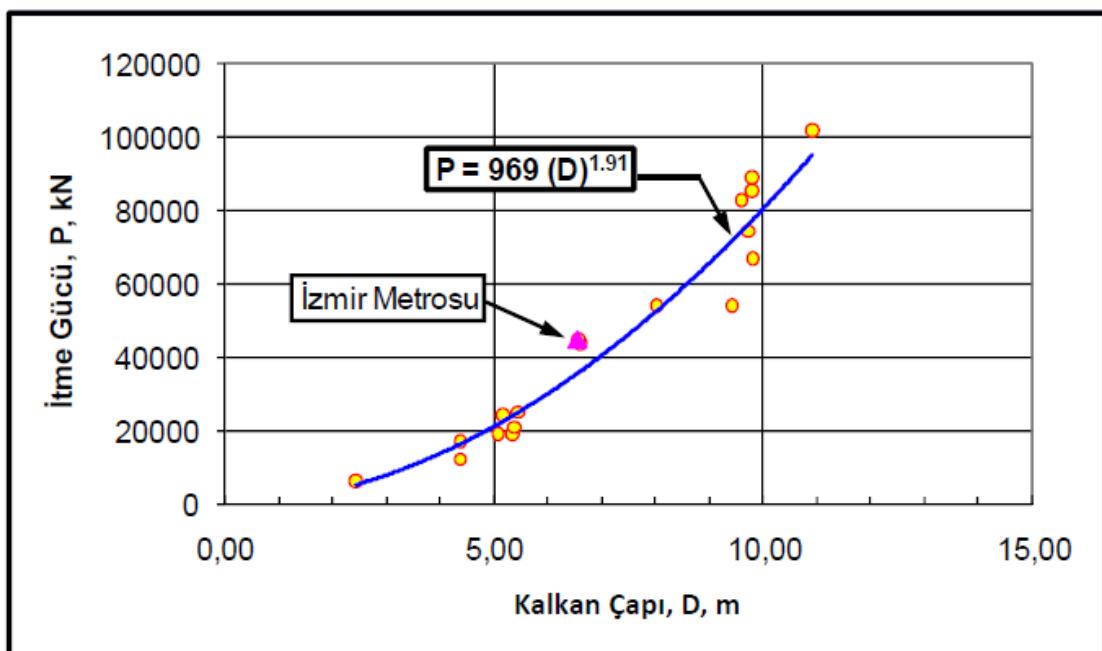
### ❖ EPB Makinesi Prensip Şeması



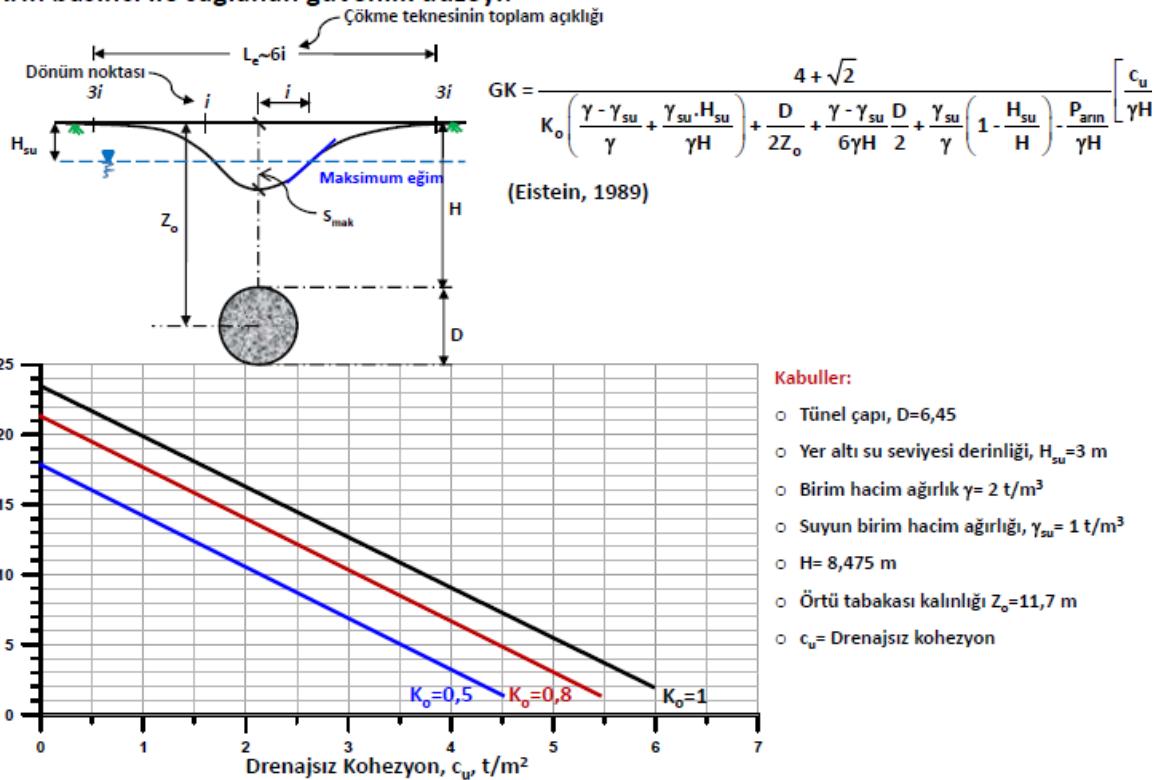
❖ Hidro kalkan/ Karma (zemin+kaya kütlesi) kalkan prensibi ve iç görünümü



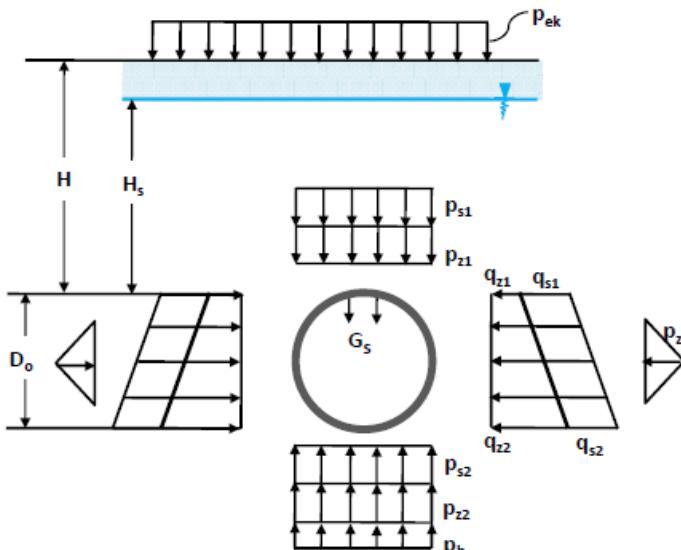
❖ Makine Kazı Çapı - İtme Gücü İlişkisi



### ❖ Arın basıncı ile sağlanan güvenlik düzeyi:



### ❖ Dairesel kesitli kaplamalarda basınçlar



H= Örtü derinliği

H<sub>s</sub>= Yeraltı su derinliği

D<sub>o</sub>= Tünel orta çapı, D<sub>o</sub>=D<sub>i</sub>+t/2

D<sub>i</sub>= Tünel iç çapı

t= Kaplama kalınlığı

p<sub>ek</sub>= Ek yükler (trafik, bina temel sistemlerinden aktarılan düşey yükler)

p<sub>s1</sub>, p<sub>z1</sub>= Tünel tavanında sırasıyla düşey su ve zemin basıncı

p<sub>s2</sub>, p<sub>z2</sub>= Tünel tabanında sırasıyla düşey su ve zemin basıncı

G<sub>s</sub>= Zati kaplama yükü, G<sub>s</sub>=γ<sub>b</sub>·t

(γ<sub>b</sub>= Prefabrik betonarme kaplamanın yoğunluğu,  
γ<sub>b</sub>≈2,6 t/m<sup>3</sup>)

q<sub>s1</sub>, q<sub>z1</sub>= Tavanda sırasıyla yatay su ve zemin basınçları

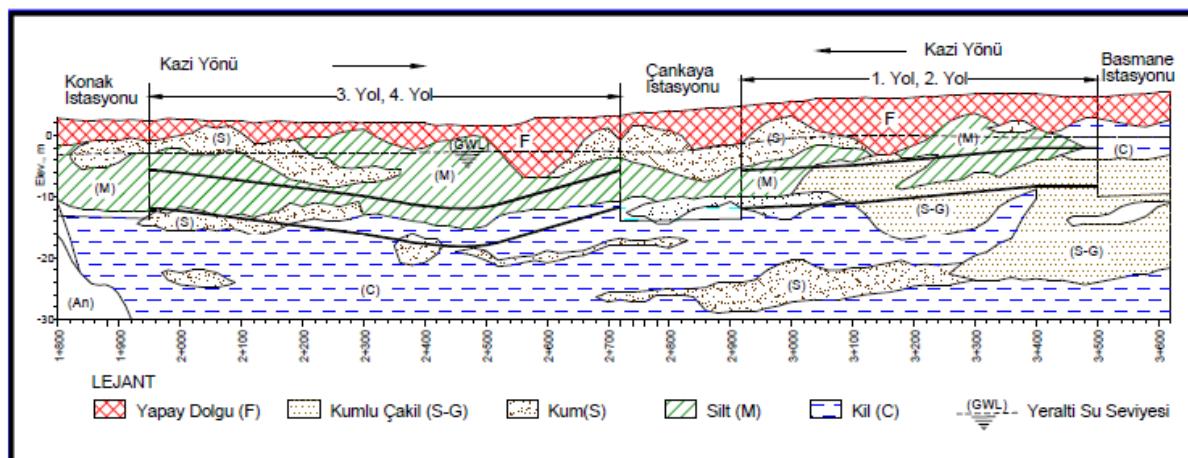
q<sub>s2</sub>, q<sub>z2</sub>= Tabanda sırasıyla yatay su ve zemin basınçları

p<sub>zr</sub>= Zemin reaksiyon basıncı

p<sub>b</sub>= Taban kaplama zati ağırlığından kaynaklanan reaksiyon kuvveti

p<sub>b</sub>= π · G<sub>s</sub> = 3,14 · γ<sub>b</sub> · t – mertebeleri çok küçük olduğundan

ötürü analizlerde rahatlıkla ihmal edilebilir –



## ❖EPB Tünel Metodu

Kriter	Sığ Tünel
Yapım Süresi ve Ticari Kayıplar	<ul style="list-style-type: none"> <li>İnşaat 12 ay sürecek</li> <li>Trafik sadece İstasyon kısımlarında kesileceğinden ekonomik kayıp daha az olacak</li> </ul>
Kazı Hacmi	• $\sim 100.000 \text{ m}^3$ toprak kazılacak
Altyapılar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sadece İstasyon bölgelerinde gerekli olacak</li> </ul>
Trafik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Araç Trafiği sadece istasyon kısımlarında kesilecek</li> <li>Yaya trafiği devam edecek</li> </ul>
Arkeolojik Kalıntılar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arkeolojik kalıntılar zarar görmeyecek</li> </ul>
Tarihi Yapılar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basmane garı yıkılmadan tünel açılacak</li> </ul>

Kaynak: Yapı Merkezi Tasarım – Mühendislik Bölümü, Çamlıca, İstanbul, 1996

❖ Giriş Kuyusunda Tünel Aynasının Hazırlanması



❖ Giriş Çıkış Ağızlarında Kullanılan Kılavuz Çemberi



Not: - Bu çemberin duvarla birleşme yerine -özel projeli-su geçirmez contalama malzemeleri ile destekleme yapılmış, ayrıca, karşımızdaki diyafram duvar arkasına da plastik zayıf dozajlı betondan ek diyafram perde eklenmiştir. Böylece ilk konulacak segment boğazından aç-kapa istasyon bölümüne su ulaşması önlenmiştir. (1997 yılı..)

#### ❖EPB Makinesinin Zemine İlk Hareketi ve Dayanma Yapıları



❖ EPB Makinesi ile Monte Edilen Başlangıç (Geçici) Ringleri



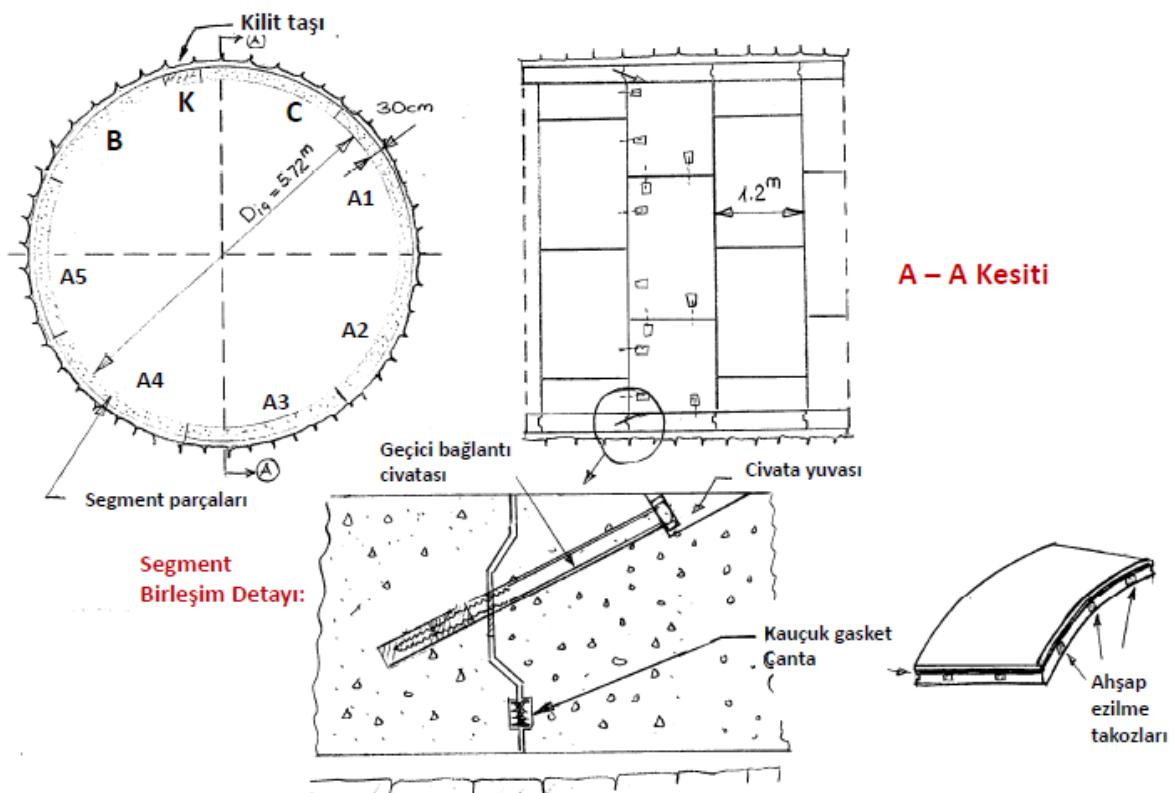
❖ Makinenin Tünelden Çıkışı



(Kesici kafada herhangi bir “**yapışma**” işaretü yoktur. Bu görünüm, “şartlandırma” işleminin başarılı yapıldığını ifade etmektedir.)

Not: Çıkış segment boğazında da yukarıda anlatıldığı gibi önlemler alınmıştır.

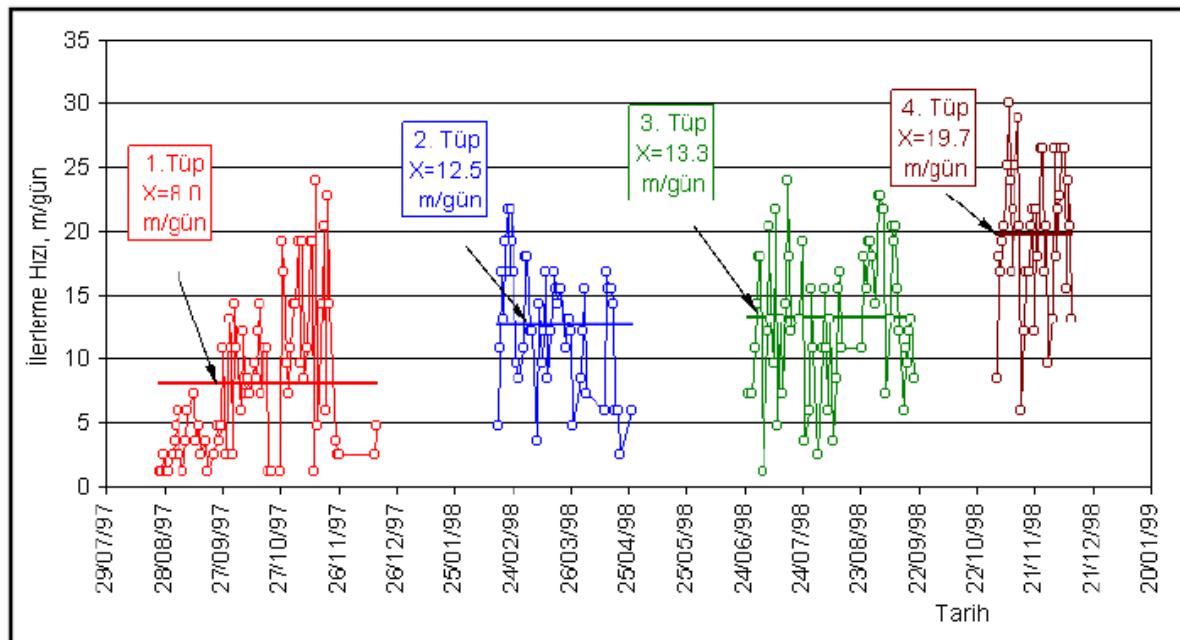
### ❖ Segment bileşimi



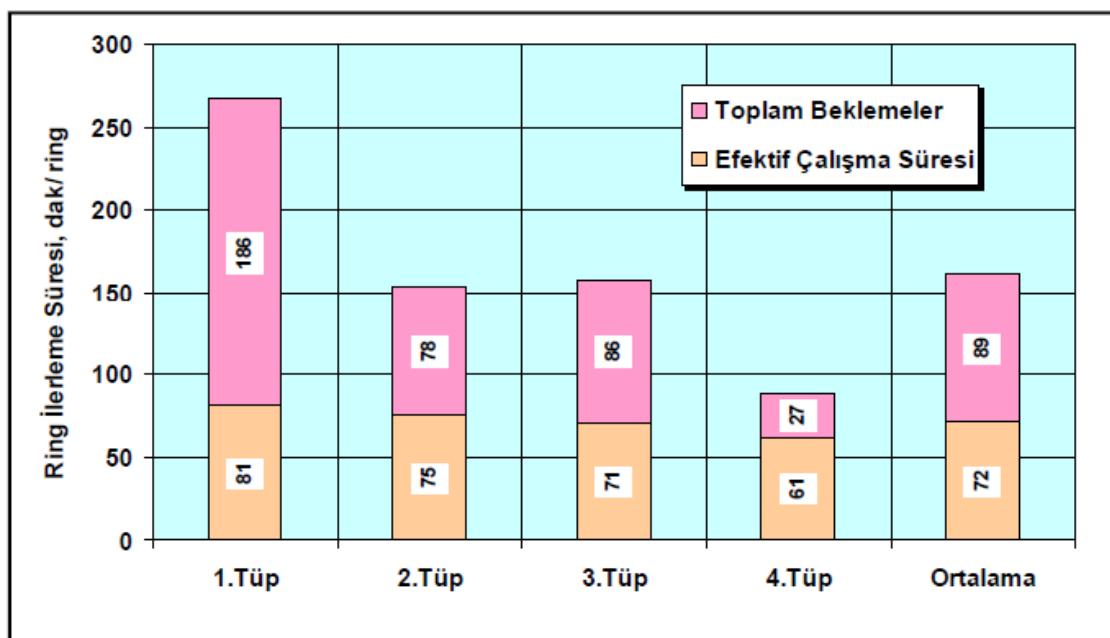
### ❖ Prekast Ring Parçalarının (Kilit Taşı) Montajı



❖ Tüp Bazında İlerleme Hızları ve Ortalama Değerleri



❖ Tüp Bazında İşlem Süreleri ve Ortalama Değerleri



## **2- AÇ-KAPA TÜNELLER**

### **AÇ – KAPA TÜNELLER**

Hızlı ulaşım tünelleri, tesisat tüneleri, kanalizasyon tüneleri gibi tüneller eğer sığ yani az derinlikteki zeminde inşa edilecek ise çoğunlukla yapımı aç-kapa kazı metodu ile sürdürülür. Derinliği 12,0 m veya 15,0 m ye kadar olan ulaşım yapılarının kazalarını aç-kapa tüneli olarak yapmak bu derinliklerde yer altı tüneli yapmaktan daha ucuzdur, hatta bazı şartlarda bu (yapının açık arazide olması ve zeminin uygun olması hallerinde derinliği 20, 0 m ye kadar olması halinde dahi daha ekonomik olduğu yerler tespit edilmiştir. Ancak o halde de çevre düzenini bozma durumu ortaya çıkar.

Bu bölümde hızlı ulaşım tüneleri veya yaya tesisat ve küçük araçlar için gerekli çok miktarda yerinde beton dökümü icap ettiren inşaatların yapımı ile projelendirilmesi inceleneciktir. Burada hizmet verecek tünel şeklindeki yapı, esnemez ve bükülmez (rijit) kutu menfez gövdeli olarak projelendirilecektir. Yerleşim yerlerindeki yapılar nedeniyle yapım sahası açık şevli kazıya uygun olmadığı için kazılar dik kenarlı yapılır ve düzgün kazı yüzeyi oluşturulur. Bu kazı yüzeyi de dikey ve yatay destekler ve göğüsleme kırışları ile kayma ve göçmeleri önlemek için kaplanır. Yerleşim yeri dışında ise zeminin cinsine uygun ise şevli kazı yapılması daha ekonomik olur.

Yol güzergâhının yerleşim yerinden geçmesi halinde inşaat; çevredeki insanlara, trafiğe ve binalara olumsuz etki yapar.

Çevreye verilecek rahatsızlığın süresini kısaltmak ve problemleri azaltmak için şu şekilde çözümler mümkündür:

İnşaata gerekli kazıyı belli seviyeye kadar yapılır ve her türlü kazı taşıma işi bu seviyede bitirilir, sonra yapılacak yapının tavan döşemesi yapılip ve çevre eski haline getirilir. Kazının ve inşaatın kalanı bu döşeme altında sürdürülerek, yapının diğer işleri tamamlanır.

### **AÇ - KAPA TÜNELİ PROJELENDİRİLMESİ**

#### **Yüklerin değerlendirilmesi:**

Aç – kapa tünel yapısı, yapıyı oluşturan parçaların ömründen daha uzun bir süre zarfında yapıya gelebilecek veya fiilen etkisi olabilecek yüklerle emniyetli şekilde dayanacak kapasitede olarak projelendirilir.

Bu yapıların dayanma kapasitesi; tamamlanmış ve bitmiş yapının kazı sonrası çevresinden gelecek su ve zemin basınçlarının tesirlerini ve ayrıca yine sonradan çevreye yapılacak yeni yapıların da tesirlerini karşılayacak şekilde olmalıdır.

Zemin durumu ve yüklerin varlıklarını durumuna göre **yapı** aşağıdaki yüklerin dağılımını oranlı olarak yüklenip taşımalıdır:

<b>D</b> ( dead load )	Ölü yük (hareketsiz statik yük)
<b>V<sub>1</sub></b> ( vertical earth load )	Düsey zemin yükü
<b>V<sub>2</sub></b> ( Surcharge )	İlave Düsey yük ( Bina vs)
<b>H</b> (Horizontal earth pressure )	Yatay zemin basıncı
<b>B</b> ( Buoyancy)	Yüzdürme ( suyun kaldırma kuvveti)
<b>L</b> ( Live load )	Hareket eden yük, canlı yük
L ( vehicle Loading)	Araç yükleri
Vertical Wheel loads	Düsey araç yükleri
Centrifugal Force	Araç Savrulma kuvvetleri (yanal)
Longitudinal braking and tractive force	Boyuna frenleme ve patinaj kuvvetleri
Rolling Force	Yuvarlanma Kuvveti
<b>E</b> (Earthquake Force)	Deprem kuvveti
<b>T</b> ( Construction or expansion forces due to temperature or moisture changes; Shrinkage or creep	Sıcaklık ve nem dolayısıyla olan inşaat ve uzama akması ve çatlaması kuvvetleri

Tünel yapı elemanlarının projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken Zati yükler (ölü yük) aşağıdaki maddelerden oluşur:

1. Yapı elemanın bizzat kendi ağırlığı
2. Yapı elemanı ile birlikte çalışan ve onu destekleyen destek malzeme ağırlıkları
3. Kalıcı (daimi) ekip ve ekipman ağırlığı
4. Destekleme içim gerekli ön germelerden gelen kuvvetlerin yükü

Düsey zeminin yüklerini hesaplarken zeminin derinliğini (sürsaj miktarı da dahil) yoğunluk ile çarpımından elde edilen miktar hesaplanır ( bu yoğunluk kuru zeminde  $\lambda = 1,920 \text{ t/m}^3$  ve rutubetli zeminde  $\lambda = 2,080 \text{ t/m}^3$  kabul edilir, ayrıca su altındaki bölgelerde de su basıncı olarak su yüksekliği ile  $\lambda = 1,000 \text{ t/m}^3$  veya  $\lambda = 1,120 \text{ t/m}^3$  yoğunlukları çarpımı ilave edilir).

Amerikan Beton Enstitüsü gerçek proje değerleri bulunmasında enstitüce kabul edilmiş yük faktörleri ile de bu hesaplanan miktarların çarpılmasını öngörmektedir. Faktörlerle çarpımdan sonra elde edilecek yükler tatbik edilecek zati yük olarak düşünülmelidir.

Yüzeye yakın inşa edilen metro ve hızlı ulaşım tünelleri sık tüneller şeklinde ve hesaplamaları sadece üzerindeki zemin kalınlığına göre olup, yapıyı oluşturan ölçü ve boyutlar buna göre küçük tutulmuş ve böyle projelendirilmiş ise bu yapı ileride tünel üzerine gelecek ilave yüklerde dayanıklı olmadığından o bölgede ileride yapılacak diğer yapıların inşasını engeller ve sınırlamalar getirir.

Örnek verilmek gerekirse; mesela şehir içindeki tünellerde tünel yapısı cadde altında ise, tünel projelendirilmesi, bu caddelerden trafo, buhar kazanı ve prefabrik ağır kirişler geçecekmiş düşüncesi göz önüne alınıp dingil yükleri ona göre alınarak yapılır. Cadde dışı sahalarda ise yine tünel üstü arazide olası orta büyülüklükte bir yapışma olabileceği ve bu yapıların vereceği yükler göz önüne alınarak projelendirilir. Bu sebeple bu bölümde tünel üstündeki zemin kalınlığı derinliğine ( $8 \text{ ft}$ )  $\sim 2,5 \text{ m}$  ilave edilerek bulunacak zemin yükü hesaplarda dikkate alınarak tünel projelendirilir.

Zemin yükü üzerine konulacak sürüşaj (ekstra yükleme) şu etkenlerden oluşur: Tünele yerine bitişik binaların temel yükleri, yol üstündeki trafik yükleri, veya diğer yüzeysel hareketli yükler (yük faktörü kullanılarak dahil edilir). Özette yüzeyden gelecek düzgün yayılı yük en az 1 (bir) t/  $\text{m}^2$  (minimum 200 p.s.f) alınmalıdır.

Yatay zemin basıncı; kazının yapıldığı zeminin parametrelerine (cinsine) bağlıdır ve zemin değerleri bu zemin hakkında bilgi sahibi ve özel yükleme deneyleri yapmış mühendislerce değerlendirilir. Aşağıdaki tablo çeşitli zeminlerin yapılara yatay zemin basıncı olarak ne gibi davranış göstereceğini basitçe açıklayan basit bir tablodur.

Zemin Cinsi	Batma N değeri	Özellikleri	Yanal Basınç Hali
	Darbeler N/foot		
Yoğun Kum	30 dan fazla	2 x 4 inç tokmak ile çakmak zor	Yanal AZ basınç
Zayıf ve orta arası Kum	30 dan az		Makul ve ölçülü
Sert kil veya silt	30 dan fazla	Başparmak tırnağı ile çentilir.	Makul ve ölçülü
Orta kil ve yoğun Kil	30 dan az	Tırnakla çentilir ve Şekil alacak kadar plastiktir.	Kabul edilebilecek kadar baskı var
Yumuşak Kil	Darbe sayısı 5 den az		Orta derece baskı ve yüksek derece baskı

Proje yüklerine ulaşmak için bu yükler uygulama faktörü kullanılarak ölü yük (dead load) olarak kabul edilebilir.

Yatay zemin basıncında kısa ve uzun periyot olabilecek değişikliklerin göz önüne alınması çok önemlidir. Zemin mühendisi tarafından önerilecek proje yükü uzun periyot için düşünülmüş zemin basıncı dikkate alınarak olmalıdır. Tünelin kullanımı süresince bu tünele gelen yüklerde önemli değişiklikler olabilir. Kısa sürede inşaat biter bitmez tünele gelen H1 yükü proje değeri **H** yükünden az olur, eğer tünel inşaatını yanında diğer bir kazı olursa dengesiz yük tünele etki eder, kazı tarafından gelen yük değeri **H** değerinden az olur ama diğer taraftan gelen yanal yük ise kısa sürede **H** değerine ulaşır. Bu durumda tünel yapımıza yanal yük dengesizliğinden gelen yatay kayma (yüzme) hareketi veren yükler oluşur, bu durumda yandaki kazının destekleme şartlarına bağlı olarak tünelimiz bu yüze karşı dayanır veya uygun şart yoksa denge bozulur ve dayanmaz. Bu şartların inşaat sonrası veya inşaata paralel olabilecegi göz önüne alınarak *aç-kapa tünelleri projelendirilmesi* uzun ve kısa sürede yatay oluşan yanal basınçların **H değerine göre yapılması** ve gelen yüklerin destekleme elemanları arasında orantılı olarak dağılımına dikkat edilmesi gereklidir.

Dengelenmemiş yatay zemin basınçlarının neden olduğu yatay yüzme sonucu meydana gelebilen yapıda meydana getirdiği gerilmelerin yapı elemanlarına orantılı olarak dağıtılması ve yapı elemanlarının dayanıklı hale getirilmesi kabulü konusunda değişik fikirler vardır. Bu gereksinim yatay yüklerin çok çeşitli etkenlere bağlı olmasındandır. Şöyle ki; eğer yapı tek şeklinde inşa edilecek ise yapı bütün olarak yatay hareketlere karşı düşünülerek yük dağılımı yapılması önerilir, eğer iki veya çok katlı olarak inşa edilecek ise sadece üst katı için yatay yüzme hesabı düşünülür, diğer alt katların da kendi içinde yük dağılımlarının kuşaklama kırısları ile sağlandığı veya destek elemanlarının yeterliliği düşünülür. Bu sistem bize yanda bilinen inşatlardaki arızalardan gelebilecek problemlere karşı bir emniyet faktörü sağlar ve aynı zamanda da hesaplarda yükleri çok aşırı alma zahmetini öner ve kabul edilenin de kendi destek elemanları arasında orantılı dağılmasına yardımcı olur.

Kısa dönem yükleme için veya indirgenmiş (azaltılmış) şekildeki bitişik inşatlardan meydana gelen yatay yükleme  $H$ ; redüksiyon faktörü (azaltma katsayı) ile çarpılarak ortaya çıkarılır. Örnek olarak TORONTO metro projesinde bu katsayı 0,50 olarak alınmıştır.

Yeraltı suyu varlığı görüldüğü zaman, yüzme ve yanal su basıncı (hidrostatik basınç) etkisi göz önüne alınıp, hesapları ona göre yapmalıdır. Hatta yer altı su seviyesinin ileride olası değişiklikleri de dikkate alınıp projede hesaplanmalıdır.

Hareketli yükler; hareket eden ekipman yükleri, tren ve araç yükleri, veya diğer canlı yaya yüklerini içine alır. Tünel içindeki yaya yükleri, tren yükleri ve hareketli yükler tünel dış yapısında dikkate alınmaz, çünkü bunların ağırlıkları taban ve invert ile zemine ilettilir. Bu yüklerden tünelin çok katlı olması halinde hangisi hangi katta ise o bölüm için dikkate alınır ve yapıya etkisi ek olarak hesap edilir.

Deprem kuvvetleri, gömülü olan ve tünel şekil veren tünel elemanlarına inşaat bittikten sonra etki etmediği düşünülmektedir. Birçok zemin koşulları altında, zeminin yapıdan daha rıjit dayanıklı olması halinde depremin meydana getireceği deformasyonun tünel yapısına zarar vermeyeceği düşünülür.

Depremin zarar verici faktör olarak kabul edildiği zemin şartlarında, yapı depremden gelecek yüklerde de dayanacak esneklik ve sağlamlıkta olarak projelendirilmesi sağlanmalı ve proje depremin gereksinimlerine göre kontrol edilmelidir. Tünel yapısına deprem kuvvetlerinin etki etmediği yerlerde bu kuvvetlerin hesaplanması göz ardı edilir.

Genleşme ve İnşaat derzleri sıcaklık etkisinden uzama nedeni oluşan kuvvetlerini önler. İnşaat için özel bir şart konulmamış ise pratikte genellikle tünel boyunca birbirini takiben 12-18 m de bir aralıklı olarak genleşme derzleri mevcut olabilir ve bu durum bir problem doğurmaz.

### **YÜKLERİN DAĞILIMININ BAĞDASMASI (Kombinasyonu)**

Tünel yapı elemanları projelendirilmesinde, tünele gelen yüklerin uygun olmayan tesiri verecek şekilde tünel etkilendirilmesi bağdaşmaları düşünülerek aşağıda listeleme biçimleri düşünülmelidir:

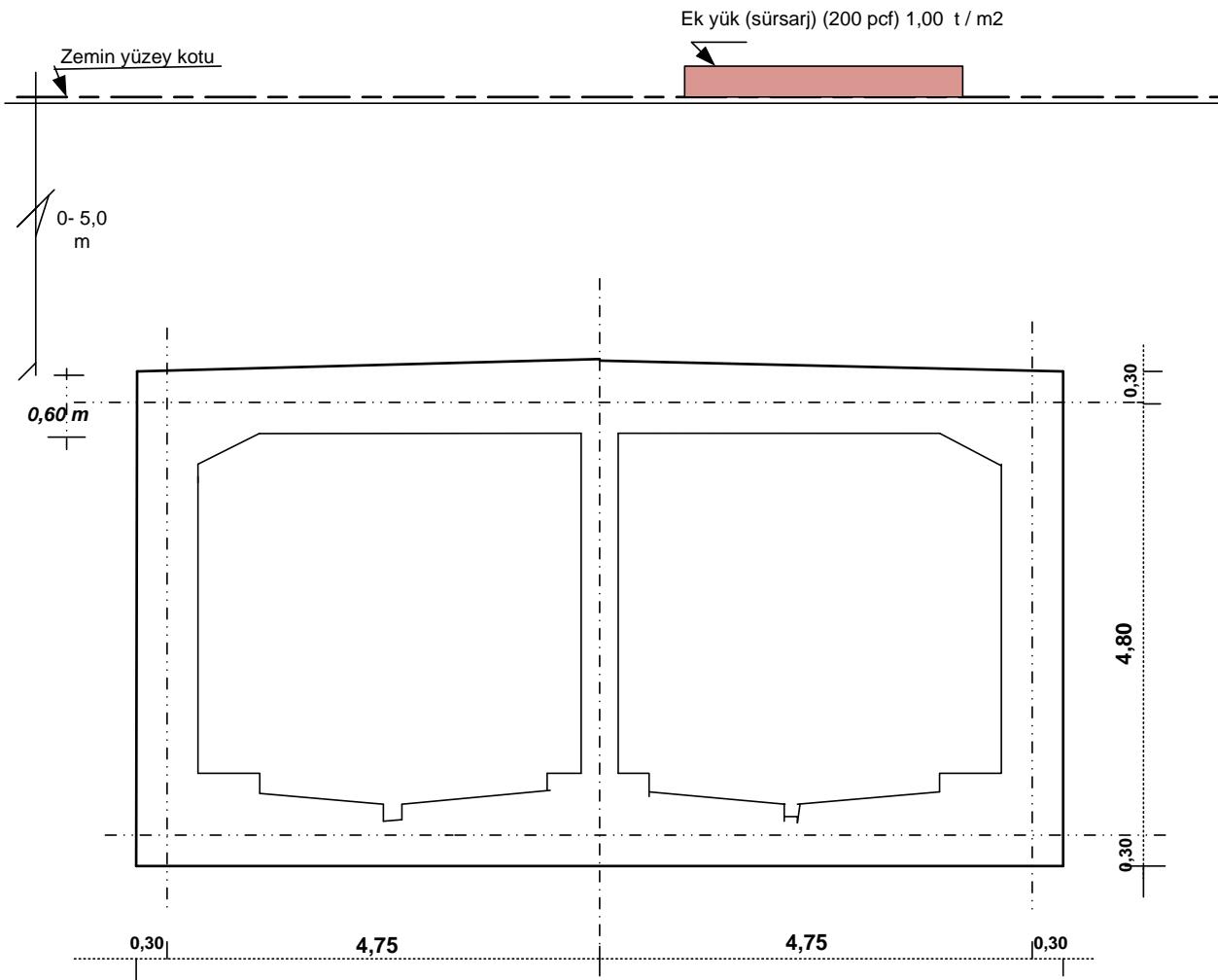
- |       |   |                                      |
|-------|---|--------------------------------------|
| I -   | D + V1 + V2 + L + H                       | ( Yapının iki tarafına gelen yükler) |
| II -  | D + V1 + V2 + L + 0,5 H                   | ( Yapının iki tarafına gelen yükler) |
| III - | D + V1 + V2 + L + H ( bir tarafa) + 0,5 H | ( diğer tarafa gelen yükler)         |

D ( dead load )	Ölü yük (hareketsiz statik yük)
V1 ( vertical earth load )	Düsey zemin yükü
V2 ( Surcharge )	İlave Düsey yük ( Bina vs )
H (Horizontal earth pressure )	Yatay zemin basıncı
L ( Live load )	Hareket eden yük, canlı yük
L ( vehicle Loading)	Araç yükleri
B ( Buoyancy )	Yüzdürme ( suyun kaldırma kuvveti)

İlaveten; su seviyesinin altında yapılacak inşatlarda Tünel yapısı hesabı; yanal su basıncına karşı, ve yüzmeye karşı da irdelenir (tahkik edilir). Depremselliği öne çikan tektonik ülke ve arazilerde deprem kuvvetlerine göre de tahkiki gerekir. Eğer tünel yapısı yapı tekniği bakımından inşaat derzi ve genleşme derzi yerleri kural dışı olarak projelendirilirse, o durumda bu şartlardan doğan kuvvetlerin (ısı, rötre vs) de irdelenmesi icap eder.

### **TÜNEL YAPISININ ANALİZİ**

Tünelin yapı çerçevesi analizinde; elastik (sünek) yapı teorisine dayanan rijit yapı analizi aracılığı ile her bir elemana gelen hesapla belirlenen momentler ve kesme kuvvetleri uygulanır ve önceki kesitle bulunan yük kombinasyonları da tatbik edilir. Bu işlem, moment dağılımı metodunu kullanarak veya, belki de kesme ve moment değerlerinin belirlendiği yerden bilgisayar programını kullanarak yapılabilir. Düsey yük reaksiyonlarının pratik olarak döşeme altına homojen (uniform) olarak dağıldığı kabul edilmektedir. Bu kabul en fazla (maksimum) döşeme momentleri sonucunu doğurur ki bu sebeple bu kabul ihtiyatlı davranıştır. Moment ve kesme kuvvet diyagramları çizilir ve bu diyagamlardan hizmet edebilecek ve emniyetli olabilecek bir yapı ve bu yapıya gerekli demir donatı ve betonun yük dağılımlarını hesabı yapılır.



## TÜNEL KUTU MENFEZ YAPISI EN KESİTİ

### YÜKLEME

#### KUTU MENFEZİN ÜST ÇATISINA GELEN YÜKLER

Kuru Toprak Dolgu ağırlığı :120 pcf (-fut küpe gelen pound yük-0,45359 kg/28,317 dm<sup>3</sup>) x0,016 t/m<sup>3</sup>= 1,922 t/m<sup>3</sup>

Nemli Toprak Dol. Ağırlığı :130 pcf (-fut küpe gelen pound yük-0,45359 kg/28,317 dm<sup>3</sup>) x0,016 t/m<sup>3</sup>= 2,082 t/m<sup>3</sup>

Su Basıncı . . . . . ∴ 70 pcf (-fut küpe gelen pound yük-0,45359 kg/28,317 dm<sup>3</sup>) x0,016 t/m<sup>3</sup>= 1,0 – 1,121 t/m<sup>3</sup>

Betonarme yoğunluğu ￥ = 150 psf veya 150 psf x 2 f = 300 psf (kalınlık 2 f ise)

Hesaplar:

Sürsaj : 200 psf (-fut kareye gelen pound yük- 0,45359 kg/0,09290 m<sup>2</sup>) x4,88/1000 = ~ 1,0 t/m<sup>2</sup>

Toprak derinliği 5,00 m ise ve 2 adet 0,60 m kalınlıkta döşeme varsa gelen düşey yükler:

Toprak dolgu yükü : 5,00 m x 1,922 t/m<sup>3</sup> = ~ 10,00 t / m<sup>2</sup>

Sürsaj yükü (sahadan) = 1,00 t/m<sup>2</sup>

Döşeme ağırlığı 300 psf x 4,88/1000 = ~ 1,50 t/m<sup>2</sup> Toplam : 12,50 t / m<sup>2</sup>

### DÜSEY İNVERT REAKSİYONLARI

$$\text{Üst tabliyeden gelen} = 12,50 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Duvarların ağırlığı } 310 \text{ p.s.f } \times 4,88 / 1000 = 1,52 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Toplam} = \underline{\underline{14,02 \text{ t/m}^2}}$$

## YATAY YÜKLEME ( Tam baskılı )

Hesapların kolaylığı için Yatay proje basınç etkisi; düzgün yayılımlı (uniform) ve duvarların düşey yüzeylerinin ortalarına bu basıncların eşit etki yaptığı kabul edilmiştir.

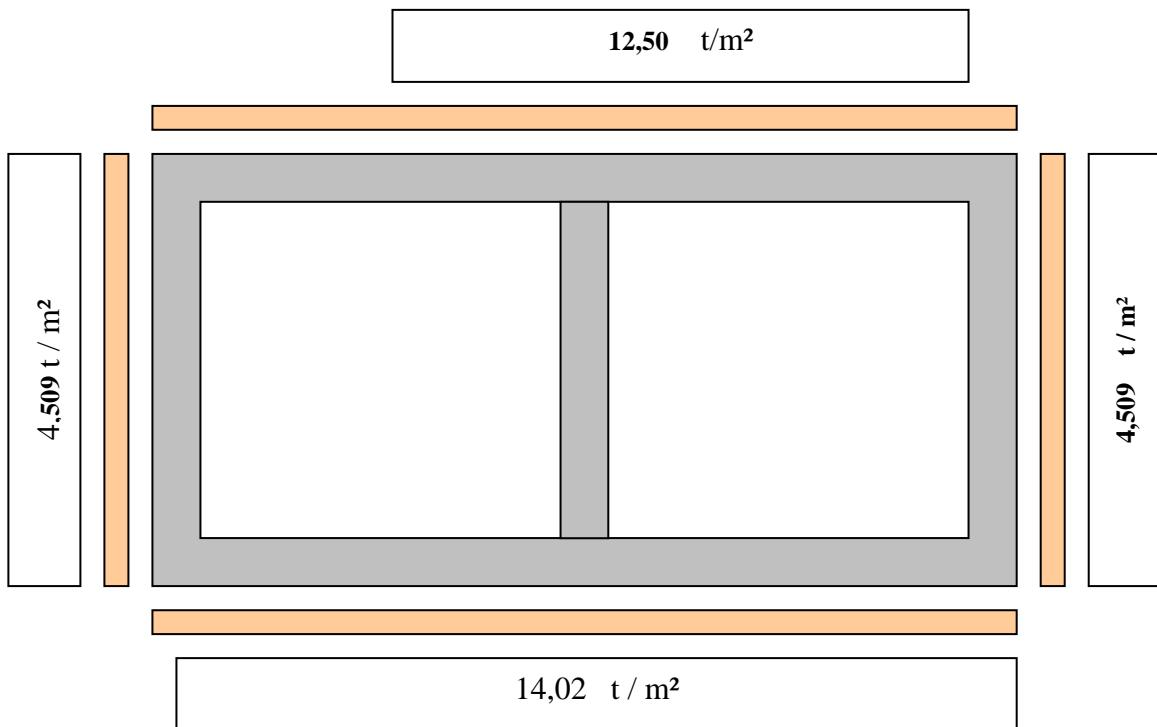
$$K(\text{Azaltma Faktörü}) = 0,3 \quad \lambda (\text{zemin yoğunluğu}) = 1,922 \text{ t/m}^3 \quad H (\text{zemini ortalama derinliği}) = 7,30 \text{ m}$$

$$\text{Yatay Baskı HL} = (\text{zeminden}) K \times \lambda \times H + (\text{sürsajdan}) 0,3 \times 1,00 \text{ t/m}^2$$

$$HL = 0,3 \times 1,922 \text{ t/m}^3 \times 7,30 \text{ m} + 0,3 \times 1,00$$

$$HL = 4,509 \text{ t/m}^2 \text{ dir}$$

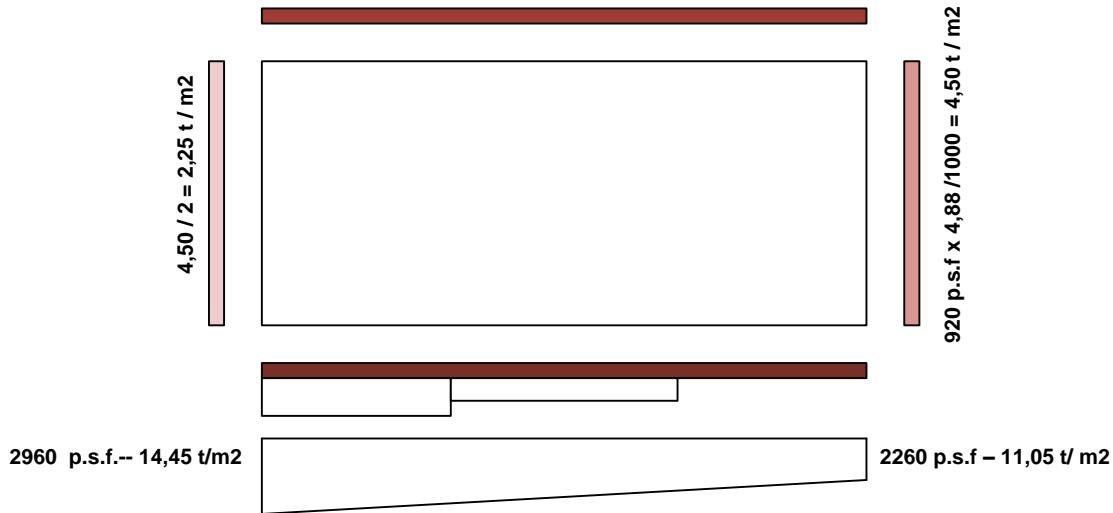
## YÜKLEME KOMBİNASYONLARI



**Şekil : I**

**Düşey ve Yatay Yüklerin Tamamının alınması Hali**

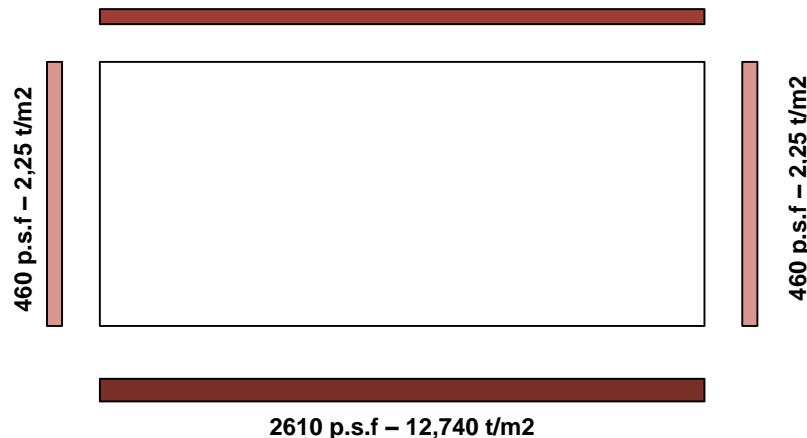
$$2450 \text{ p.s.f} \times 4,88/1000 = 12,0 \text{ t/m}^2$$



### YÜKLEME DURUMU : II

Üst ve alt düşemeye Tam düşey Yük,  
Sol duvara yarıml yataş yük, ve sağ duvara tam yataş yük

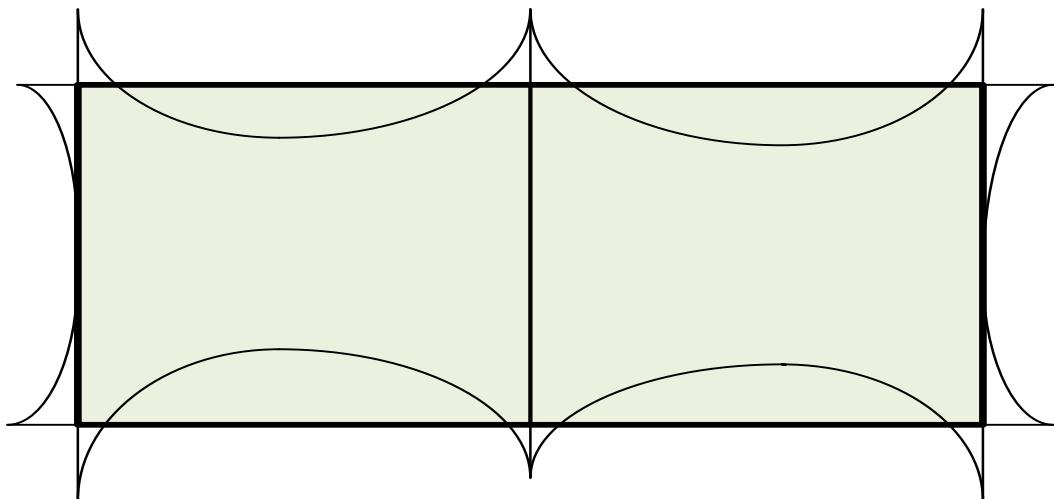
$$2300 \text{ p.s.f} - 11,225 \text{ t/m}^2$$



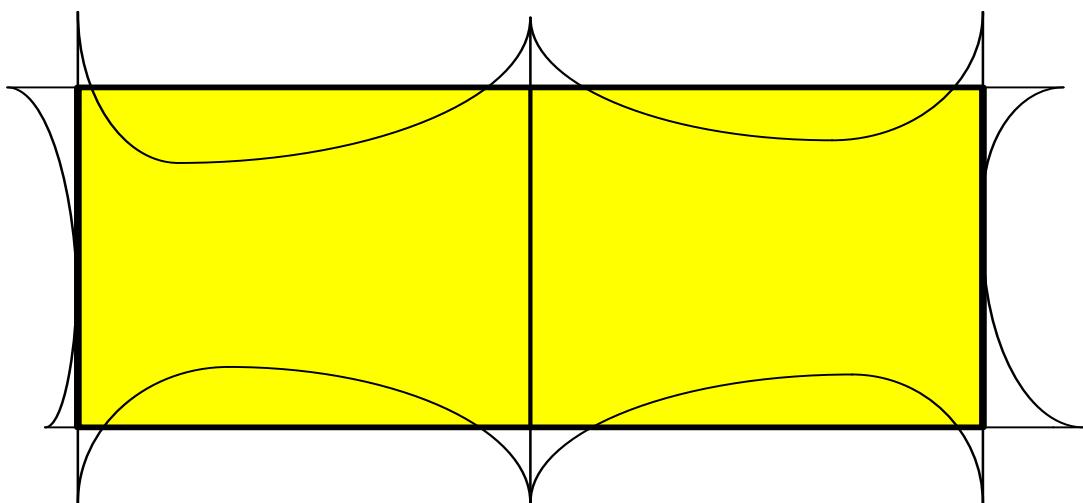
### YÜKLEME DURUMU III

Düşey yükler Tam  
İki yan duvarda yarıml yanal yükler

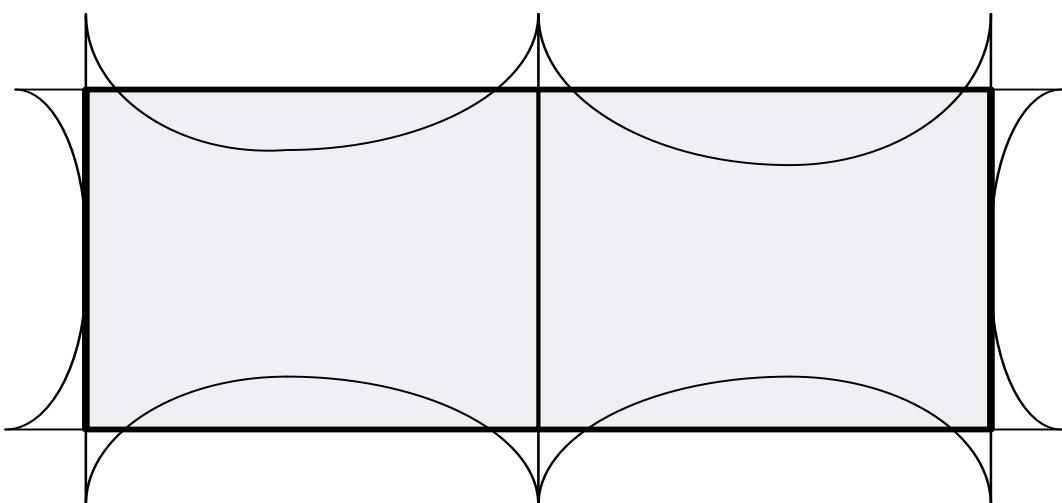
## **MOMENT DİYAGRAMLARI**



**I No lu yükleme durumuna göre**



**II No lu yükleme durumuna göre**



**III No lu Yükleme durumuna göre**

## **Tünellerde Beton Kaplama Derzleri ve Su geçirmezlik :-**

Tünellerin çoğu; örneğin özellikle yayalar, araçlar ve hızlı taşıma trafiği olan tünellerin yapısının su geçirmez olarak yapılmış olması gereklidir. Tünellerin yer altı su seviyesinin altında olması durumunda; tünel yapısına su kaçağı ve sızıntı olması kaçınılmazdır ve bu kaçakların yalıtımını yapmak için bu yapılar kalafatlama ve enjeksiyon uygulaması gibi inşaat sonrası iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç gösterir. Bununla birlikte su kaçakları kaliteli inşaat ve iyi projelendirme ile minimum seviyede tutulabilir.

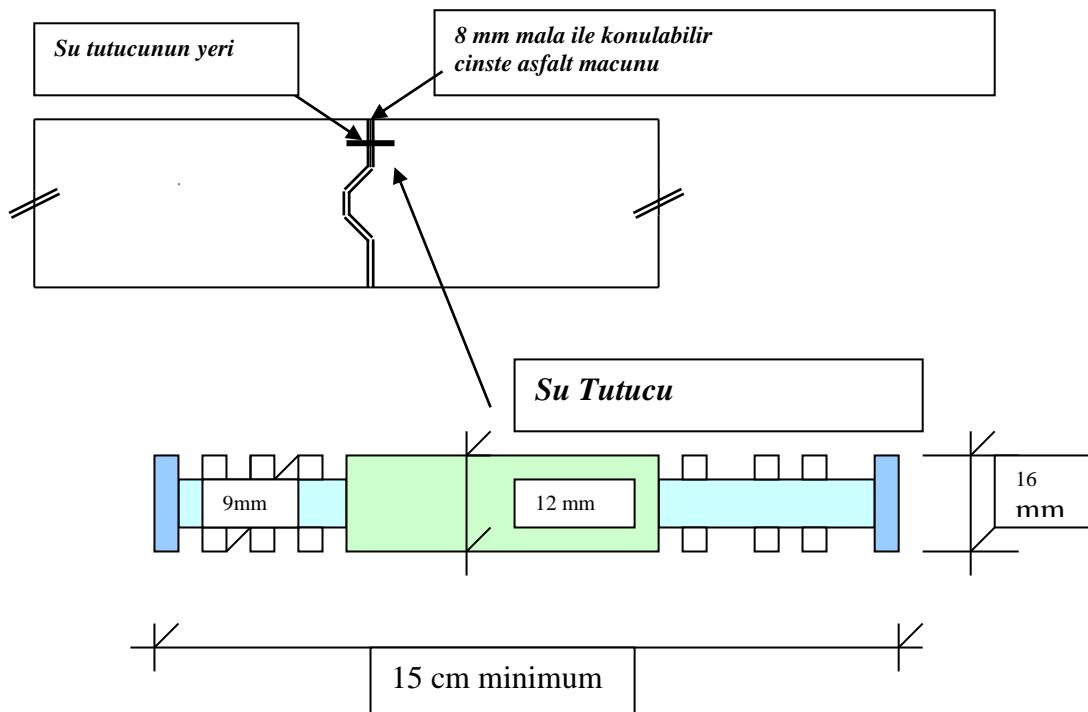
Tünel yapısının betonu döküldükten sonra, su geçirmezliğin tamamlanmasını için birçok özellikler (şartlar) gereklidir. Daha önceleri söylendiği gibi; tünelde kullanılan membranın (su geçirmez malzeme) kullanım yaşı tünel yapısının yaşına eşittir savı tamamen gereksiz ve aldatıcıdır, çünkü beton arkasındaki membran zaten değiştirilemez. *Su geçirimsiz tünel*; su/cimento oranının oldukça az tutulması, beton dayanımının 4000 psi ( $300 \text{ kg/cm}^2 \sim 30 \text{ kN/m}^2$ ) gibi yüksek kalitede yoğun olması, ve betonun yerine iyi bir şekilde vibratör ile yerleştirilmesi ile mükemmel şekilde sağlanır.

Tecrübeler göstermiştir ki, seçilen kesitteki bu açıklık ve yükseklikte yan duvarlar ile alt üst döşeme kalınlıkları 60 cm (0,60 m) ve ara perdenin de 45 cm (0,45 m) olması yeterlidir. Eğer bu kutu menfez şeklindeki betonarme yapıya 12-20 m aralıklarla büzülme ve ısı genleşmesi çatlamalarından korunmak için genleşme derzleri de konulursa, bu duvar ve döşemelerin su geçirmez olabileceği kabul edilir.

## **SU Kaçakları :-**

Su kaçağı olduğu zaman bunların ilk önce genleşme derz bölgelerinde olacağı beklenir. Bu derzler, betonun büzülme hareketinin yapılması ve sıcaklık değişimi neticesi betonun uzama ve kısalmasına izin vermesi için yapılır, aksi halde betonarme yapı istenmeyen şekilde hasar görür. Sıcaklık değişimi; tecrübeler göstermiştir ki, yer altı yapılarında (tüneller, gömülü yapılar) normal şartlarda yüreşti yapılarına göre daha az olmaktadır. Örnek deney olarak TORONTO tünelinde 12-20 m aralıklı konulmuş genleşme derzleri için derz genişliğinin  $\frac{1}{4}$  inç (0,8-1,0 cm) değerinde olması yeterli olduğu gözlenmiştir. Derzler PVC su tutucu ve önceden hazırlanmış derz dolgusu ile şekil alındır. Su tutucu kullanılarak geçirimsizlik sağlama işleminde su geçirmez derz olmasını başarmak için su tutucuyu projesine göre ve betonu da metoduna göre yerleştirilmelidir (betonu yerleştirirken containın dönmesi projesindeki sekilden başka şeyle gelmesi önlenmelidir.) Geniş ve su tutucu sık sık hasar görür, beton dökülürken yerinden çıkar kayar veya katlanır, bu yüzden su tutucu işçiliğe müsaade edecek kadar esnek ve dar; ama yerindeki etkilere direnecek kadar dayanıklı ve sızdırmazlığı sağlayacak kadar geniş olmalıdır. Yine bu anlamda yerinde durabilmesi ve işçilik sırasında hasar görmemesi için yeterli kalınlıkta olmalıdır. Beton dökülürken dikkatli olunmalı, en önemli adım olan tünelin su geçirimsiz olmasını ve kuru bir tünel elde edilmesini temin için su tutucu çevresi devamlı kontrol edilmeli ve beton da vibratör ile dövülüp yerine yerleştirilmelidir. Eğer su tutucu projesinde olduğu gibi düzgünce ve

çevresi betonla doldurularak yerleştirilir ise; ileride iş toparlanırken su sızıntılarını önlemek için ayrıca bir iyileştirme yani yeniden tamir işleri çok az olur.



Zaman zaman derzlerde ek koruyucu (geçirimsiz) olarak özel hazırlanmış patentli bentonit levhaları da kullanılır. **Bentonit**, büyükçe yarık boşluklara ve su gelmesi muhtemel çatlaklara doldurulduğunda su ile temasta hızla şişen volkanik kurutulmuş öğütülmüş bir malzemedir. Su geçirmezliğin özel ihtiyam gerektirdiği yerlerde bu malzemem ek koruyucu olarak düşünülüp, önerilebilir.

Eğer su kaçağı meydana gelir ve geçirimsizlik için iyileştirme işleri zorunluluğu olursa; tünelden suyun geldiği yerde hem zemine hem de bozuk betona basınçlı enjeksiyon yapılması geleneksel alışlagelmiş metottur. Genellikle, koyu karışım beton şerbeti (enjeksiyon ) vermek için iyi kalitede çimento tercih edilir. Çimento karışımından elde edilen enjeksiyonun başarısız olduğu durumlarda, özel hazırlanmış kimyasal karışım enjeksiyonları uygulanır. Normal şartlarda , bozuk ve kırık zeminlerde, enjeksiyon yapmak için delinen çok sayıdaki delikler basınçlı enjeksiyon uygulanması işini başarısızlığa uğratabilir. O sebeple geçirimsiz kırık zemin bölümleri ve geçirimsiz beton önceden koyu enjeksiyon basılarak geçirimsiz, yalıtılmış hale getirilir. Eğer su kaçakları bu şekilde durdurulamıyor ise, işlem sonrası kaplama betonunu delerek enjeksiyon delikleri delinir, ve çevresindeki zemine basınçlı enjeksiyon uygulanır. Çimento enjeksiyon karışımına % olarak bir miktar bentonit ilavesi veya özel hazırlanmış kimyasal katkı ilavesi ince kum, dişli silt gibi zeminlerde enjeksiyonun zemine iyice nüfuz etme kabiliyetini artırır ve enjeksiyon neticede daha başarılı olur.

### KAPLAMALI KAZI METODU

Düzgün düzlemsel yüzeyli kazida, kazı alanının çevresindeki binalara ve tesislere kazı sırasında meydana gelebilecek zeminin hasar verici deformasyon ve göçme etkilerini önlemek, ayrıca kazı yüzeylerini desteklemek için kazı yüzeylerine kuşaklamalı ve kaplamlı iksa konulur. Kaplamlı iksanın projelendirilmesi ve inşaatı, yüzey oturmalarının çevre için korunma önemine ve zeminin cinsine bağlı olarak yapılır. Burada kriter, zemin cinsine göre önlem almak ve zemin oturmalarından kaçınımaktır. Yüzey oturması, kazıyı çevreleyen zeminin hareketi nedeni ile olur ve bu hareket kaplamanın içeri doğru yer değiştirmesi veya kaplamanın bu hareketi neticesinde zemin üstünde oturmadan dolayı zemin kaybı olur ve kazı tabanında da kabarma olur. Zemini yüzey oturması yaklaşık zeminin hacim kaybı kadardır. Kazı yüzeyindeki desteklemelerin cins ve miktar ve kapasitesini tayin için mühendis bu çalışma yerindeki zemini, kazı sırasında meydana gelecek göçme miktarını ve bu göçme sırasında kaplamaya etki edecek yükleri önceden tayin etmesi gereklidir. Zemin hareketinin miktarı; zeminin cinsi, kazı boşluğunun boyutları, inşaat metodu ve işçilik kalitesine bağlıdır. Bu zemin hareketinin miktarının önceden bilme hassasiyeti, zemin için yapılmış deneylere, kesin olmayan teorilere, o konudaki deneyimlere, çevre inceleme değerlerine ve bu bilgilerin bize kılavuz olarak kullanılması yöntemine bağlıdır.

### **Kum Zeminde Kazı**

Kum zeminde oturmalar; zeminin kaplamaya doğru hareketi neticesi hacimsel kaybı, veya kaplamanın kazı boşluğuna doğru hareketi sonucu meydana gelir.

Zemin kamasının bozulması neticesi içeri doğru hareket, zeminin oturma miktarı derinliği (veya yüksekliği)  $H$  nin yarısı  $H / 2$  kadar olur. Hacimsel olarak düşünürsek, eğer yüzeysel oturma hacmi içeri doğru hareket eden zemin hacmine eşit ise, oturma miktarı zeminin içeri doğru hareketinin iki misline eşit olacaktır. Toronto Metrosu inşaatında yapılan gözlemler ve deneyimlerdeki zemin davranışları burada bahse konu zemin analizi analizinin ispatına örnektir.

Kumdaki kazıların sebep olduğu oturmaları önlemek için, zemin yüzeyi kaplamasının içeri doğru hareketi önlenmelidir ve kaplamaya doğru hareket edecek zeminin kaybını önleyecek dikkatli önlemler alınmalıdır.

Kaplamanın içeri doğru hareketi aşağıda açıklanan nedenlerle oluşur:

- 1- Kazı yüzeyini kaplayan kaplama ve kuşaklama elemanlarının elastik biçim değiştirmesi (uzama , kısalma gibi)

2- Kaplama ve göğüslemenin (kuşakların) elastik olmaması veya bunların bozulması,

- 3- Kazı altındaki zeminin ve yanal kaplamaların bozularak çökmesi, bel verme ve kabarma  
12 m genişliğinde olan bir kazı boşluğunda kuşaklama elemanlarındaki gerilme esnemesinin miktarı 6 ila 12 mm aralığında olabilir. Bu hareket kaplamanın içeri doğru hareket etmesine izin verebilir ve kum kaması ucu bozulması sonucu 1 (bir) inç yaklaşık 2,5 cm olası oturması neticesi olur.

Hesap edilen proje yükünün % 50 sine kadar ön germe verilerek bu tip oturmaların hesaba katılacak kadar **oturma değeri düşümü** elde edilebilir.

Elastik olmayan bir sistem oluşturarak sonunda yıkılan bir destekleme sistemi doğuma projenin uygun olmayan kriterler ve yanlış hesaplardan oluşması sonucudur. Proje detaylarına özen göstermemek veya yetersiz proje yükleri sık sık problemlere neden olur. Duvarları destekleyen payandalar genellikle destek kuşaklarına veya zemine saplanan kazıklara bağlantı köşebentleri ile tutturulur. Projeci payandaların uç yataklarından aktarılan yüklerin ne kadar olacağının hesabını yapmalıdır ve bu bağlantı köşebentleri sadece payandaların doğru pozisyonda olması ve ayarı için kullanıldığı bilinmelidir. Eğer payandalar arazideki yerlerine ve pozisyonlarına göre oldukça kısa kesilmiş ise, ve bu payandalardan kaplamalara yük aktarımı serbestçe olsun deniyorsa o vakit bağlantı profilleri elastik olmayacak esnemez deformasyonda bekleneciktir. Bu gibi durum sonucunda kaplamada içeriye doğru hareket ve yandaki zemin yüzeylerinde de oturma olacaktır.

Kum içindeki kaplamanın içeri doğru hareketinde ve yüzeyi kumlu zeminlerde kazının altındaki kaplamanın bozulması neticesi meydana gelecek yanal bozulmalarda oturmanın önemli probleme neden olacağı görülmeyebilir. Bu gibi zeminlerde yan kaplamanın kazı altındaki zemine yeterli miktarda gömülü olması bunun önüne alınmış olması gerekmektedir. Projeci harekete hazır olan zeminin edilgen (pasif) basıncının, zeminin bozulmasına sebebiyet verecek basınçtan daha düşük olmasını sağlayacaktır.

Açık kazılarda kazının sürdürülmesi için tabana çakılmış kazıklara bağlı yüzey kaplamasına ihtiyaç vardır. Özetle önce kazıklar zemine yeterince çakılır ve kazı ilerledikçe kazı yüzeyi ahşap vs ile kaplanarak kazının ilerlemesi sağlanır. Kaplamayı yapmadan evvel kum zeminin akmasına bağlı olarak bir miktar zemin kaybı olabilir ve kaplamanın arasından su sızması (akması) neticesi ince zemin akışı da meydana gelebilir. Yukarıda bahsi geçen akma ve sızmalardan dolayı biraz oturma olabilir ve bu oturmaların miktarı önceden tam kestirilmeyebilir. Oturmaları kabul edilebilir limitler içinde tutabilmek için kaplama arkasında meydana gelen boşluklara toprak, kil veya çimento torbaları doldurulur ve kazı hattını geçmeyecek şekilde sızma yerleri kamalanır. Her şekilde olursa olsun, eğer kazı alanı iki yanında ağır bina yükleri var ise bu binaların kazı alanına mesafesi kazı derinliği kadar veya daha az ise bu gibi yerlerde daha detaylı inşaat yöntemleri düşünülmelidir. Örneğin, bu gibi durumlarda bina altları projeli olarak desteklenmeli ve kazıyı tutan destek kuşakları ön germeli olmalıdır. Kazı perdelenmesinde; palplanş kullanımı, zayıf beton duvar oluşturulması sağlanması (slurry trench wall gibi) veya yerinde dökme kazıklar yapılması yolu seçilebilir. Birçok inşaatlarda perdeleme yaparak meydana gelecek kayıplardan sakınılması için, bu tip duvarlar başarı ile kullanıldı ve perdeleri zemine çivi ile geriye tespit ederek daha ekonomik sonuçlar elde edildi.

### **Sert Kilerde Kazı**

Sert killerde kazı yapılrken yüzey kaplaması yapılmaya kadar olan zemin dökülmesi ve kaybı kildeki içsel bağ (kohezyon) olması nedeniyle az bir miktarda olur. Ama kazı sırasındaki

oturma(deformasyon)na bağlı zemin kaybı biçimini kumda açıklanan şekliyledir. Sert kildeki kazının yapıldığı sahanın iki tarafında kazı derinliği mesafesinde binalar olması durumunda deformasyonun olma olasılığı bulunan zemin sahadada bu binalardan veya kazıdan oluşan oturma verilerini almak çok az ve zordur. Ancak yerleşimler bitişik ise bu gibi yerlerde beklenmeyen oturmalar olabilir ve içeri doğru hareket olabilir, bu sebeple buralardaki iç kaplamaların ön germeli desteklerden olması önerilir. Aynı zamanda kuşaklamalarda zemin içeresine ankrajlanıp bağlanmalıdır. Ağır bina yükleri var ise bu yüklerle kaplama arasında set oluşturacak parafuy (set bölme) duvarı oluşturulmalıdır.

### **Yumuşak Kilderde Kazı**

Yumuşak kilde kazı yapılırken kazının alt ucu yakınında bozulma olur ve kazının iki yanındaki kil zonu aşırı yüklenmiş gibi etki gösterir. Kazı tabanı kabarır, kazı tabanı iki yanındaki kil tabana doğru bozuşup esner içeriye doğru sünme yapar. Yumuşak kilde yapılan kazı sahalarında yanal hareketler, sert kil ve kum zonlarındaki hareketlerden fazladır. Yanal hareketler sonucu zemin yüzeyinde oturmalar meydana gelir. Kazı yanal kamasının altındaki oturmanın uzamasının büyülüğu, kapsamı, ve oturma miktarı; inşaat yöntemine, kazının boyutlarına, ve zeminin cinsi (parametreleri) ne bağlıdır.



Resimde Oslo, Norveç deki yumuşak kilde açık kazı yanındaki oturma kayıtlarının özet eğrisi gösterilmektedir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi, oturma (deformasyon) olayının Kazı mesafesinin kazı mesafesinin 3 (üç) katı uzaklığa kadar tesir edebileceği ancak, oturmaların en kapsamlı miktarının kazı derinliği olan  $H$  mesafesine eşit uzaklık içinde olan bölümde olduğu gözlenmektedir. Kazı derinliği ( $H$ )ının kritik kazı derinliği  $H_c$  yi geçmesi halinde kazı da yüzeyel oturma ile birlikte asıl bozulma ve hasar meydana gelir. Bu tip zemin bozulması ve göçmelere karşı makul bir emniyet katsayıları sağlama için kaplamayı tercihen kazı seviyesi altındaki zemin tabakasına bir miktar saplanması sağlanır, ve kazı derinliğinin  $H_c = 5 c / \gamma$  olması denenir- ki bu derinlik tecrübe edilmelidir- kazı derinliği bu seviyeye kadar olmalıdır.

Kazı seviyesi altındaki zeminin drenajlı kesme kuvveti yani kohezyonu  $c$ , yanal baskıya neden olan zemin yoğunluğu ise  $\gamma$  dir.

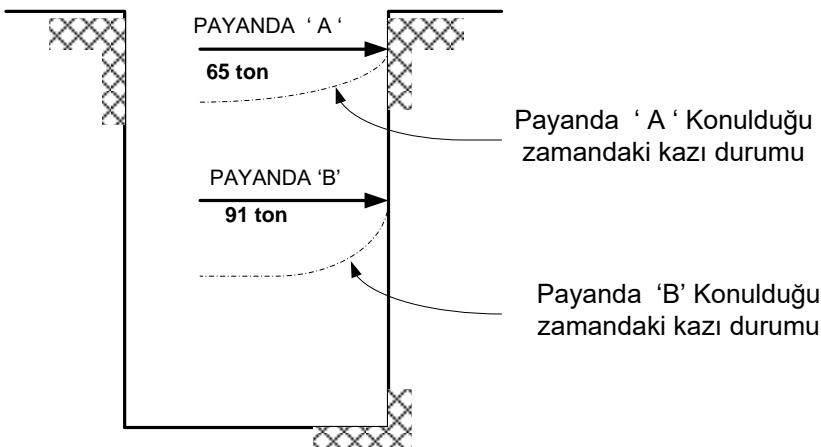
Zayıf killerde zemin kayma veya göçme kaybı ve yanal hareketleri azaltmak için kazıya başlamadan evvel yüzey kazı yüzeyi kaplaması veya istinat duvarı inşaatı gereklidir.

Bu destekleme; fore kazık duvar ile, zayıf bentonitli duvar tesisi ile veya perde duvarı zemine çakma yöntemi ile olur. Eğer zemin özellikleri perdeleri karşından karşıya destekleyerek kazıyı zorunlu hale getiriyor ise kazı boşluğununa hangi payandalar projede ise onların hendek şeklinde yeri hazırlanır ve destekler ile kuşakları konulur, ön germe gereklili ise bu sağlanarak ek önlem alınmış olur, daha sonra kazıya başlanır. Taban kabarmasına karşı önlem almak ise, kazının yan kaplamasının gerekliliğe saplanması ve uzatılması ile mümkün olur. Bu tip inşaat tünel yapım projesine göz önüne alınması gerekliliğe ilave masraf getirir, bu nedenle bu yöntem zeminin muhakkak ihtiyaç göstermesi halinde uygulanır. Zemin kazısından evvel kazı hendeği olacak yerlere kanal kazarak destekler konulması işlemi maliyeti çok doğrudur. Desteklerin önceden olması kazının yapılmasını zorlaştırır ve ağır iş makinesi kazıcı bekoların kullanımına engel olur.

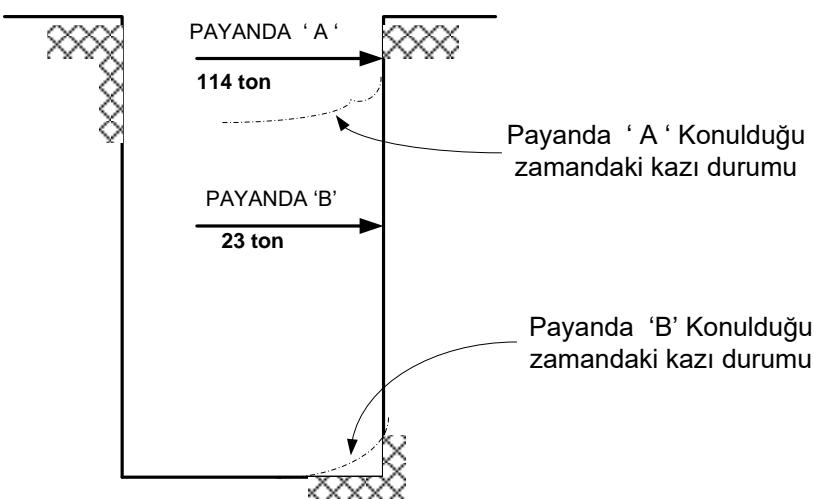
Alternatif metot olarak, destekleme ve ön germe olana kadar, kazının iki tarafına yüksek banket bırakılması düşünülür. Bunun sonucu önce orta kısım hendek gibi kazılır, destekleme konulduktan sonra iki yandaki yan banketler kazılır. Bu nispeten ağır ekipman kullanımına müsaade eder ve bankat kalınlığı yeterli ise kaplamanın içeri hareketi azaltır bu yolla yüzey oturması tolere edilebilir sınırlar içinde kalır.

### **ZEMİN BASINCLARI ve TOPRAK BASKILARI**

Kuşaklanmış kaplamaya gelen zemin basıncı dış kalınlığı(zarfi); kuşaklama ile desteklenen bu zeminden bir seri okuma ile alınabilen değerlerden elde edilerek geliştirilir. Daha önceki yıllarda yapılmış örneğin; 1940 li yıllarda yapılan Berlin, Chicago, Newyork, daha evvelden de Oslo, S.Fransisko metrolarının metro kazıları için destekli olarak yapılmış kazı yan kaplamalarından önemli sayıda ölçü değerleri alınmıştır. Kazı çevresinde oluşan basıncın zarfları; kaplamaya gelen gerçek basınç zarflarını incelemeye yeterli ve gereklili olmayabilir, ama bu bazen projeyi temsil eden ve projeden umulan basınç zarfları bizim yapımızın emniyetli olarak kazı sırasında hizmet edip etmeyeceğini ortaya koyar. Yani, yaptığımız destek yapısı emniyetli mi değil mi sorusunu yanıtlar. Basınç zarfları, destek seviyesinin altındaki zeminde kazı alınır alınmaz kabul edilebilir bir kısa zamanda kuşaklama ve destek payandalarının konulacağı faraziyesine göre kabul edilir. Kaplamalar üzerindeki gerçek basınç dağılımının elde edilmesi (bu bilgilerin alınıp ortaya konulması) eyleminde inşaat metodunun önemi çok büyütür. *Aşağıdaki şekillerdeki örneklerde* önceden payanda konulmadan, yanarda banket bırakılmaksızın planlanan ve payanda seviyesinin 3- 6 m aşağısına kadar kazı yapılması halinde neler olabileceği görülmektedir. Ve Yan kaplama kazı boşluğununa doğru esneyecektir. Bu durum üst payandalara yük transfer olmasına neden olur ve fazla yüklemeden göçme ihtimali doğar.



#### **YUKARIDAKİ PAYANDA YERLEŞİMİ KABULÜNE GÖRE PAYANDALARIN PROJE YÜKLERİ**



#### **EĞER PAYANDA 'B' UYGUN KONULMAMIŞ İSE OLUŞAN GERÇEK PAYANDA YÜKLERİ**

Basınç dağılım zarfları; önerilen yöntemlerle yapılmış metodunun uygulandığı ve kazı derinliğinin 7,50 m ile 15,00 m arasında olduğu yerlerde geçerlidir. 15,00 m den daha derin olan kazılarda; basınç zarfları ile birlikte daha çok sayıda ölçüm cihazı ve onun ikazları proje değerlerini doğrulamak için kullanılır.

Son zamanlarda yapılan Toronto'daki metro kazıları 19,50 m derinlige varıyordu, ve kazının yapıldığı zemin yer yer yoğun kum – silt; sert kil veya yoğun kum, veya sadece sert kilden oluşan toprak katmalarını ihtiyaçlı ediyordu. Bu inşaatta zemin kaplaması önerilen basınç zarflarına göre projelendirildi, hatta payandalara ölçü cihazı koyulmadığı halde, buradaki özel zemin tiplerine göre önerilen derinliklere önerilen kaplamaların yeterli ve uygun olduğu gözlandı.

Zemine saplanan kazıklar veya kaplamalardaki payandalar üzerinde destek noktalarında **hareketliliğin** kayda değer olmadığı görülmüştür. Bu sebeple tabana tespit edilen kazıklar ve yüzey

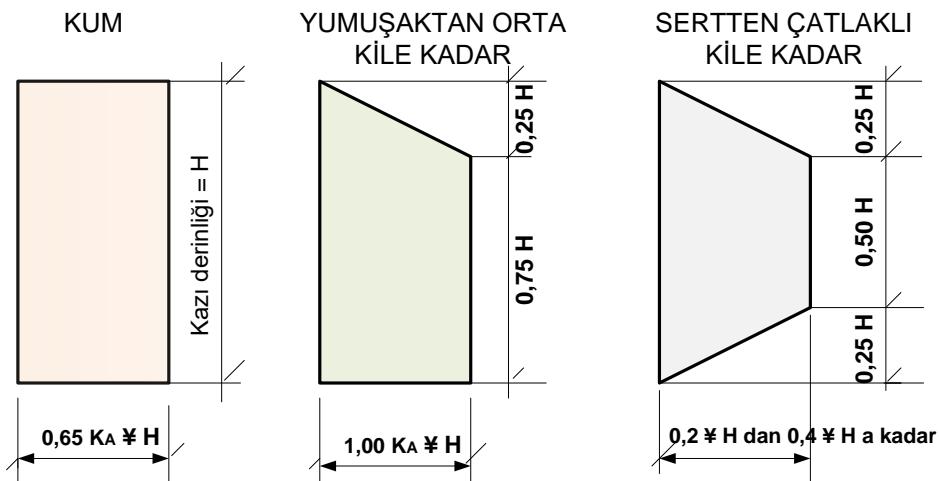
kaplamaların; elastik metoda göre projelendirilmesi ve bu şeclin dikkate alınması geçerli olmaz *ve* payandaların destek noktalarındaki kaplama kısımları veya tabana tespit edilen kazıkların devamlılığı kabul edilerek ve bu hal göz önüne alınarak bu elemanlar plastik metoda göre projelendirilir.

Tabana çakılan kazıklar ve kaplamanın içeri doğru esnemesi (yer değiştirmesi) olayının özellikle yandaki hassas binaların oturmalarına etkisini minimumda tutmak için bu gibi gerekli olan yerlerde payandalar biraz ön yükleme yapılarak kontrol altına alınabilir.

### **Proje Basınç Zarfları :-**

Aşağıdaki şekillerde çalışma yüklerinin hesaplarda kullanımı için önerilen proje basınç zarfları gösterilmiştir. Yapım uygulamalarında eşit şekilliği sağlamaya dikkat edilmek istenmesine rağmen, hala payandalardaki gerçek yüklemelerin dağılımı göz önüne alınacaktır. Bu basınç zarflarından hesaplanmış yükler; bu yük dağılımlarını dikkate alır ve hesaplamalar için emniyet veya kabul edilebilir yük faktörünü direkt olarak uygulanması ile yapının normal şartlardaki emniyetini sağlamak için kullanılır.

Kıl zeminlerdeki kazılara ait, kılın yumuşak veya sert olup olmadığına bağlı olan herhangi açılık için bir bilgi yoktur. Yani şu cins kilde kazi açıklığı şu olur gibi bir kayıt yoktur. Kazıların davranışları, zemin kılının tabiatına bağlı olduğu gibi , kazi yapılan çukurun boyutlarına da bağlıdır. Peck killerde kazi kuşaklamaları için aşağıdaki resimden hesaplanmış maksimum basınçları esas alarak projelendirilmesini önermektedir. Yine resimde , Toronto metrosunda, yoğun kilden sert kile kadar olan kazılardaki kaplama kuşakları için düşük basınç değerleri gösterilerek de tatmin edici bir proje yapılmıştır. Aşağı yukarı 12.00 m derinlikteki kazıların iki tanesinin ölçüm cihazları ile incelemesi, kanıt belgeliği de olarak proje kabullerinin varlığını teyit ederek her payanda yük dağılımını geniş anlamda göstermiştir.



$$K_A = \tan^2 (45 - \Phi / 2) < \text{Kum}$$

$$K_A = 1 - 2q_u / H < \text{Kil}$$

$\gamma$  = Zeminin birim ağırlığı

$\Phi$  = Kumun sürtünme açısı

$q_u$  = Serbest basınç dayanımı

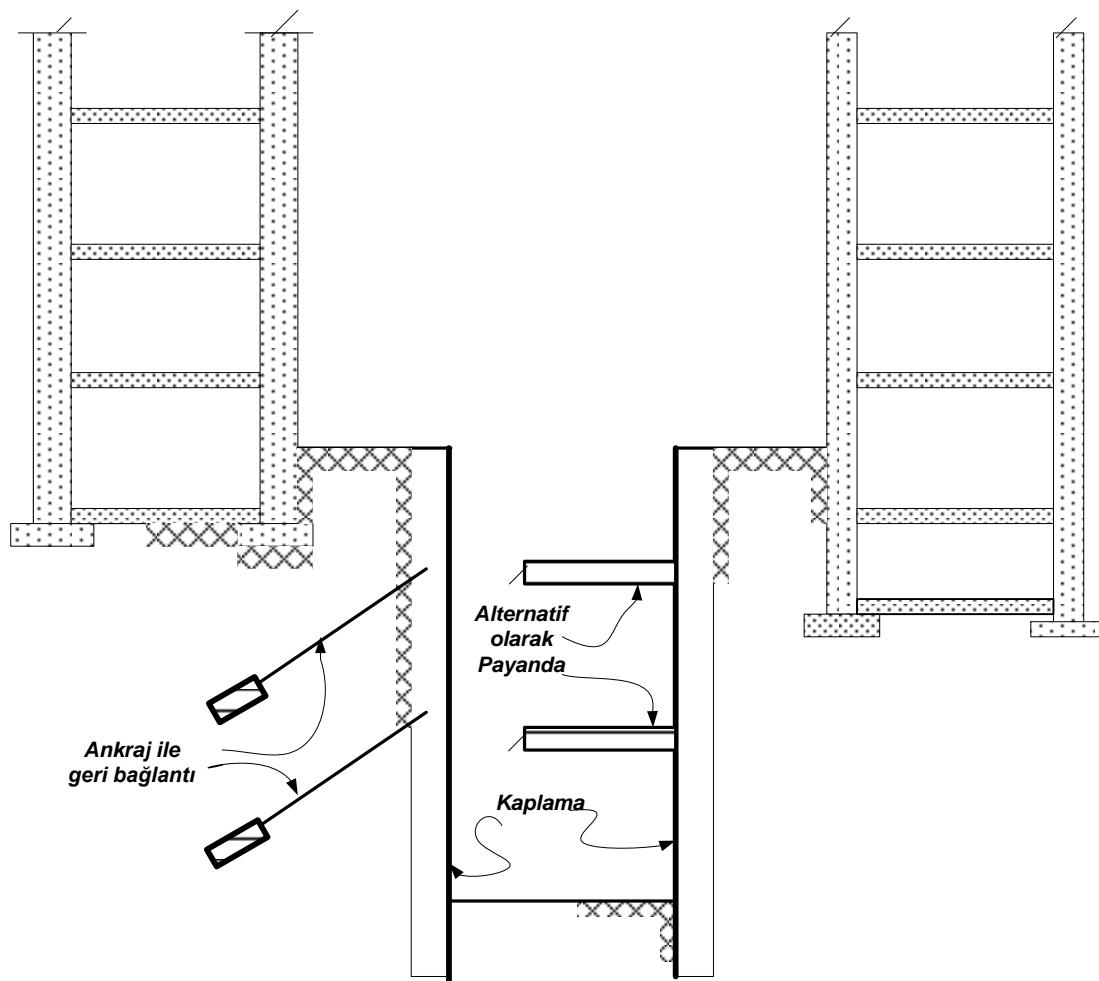
Kuşaklanmış killerde destek yükleri için Terzaghi ve Peck tarafından önerilen basınç diyagramı gösterilimi

### Kazı Yapılan Yan Yüzeydeki Zeminlerde Kemerleşme

Ahşap kaplamalı ve tabana saplanmış şekilde kazıklarla ve bunları bağlayan kuşaklarla desteklenen kumlu ve kumlu silt zeminlerdeki kazılarda; kaplamalardaki basıncı düşey kazıklara aktaran yatay kemerlenme etkisinin olacağı tecrübe ile görülebilir. Bu kemerleşme etkisi, eğer dikkate alınır ise bu projeciye kaplama kalınlığının düşürülmesi(incetilmesi) imkanı verir. Bu geçerli bir öngörüdür, ama yine de teorik veri bilgilerinin azlığına bağlı olarak, deney ve gözlemlere dayalı amprik kuralları tesis (saptamak) etmek gereklidir. Kemerleşme etkisinin görüldüğü ve bu basınç transferinin hesaba katıldığı zeminlerde; kaplama perdelerinin hareketlerini ve yer değiştirmelerini sınırlamak için saplanan iki kazık arasındaki açıklığın ( $1/24$ ) yirmi dörtte birinden daha az olmayan ahşap kaplama kalınlığı önerilir.

### Kaplama İksanın Yaygın (müsterek) Tipli Kullanımı

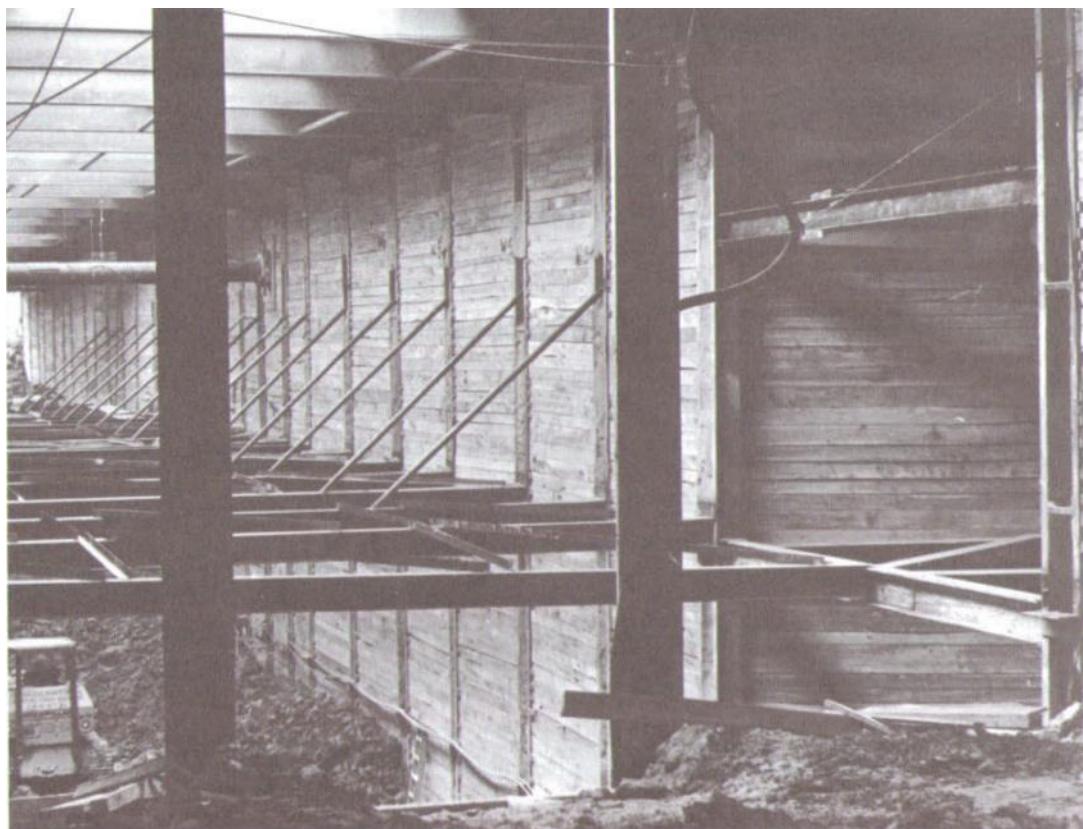
Kazı yüzeyi kaplaması, inşaata tam ve yeterli bir sahaya müsaade edecek şekilde olur ve genellikle tünel kazısının fiziki boyutlarını takip ederek ona uyar. Destek kuşaklaması, resimde görüldüğü gibi ya payandalarla olur, veya ankrajlarla olur ve payandalama kazı yapmak için tünel genişliğine bağlı olarak daha çok yaygın bir yöntemdir. Ankrajlar; Kazı boyutlarının inşaat faaliyetine engel olan yerlerde avantajlıdır. Tünel inşaatında , payandaların önemli olan inşaata engelinden sakınmak için payandaların düşey doğrultuda yerleştirilmesi belli bir mantık sırasında yapmakla mümkündür.



**Kuşaklama metodlarının Alternatifini gösteren Açı kapa kazı için Kaplama şekli**

### **Tabana Saplanan Kazıklar ve Yüzey Kaplama**

Derin kazılarda kullanılan destekleme kuşaklamasının *yaygın tipi* aşağıdaki resimlerde örnekleri görülen *tabana saplanan kazıklar ile ahşap yüzey kaplamalı* olmalıdır.



TORONTO Metrosunun inşaatında kullanılan Tabana saplanan profil kazıklar ve Ahşap kaplaması

Celik kazıklar; kazının başlamasıyla beraber delgi açılarak veya çakılarak 2,40 m ila 3,00 m aralıklarla yerleştirilir. Yine kazının ilerlemesine paralel olarak bu çelik kazıkların arasına yatay olarak tahtadan perde konulur. Bu ahşap kaplama kalınlığı; kazıkların arasındaki mesafenin minimum ( $1/24$ ) yirmi dörtte biri kadar olmalıdır. Taban saplanan kazıklar; payandalar seviyelerindeki destek noktalarının - plastik proje tekniği – kullanılarak (devamlılık arz eden) kesintisiz ve aralıksız bir elemanmış gibi projelendirilir. *Yani tüm destek elemanları kazıklar dahil tam bir sistem olarak çalışır kabulü olur.* Kazıkların kısmen sabitlenmiş olan alt noktası, zeminin sertliğine bağlı olarak kazı tabanından yaklaşık 30-35 cm aşağısında olduğu kabul edilir.

### **Sac Levhalar ile Perde Kaplamalı ve destekli Kazı: (Palplans) Yöntemi**

Yumuşak zeminlerde kullanılan perdelemeli desteklemenin diğer bir şekli çelik levha (Palplans) ile perdelemedir. Levhalar ile perde yapımı işi; kaplama yapımından evvel, zeminin kazının içine doğru girmesi sebebi ile oluşan oturmanın tehlikesini azaltmak için ve taban kabarması tehlikesi olan yumuşak kil zeminlerde, aynı şekildeki kumlarda kullanılır. Yine palplanşlı kazı yapım işi; Yer altı suyu bulunan zeminlerde kazı yapılrken kazı çevresindeki yer altı suyunun seviyesi düşmesi sonucu zeminde göçme (oturma) riski oluşturan bu suyun kaçmasını önlemek için de kullanılabilir.

Yani zeminde yeraltı suyu varsa kazı esnasında su kaçması bu tip kaplama ile önlenecek göçme önlenmiş olur. Aksi halde suyun kaçtığı yer boşalır ve oturma olur. Bu tip sac kaplamalı destekleme ile kazısı yapılan sert kil tabakaları, sıkı kil veya sıkı kumda oturma olayı problem olmayabilir, ancak yumuşak kilde veya az yoğun kumda kazı sırasında su seviyesinin alçalması neticesi olarak önemli miktarda oturma olabilir. Palplanş kaplama, bunun gibi (su kaybı) veya buna bağlı oturmaları önlemek için kullanılmalıdır. Şu da belirtilmeli ki, palplanş kaplama kaya dayanımındaki tabakalı zeminlerde, çok yoğun kumluk zeminde veya çok sert killerde yerine çakma işleminin güçlüğü nedeniyle uygulaması yeterli ve tatmin edici değildir. Normal şartlarda palplanş kaplama; aynı hızda destekleri devamlılık arz eden çakma kazıklı perdeler gibi projelendirilir.

### **SÜREKLİ BETONARME PERDELER**

Açık kazının kendine bitişik yapıların oturmalarını azaltmak için; son zaman tekniklerine girmiş bulunan mütemadi (birbirini takip eden- bitişik) betonarme duvar yapımı başarıyla kullanılmaktadır. Sürekli betonarme perde duvar, kaplamalı duvar gibi aynı şartlarda kullanılabilir ve zeminde daha iyi sıkılık elde edilmesi ile inşaat sırasında daha az gürültü çıkması ve vibrasyon etkisi olmaması nedeniyle oldukça avantajlıdır. İnşaat sahasında perde duvarı çakılmasından oluşan gürültü kabul edilmeyebilir, ve vibrasyon bu perdenin yerlesimi sırasında sakınılması gereken tehlikeli değerde oturmala neden olabilir. Bu olay olması özellikle gevşek kum ve çökelti zeminlerde olması doğru olabilir. Mütemadi

beton duvarlar, kazıya bitişik binaların kazıdan zarar görmemesi için gerekli pahalı desteklemeden kaçınmak için de kazının iki tarafına sızdırmazlık (parafuy) duvari olarak kullanılır. Bu işin yapılması, duvarın yerleştirilmesinden sonra oldukça kısa süre içinde ve pratik olarak kazının başlamasını, ön germeli payanda (strut) lar konulmasına müsaade edip, bunun sonucu çok emniyetli bir ortam sağlama imkanı vermektedir. ( Yani, emniyetli destek hızlı iş).

### **Mütemadi Betonarme duvar yapımının üç (3) çeşit yöntemi vardır:**

- 1-) Aralıklı kazıklı ve arası diyafram duvarlar,
- 2-) Kazık delgili (teğet veya kesişen tip ) duvarlar
- 3-) Bentonit ile kazı yapılan (diyafram) duvarlar,

#### **1-) Aralıklı kazıklı ve arası diyafram duvarlar,**

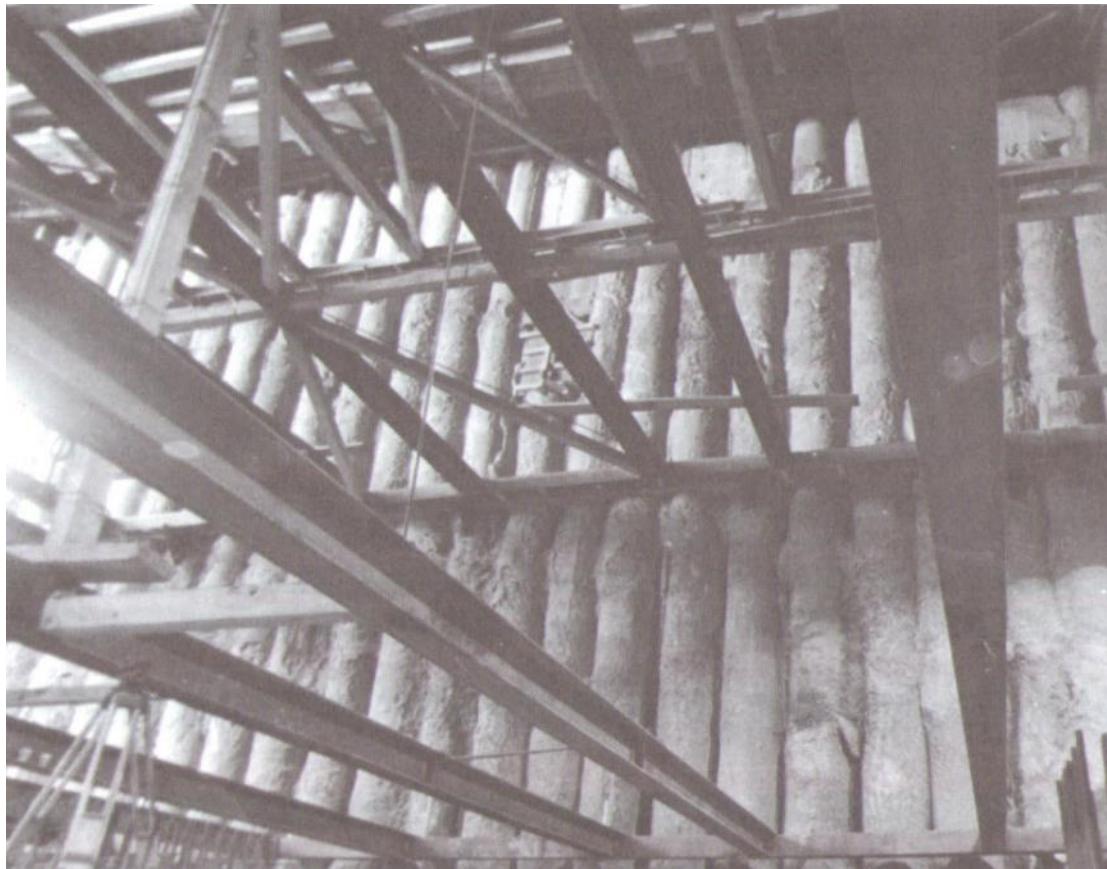
Tabana saplanan foraj ile kazılmış ve betonu boru ile (tremiye) tipteki tremiye beton duvarlar Örnek olarak SAN FRANSİSKO daki BART metrosunda kullanılmıştır. Tabana ankrajlı kazıklar, taban içine kamalanmış durumdadır ve duvar kalınlığının iki katı mesafede olacak şekilde delinmiş, içi bentonit çamuru dolu deliklere yerleştirilmişlerdir. Kazıklar arasındaki zemin, zemin duvarlarının stabilitesini tutmaya destek olan bentonit kullanımını devamlı olarak sürdürülerek, kova tipi ekskavatör ile dışarı atılır. Bu kazıklar arasındaki boşluğa zemin yerine hendekteki bentonit karışımını dışarı atarak termiye metot ile beton dökülür. Sonuç olarak teçhizatlı kazıklar ile çelik yapılı mütemadi beton duvar oluşur.

#### **2-) Kazık delgili (teğet veya kesişen tip ) duvarlar**

##### **a- Dıştan teğet kazıklar ile perde:**

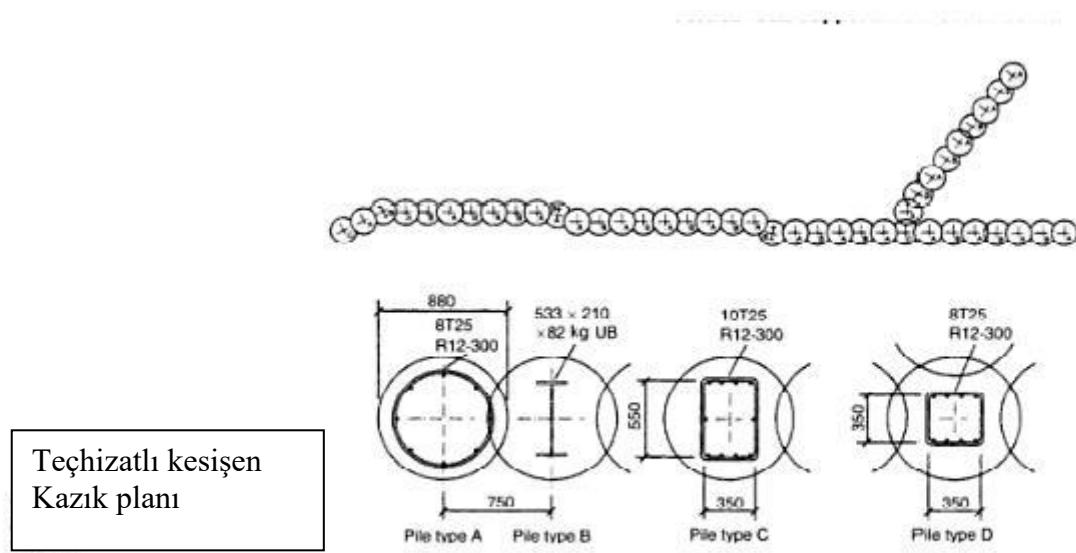
Aşağıdaki resimde tamamen fore kazıklardan oluşan ve betonu tremiye dökülmüş mütemadi duvar görülmektedir:

***Resimdeki DIŞTAN TEĞET FORE KAZIKLI PERDE ile içten payandalı kazı sistemi  
(Payanda ve kuşaklar çelik profillerden) – ( TORONTO metro inşaatı)***



### ***b- KESİSEN KAZIKLAR İLE MÜTEMADI BETON PERDE***

Bu tip inşaatlarda yapılacak kazıkların **ilk çakılanları** ekonomi bakımından ve delinirken kesilmesi kolay olsun diye teçhizatsız olur. Eğer statik gereklilik varsa yük bakımından, yanal yüklerin taşınmasına yardımcı olacak ve kesilmeyi engellemeyecek şekilde düşey hesaba dayalı I profil veya dar kiriş teçhizatı konulur ( bkz aşağıdaki şekil).



İlk kazıklar birer atlayarak yerleştirildikten sonra o kazıkları keserek tam teçhizatlı kazık oluşturacak

Delgiler yapılır. Bu delgilere de ilk kazıklarda olduğu gibi termiye metot ile beton dökülür. Kesişen kazıklar ile betonarme perde projelendirilmesi, bize yanal yüklerde göre kazık içine gerekli betonarme teçhizatı koyma olasılığı sağlar. Ayrıca bu hesaplara göre de kazıkların birbirine yaklaşma mesafesi ve kesme derinliğini tayin etmemize imkan verir. Kazık çapını, kazıkların merkezleri arasındaki ara mesafeyi ve kazık boyalarının tabandaki zemine saplama boyutunu statik gereksinimlere göre tayin etmeliyiz. Başarılı bir kazıklı perde aynı zamanda suya karşı geçirimsiz bir çalışma mekanı da oluşturur

### **DİYAFRAM DUVARLAR**



***DİYAFRAM DUVAR ile çevrilmiş ve ankraj ile geriye bağlanarak desteklenen  
(içten payandasız) Kazı sahası görünümü ( Newyork Dünya Ticaret merkezi temeli***

### **3-)Diyafram duvarlar;**

Kazısı yapılacak sahanın diyafram duvar yapılmasına **kılavuz** olacak **duvarları** siyırma kazısından sonra yapılır. Kılavuz duvarlar diyafram duvar kazısı yapacak makinenin ve duvarın düşey aynı zamanda düzgün bir çizgi üzerinde tutulmasını sağlar. Duvarların üst kotu, doğrultusu ve düşeyliliği devamlı kontrol edilip, proje değerlerine göre yapılması sağlanır. Diyafram duvarı kazısı kazı hendeğinin iki tarafının göçmesini önleyecek önleyen bentonit ile dolu olarak, açık kazı tünelinin iki kenar hattı boyunca makine ile hendek kazısı açmak şeklinde yapılır.

Hendek kazısı, çok dişli kazı ekskavatörü veya sallama kovalı makine ile yapılır. Kazılar projede de görüleceği gibi panel perde şeklinde yapılır. Betonarme panelin genişliği ve derinliğine göre kazı birilince betonarme kafes olarak hazırlanan demir teçhizat kazı yanına getirilir. Betonarme kafes demir teçhizat, vinç ile kazılan hendege indirilir. Betonarme teçhizatı içinden indirilen boru vasıtası (tiremiye boru) ile beton tabandan yukarı doğru doldurularak dökülür. Bu sırada hendek içindeki bentonit ve diğer çamur artıkları dışarı atılır. Açık kazının bu yapılan perdeler arasındaki zemin kazısı diğer açılar gibi önce destekleme işlemi bitirilip, kazıya devam edilir.

Kazı sırasında normal şartlarda perde duvarları karşılıklı payandalı yanal desteklemelerle (strutting) veya gergi bulonları veya ankray gergi telleri geriden bağlayarak (anchoring) yapılan desteklemelerle ayakta durur.

### **Kapa – Açı sistem kazıları (Top - Down or decking)**

Zeminlerin zayıf olduğu ve binalara yakın yerde yapılması gereği olan istasyon kazalarında, kazı duvarı oluşturulduktan sonra kazı ile birlikte yapılacak destekleme sırasında çevreye etkiyen deformasyonlar için ayrıca önlem alınmalıdır. Bu gibi inşaat alanlarında kazı çalışması yapmak ve aynı esnada duvarlarda hareket olmaksızın desteklemeye devam etmek oldukça güç, ayrıca risklidir. Bu şartlarda kazı kademeleri yatay olarak projesine göre döşeme katlarının duvarlara bağlanması suretiyle yatay desteklenir. Önce en üst döşeme projesine göre oluşturulur. Bu döşemenin altındaki kazıları dışarı atmak için, döşemedede yatay pencereler bırakılır, kazalar malzeme pencerelerden vinç ile yukarı çekilip, kamyona boşaltılır. Böylece bir alttaki döşeme seviye üstü boşaltılıca, o seviyedeki betonarme döşeme de dökülür.

Ana hat tünelinin inşaat durumuna göre **en alt kademe kazısı** diyafram duvar aynasından yatay olarak taşınıp herhangi şaft tünelinden de dışarı taşınması daha ekonomiktir.

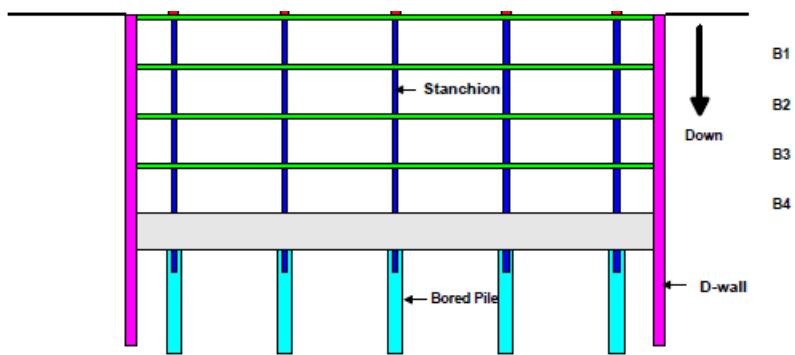


Tamamen ankraj ile gerideki zemine tespit edilerek desteklenen diyafra姆 duvar görünüşü

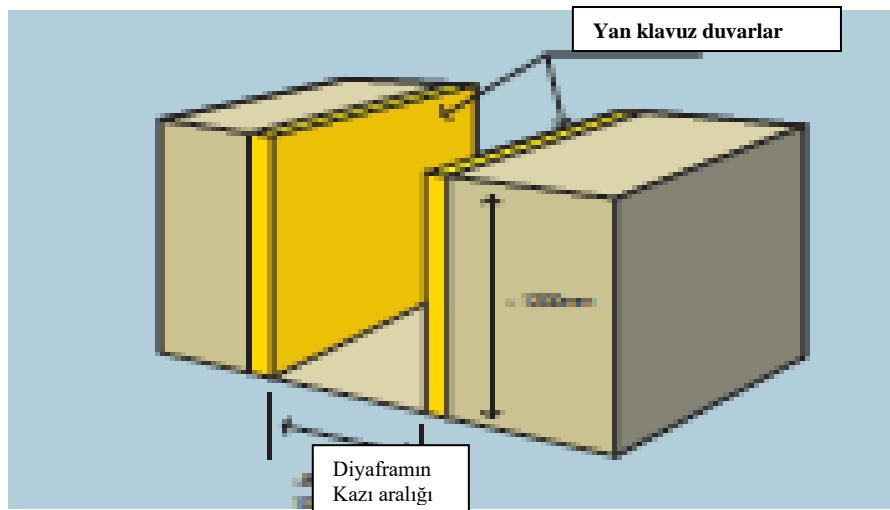


DİYAFRAM DUVARI yerini PERDE olarak yan yana açan kazıcı (cutter) makinesi görünüşü

TOP / üst



DOWN / aşağı

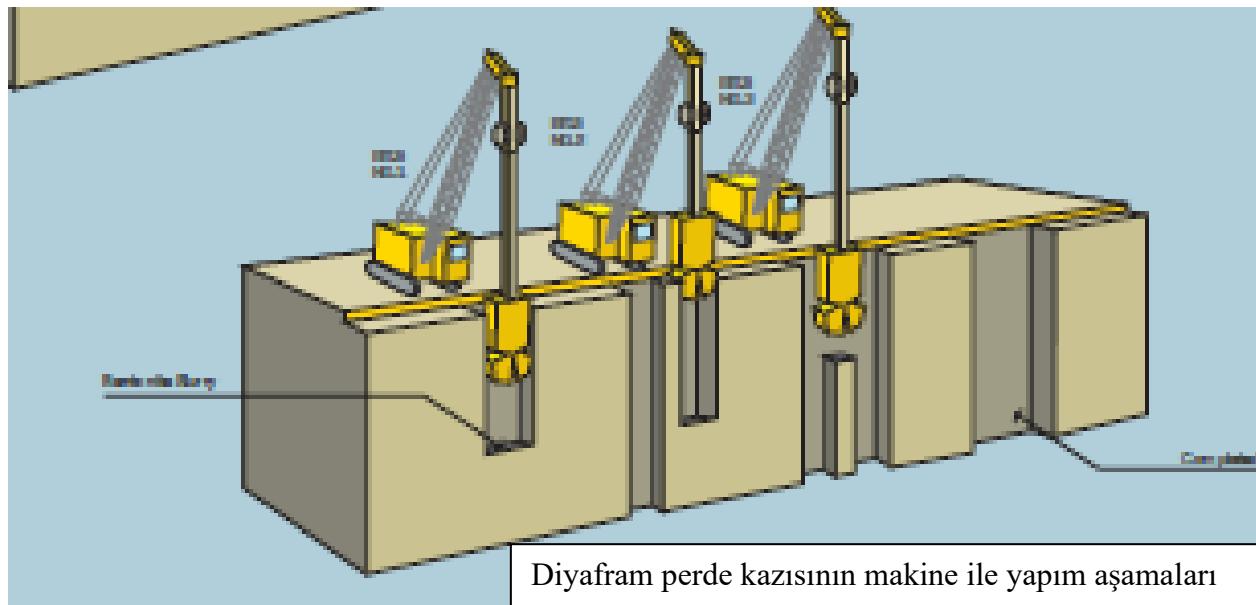


Diyafram Duvar kazı öncesi iki tarafına yapılan Kılavuz duvarlar  
(makine düşey konumda çalışması için)

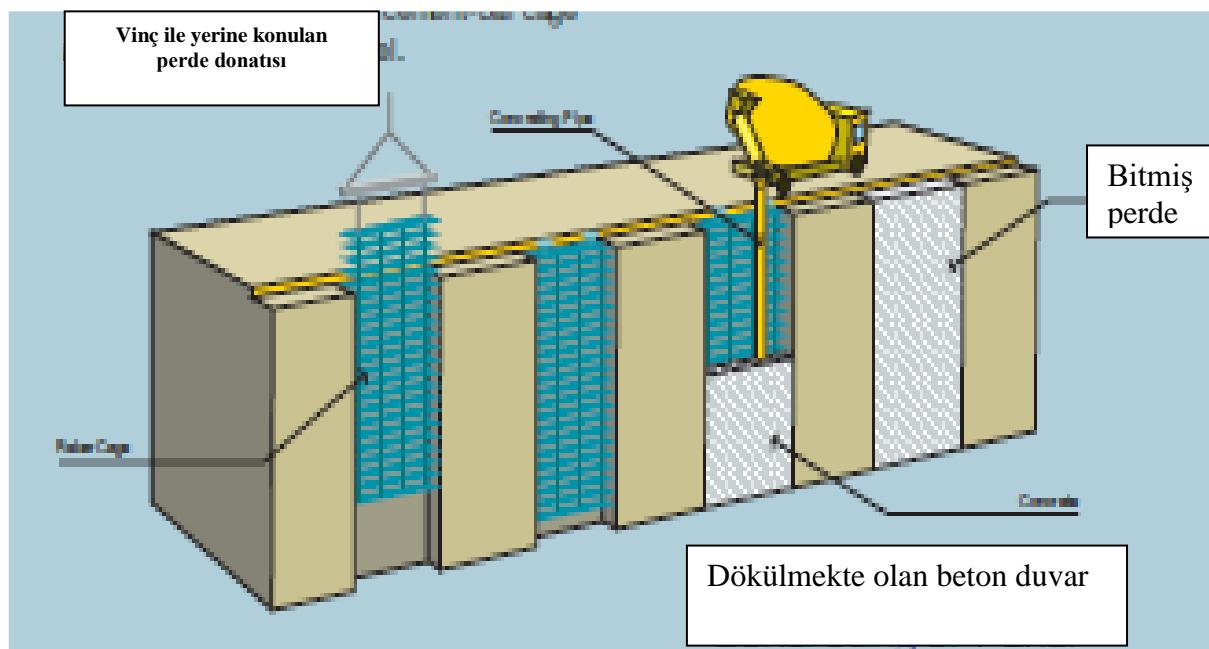
Aşağıda Diyafram duvar Kazısı kademeleri görülmektedir:

Not: Proje boyutu kazı makinesinden geniş ise:

- I. Kazı makinesi bir(1) adet kendi kova ağızı genişliğinde kazı yapıyor
- II. Makine bir ağız genişlikte (2) duvar yerini açıyor
- III. Makine projesine göre arada kalan parçayı da kazıyor



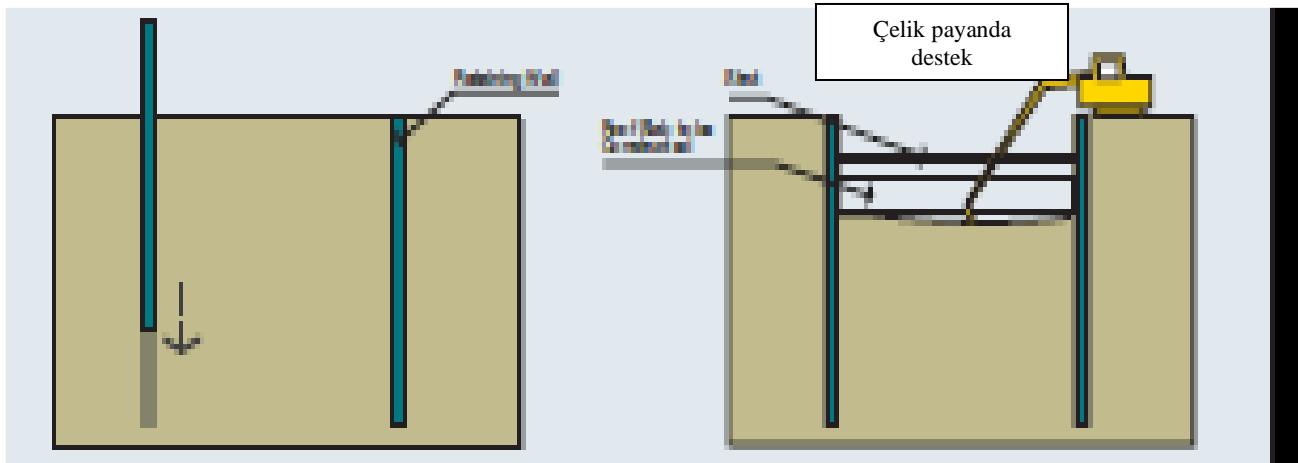
I                   II                   III



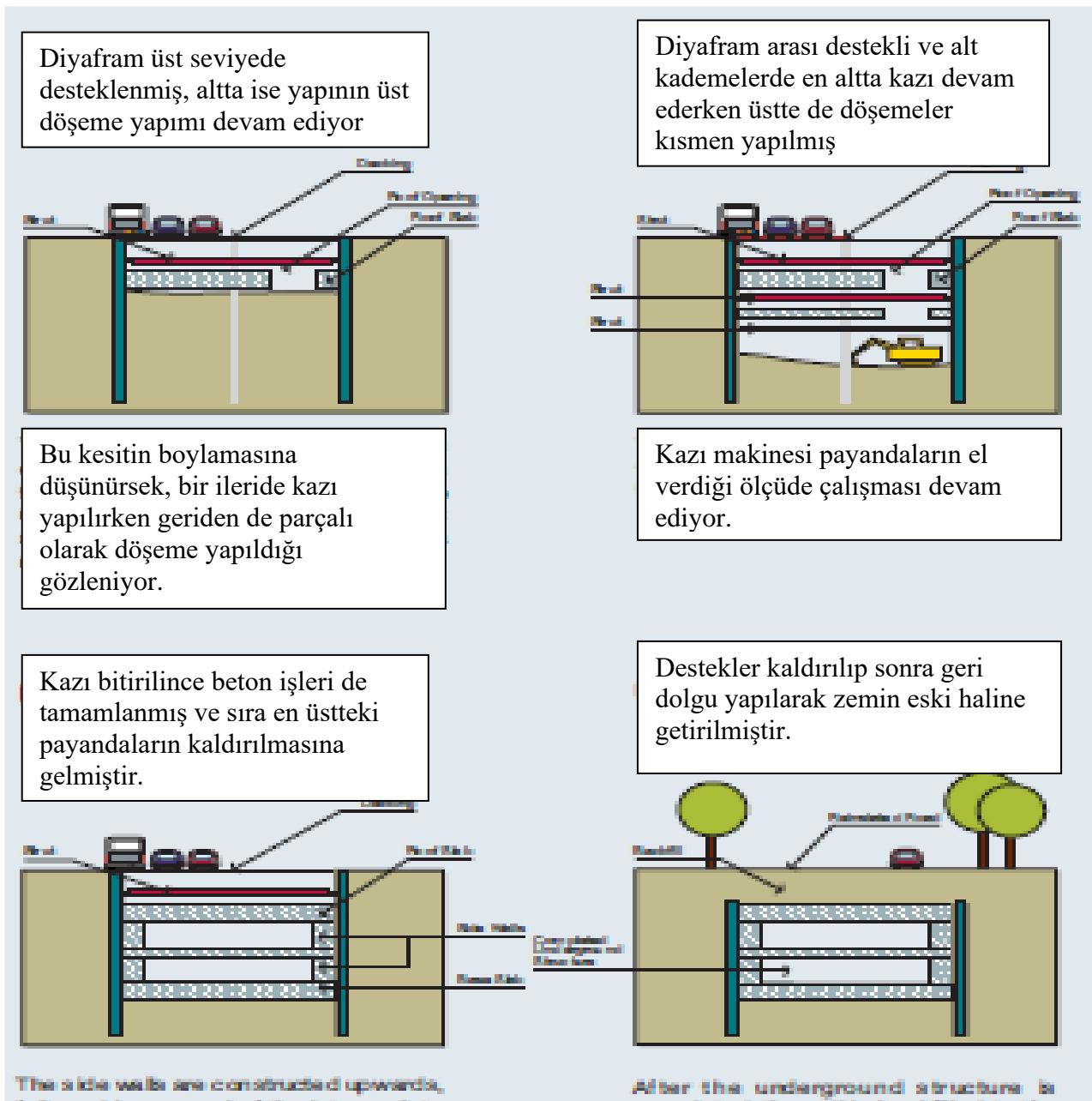
I                   II                   III                   IV

#### DİYAFRAM DUVAR BETONARME YAPIMININ ŞEMATİK GÖSTERİLERİ

- I- Kazılan diyafram perde boşluğunca projesine göre bağlanmış demiri indirme
- II- Demirin yerlesimi (alttan belli bir miktar üstte)
- III- Donatı içine tremiye boru ile Beton dökülmesi
- IV- Beton dökülmesi bitmiş Diyafram duvar



### AÇ-KAPA KESİTİNDE DİYAFRAM DUVARLARIN YAPIMI ve STRATLA DESTEKLENMESİ



3, 4, 5, 6 AÇ-KAPA KAZILARDA YUKARIDAN AŞAĞIYA DOĞRU KAZI ve BUNA PARALER YER ALTI YAPILARININ YAPILMASI ve GERİ DOLGU AŞAMALARI KAPAYIP KAZI YAPARAK İNŞAAT YAPMA İŞİNDE (TOP DOWN) AŞAMALAR:

Bu tip inşaat yerleşim yerinde kazı yapılmasının emniyetini sağlar, ancak işin her kademe inişinde çeşitli seviyelerde aşağıda listelenen işçilik, beton priz alma süreleri yapılan işin süresini uzatmaktadır. Bu işin yüklenicisi kademeler arası aksamaların olmaması için her iş kalemini süratle yerine getirmesi gereklidir:

Diyafram duvar yerleştirilmesi biter bitmez yol seviyesindeki **ANA TAŞIYICI** döşemenin dökülmesi gereklidir. Bunun için:

Diyafram duvar başlıklarını temizlenerek baş kısım donatılarının açığa çıkarılması

Döşeme alt kotuna kadar kazının yapılması, tesviyesi,

Gerekirse altına donatıların rahatça konulması için grobenton ve üzerine de yapışmayı önleyecek .

NYLON serilmesi icabeder. Betonlanacak yer uzun ise boyuna kısımlara ayrılabilir.

Projesine göre donatıların montajı, (boyuna doğru I,II,III,IV,V kısım gibi)

Betonun dökülmesi ( I,II,III,IV,V kısım gibi)

#### ***Betonun priz almasını beklemeye: (en az 14 gün veya 7 günlük laboratuvar dayanım sağlama)***

Bu durumda dört bir taraftan yapıyı oluşturacak diyafram duvarlar üstten birbirine bağlanmış olur. Bu döşemenin beton priz aldıktan sonra altına girerek üstten aşağıya doğru Üst kat kazısını yapma imkanı vardır ve emniyetlidir.

Bir alt katın kazısı yapılırken üst döşeme altındaki naylon ve artık grobentonlar da üstteki döşeme altından sıyrılarak alınır ve alttaki kata temiz bir tava elde edilir.

Bu kattaki kazı bitince de aynı işlemlerle döşeme donatı ve betonu atılır. Bu işlemler kat sayısı kadar aşağıya doğru devam ettirilir.

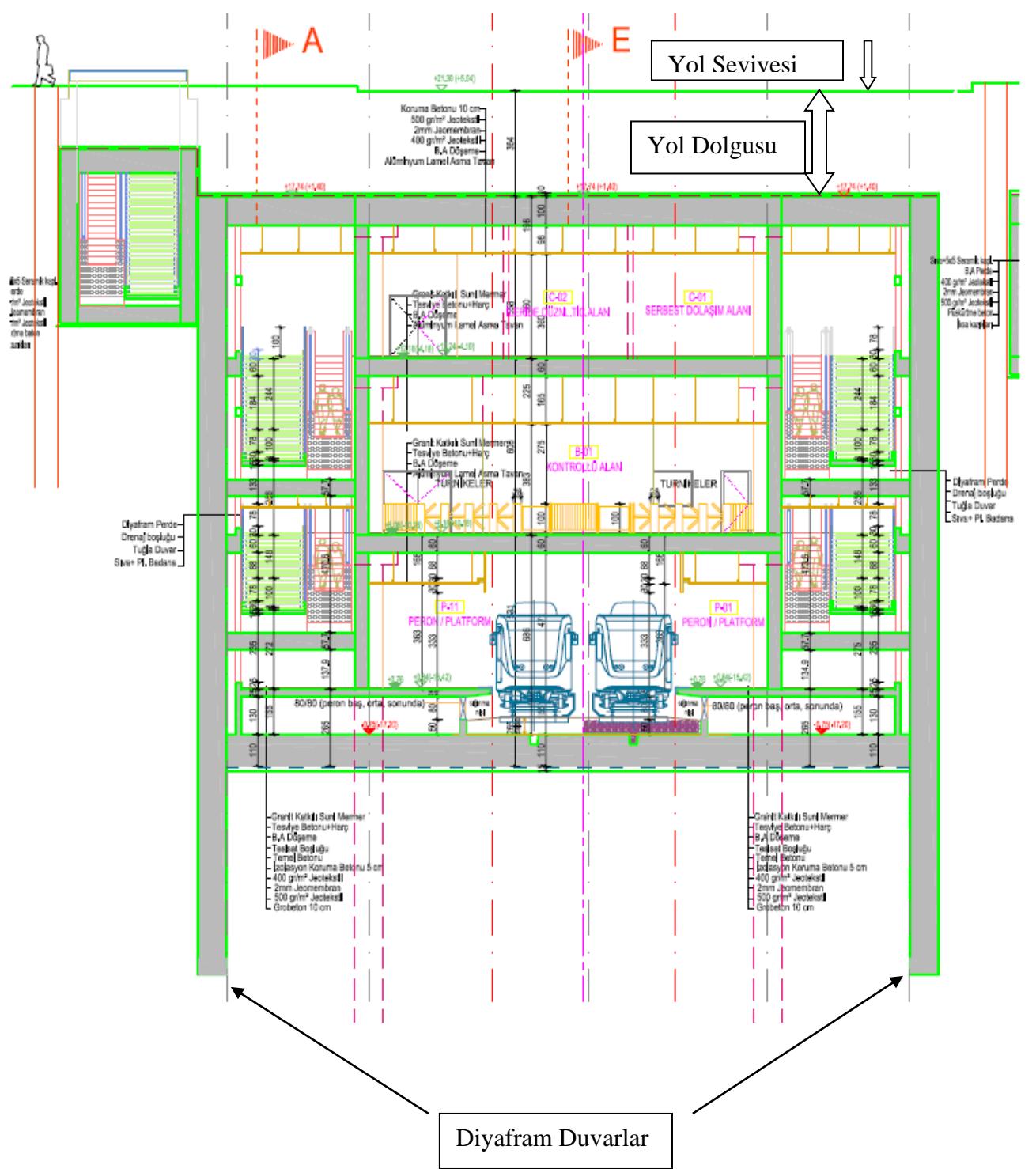
Üsten aşağı inşaat (topdown) sisteminde olsun aç kapa sistemlerde olsun Tavan döşeme kalınlığı yol seviyesindeki hareketli yükler ve yol üst yapısı dahil dolgu kalınlığındaki zemini emniyetli bir şekilde taşıyacak dayanımda olmalıdır. Taban döşemesi de yapının yüzmesine karşı gelecek yani suyun kaldırma kuvvetini emniyetle yenecek sağlamlıkta projelendirilir.

Diyafram duvarlar yapının iki yanını oluşturacak ve ara döşemeleri taşıyacak koşulda projelendirilir. Bu durumda içeriye yeni bir betonarme kaplama gerektirmez. Ancak, hem kaplama yüzeyinin düzgün olması hem de donatıların döşemeye projesine göre manşon (dübel, coupling) ile tutturulması çok hassas işçilik isteyen konular olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca diyafram yüzeyinde olması muhtemel su sızıntıları duvara paralel perde duvarları ile göz ardına alınarak, sular döşeme üstünde toplanıp belli yerlere yönlendirilmektedir. İzolasyon altta ve üstte kolay yapılabilmekte ancak duvarlarda problem çıkmaktadır.

İç kısma ayrı betonarme perde duvar olursa o zaman pahalı olmasına karşılık, tüm yapıya kalıcı bir izolasyon sağlanabilir. O tip projeler de uygulanmıştır.

Örnek : Top Down olarak inşaatı biten İstasyon : F. Altay Kesit Mimari görünüsü



## 8-TÜNEL HAVA LANDIRMA KARAYOLU TÜNELLERİ

Tünellerde işletme ve inşaat sırasında olmak üzere iki türlü havalandırma tesisi hesap ve projelendirilmesi vardır. Bu bölümde tünellerin işletme sırasında tünel projelendirilmesi anlatılmaktadır. İşletme sırasında gerekli havalandırma tesisleri kalıcıdır.

Tünellerin projelendirilmesinde en önemli konulardan biri tünel havalandırılmasıdır. Bu iş tünellerde motorlu araçların sayısının artarak sebep olduğu gaz ve toz yayılmasının insan sağlığı ve konforuna zarar verdiği son 100 yılda dikkate alınmıştır.

Tünelin havalandırılması (vantilasyon) bu tünel yapısının hangi tür tünel (araç geçişi tüneli, raylı sistem tüneli veya hızlı ulaşım tüneli) olması koşullarına göre değişir ve bu projenin yapımından evvel bilinmesi gereklidir.

### **8.1 Yol Tünelleri**

#### **1.1 Tanımı:**

Tünelden geçen araçların içten yanmalı motorları yanma sonucu çevreye zararlı atıklar yayar. Bu zararlı ürünler tüneldeki bakım personelinin ve tünelden geçen yolcuların sağlığı için tehlikelidir. Oluşan bu atıkların ve zararlı gazların tünel ortamındaki oranının zarar verme sınırı altına düşürülmesi ve havanın atık oranının yaşanacak oran seviyesi altına inmesi ve seyreltilmesi tüneli havalandırmak suretiyle olur. Tünel havalandırma sistemleri de tüm uzun tünellerde CO, NO gaz seviyelerinin kabul edilebilir seviyede tutulabilmesi ve normal sürüş sırasında görüş mesafesinin düzgün ve emniyetli olması için projelendirilir. Bu sistem yangın olması durumunda dahi, duman akışının sağlanması, sıcak ve çok sıcak gazların insanlara zarar vermeden dışarı atılmasını sağlayabilmelidir.

Tünel havalandırması genelde 3 kriter sağlar:

- Tünel kullananlarının sağlık kriterlerine uygun seviyede tüneldeki araç eksoz gazlarının seyreltilmesi
- Tüneldeki hava kirliliğinin güvenli olacak şekilde ve yeterli seviyede tutulması
- Tünelde olabilecek yangınlarda çıkan sıcak gazların ve dumanın kontrol altında tutulması ve kişilere zarar vermeden uzaklaştırılması

Her bir konunun yeterli havalandırma sistemi projesi ve sistem seçimi için bu konularla ilgili özel giriş verilerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

#### **1.2 Temiz Hava Gereksinimin Saptanması:**

Hesap usulünün ana prensibi, trafik şartlarını önceden görebilir ve bununla baş edebilir bir tünel havalandırma sistemi yapımıdır.

##### **a. Araçların gaz yayması**

Bu konudaki eğilim, istenmeyen ve yayılan eksoz gazları ile zehirli hava miktarının azaltılmasının sağlanması yönündedir. Bazı ülkeler onlara ait gaz yayılması yasaları üzerine baskı yapmaktadır (zararlı gaz yayan araçların trafikten uzaklaşması gibi), ve diğer taraftan kabul edilen gaz yayılım seviyesinin düşürülmesi yoluna gitmektedirler.

Gazın Cinsi	Araçların eksozlarından çıkararak yaydığı zararlı gaz miktarları	
	Benzinli araçlarda (%)	Dizel araçlarda (%)
Karbon Monoksit (CO)	3,0000	
Karbon Monoksit (CO) maksimum		0,100
Karbon Monoksit (CO) ortalama		0,020
Karbon Dioksit ( $CO_2$ )	13,2000	9,000
Azot Oksitleri ( $NO_x$ )	0,0600	0,040
Kükürt Dioksit ( $SO_2$ )	0,0060	0,020
Aldehitler	0,0040	0,002
Formaldehit	0,0007	0,001

Önemli araç trafiğinin yoğun olduğu önemli tünellerde 5-10 yıllık belli aralıklarla alınmış gaz yayılma kontrol veri alımları mevcuttur. Bu kontrollerde tünelin ilk açıldığı zamandaki zararlı gaz yayılma miktarı ile bu zamanda ölçülen gaz yayılma miktarı birbirine oranlanır. Mevcut gaz yayılması için yapılan düzenlemeler; baskı ile dizel araçların gaz yayma koşullarının azalmasını ister ve böylece projelerde duman seyrelmesini ve taze hava ihtiyacının kontrol edilmesini sağlamaya çalışır. Kamyonlar güçlü araçlardır ve büyük motorlu olmaları nedeni olarak, yüklü olduklarında ve hızlı gittiklerinde daha çok zararlı gaz yayarlar. Diğer taraftan ise; tünel kullanan halk buradaki bulanık ve kokulu atmosferdeki yol bölümüne karşı çok hassastır, ancak bunun da belli seviyede tutulması ek masraf gerektirir. Tüneldeki zararlı gaz ve görüşe mani olan toz ve buna benzer maddelerin havalandırma ile seyreltilmesi gereklidir. Aşağıdaki tablolar tünel havalandırılması öncesi ve sonrasında benzinli ve dizel araçların zararlı maddelerinin listesini ppm (milyonda) değeri olarak vermektedir:

<b>Benzinli Araçlar</b>			
Gazin Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	30.000	200,00	50
Karbon dioksit	132.000	880,00	5000
Azot oksit ve dioksit	600	4,00	25 e 5
Kükürt dioksit	60	0,40	5
Aldehit	40	0,27	NA
Form aldehit	7	0,02	2

<b>Dizel Araçlar</b>			
Gazin Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	1000	6,70	50
Karbon dioksit	90.000	600,00	5000
Azot oksit ve dioksit	400	2,70	25 e 5
Kükürt dioksit	200	1,30	5
Aldehit	20	0,13	NA
Form aldehit	11	0,07	2

### **b. CO ve NO için yayılma faktörleri**

Dünya çapında yaşayanlar için PIARC 1983 de tüneldeki gaz yayılması için aynı yayılma faktörünü önerdi. Bu güne kadar mevcut kullanılan gaz yayılma standartlarına ve kanunlara bakıldığından; Avrupa da bile olunsa bir çeşit veri takımı ile çalışmak zorlaşmaktadır. En gelişmiş yayılma kurallarından oluşan ve halen yürürlükte olan aşağıdaki gaz yayılma faktörleri de bu konunun denetimine yeterli değildir.

Tünel Havalandırmasının kabul göre 4 (dört) seviyesi vardır: (A, B, C, D gibi)

#### **A. Standart**

- US federal sicil büro 48 FR 48607/117.10.83 / özel araçlar için
- ECER 49 Kamyonlar için
- Fasılalı gaz yayılma kontrolü

#### **B. Standart**

- ECER 15/04 (2.2.82), R15/5 (1987) özel araçlar için (for p.c.)
- ECER 49 kamyonlar için
- Aralıklı olarak gaz yayılma kontrolü

#### **C. Standart**

- ECE kuralları ile aynı B deki gibi
- Fasılalı olarak gaz yayılma kontrolü

#### **D. Standart**

- Etkin bir yayılma kontrolü yok

Araç sahipliğinin mevcut farklılıklarını dikkate alınan 1987 yılı içi 1,3 ve 4 No. lu tablo ile yayılma verileri deney ve genel tecrübelere dayanılarak verilmiştir.

Gelecek yıllar için veriler şunlara dayalı olmalıdır:

- Uygulanacak Standart tipi

- Araçlar hakkında geçmiş 10 yılda sahip olma tahmini ve tüm yıllara sırayet eden Yıllık yenileme oranı
- Araçların ömrü geçtikçe %30 lara bölünmüş gruplar olarak hangilerinin daha fazla gaz yayılmasıaptığının araştırılması

### **c.Karbon monoksit (CO) seyreltilmesine dayalı temiz hava temini:**

Tünellerde taze havanın debisi ve ihtiyacı aşağıdaki formülle bulunacaktır.

$$Q_F = \frac{q_{CO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H}{3600} * D_{pc} * \frac{10^6}{CO_{lim}}$$

Bu formüldeki birimler aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

$Q_F$  = m<sup>3</sup> / saniye cinsinden gerekli taze hava miktarı (tünele km, hat ;m<sup>3</sup>/s, km,hat)

$q_{CO}^0$  = her bir yolcu aracı için müsaade edilen temel CO miktarı (m<sup>3</sup>/s, km, hat)

$f_v$  = hız faktörü (-)

$f_i$  = eğim faktörü

$f_H$  = o yerin denizden yüksekliği

$D_{pc}$  = km deki geçen araç sayısı ve şerit sayısı (pc / km, hat = M / V )

$M_{pc}$  = maksimum saatlik yolcu araç hacmi / her şerit için ( pc / h . hat )

V = Asıl sürme hızı ( km / saat (h) )

$CO_{lim}$  = en fazla izin verilen CO yoğunluğu (ppm CO) (milyonda bir)

#### **Yolcu aracı ve Kamyonlar için esas alınan CO (karbondioksit) Değerleri:**

Yolun kotu=deniz seviyesi kotu: 0,00; seyahat edilen yolun eğimi i=% 0,00; ve yolcu aracı hızı V= 60,0 km/saat olması halindeki araçlardan yayılan gaz (emisyon) miktarı:  $q_{CO}^0$  olarak belirtilmektedir. Tablo havalandırma-1 de her bir gaz yayılma o yıl içindeki araç sayısı için değerlendirilmiştir. Arada bir zamanda gerekli değeri bulmak için doğrusal interpolasyon işlemi yapılır.

**TABLO Hav I  
Temel CO değerleri**

<i>Standart<sup>1)</sup></i>	Gerçek durum			tahmini $q_{CO}^0$	(m <sup>3</sup> /saat.pc)
	1987	1995	2000		
A	0,6	0,2 <sup>2,3)</sup>	0,15 <sup>2,3)</sup>		
B	0,6	0,4 <sup>3)</sup>	0,3 <sup>3)</sup>		
C	0,8	0,7 <sup>3,4)</sup>	0,6 <sup>3,4)</sup>		
D	1-1,5 <sup>5)</sup>	1 - 1,5 <sup>5)</sup>	1-1,5 <sup>5)</sup>		

1-) Çok özel uygulamalarda; gerçek ulusal standart kontrol edilmeli, A-D listelerindeki değerlerden değişik olanları olabilir.

2-) 1987 başlarında US standartlarının zorlandığı ülkelerde

3-) Hali hazırda kendine has standardın korunduğu yerlerdeki tahminlere göre

4-) Gaz yayılma kontrol işinin sonradan tanıtıldığı zaman, B standartlarının değerleri alınmalıdır.

5-) Lokal mülk sahipliğine göre adapte edilmelidir.

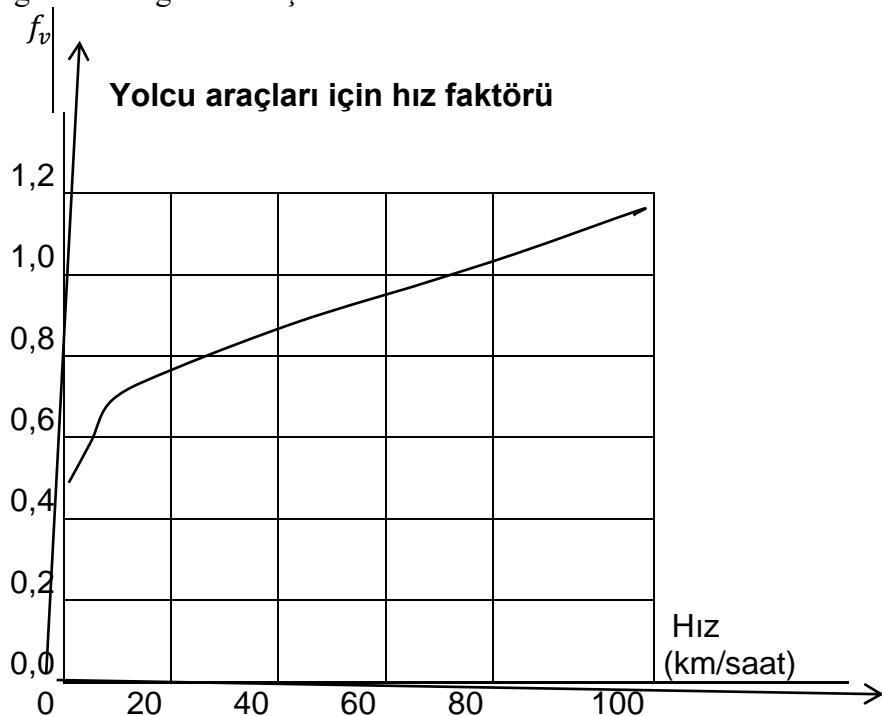
#### **Gaz yayılmasında Hız ve Eğim faktörü**

Yol tunelinin eğimi ve araçların hızı, gaz yayılma oranına çok büyük miktarda etkisi vardır. Yukarı doğru eğimde; artan yakıt tüketimi yine artan kirli gaz yayılması sonucunu doğurur. Aşağıya doğru eğimde yakıt tüketimi yatay yola nazaran azdır ve emisyonun miktarı azalmaktadır.

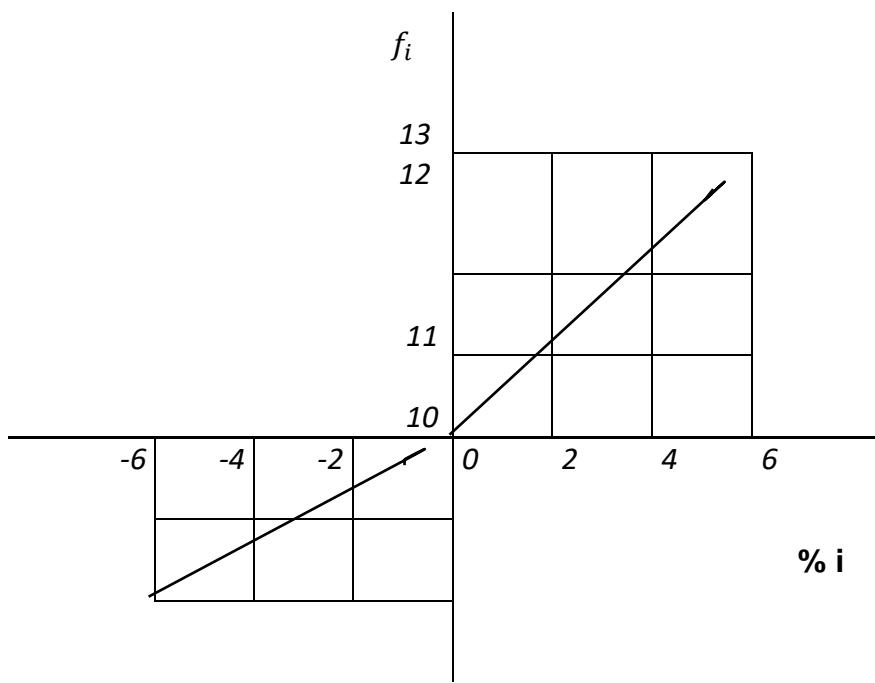
Diğer taraftan fazla eğimli yolda ise aşağı doğru eğimli yolda emisyon çok azalmakla beraber bu sırada fren yapmadan doğan az oranda da olsa zararlı gaz yayılması meydana gelecektir.

Aşağıda hızla bağlı emisyon faktörü  $f_v$  hav-1 de ve eğime bağlı emisyon faktörü de  $f_i$  hav

-2 deki grafiklerle gösterilmiştir:



Hav- I hıza göre emisyon faktör eğrisi



YOLCU ARAÇLARI EMİSYON İÇİN EĞİM FAKTÖRÜ

### ***Yolcu araçları için Yükseklikten ileri gelen emisyon (gaz yayılma) faktörü:***

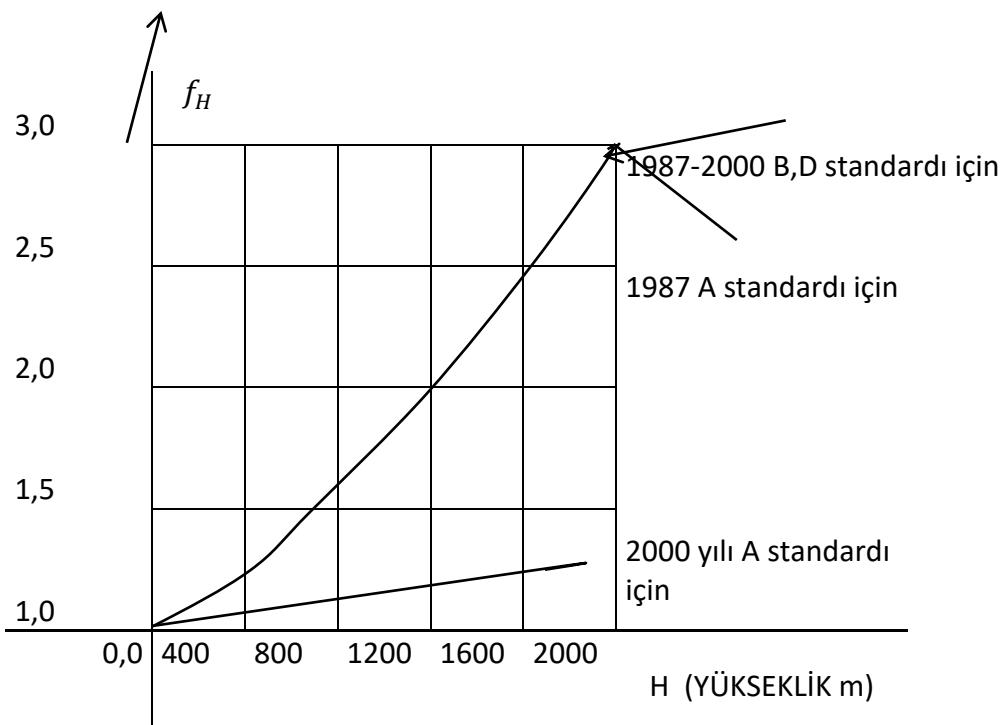
Yüksek rakımlı yerlerdeki yollarda, düşük hava basıncı ve düşük oksijen yoğunluğundan dolayı; ateşlemeli motorlarda hava ile karışan yakıt zengin karışım (yani yakıt bol hava az) haline dönüşür. Araçların hem yüklü olması ve hem de yüksek rakımlı yerlerde seyretmesi yakıt tüketimini artıracağı gibi iyi yanma olmadığından CO üretim ve salımı çok artar. Eğer karbüratörler deniz seviyesine göre ayarlı ise yüksek rakımlı arazi ve yolda o aracın gaz yayılma oranı yüzdesi artacaktır.

Dizel araçlarda da (yani hava sıkıştırılmış şekilde ateşlenen araçlarda) yüksek rakımda düşük basınçtan ve seyrek oksijenden dolayı zayıf oranda hava karışımı olur ve duman yayılması ve üretimi artar.

Tünel ortamında ve yüksek rakımdaki yollardaki dizel motorlardan gelen duman; özellikle motorların iyi durumda olmamasına ve bunların özenle ayar olmamasına bağlıdır.

Bununla birlikte A standarı olan ülkelerde hava kontrol sistemi hava basınç etkisini otomatik olarak dengeler, böylece yüksek rakımlardaki daha hafif olan yani oksijen ( $O$ ) bakımından zayıf olan havanın CO yayılmasına etkisi azalır.

Resimde Hav -3 de yükseklik faktörünün 2000 yılına ait değerleri verildi, daha önce ve sonraki yıllara göre değer hesabı interpolasyonla yapılabilir.



**Yolcu araçlarının arazi yüksekliğine göre emisyon faktörü**

**Resim Hav-3**

### **Trafik yoğunluğu:**

Trafik araç bileşimi, trafik yoğunluğu ve hacmi, tünel içinde CO yayılması ile doğrudan bağlantılıdır. Bu durum dikkate alınarak; bilgilerin değerlendirilmesi, en uygun trafik hacmine göre projelendirme, bu değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Taşıt yolunun en fazla (maksimum) kapasitesi, tünelin yeri ve şerit genişliği gibi diğer faktörlere göre tünel havalandırma projesi için pik (en fazla, yoğun) proje değerleri uygun olarak kabul edilmeyebilir. Yani yolun maksimum kapasitesi olarak pik zamanlardaki trafik yoğunluğu alınarak tünel için havalandırma hesabı yapılmayabilir ( çünkü tam ekonomik olmaz ).

## **İzin verilebilen CO yoğunluğu ( derişimi, kesafeti):**

Tünelde seyahat eden yolcular her şeyden önce sağlıklı olmayan atmosfere maruz kalmamalıdır, fakat dizel araçların da duman ve isi bu konu için seyreltilmiş olması gereklidir.

Birkaç yıl öncesine kadar tüm kriter CO yoğunluğu 250 ppm (milyonda) idi. Bu günün görüşü kamyon sayısının artması ve dizel araçların çoğalması nedeniyle CO yoğunluğu ile birlikte tüneldeki is ve dumanın da ölçülmesi gerektidir.

Bu günü son görüş tünelde kabul edilebilir hava kalitesi için CO miktarının 100 – 150 ppm altında olmasının sürekli olarak tutulması gerektidir.

A, B standartlı ülkelerde A kriteri CO için 100m ppm adapte edilebilir, fakat bazı ülkeler C standardında da ağır ve tıkanık trafik için daha düşük limitler kabul edebilir. Diğerleri CO kesafeti için 2000-250 ppm ye izin verilebilir.

Başka koşulların kabul sınırında ise CO 200-250 ppm değeri kabul edilebilir.

Bu CO limitleri ile birlikte diğer zararlı eksoz gazlarıörneğin NO (Azot monoksit) de yeterince seyrekleştirilir ve zararlı etkisi de azalmış olur.

NO gazının etkisi uzun sürede anlaşıldığı halde CO gazının süratle etki eden durumu mevcuttur. (örnek: 250 ppm yoğunlukta CO gazı içinde bir (1) saat bulunmak insanda hemen hafif baş ağrısı yapar ve bu baş ağrısı hemen geçmez.

**Önerilen CO gazi emisyon seviyeleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:**

**Tablo : Pik trafikte CO limitleri**

Tünel Tip	Düzungün akan trafik hali	Karışık hatta durağan trafik hali
Yerleşim Yeri Tüneli ( kapasitesi-tam kullanma)	( CO; ppm )	( CO; ppm )
Günlük karışık..	100-150*	100-150*
Bazen karışık	100-150*	250
Şehirler arası yolcu tüneli (karayolu-dağ)	150	250

Not : \* C ve D standartı sahaları için

### **d-) $NO_x$ emisyonları (azot oksitleri gaz yayılmaları)**

Birçok ülkede, çevredeki  $NO_2$  gazının uzun ve kısa vadedeki seviyelerini esas alan kirlenmiş tünel havasının etkisini ortaya koymak bir çeşit uygulamadır. Tünel havalandırma sistemi bu ihtiyaçların bulunması için ayarlanması veya değiştirilmesi gerekmektedir.

#### **$NO$ ve $NO_2$ gazının dönüşüm oranları:**

Araçlar tarafından yayılan  $NO_x$  gazları genelde NO (karbon monoksit) gazı içerir, ama atmosferde  $O_2$  (oksijen) alarak yani oksitlenerek çok daha zehirli olan  $NO_2$  gazı haline dönüşür.

$NO$  muhtevası (ichernmesi) tarafından tesir eden dönüşüm oranı; çevre sıcaklığı ve gün ışığının yoğunluğuna bağlıdır, bu sebeple değerler ancak ortalama verilebilir.

Tünel çıkış portallarındaki ölçümler, hacimsel dönüşüm oranlarının % 5 ile % 10 arasında olduğunu göstermektedir, birkaç km lik daha uzun tünelerde bu oran % 20 ye kadar yükselebiliyor.

$NO_2$  (azot dioksit) yayılımının değerlendirilmesi için, tünel çıkış portallarında hacimsel oranın % 30 – 50 arasında olabileceği kabul edilebilir.

Tünel havalandırma şaftından yayılan tünel havası zemine deðmeden evvel atmosferde uzunca bir süre kalır. Bu durumda hacimsel dönüşüm oranı % 60 kabul edilebilir.

#### **Gazların formül, molekül gramı ve 1 m<sup>3</sup> teki ağırlıkları**

Gazın Adı	Formülü	Molekül gramı	Kg/m <sup>3</sup>
Karbon monoksit	CO	28,01	1,165 – 1,250
Karbon Dioksit	$CO_2$	44,01	1,842 – 1,977
Azot oksit	NO	30	1,249
Azot dioksit	$NO_2$	46,06	1,800-1,900

<i>Hava</i>	(% 78 N <sub>2</sub> ve % 21 O <sub>2</sub> )	29	1,205-1,293
<i>Hidrojen Sülfür</i>	H <sub>2</sub> S	34,076	1,434

### NO<sub>x</sub> (azot oksitleri) nin Özgül Ağırlıkları:

NO ile NO<sub>2</sub> arasında dönüşüm oranları hacimsel temele dayalı olarak verildiği gibi, NO gazı yayılımının da tek başına hacimsel dönüşüm temeline dayalı olarak verilmesi tercih edilebilir. Bununla birlikte çevresel etkisini ortaya koymak için ağırlık birimi kullanmak adettendir. Bu miktarlar hava sıcaklığı ve hava basıncı şartlarına bağlıdır.

Ortalama özgül ağırlıklar:

$$1 \text{ m}^3 \text{ NO gazı} = 1,2 \text{ kg / litre} \text{ ve } 1 \text{ ppm NO} = 1,2 \text{ g / m}^3 \quad 1 \text{ ppb NO} = 1,2 \text{ mgr / m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ NO}_2 \text{ gazı} = 1,9 \text{ kg / litre} \text{ ve } 1 \text{ ppm NO}_2 = 1,9 \text{ g / m}^3 \quad 1 \text{ ppb NO}_2 = 1,9 \text{ mgr / m}^3$$

### NO (azot oksit) emisyon (gaz yayılması Hesapları:

NO gazı yayılması CO gazı yayılması ile aynı parametrelerde tesir gösterir.

Bu sebeple aynı hesap usulü buna da adapte edilebilir:

$$Q_{NO} = q_{NO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H$$

$Q_{NO}$  = NO gaz yayılımının (emisyon) miktarı (m<sup>3</sup> / saat, personel aracı)

$q_{NO}^0$  = temel değer NO gaz (emisyon) yayımı araç başına

$f_v$  = Araçların hız faktörü (-)

$f_i$  = Yolun eğim faktörü

$f_H$  = Yol ve aracın bulunduğu **yüksekliğin** gaz yayılması faktörü

### Temel NO gazının yolcu taşıtları için değerleri :

NO gazının yayılma (emisyon) kuralları; etki bakımından aynen CO gazının emisyon kuralları gibi olduğundan, CO için daha önce anlatılan biçimde standart klasları olan A-D NO (azot oksit) için de kullanılabilir.

Temelde NO emisyonu yolcu araçları için  $v = 60 \text{ km / saat}$  hız,  $i = 0\%$  eğim ve rakım olarak da deniz seviyesi için aşağıdaki tablo verilmiştir:  $q_{NO}^0 = (\text{m}^3 / \text{saat}, \text{yolcu aracı})$

Standart <sup>1)</sup>	1987	1995	2000
A	0,06	0,03 <sup>2,3)</sup>	0,02 <sup>2,3)</sup>
B	0,06	0,04 <sup>3)</sup>	0,03 <sup>3)</sup>
C	0,06	0,05 <sup>3,4)</sup>	0,04 <sup>3,4)</sup>
D	0,06	0,06	0,06

**Yukarıda: Temel NO değerleri Tablosu aşağıda ek notlar:**

1) Kendine özgü uygulamada, verilen A-D standart değerleri verildiğinden beri ayrı bir durum meydana gelebilir, o vakit gerçek ulusal değer kontrol edilmelidir.

2) 1987 yılı başlarından beri Amerikan (US) standartlarının zorlandığı ülkelerde uygulanmaktadır.

3) Belirli özel standartların yüreklükte olduğu yerlerdeki ön kabullerdir.

4) Sonraları gaz yayılması gözlendiğinde B standart değerleri dikkate alınmalıdır.

### Yolcu araçları için Hız (v)faktörleri

0 ile 80 km/saat arası hızlar için önerilen doğrusal grafik şekilde belirtildi:

### Yolcu araçları için Eğim (i) faktörleri:

Yolcu araçlarının seyrettiği yolun % (-)6, 0, ve (+)6 eğimlerine göre oluşan eğim faktör değerleri doğrusal bağlantılı olarak grafikte gösterilmektedir:

### Yolcu araçları için Yükseklik (H) faktörleri:

Yükseklik faktörü ekseri teknik ekipman ve motor durumuna bağlı olarak etki eder. Daha önceki raporlarda verilen NO yayılımının NO gazı yayılımının yolcu aracı ve yük kamyonu arasındaki daha alçak kottaki farklılıklar, tüneldeki bu yükseklikteki saha ölçümlerinin analizlerinde de geçerlidir. Bu faktör değerleri için aşağıda verilen grafiklerin doğrusal (lineer olarak) kullanılması önerilmektedir:

Kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı derişimi:

Örnek olarak Japonya da kabul edilebilir NO gazı kesafetinin havadaki miktarı limiti; 25 ppm NO ( $30 \text{ mg/m}^3$ ) olarak verilmiştir. Fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini kontrol edemez.

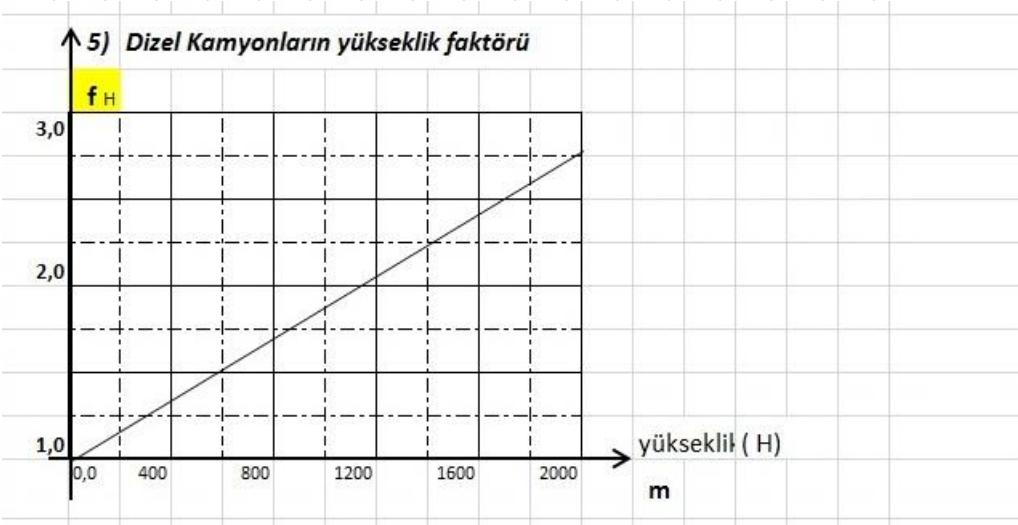
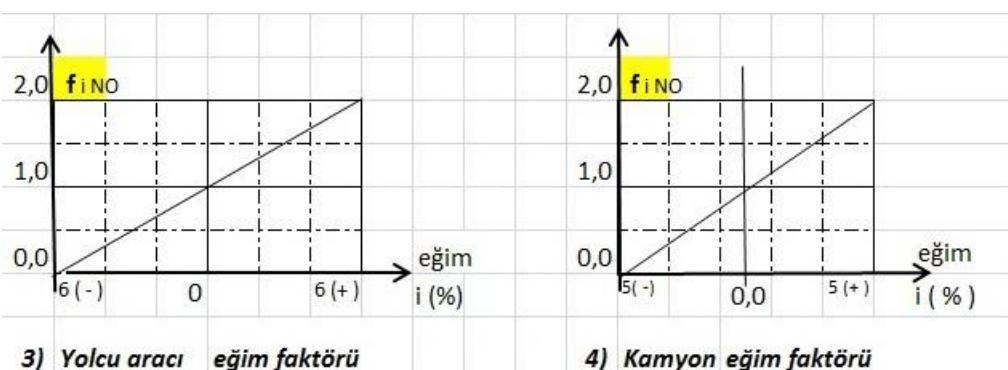
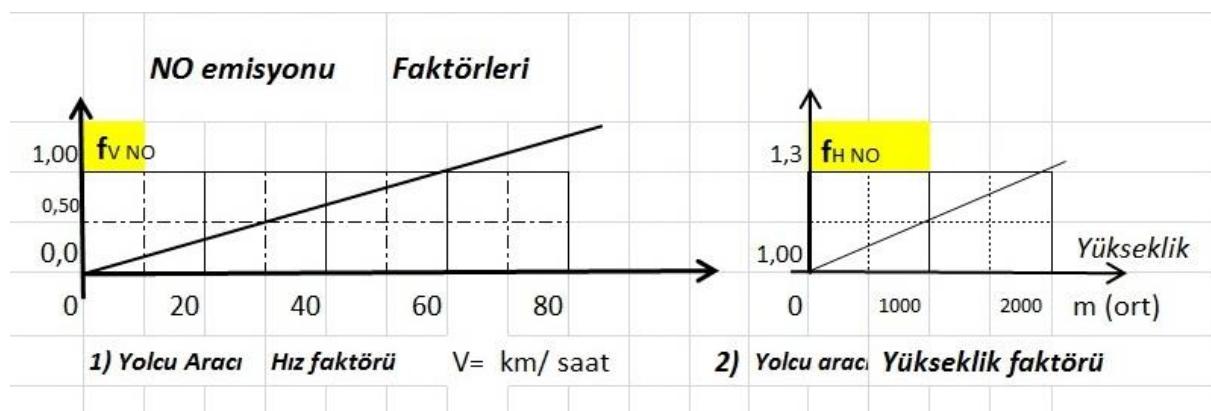
### Kamyonlar için NO (azot oksit) gazı yayılımı (emisyon) :

#### NO gazı yayılması Hesabı:

Yolcu araçları için yapılan hesap usulünün aynısı kamyonlarda da geçerlidir.

#### Otobüsler ve Kamyonlar için temel NO değerleri:

Eksoz emisyon şartları ve kuralları kamyonlarla yolcu araçlarının tamı tamına aynı değildir. Ülkelerdeki  $NO_x$  (azot gazları) limitleri; US (Amerikan) ve ECE (Avrupa) standartları hemen hemen eşittir. Bu ülkelerde  $NO_x$  (azot gazları) limitlerinin aşağı yukarı **% 40** daha azaltılması yönünde eğilim vardır.



Standart A ve B için; **NO** gazı emisyonu gelecek 10 yılda % 40 düşürülecektir.

Standart C ve D için; Yeni bir kural düşünülmüyor veya onların şartları yürürlükte olacak.

Aşağıdaki tabloda her bir aracın ton başına kabul edilebileceği özel değerler önerilmektedir:

<u>Temel NO gazı değerleri tablosu:</u>	$q_{NO}^0$ ( m <sup>3</sup> / saat ) kamyon
Standart	1987 yılı
A, B	0,037
C, D	0,037

- 1) Özel uygulamada, A ve D standartlarının verildiği değerler zamanından beri belki değişiklik olabilir, o sebeple gerçek ulusal standart kontrol edilmelidir.
- 2) Bu koşulların kabulü; özel standardın mevcut durumu korunmalıdır.

**Kamyonlar için hız faktörü:** Yukarıdaki yolcu aracı için olan bağlantı kullanılabilir.

**Kamyonlar için eğim faktörü:** Yukarıdaki yolcu aracı için olan bağlantı kullanılabilir.

**Kamyonlar için Yükseklik faktörü:** Halihazır durumda ve zamanda yolcu araçları için yukarıdaki şekillerde gösterilen aynı yükseklikteki etkiler önerilir.

Makul, kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı yoğunluklar:

Japonya da gaz içindeki NO gazı kesafetinin limiti 25 ppm dir, fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini bize tam açıklayamaz ve bu miktar taze havayı tarif edemez.

### e. Duman seyretilmesi için taze hava gereksinimleri (kosulları)

Taze hava gereksinim debi formülü:

$$Q_F = \frac{q_T^0 \cdot m \cdot f_{IV} \cdot f_H}{3600} \cdot D_{hv} \cdot \frac{1}{K_{lim}} \quad \text{Bu formülde her bir ifade açıklaması şöyledir:}$$

**$Q_F$**  = her km hattın saniyedeki taze hava ihtiyacı miktarı ( m<sup>3</sup> / saniye. km. hat )

**$q_T^0$**  = Duman yayılmasının temel değeri ( m<sup>2</sup> / saat.ton )

**m** = Esas araç ağırlığı ( t )

**f<sub>IV</sub>** = eğim / hız faktörü ( - )

**f<sub>H</sub>** = Yükseklik faktörü ( - )

**D<sub>hv</sub>** = Bir şerit hattın her km sindeki ağır taşıt sayısı = M/V ( hv/km. hat )

**M<sub>hv</sub>** = Bir şeritteki ağır vasıta araçların saatlik trafik hacmi ( hv/saat. hat )

**V** = Kamyonun (yük aracı) esas sürüş hızı ( km / saat )

**K<sub>lim</sub>** = makul, kabul edilebilir duman yoğunluğu ( 1 / m ) ( litre / metre )

### DİZEL MOTORLU KAMYON VE OTOBÜSLER İÇİN TEMEL DUMAN DEĞERLERİ:

Kod ECE R 24 (23.Ağ.1971) de verilen duman sınırları limitleri vardır, ama A ve B klasta olan ve hava kirliliğini kontrol edebilen ülkelerde sonuçların görünümü alınır.

A klastaki ülkelerin yüzde ( % ) 20 – 40 gibisi **ECE R 49** tabbkatındadır, kendi kendinden hava alan dizel motorlar; daha az duman yayan turbo şajlı içten soğutmalı dizel motorlar ile yer değiştirecektir.

Tipe D tipi ülkelerde aynı değerler hatta daha yüksek değerde emisyon vardır. Bu düşüncelerde başka aşağıda önerilen emisyon değerleri kullanılmalıdır:

Kamyon ve otobüsler için temel duman değerleri:

**$q_T^0$**  ( m<sup>2</sup> / saat.taşit ) otobüs/kamyon ;

Standart:	1987	2000
A	16*	10*
B	16	13
C	16	16
D	16 – 25	16 - 25

( \*) A standartlı ülkeden B-D standartlı ülke aracı geçmediği düşüncesiyle,

### Ortalama araç ağırlıkları:

Her tünel projesi için o bölgedeki kamyon durumu analiz edilmelidir.

Ağırlık dizileri aşağıdaki şekilde kabul edilir:

$m = 6 - 10 \text{ t}$  Şehir içi tünellerde, büyük oranda hafif ağırlık taşıtları; dağıtım kamyonetleri ve otobüsler,

$m = 15 - 19 \text{ t}$  Normal ulusal karayolundaki Karayolu Tünelleri,

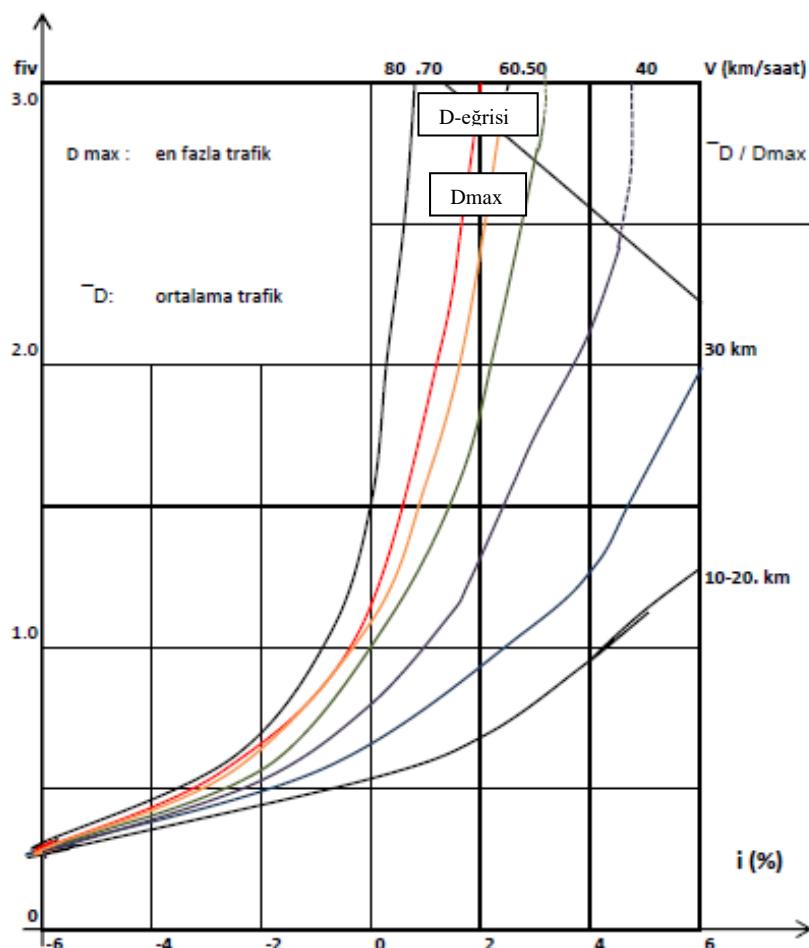
$m = 20 - 30 \text{ t}$  -Ulusal yükleme sınırlarına uyulan, yüksek oranda tam yüklü kamyonların mevcut olduğu, ana taşıma ağında olan tüneller.

### Dizel araçlar için eğim ve hız faktörleri:

- Yukarı doğru eğimdeki yoğun ve durağan trafikte, duman kiri yayılımı artar, daha önce düşünüleninden daha yüksek seviyede ve ortalamadan fazla yayılma katkı verir.

- Genel eğilim, yüksek hız ve kısa sürede ivme kazanma için tam dolu yük kamyonların motor güçlerinin artmasını gerektirir. Daha yüksek eğimlerde hız limit eğrisini ( $D_{max}$ ) eğrisine yaklaşır.

$D_{max}$  eğrisi



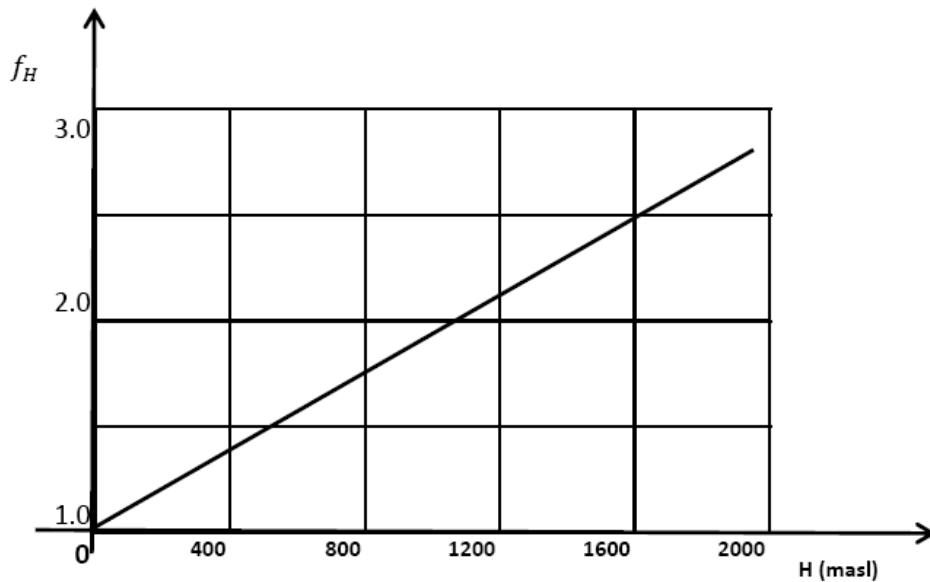
Eğim ve hız'a bağlı olan faktör

-  $D_{max}$  (maksimum trafik yoğunluk eğrisi) gösteriyor ki eğim arttıkça ve hız arttıkça her bir yol hattındaki araçların duman yayılımı çok yoğun etki yapmaktadır, ama hız azalınca bu miktar azalmaktadır.

- Eğer geçiş şeridi varsa veya güçlü kamyon araçları genelde trafige ekseriyette ise D- eğrisi uygulanabilir ( Ki maksimum motor gücü için ortalama 10 HP / t (beygir gücü) ton başına ..)

### Dizel Kamyonlar için Yükseklik faktörü:

Hali hazırda yüksekliğin duman yayılımının değişik etkisi olmasının konusunda ek bir görüş mevcut değildir. Benzinli ve dizel araçların yüksekliğe göre yayılımı aşağıdadır:



Dizel motorlu kamyonlar için yükseklik faktörü

### İzin verilebilen görüş limitleri

Müsaade edilebilen görüş limitleri tablosu:

Tünel Tipi:	$K_{max}$ en yoğun(pik) trafikte ( $m^{-1}$ )
Yoğun hızlı trafiği olan şehir tüneli....	0,005
Uluslararası yolda şehir tüneli..	$V= 60\text{-}80 \text{ km/h}$ $V=100 \text{ km/h}$
	0,0075 0,005

Görüş katsayısı K yoğun trafikte düşürülebilir ve K – değeri  $0,009 \text{ m}^{-1}$  değerine artırılabilir, fakat yerleşim yeri (şehir) tünellerinde  $K= 0,0075 \text{ m}^{-1}$  in üstünde olamaz. Eğer K değeri  $K = 0,012 \text{ m}^{-1}$  değerine erişince tünel hemen kapatılmalıdır. Tünel içinde bakım çalışması yapılıyorsa K değeri  $K= 0,002$  ile  $0,003 \text{ m}^{-1}$  arasında olmalıdır.

### f-) Acil Yangın Durumunun Şartları

Tünellerde yangın ara sıra nadiren olmakla birlikte, eninde sonunda olması ihtimaline karşı gelişmiş operasyon planının içinde daima göz önüne alınmalıdır. Tünelde yangın olması anında kayıtlı kontrol sistemi derhal otomatik olarak açılmalı ve bu işlem normal operasyondan acil yangın operasyonuna kadar her şartlarda devrede olmalıdır.

İlk aşamada kesitteki normal hava fanları operasyonları yangının olduğu yerde durdurulacak veya hava akımının hızı saniyede iki metrenin altına düşürecek şekilde aşağıya düşürülecektir. Taze hava temin fanları durdurulacaktır. Sonra acil fanlar çok yüksek kapasitede olarak bol miktarda ve yüksek hızda yangını önleme programına göre çalışacaktır.

### **1.3. HAVALANDIRMA SİSTEMİ**

#### a.) Genel

Havalandırmanın amacı; tünel içerisinde taze hava temin ederek tünel içindeki zararlı dumanları katlanılabılır (tahammül edilebilir) bir miktara çekmek için azaltma işidir.

Ayrımlı veya seçim doğal veya mekanik havalandırma işleri arasında yapılabilir

#### b.) Doğal Havalandırma:

Her tünelde bir miktar doğal havalandırma vardır. Bu tünelin iki baş portal yerinin açık da olsa meteorolojik basınç farkından doğar veya tünelden geçen araçların piston etkisi veya baca etkisi

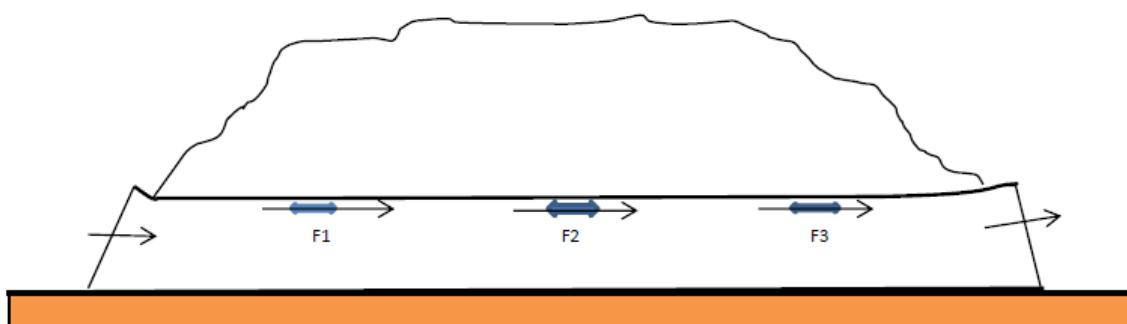
nedeniyle olur. Doğal havalandırmanın yeterli olup olmayacağı kararını, trafik hacmine, tünel uzunluğuna, yolun eğimine ve meteorolojik durumuna bağlıdır.

Çok kısa tünellerde normal şartlar altında havalandırma yeterlidir. Fakat günlük trafik birkaç yüz adet aracı geçerse, uzunluğu da birkaç km yi bulursa mekanik havalandırma olmadan bu tünelde seyahat etmek imkansız olur. Havalandırma sadece çok düşük miktarda meydana gelmiş zehirli dumanların seyreltilmesine yeterli olabilir. Ama zararlı gazları doğal havalandırma seyreltemiyorsa bu sınırdan sonra mekanik havalandırma kurulması gerekecektir.

### **c.) Mekanik Havalandırma:**

#### **c.1-) Jet Fanlar ile Boyuna Havalandırma:**

Boyuna havalandırma sisteminde taze hava tünel girişinin (portal) birinden getirilerek tünele basılır. Bu boyuna havalandırma sistemi; düşük maliyetli kurulması ve yapımı olduğu için mekanik havalandırma sisteminin en ucuz sistemidir. Boyuna hava akımını tesis etmek için, tünellerin tavanlarına veya yan duvarlarına fanlar yerleştirilir. Fanlar tünel ekseni boyunca taze havayı içeriye alır veya dışarıya daha yüksek hızda üfllerler. Bu jet fanlarda gelen itme gücü tünel içindeki havaya aktarılır. Fanlar genellikle iki yönde çalışabilir olarak yapılmıştır, havanın akımını bir yönden diğer tarafa çevirebilmesi, yani diğer yöne hava akımı verebilmesi için fan üflemeleri değişimle mümkündür. Bu durum doğal havalandırmanın da fan havalandırmamasına aynı doğrultuda hava üfleme imkanı işlemeye yarar. Hava kirliliğinin artışı doğrusal olarak gelişir. Bu tip havalandırma hava hızı 8-10 m/saniyeyi geçince kullanılmamalıdır. Hava akımının yüksek hızlarında araçlarını terk edecek kişiler boyuna akım tehlike



**Jet fanlar ile Boyuna havalandırma**



yaratır.

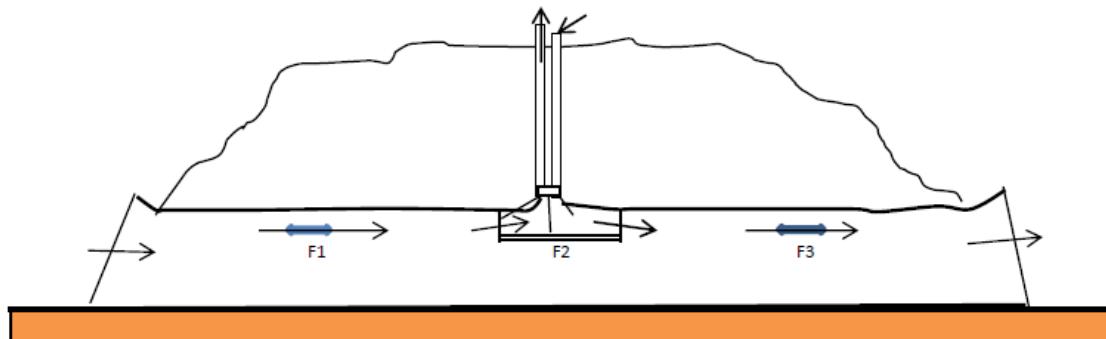
#### **c.2-) Jet Fanlarla Bölünmüş Boyuna Havalandırma Sistemi:**

Bu sistemde, tünel içindeki hava belirli bölgelere ayrılır. Eksoz gazları kendine yakın şafttan veya yaklaşım tüneli çıkışında dışarı atılır, taze hava ise belirli şaft veya galeriden içeri alınır. Dışarı atılacak hava veya içeri alınacak hava tünel içinde birbirine paralel tüplerde de taşınabilir. Bu sistem jet fanlı boyuna havalandırma sisteminin avantajıdır. Aynı şaft veya tüp içerisinde hava taşimanın **birinci şartı** tünel içindeki hava hızının 8-10 m/saniyenin altında olmasını temin etmek olmalıdır.

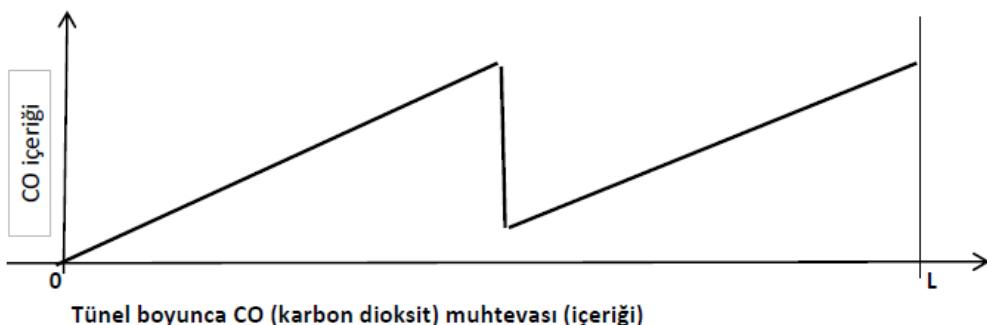
Hava kirliliğinin dağılımı testere dışı karakterindedir. Temiz hava içeriye üflendiğinde kirlilik yoğunluğu keskin olarak hemen aşağıya çöker.

Japonlar elektrostatik çöktürücü sistem geliştirdi ve uzun yol tünelleri için boyuna havalandırma ile birlikte kullanıyorlar. Bu elektrostatik filtreler eksozdan çıkan zerreleri yüzde 70 ile 80 civarında kısmını çökeltiyor, fakat zehirli yayılım olan CO, NO, HC gibi gazlar için etkili olamıyor. Bu tip filtrelerin yapım ve bakım maliyeti oldukça yüksektir. Her bir filtre istasyonu fan gurubu ve yardımcı

elektrik sistemi dahil bir dışarı atma tüneli ister. Filtreleme istasyonlarının kurulma mesafe aralığı ise ortalama 600 – 1000 m civarındadır.



**Jet fanlar ile Boyuna Bölünmüş olarak havalandırma**

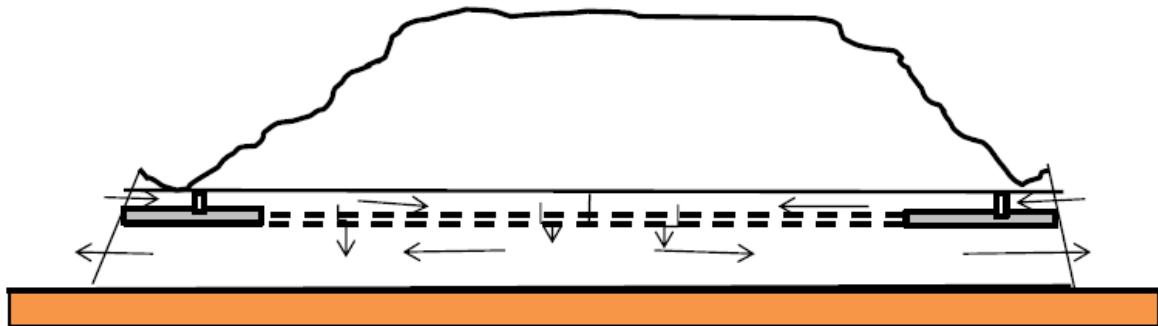


Avrupa ve Japonya'da ki tünellerde arazi deneyimleri ve son çalışmalar tek yönlü trafik ile tünelden geçilmesi(yani iki tüplü, biri gidiş, diğerini geliş) halinde; yangın şartlarında dahi, boyuna havalandırma sistemi daha yüksek seviyede emniyetli olmaktadır. Yangın sebebiyle soyutlanmış bağımsız bölgedeki sıcak gazların ve dumanın akışı, blok olarak tayin edilen yerde ve daima boş olan tünelden dışarı atılır. İlaveten; paralel olarak yapılmış tünel tüpleri, birbirine geçiş koridor tüneli yapımı sayesinde çok iyi kaçış imkanı sağlar.

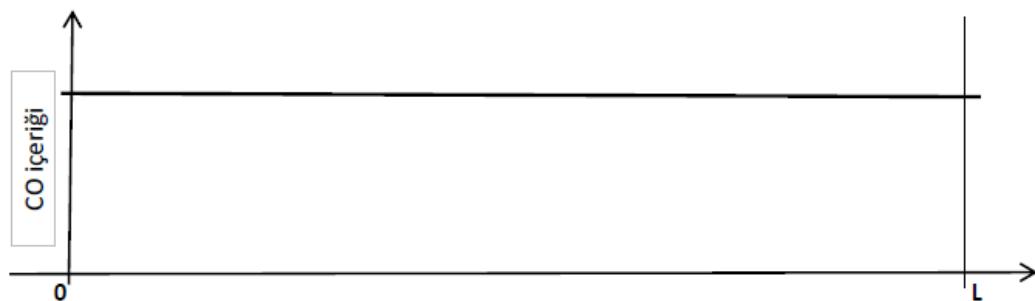
### **Yarı enlemesine Havalandırma sistemi**

Eğer tünelin her yerinde kirlilik aynı ise, tünel aksı boyunca birkaç metrede (örneğin 5- 8 m civarı) taze hava tünele verilmelidir. Bu iş ancak ana tünele paralel bir kutu hava kanalı (duct) yapımı ile sağlanır. Bu hava kanalının tünel tavanında veya tavanında olması önemli değildir. Hava tünelin enlemesine her açılan pencerelerden üflenmelidir. Eksoz gazları bu gelen havanın etkisi ile boyuna doğrultuda tüneli terk edecektir. Bu sebeple bu sisteme yarı enine havalandırma sistemi denilmektedir.

Fanlar genellikle iki tarafa çalışabilir olmalıdır. Bu fanlar içerisindeki kirli havayı çıkışma işinde de kullanılabilmeliler. Bu bize, tünelin ortalama her 6 (altı) metreden yanın nedeniyle oluşacak dumanın, kir vaseirenin devamlı olarak dışarı atılabilmesini sağlar.



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan Enlemesine Havalandırma



Tünel boyunca CO (karbon dioksit) muhtevası (içeriği)

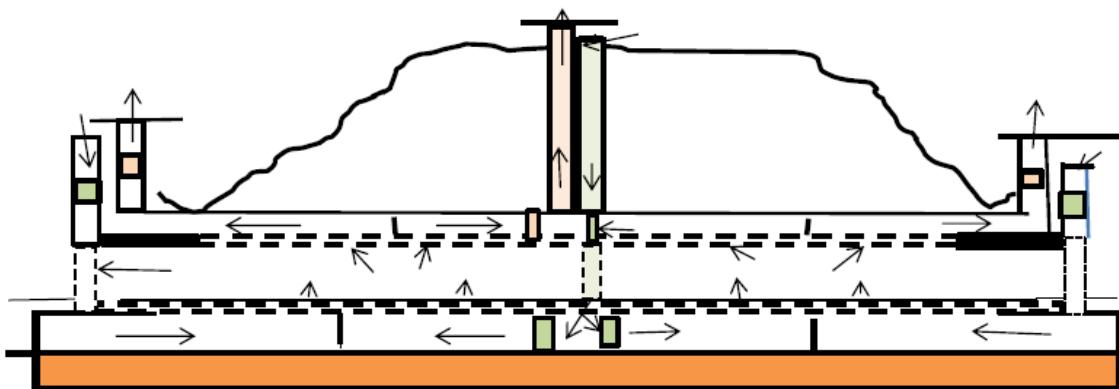
Yarı enlemesine havalandırmanın avantajları yüksek yapım maliyeti yüzünden askıya alınmaktadır. Bu inşaattın gereği ikinci tüp demek daha büyük kazı ve daha fazla harcama, ikinci tavanı oluşturmak ise ayrı bir ek masraf gerektiriyor. Bir önce anlatılan boyuna havalandırmanın işletme masrafından da bu sistemin işletme maliyeti fazladır. Bu sebeplerle yarı enlemesine havalandırma sistemi nadiren kullanılmaktadır.

Boyuna havalandırma hızı 8-10 m/ saniyeye ulaşınca yarı enlemesine havalandırma sisteminin limite erişmiş olunur. O zaman eksoz gazlarının seyreltilmesi gereklidir.

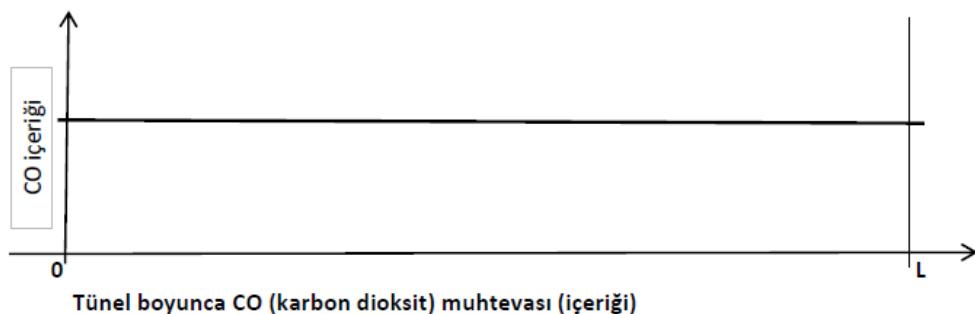
#### Enlemesine Tam havalandırma sistemi:

Bu tip havalandırma sisteminde hem taze hava kanalı (duct), hem de eksoz havası için kanala ihtiyaç vardır. Bu hava kanallarını tünel trafik platformu altında veya üstünde olması önemli değildir. Taze hava kanallardan tünel aksına doğru üflenir ve aynı kanallardan eksoz gazı enine doğru emilip dışarı atılır. Bu işlem gereğine göre yön de değiştirir. Bu sebeple yapılan bu tip havalandırma şecline enine havalandırma denilmektedir.

Enine havalandırma aynı anda dumanın seyreltilmesini de sağladığı ve yolculara taze hava üfleneceği için yanık halinde çok yüksek derecede emniyetlidir. Bu sistemin yapılması ve işletilmesi her şeye rağmen pahalıdır. Yüksek derecede kazı masrafı gerektiren iki boyuna menfeze (box, duck) ihtiyaç vardır. Eksoz gazını ve taze havayı ayırmak için aralarına duvar yapılan ikinci bir tünel tavanı gerektirir. (Aşağıdaki şekilde)



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan **Enlemeden Tam** Havalandırma



### **HAVALANDIRMA İÇİN GEREKLİ HAVA MİKTARININ TESPİTİ:**

Tünel içindeki havanın yolcular için emniyetli hale gelmesini temin için:

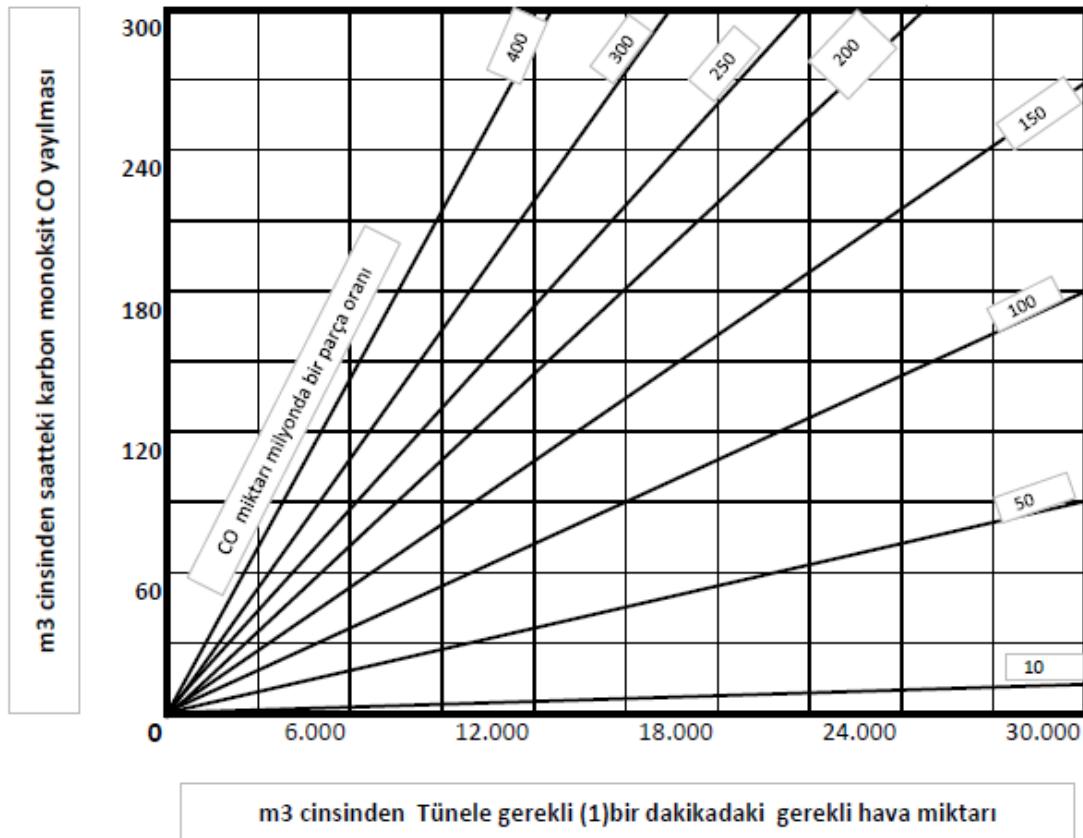
- a.) O tüneldeki koşullara göre meydana gelen CO miktarının tespiti gereklidir
- b.) Bu miktar:
  - b1.) Araçların sayısına
  - b2.) Araçların cinsine
  - b3.) Yolun eğimi ve tünel yerinin yüksekliğine,
  - b4.) Araçların Hızına bağlıdır..

Araçların CO ve  $CO_2$  ve diğer gazlar salımı araç kataloğuunda verilmektedir.

Bu normal şartlar değerlerini yukarıdaki tablolarda gösterilen yolun eğimi, yüksekliği ve araç hız durumu faktörlerini de ekleyerek hesap edilirse yaklaşık kirlilik miktarı ve kirli gaz hacmi ortaya çıkar.

Bu kirlilik hacmi aşağıdaki grafik görülen seçme değeri örneğin 150-250 ppm (milyonda bu kadar) değeri ile kesişirse o tüneldeki hava gereksinimi ortaya çıkar.

Piyasada tünel fanlarının kapasite ve güçleri mevcuttur. Emniyetli tarafta olan fan gurubu buradan bulunabilir.



m<sup>3</sup> cinsinden Tünele gerekli (1)bir dakikadaki gerekli hava miktarı

#### HAVA AKIŞ DİYAGRAMININ SON ŞEKLİ

Tekrar hatırlatalım CO seyreltilmesi için gerekli hava miktarı aşağıdaki formülle verildi:

CO seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı, kendini etkileyen çeşitli faktörlerin fonksiyonu olarak şöyle gösterilebilir:

$$Q_F = f \left( \frac{q_{CO} \times f_Y \times f_I \times f_H \times D_{pc}}{CO_{Im}} \right)$$

Burada;

- $Q_F$  : Taze hava miktarı gereksinmesi ( $m^3 / s, km^3$  şerit)
- $f_Y$  : Birim otomobil CO emisyon miktarı ( $m^3/h, oto$ )
- $f_I$  : Hız faktörü (-)
- $f_H$  : Tünelin inşa edileceği yerin deniz seviyesinden yükseklik faktörü ( - )
- $D_{pc}$  : Kilometre-şerit başına otomobil sayısı ( oto/km, şerit )
- $CO_{Im}$ , : İzin verilen maksimum CO yoğunluğu ( ppm CO )

Bir başka ifade ile;

- \* Birim otomobil CO emisyon miktarı ( eski model ve motoru ayarsız araçlarda daha çok ),
- \* Araç hızı,
- \* Rampa çıkışlarında tünel eğimi,
- \* Deniz seviyesinden yükseklik,
- \* Trafik yoğunluğu,

## 2. RAYLI SİSTEMDE TÜNEL VE İSTASYONLARIN HAVALANDIRILMASI

Raylı sistemler yeraltında hat veya istasyon şeklinde olabilir.

Raylı sistemeler elektrik enerjisi ile çalıştığı için hat tünelinin normal şartlarda havalandırılması gerekmekz.

İstasyonlarda raylı sistem aracına binecek ve inecek kişilerin istasyon içindeki konforunu sağlamak için:

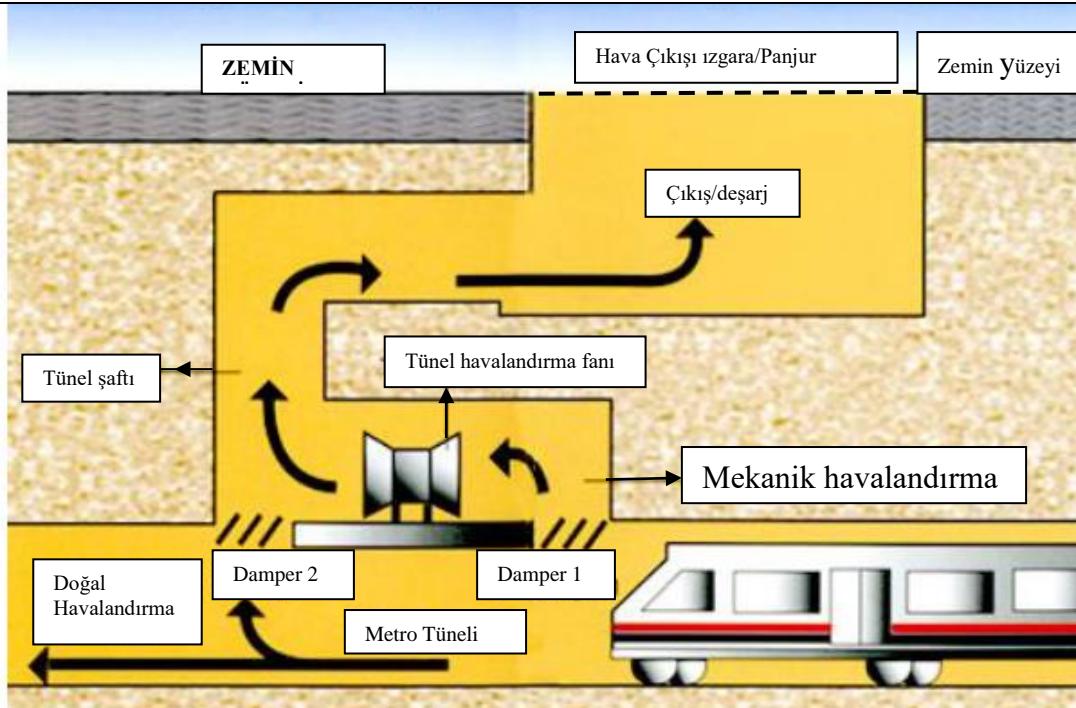
1) Normal havalandırma ve yangın felaketi olması durumunda ise

- 2) Acil havalandırma gereksinimi vardır.  
 3) Ayrıca bilet holü katlarında da o bölgedeki konforu sağlayacak o bölüme yetecek kapasitede havalandırma tesisi kurulmalıdır.

Aşağıda istasyon tüneli boy kesitinde çalışan havalandır şekline ait bir örnek görülmektedir:

- 1.) OTE fan: Trene binilen platformun bulunduğu tünelin hava kirliliğini düzenleyen fan yaklaşık örnek olarak İzmir metro istasyonlarını gösterirsek 50 m<sup>3</sup>/saniye yani saatte 180 000 m<sup>3</sup> hava basma kapasitesinde olmalı ve havanın gereksinimine göre fan yönü değişken tip (reversible) olarak yapılmış olmalıdır. Hat boyu kirli havası baca ve şaftlar vasıtası ile yer yüzeyine atılır, gerekli ise oradan taze hava platforma şaftın diğer bölümünden getirilir. Fan gücü yaklaşık 75 kW tır.
- 2.) TVF fan: Tünel Acil Havalandırma Fanı: Platform tüneline bağlı herhangi bir yangın olması halinde acil olarak yanık simülasyon programına göre devreye girecek yüksek kapasiteli fandır. Bu fan içerisindeki insanların emniyetli bir şekilde yanın yerinden uzaklaşması için gerekli taze havayı sağlamakla birlikte ortamdaki yoğun yanın dumanını da uzaklaştıracaktır. Onun için kapasitesi yüksektir. Yaklaşık 100 m<sup>3</sup>/saniye ortalama 250 000-360 000m<sup>3</sup>/saat miktarda havayı temin edecek güçte 200 kW civarında olmalıdır.  
 Bu fanların nasıl kumanda edileceği ayrı bir kullanım yönetmeliği ile işletmelere verilir, işletmeden evvel de tatbikatı yapılır ki ileri de ikim taraf katarının da istasyonda olması halinde yaklaşık 3000-4000 yolcu bulunıldığı zamanlarda insanların nasıl hareket edeceğini öğrenilmelidir.
- 3.) Gişe Katı Acil havalandırma fanı: yaklaşık 17 m<sup>3</sup>/saniye (60 000 m<sup>3</sup>) saat kapasitelidir ve gişe katının konforu ve acil durumları için tesis edilir. Fan gücü yaklaşık 22 kW tır. Tüm fanlar ne kötü yanın şartlarına ( 250 dereceye 1 saat, 180 dereceye 3 saat dayanmalı) en az bir (1) saat dayanıklı olacak şekilde korumalı olacak ve o evsafat malzemeden yapılmış olacaktır.

#### METRO TÜNELLERİNDE DAMPER SİSTEM İLE TİPİK HAVA TAHLİYE



## **METRO AC-KAPA İSTASYONU EN KESİT ÜZERİNDE HAVALANDIRMA ŞEKLİ GÖSTERİLMESİ**



## **8-TÜNEL HAVALANDIRMA KARAYOLU TÜNELLERİ**

Tünellerde işletme ve inşaat sırasında olmak üzere iki türlü havalandırma tesisi hesap ve projelendirilmesi vardır. Bu bölümde tünellerin işletme sırasında tünel projelendirilmesi anlatılmaktadır. İşletme sırasında gerekli havalandırma tesisleri kalıcıdır.

Tünellerin projelendirilmesinde en önemli konulardan biri tünel havalandırılmasıdır. Bu iş tünellerde motorlu araçların sayısının artarak sebep olduğu gaz ve toz yayılmasının insan sağlığı ve konforuna zarar verdiği son 100 yılda dikkate alınmıştır.

Tünelin havalandırılması (vantilasyon) bu tünel yapısının hangi tür tünel (araç geçişi tüneli, raylı sistem tüneli veya hızlı ulaşım tüneli) olması koşullarına göre değişir ve bu projenin yapımından evvel bilinmesi gereklidir.

### **8.2 Yol Tünelleri**

#### **2.1 Tanımı:**

Tünelden geçen araçların içten yanmalı motorları yanma sonucu çevreye zararlı atıklar yayar. Bu zararlı ürünler tüneldeki bakım personelinin ve tünelden geçen yolcuların sağlığı için tehlikelidir. Oluşan bu atıkların ve zararlı gazların tünel ortamındaki oranının zarar verme sınırı altına düşürülmesi ve havanın atık oranının yaşanacak oran seviyesi altına inmesi ve seyreltilmesi tüneli havalandırmak suretiyle olur. Tünel havalandırma sistemleri de tüm uzun tünellerde CO, NO gaz seviyelerinin kabul edilebilir seviyede tutulabilmesi ve normal sürüş sırasında görüş mesafesinin düzgün ve emniyetli olması için projelendirilir. Bu sistem yangın olması durumunda dahi, duman akışının sağlanması, sıcak ve çok sıcak gazların insanlara zarar vermeden dışarı atılmasını sağlayabilmelidir.

Tünel havalandırması genelde 3 kriter sağlar:

- Tünel kullananlarının sağlık kriterlerine uygun seviyede tüneldeki araç eksoz gazlarının seyreltilmesi

- Tuneldeki hava kirliliğinin güvenli olacak şekilde ve yeterli seviyede tutulması
- Tunelde olabilecek yangınlarda çıkan sıcak gazların ve dumanın kontrol altında tutulması ve kişilere zarar vermeden uzaklaştırılması

Her bir konunun yeterli havalandırma sistemi projesi ve sistem seçimi için bu konularla ilgili özel giriş verilerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

## **2.2 Temiz Hava Gereksinimin Saptanması:**

Hesap usulünün ana prensibi, trafik şartlarını önceden görebilir ve bununla baş edebilir bir tünel havalandırma sistemi yapımıdır.

### **c. Araçların gaz yayması**

Bu konudaki eğilim, istenmeyen ve yayılan eksoz gazları ile zehirli hava miktarının azaltılmasının sağlanması yönündedir. Bazı ülkeler onlara ait gaz yayılması yasaları üzerine baskı yapmaktadır (zararlı gaz yayan araçların trafikten uzaklaşması gibi), ve diğer taraftan kabul edilen gaz yayılım seviyesinin düşürülmesi yoluna gitmektedirler.

**Araçların eksozlarından çıkararak yaydığı zararlı gaz miktarları**

Gazın Cinsi	Benzinli araçlarda (%)	Dizel araçlarda (%)
Karbon Monoksit (CO)	3,0000	
Karbon Monoksit (CO) maksimum		0,100
Karbon Monoksit (CO) ortalama		0,020
Karbon Dioksit ( $CO_2$ )	13,2000	9,000
Azot Oksitleri ( $NO_x$ )	0,0600	0,040
Kükürt Dioksit ( $SO_2$ )	0,0060	0,020
Aldehitler	0,0040	0,002
Formaldehit	0,0007	0,001

Önemli araç trafiğinin yoğun olduğu önemli tunellerde 5-10 yıllık belli aralıklarla alınmış gaz yayılma kontrol veri alımları mevcuttur. Bu kontrollerde tunelin ilk açıldığı zamandaki zararlı gaz yayılma miktarı ile bu zamanda ölçülen gaz yayılım miktarı birbirine oranlanır. Mevcut gaz yayılması için yapılan düzenlemeler; baskı ile dizel araçların gaz yayma koşullarının azalmasını ister ve böylece projelerde duman seyrelmesini ve taze hava ihtiyacının kontrol edilmesini sağlamaya çalışır. Kamyonlar güçlü araçlardır ve büyük motorlu olmaları nedeni olarak, yüklü olduklarında ve hızlı gittiklerinde daha çok zararlı gaz yayarlar. Diğer taraftan ise; tünel kullanan halk buradaki bulanık ve kokulu atmosferdeki yol bölümüne karşı çok hassastır, ancak bunun da belli seviyede tutulması ek masraf gerektirir. Tünellerdeki zararlı gaz ve görüşe mani olan toz ve buna benzer maddelerin havalandırma ile seyreltilmesi gereklidir. Aşağıdaki tablolar tünel havalandırılması öncesi ve sonrasında benzinli ve dizel araçların zararlı maddelerinin listesini ppm (milyonda) değeri olarak vermektedir:

**Benzinli Araçlar**

Gazın Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	30.000	200,00	50
Karbon dioksit	132.000	880,00	5000
Azot oksit ve dioksit	600	4,00	25 e 5
Kükürt dioksit	60	0,40	5
Aldehit	40	0,27	NA
Form aldehit	7	0,02	2

**Dizel Araçlar**

Gazın Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	1000	6,70	50
Karbon dioksit	90.000	600,00	5000
Azot oksit ve dioksit	400	2,70	25 e 5
Kükürt dioksit	200	1,30	5
Aldehit	20	0,13	NA
Form aldehit	11	0,07	2

#### **d. CO ve NO için yayılma faktörleri**

Dünya çapında yaşayanlar için PIARC 1983 de tünelerdeki gaz yayılması için aynı yayılma faktörünü önerdi. Bu güne kadar mevcut kullanılan gaz yayılma standartlarına ve kanunlara bakıldığından; Avrupa da bile olunsa bir çeşit veri takımı ile çalışmak zorlaşmaktadır. En gelişmiş yayılma kurallarından oluşan ve halen yürürlükte olan aşağıdaki gaz yayılma faktörleri de bu konunun denetimine yeterli değildir.

Tünel Havalandırmasının kabul göre 4 (dört) seviyesi vardır: (A, B, C, D gibi)

E. Standart

US federal sicil büro 48 FR 48607/117.10.83 / özel araçlar için

ECER 49 Kamyonlar için

Fasılalı gaz yayılma kontrolü

F. Standart

ECER 15/04 (2.2.82), R15/5 (1987) özel araçlar için (for p.c.)

ECER 49 kamyonlar için

Aralıklı olarak gaz yayılma kontrolü

G. Standart

ECE kuralları ile aynı B deki gibi

Fasılalı olarak gaz yayılma kontrolü

H. Standart

Etkin bir yayılma kontrolü yok

Araç sahipliğinin mevcut farklılıklarını dikkate alınan 1987 yılı içi 1,3 ve 4 No. lu tablo ile yayılma verileri deney ve genel tecrübelere dayanılarak verilmiştir.

Gelecek yıllar için veriler şunlara dayalı olmalıdır:

- Uygulanacak Standart tipi
- Araçlar hakkında geçmiş 10 yılda sahip olma tahmini ve tüm yıllara sırayet eden Yıllık yenileme oranı
- Araçların ömrü geçikçe %30 lara bölünmüş gruplar olarak hangilerinin daha fazla gaz yayılmasıaptığının araştırılması

#### **c.Karbon monoksit (CO) seyretilmesine dayalı temiz hava temini:**

Tünelerde taze havanın debisi ve ihtiyacı aşağıdaki formülle bulunacaktır.

$$Q_F = \frac{q_{CO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H}{3600} * D_{pc} * \frac{10^6}{CO_{lim}}$$

Bu formüldeki birimler aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

$Q_F$  = m<sup>3</sup> / saniye cinsinden gerekli taze hava miktarı (tünele km, hat ;m<sup>3</sup>/s, km,hat)

$q_{CO}^0$  = her bir yolcu aracı için müsaade edilen temel CO miktarı (m<sup>3</sup>/s, km, hat)

$f_v$  = hız faktörü (-)

$f_i$  = eğim faktörü

$f_H$  = o yerin denizden yüksekliği

$D_{pc}$  = km deki geçen araç sayısı ve şerit sayısı (pc / km, hat = M / V )

$M_{pc}$  = maksimum saatlik yolcu araç hacmi / her şerit için ( pc / h . hat )

V = Asıl sürme hızı ( km / saat (h) )

$CO_{lim}$  = en fazla izin verilen CO yoğunluğu (ppm CO) (milyonda bir)

**Yolcu aracı ve Kamyonlar için esas alınan CO (karbondioksit) Değerleri:**

Yolun kotu=deniz seviyesi kotu: 0,00; seyahat edilen yolun eğimi i=% 0,00; ve yolcu aracı hızı V= 60,0 km/saat olması halindeki araçlardan yayılan gaz (emisyon) miktarı:  $q_{CO}^0$  olarak belirtilmektedir.

Tablo havalandırma-1 de her bir gaz yayılma o yıl içindeki araç sayısı için değerlendirilmiştir. Arada bir zamanda gerekli değeri bulmak için doğrusal interpolasyon işlemi yapılır.

**TABLO Hav I**  
**Temel CO değerleri**

Standart <sup>1)</sup>	Gerçek durum		tahmini	$q_{CO}^o$	(m <sup>3</sup> /saat.pc)
	1987	1995			
A	0,6	0,2 <sup>2,3)</sup>	0,15 <sup>2,3)</sup>		
B	0,6	0,4 <sup>3)</sup>	0,3 <sup>3)</sup>		
C	0,8	0,7 <sup>3,4)</sup>	0,6 <sup>3,4)</sup>		
D	1-1,5 <sup>5)</sup>	1 – 1,5 <sup>5)</sup>	1-1,5 <sup>5)</sup>		

1-) Çok özel uygulamalarda; gerçek ulusal standart kontrol edilmeli, A-D listelerindeki değerlerden değişik olanları olabilir.

2-) 1987 başlarında US standartlarının zorlandığı ülkelerde

3-) Hali hazırda kendine has standardın korunduğu yerlerdeki tahminlere göre

4-) Gaz yayılma kontrol işinin sonradan tanıtıldığı zaman, B standartlarının değerleri alınmalıdır.

5-) Lokal mülk sahiplüğine göre adapte edilmelidir.

#### **Gaz yayılmasında Hız ve Eğim faktörü**

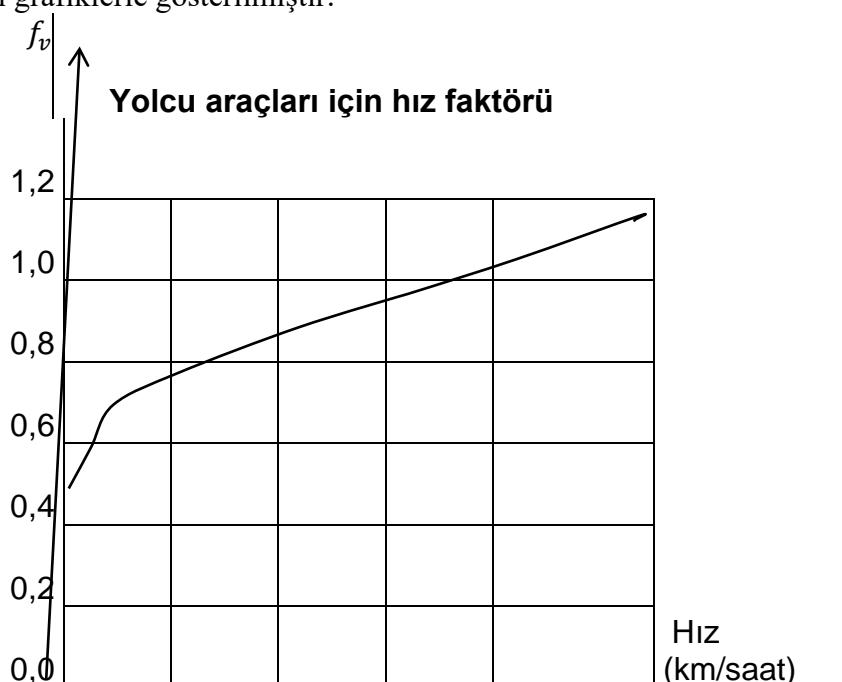
Yol tunelinin eğimi ve araçların hızı, gaz yayılma oranına çok büyük miktarda etkisi vardır.

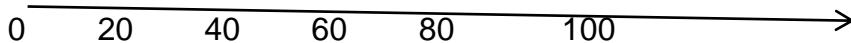
Yukarı doğru eğimde; artan yakıt tüketimi yine artan kirli gaz yayılması sonucunu doğurur. Aşağıya doğru eğimde yakıt tüketimi yatay yola nazaran azdır ve emisyonun miktarı azalmaktadır.

Diğer taraftan fazla eğimli yolda ise aşağı doğru eğimli yolda emisyon çok azalmakla beraber bu sırada fren yapmadan doğan az oranda da olsa zararlı gaz yayılması meydana gelecektir.

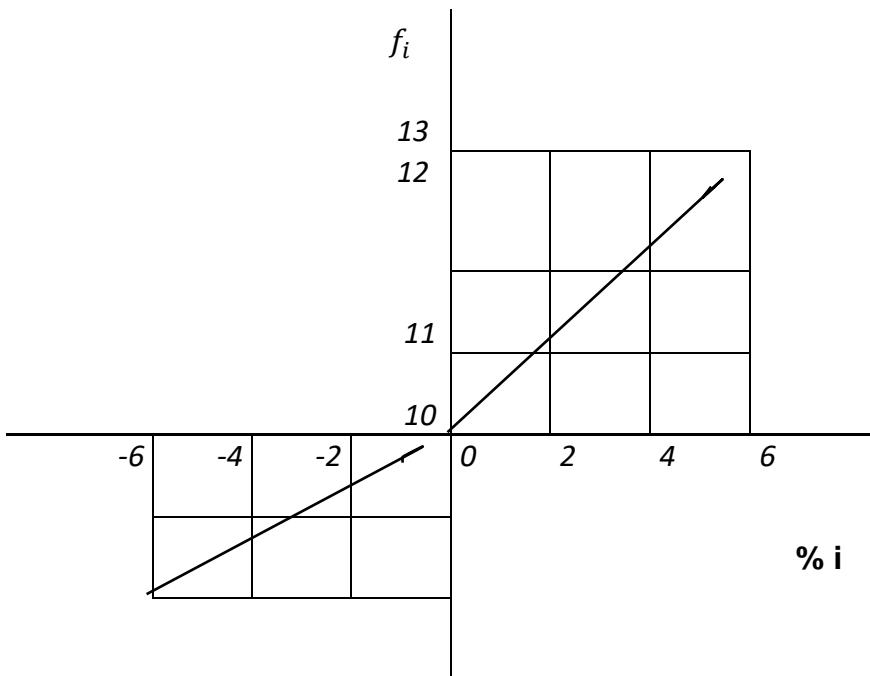
Aşağıda hızla bağlı emisyon faktörü  $f_v$  hav-1 de ve eğime bağlı emisyon faktörü de  $f_i$  hav

-2 deki grafiklerle gösterilmiştir:





Hav- I hıza göre emisyon faktör eğrisi



#### YOLCU ARAÇLARI EMİSYON İÇİN EĞİM FAKTÖRÜ

Hav-2

#### *Yolcu araçları için Yükseklikten ileri gelen emisyon (gaz yayılma) faktörü:*

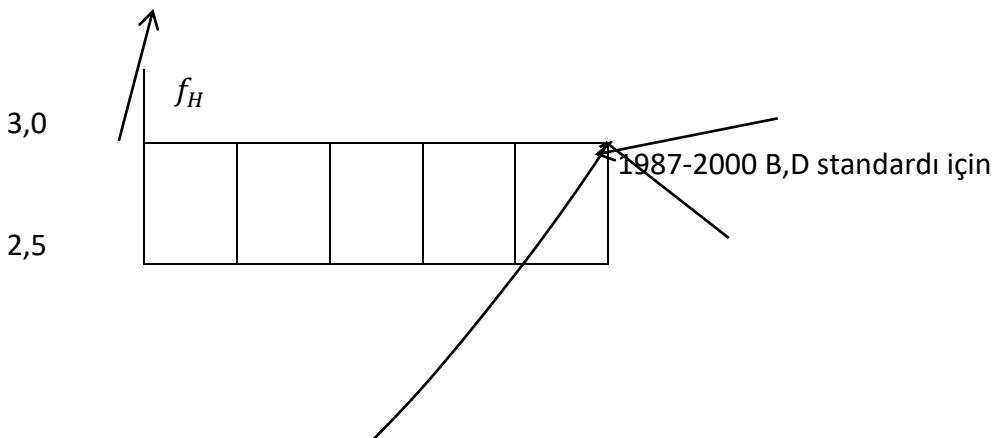
Yüksek rakımlı yerlerdeki yollarda, düşük hava basıncı ve düşük oksijen yoğunluğundan dolayı; ateşlemeli motorlarda hava ile karışan yakıt zengin karışım (yani yakıt bol hava az) haline dönüşür. Araçların hem yüklü olması ve hem de yüksek rakımlı yerlerde seyretmesi yakıt tüketimini artıracağı gibi iyi yanma olmadığından CO üretim ve salımı çok artar. Eğer karbüratörler deniz seviyesine göre ayarlı ise yüksek rakımlı arazi ve yolda o aracın gaz yayılma oranı yüzdesi artacaktır.

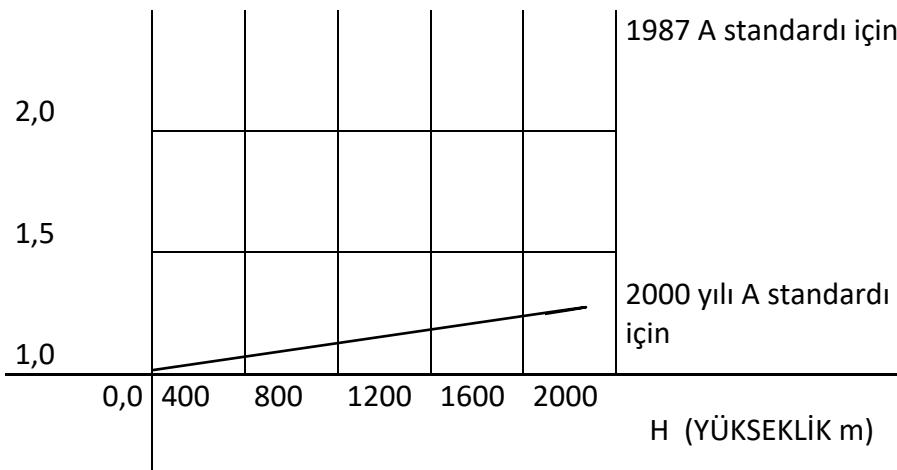
Dizel araçlarda da (yani hava sıkıştırılmış şekilde ateşlenen araçlarda) yüksek rakımda düşük basınçtan ve seyrek oksijenden dolayı zayıf oranda hava karışımı olur ve duman yayılması ve üretimi artar.

Tünel ortamında ve yüksek rakımdaki yollardaki dizel motorlardan gelen duman; özellikle motorların iyi durumda olmamasına ve bunların özenle ayar olmamasına bağlıdır.

Bununla birlikte A standarı olan ülkelerde hava kontrol sistemi hava basınç etkisini otomatik olarak dengeler, böylece yüksek rakımlardaki daha hafif olan yani oksijen ( $O$ ) bakımından zayıf olan havanın CO yayılmasına etkisi azalır.

Resimde Hav-3 de yükseklik faktörünün 2000 yılına ait değerleri verildi, daha önce ve sonraki yıllara göre değer hesabi interpolasyonla yapılabilir.





**Yolcu araçlarının arazi yüksekliğine göre emisyon faktörü**

**Resim Hav-3**

**Trafî**

**k**

**Yoğunluğu:**

Trafik araç bileşimi, trafik yoğunluğu ve hacmi, tünel içinde CO yayılması ile doğrudan bağlantılıdır. Bu durum dikkate alınarak

bilgilerin değerlendirilmesi, en uygun trafik hacmine göre projelendirme, bu değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Taşıt yolunun en fazla (maksimum) kapasitesi, tünelin yeri ve şerit genişliği gibi diğer faktörlere göre tünel havalandırma projesi için pik (en fazla, yoğun) proje değerleri uygun olarak kabul edilmeyebilir. Yani yolun maksimum kapasitesi olarak pik zamanlardaki trafik yoğunluğu alınarak tünel için havalandırma hesabı yapılmayabilir ( çünkü tam ekonomik olmaz ).

### **İzin verilebilen CO yoğunluğu ( derisi, kesafeti):**

Tünelde seyahat eden yolcular her şeyden önce sağlıklı olmayan atmosfere maruz kalmamalıdır, fakat dizel araçların da duman ve isi bu konu için seyreltilmiş olması gereklidir.

Birkaç yıl öncesine kadar tüm kriter CO yoğunluğu 250 ppm (milyonda) idi. Bu günün görüşü kamyon sayısının artması ve dizel araçların çoğalması nedeniyle CO yoğunluğu ile birlikte tüneldeki is ve dumanın da ölçülmesi gerektidir.

Bu günde son görüş tünelde kabul edilebilir hava kalitesi için CO miktarının 100 – 150 ppm altında olmasının sürekli olarak tutulması gereklidir.

A, B standartlı ülkelerde A kriteri CO için 100m ppm adapte edilebilir, fakat bazı ülkeler C standartında da ağır ve tikanık trafik için daha düşük limitler kabul edebilir. Diğerleri CO kesafeti için 2000-250 ppm ye izin verilebilir.

Başka koşulların kabul sınırında ise CO 200-250 ppm değeri kabul edilebilir.

Bu CO limitleri ile birlikte diğer zararlı eksoz gazları örneğin NO (Azot monoksit) de yeterince seyrekleştirilir ve zararlı etkisi de azalmış olur.

NO gazının etkisi uzun sürede anlaşıldığı halde CO gazının süratle etki eden durumu mevcuttur. (örnek: 250 ppm yoğunlukta CO gazı içinde bir (1) saat bulunmak insanda hemen hafif baş ağrısı yapar ve bu baş ağrısı hemen geçmez.

**Önerilen CO gazı emisyon seviyeleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:**

**Tablo : Pik trafikte CO limitleri**

Tünel Tip	Düzungen akan trafik hali ( CO; ppm )	Karışık hatta durağan trafik hali ( CO; ppm )
Yerleşim Yeri Tüneli ( kapasitesi-tam kullanma)		
Günlük karışık..	100-150*	100-150*
Bazen karışık	100-150*	250
Şehirler arası yolcu tüneli (karayolu-dağ)	150	250

Not : \* C ve D standartı sahaları için

### ***d-) NO<sub>x</sub> emisyonları (azot oksitleri gaz yayılmaları)***

Birçok ülkede, çevredeki NO<sub>2</sub> gazının uzun ve kısa vadedeki seviyelerini esas alan kirlenmiş tünel havasının etkisini ortaya koymak bir çeşit uygulamadır. Tünel havalandırma sistemi bu ihtiyaçların bulunması için ayarlanması veya değiştirilmesi gerekmektedir.

### ***NO ve NO<sub>2</sub> gazının dönüşüm oranları:***

Araçlar tarafından yayılan NO<sub>x</sub> gazları genelde NO (karbon monoksit) gazi içerir, ama atmosferde O<sub>2</sub> (oksijen) alarak yani oksitlenerek çok daha zehirli olan NO<sub>2</sub> gazi haline dönüşür.

NO muhtevası (ichernesi) tarafından tesir eden dönüşüm oranı; çevre sıcaklığı ve gün ışığının yoğunluğuna bağlıdır, bu sebeple değerler ancak ortalama verilebilir.

Tünel çıkış portallarındaki ölçümler, hacimsel dönüşüm oranlarının % 5 ile % 10 arasında olduğunu göstermektedir, birkaç km lik daha uzun tünelerde bu oran % 20 ye kadar yükseleniyor.

NO<sub>2</sub> (azot dioksit) yayılımının değerlendirilmesi için, tünel çıkış portallarında hacimsel oranın % 30 – 50 arasında olabileceği kabul edilebilir.

Tünel havalandırma şaftından yayılan tünel havası zemine deðmeden evvel atmosferde uzunca bir süre kalır. Bu durumda hacimsel dönüşüm oranı % 60 kabul edilebilir.

### **Gazların formül, molekül gramı ve 1 m<sup>3</sup> teki ağırlıkları**

<u>Gazın Adı</u>	<u>Formülü</u>	<u>Molekül gramı</u>	<u>Kg/m<sup>3</sup></u>
<i>Karbon monoksit</i>	<i>CO</i>	<i>28,01</i>	<i>1,165 – 1,250</i>
<i>Karbon Dioksit</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>44,01</i>	<i>1,842 – 1,977</i>
<i>Azot oksit</i>	<i>NO</i>	<i>30</i>	<i>1,249</i>
<i>Azot dioksit</i>	<i>NO<sub>2</sub></i>	<i>46,06</i>	<i>1,800-1,900</i>
<i>Hava</i>	<i>(% 78 N<sub>2</sub> ve % 21 O<sub>2</sub>)</i>	<i>29</i>	<i>1,205-1,293</i>
<i>Hidrojen Sülfür</i>	<i>H<sub>2</sub> S</i>	<i>34,076</i>	<i>1,434</i>

### **NO<sub>x</sub> (azot oksitleri) nin Özgül Ağırlıkları:**

NO ile NO<sub>2</sub> arasında dönüşüm oranları hacimsel temele dayalı olarak verildiği gibi, NO gazi yayılımının da tek başına hacimsel dönüşüm temeline dayalı olarak verilmesi tercih edilebilir. Bununla birlikte çevresel etkisini ortaya koymak için ağırlık birimi kullanmak adettendir. Bu miktarlar hava sıcaklığı ve hava basıncı şartlarına bağlıdır.

Ortalama özgül ağırlıklar:

$$1 \text{ m}^3 \text{ NO gazi} = 1,2 \text{ kg / litre ve } 1 \text{ ppm NO} = 1,2 \text{ g / m}^3 \quad 1 \text{ ppb NO} = 1,2 \text{ mgr / m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ NO}_2 \text{ gazi} = 1,9 \text{ kg / litre ve } 1 \text{ ppm NO}_2 = 1,9 \text{ g / m}^3 \quad 1 \text{ ppb NO}_2 = 1,9 \text{ mgr / m}^3$$

### **NO (azot oksit) emisyon (gaz yayılması Hesapları:**

NO gazi yayılması CO gazi yayılması ile aynı parametrelerde tesir gösterir.

Bu sebeple aynı hesap usulü buna da adapte edilebilir:

$$Q_{NO} = q_{NO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H$$

$Q_{NO}$  = NO gaz yayılımının (emisyon) miktarı (m<sup>3</sup> / saat, personel aracı)

$q_{NO}^0$  = temel değer NO gaz (emisyon) yayımı araç başına

$f_v$  = Araçların hız faktörü (-)

$f_i$  = Yolun eğim faktörü

$f_H$  = Yol ve aracın bulunduğu **yüksekliğin** gaz yayılması faktörü

### **Temel NO gazının yolcu taşıtları için değerleri :**

NO gazının yayılma (emisyon) kuralları; etki bakımından aynen CO gazının emisyon kuralları gibi olduğundan, CO için daha önce anlatılan biçimde standart klasları olan A-D NO (azot oksit) için de kullanılabilir.

Temelde NO emisyonu yolcu araçları için v = 60 km / saat hız, i = 0 % eğim ve rakım olarak da deniz seviyesi için aşağıdaki tablo verilmiştir:  $q_{NO}^0$  = ( m<sup>3</sup> / saat, yolcu aracı )

<u>Standart<sup>1)</sup></u>	<u>1987</u>	<u>1995</u>	<u>2000</u>
A	0,06	0,03 <sup>2,3)</sup>	0,02 <sup>2,3)</sup>
B	0,06	0,04 <sup>3)</sup>	0,03 <sup>3)</sup>

C	0,06	0,05 <sup>3,4)</sup>	0,04 <sup>3,4)</sup>
D	0,06	0,06	0,06

### **Yukarıda: Temel NO değerleri Tablosu aşağıda ek notlar:**

- 1) Kendine özgü uygulamada, verilen A-D standart değerleri verildiğinden beri ayrı bir durum meydana gelebilir, o vakit gerçek ulusal değer kontrol edilmelidir.
- 2) 1987 yılı başlarından beri Amerikan (US) standartlarının zorlandığı ülkelerde uygulanmaktadır.
- 3) Belirli özel standartların yürürlükte olduğu yerlerdeki ön kabullerdir.
- 4) Sonraları gaz yayılması gözlendiğinde B standart değerleri dikkate alınmalıdır.

#### **Yolcu araçları için Hız (v)faktörleri**

0 ile 80 km/saat arası hızlar için önerilen doğrusal grafik şekilde belirtildi:

#### **Yolcu araçları için Eğim( i) faktörleri:**

Yolcu araçlarının seyrettiği yolun % (-)6, 0, ve (+)6 eğimlerine göre oluşan eğim faktör değerleri doğrusal bağlantılı olarak grafikte gösterilmektedir:

#### **Yolcu araçları için Yükseklik (H) faktörleri:**

Yükseklik faktörü ekseri teknik ekipman ve motor durumuna bağlı olarak etki eder. Daha önceki raporlarda verilen NO yayılımının NO gazı yayılımının yolcu aracı ve yük kamyonu arasındaki daha alçak kottaki farklılıklar, tüneldeki bu yükseklikteki saha ölçümlerinin analizlerinde de geçerlidir. Bu faktör değerleri için aşağıda verilen grafiklerin doğrusal (lineer olarak) kullanılması önerilmektedir:

Kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı derişimi:

Örnek olarak Japonya da kabul edilebilir NO gazı kesafetinin havadaki miktarı limiti; 25 ppm NO ( $30 \text{ mg/m}^3$ ) olarak verilmiştir. Fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini kontrol edemez.

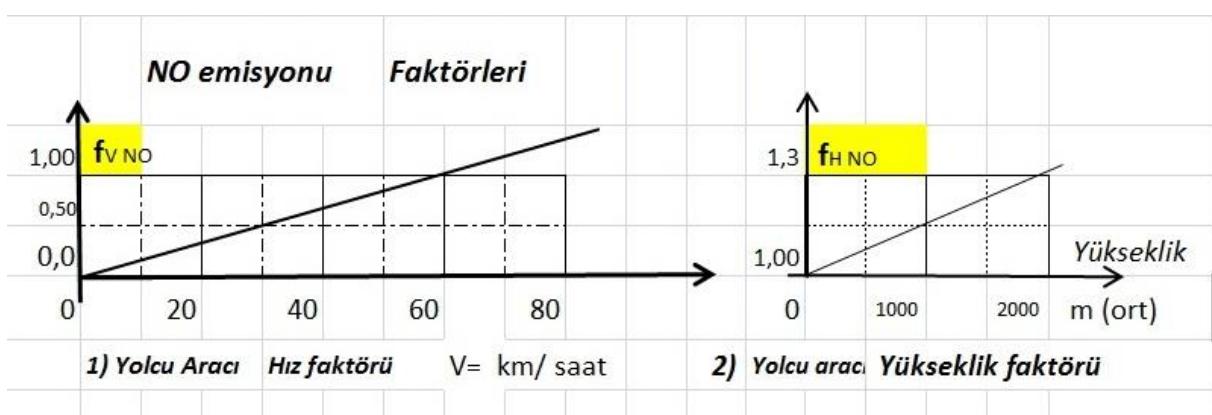
#### **Kamyonlar için NO (azot oksit) gazı yayımı (emisyon) :**

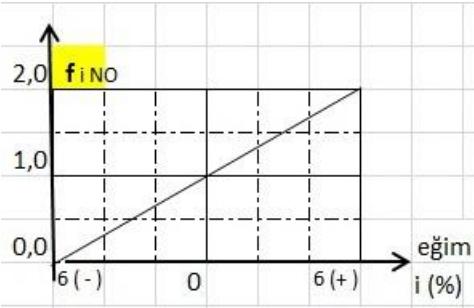
#### **NO gazı yayılması Hesabı:**

Yolcu araçları için yapılan hesap usulünün aynısı kamyonlarda da geçerlidir.

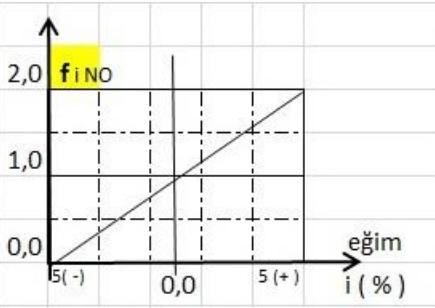
#### **Otobüsler ve Kamyonlar için temel NO değerleri:**

Eksoz emisyon şartları ve kuralları kamyonlarla yolcu araçlarının tamı tamına aynı değildir. Ülkelerdeki  $NO_x$  (azot gazları) limitleri; US (Amerikan) ve ECE (Avrupa) standartları hemen hemen eşittir. Bu ülkelerde  $NO_x$  (azot gazları) limitlerinin aşağı yukarı **% 40** daha azaltılması yönünde eğilim vardır.

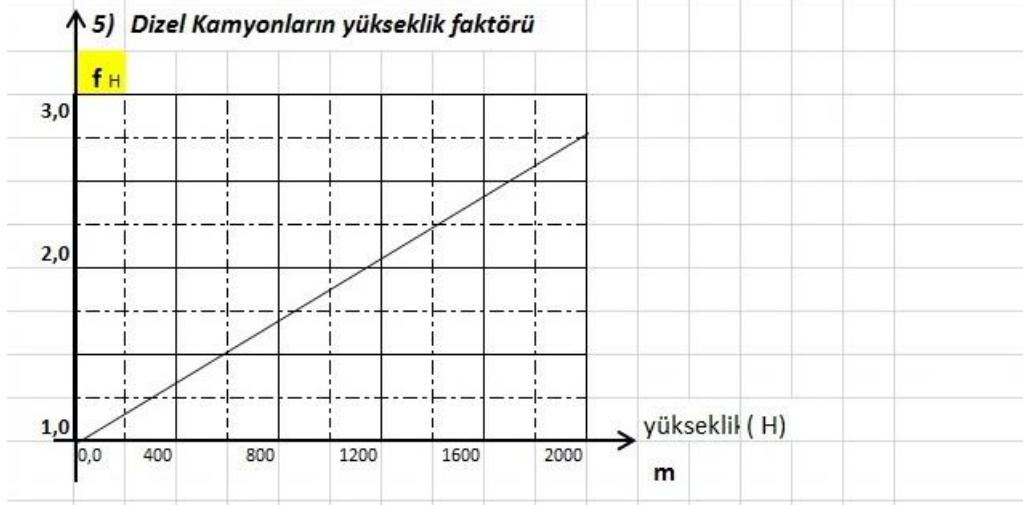




3) Yolcu aracı eğim faktörü



4) Kamyon eğim faktörü



Standart A ve B için; **NO** gazı emisyonu gelecek 10 yılda % 40 düşürülecektir.

Standart C ve D için; Yeni bir kural düşünülmüyor veya onların şartları yürürlükte olacak.

Aşağıdaki tabloda her bir aracın ton başına kabul edilebileceği özel değerler önerilmektedir:

Temel NO gazı değerleri tablosu:  $q_{NO}^0$  (m<sup>3</sup> / saat) kamyon

Standart	1987 yılı	1995 yılı	2000 yılı
A, B	0,037	0,029 <sup>2)</sup>	0,025 <sup>2)</sup>
C, D	0,037	0,037 <sup>2)</sup>	0,037 <sup>2)</sup>

- 3) Özel uygulamada, A ve D standartlarının verildiği değerler zamanından beri belki değişiklik olabilir, o sebeple gerçek ulusal standart kontrol edilmelidir.
- 4) Bu koşulların kabulü; özel standardın mevcut durumu korunmalıdır.

Kamyonlar için hız faktörü: Yukarıdaki yolcu aracı için bağlantı kullanılabilir.

Kamyonlar için eğim faktörü: Yukarıdaki yolcu aracı için bağlantı kullanılabilir.

Kamyonlar için Yükseklik faktörü: Halihazır durumda ve zamanda yolcu araçları için yukarıdaki şekillerde gösterilen aynı yükseklikteki etkiler önerilir.

Makul, kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı yoğunluklar:

Japonya da gaz içindeki NO gazı kesafetinin limiti 25 ppm dir, fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini bize tam açıklayamaz ve bu miktar taze havayı tarif edemez.

#### e. Duman seyreltilmesi için taze hava gereksinimleri (koşulları)

Taze hava gereksinim debi formülü:

$$Q_F = \frac{q_T^0 \cdot m \cdot f_{IV} \cdot f_H}{3600} \cdot D_{hv} \cdot \frac{1}{K_{lim}} \quad \text{Bu formülde her bir ifade açıklaması şöyledir:}$$

**$Q_F$**  = her km hattın saniyedeki taze hava ihtiyacı miktarı (  $\text{m}^3 / \text{saniye. km. hat}$  )

**$q_T^0$**  = Duman yayılmasının temel değeri (  $\text{m}^2 / \text{saat.ton}$  )

**m** = Esas araç ağırlığı (  $t$  )

**$f_{IV}$**  = eğim / hız faktörü ( - )

**$f_H$**  = Yükseklik faktörü ( - )

**$D_{hv}$**  = Bir şerit hattın her km sindeki ağır taşıt sayısı =  $M/V$  (  $hv/\text{km. hat}$  )

**$M_{hv}$**  = Bir şeritteki ağır vasıta araçların saatlik trafik hacmi (  $hv/\text{saat. hat}$  )

**V** = Kamyonun (yük aracı) esas sürüş hızı (  $\text{km} / \text{saat}$  )

**$K_{lim}$**  = makul, kabul edilebilir duman yoğunluğu (  $1 / \text{m}$  ) ( litre / metre )

#### **DİZEL MOTORLU KAMYON VE OTOBÜSLER İÇİN TEMEL DUMAN DEĞERLERİ:**

Kod ECE R 24 (23.Ağ.1971) de verilen duman sınırları limitleri vardır, ama A ve B klasta olan ve hava kirliliğini kontrol edebilen ülkelerde sonuçların görünümü alınır.

A klastaki ülkelerin yüzde ( % ) 20 – 40 gibisi **ECE R 49** tabbkatındadır, kendi kendinden hava alan dizel motorlar; daha az duman yayan turbo şajlı içten soğutmalı dizel motorlar ile yer değiştirecektir.

Tipe D tipi ülkelerde aynı değerler hatta daha yüksek değerde emisyon vardır. Bu düşüncelerde başka aşağıda önerilen emisyon değerleri kullanılmalıdır:

Kamyon ve otobüsler için temel duman değerleri:

**$q_T^0$**  (  $\text{m}^2 / \text{saat.taşit}$  ) otobüs/kamyon ;

Standart:	1987	2000
A	16*	10*
B	16	13
C	16	16
D	16 – 25	16 - 25

( \*) A standartlı ülkeden B-D standartlı ülke aracı geçmediği düşüncesiyle,

#### **Ortalama araç ağırlıkları:**

Her tünel projesi için o bölgedeki kamyon durumu analiz edilmelidir.

Ağırlık dizileri aşağıdaki şekilde kabul edilir:

**$m = 6 - 10 t$**  Şehir içi tünelerde, büyük oranda hafif ağırlık taşıtları; dağıtım kamyonetleri ve otobüsler,

**$m = 15 - 19 t$**  Normal ulusal karayolundaki Karayolu Tünelleri,

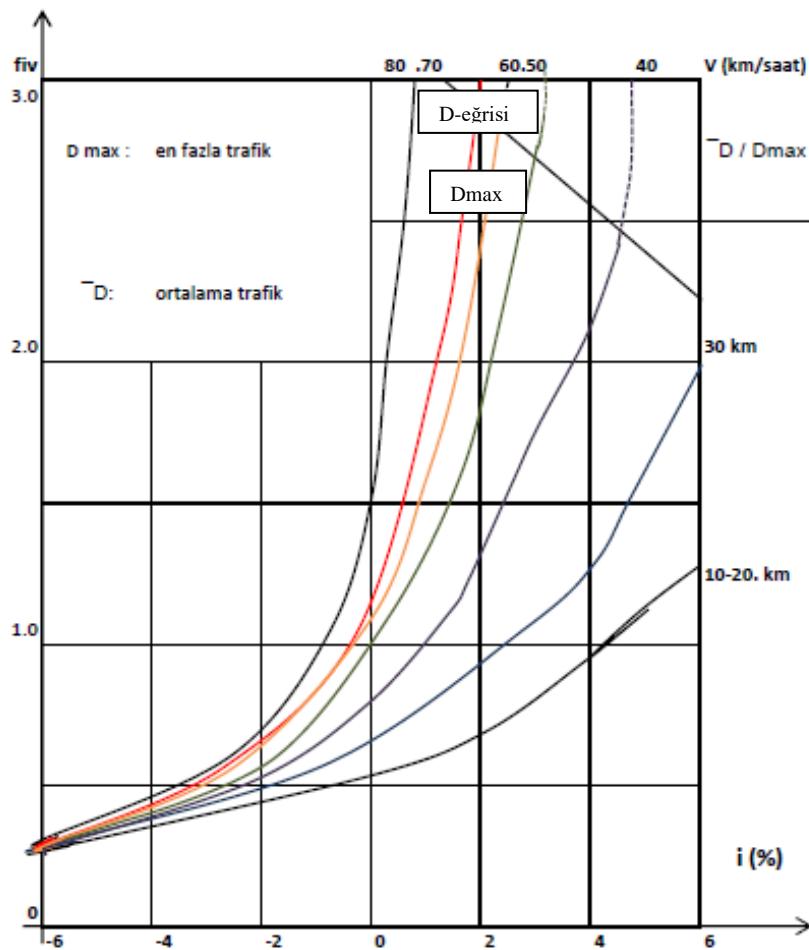
**$m = 20 - 30 t$**  -Ulusal yükleme sınırlarına uyulan, yüksek oranda tam yüklü kamyonların mevcut olduğu, ana taşıma alanında olan tüneller.

#### **Diesel araçlar için eğim ve hız faktörleri:**

- Yukarı doğru eğimdeki yoğun ve durağan trafikte, duman kiri yayılımı artar, daha önce düşünülen daha yüksek seviyede ve ortalamadan fazla yayılıma katkı verir.

- Genel eğilim, yüksek hız ve kısa sürede ivme kazanma için tam dolu yük kamyonlarının motor güçlerinin artmasını gerektirir. Daha yüksek eğimlerde hız limit eğrisini ( $D_{max}$ ) eğrisine yaklaşır.

$D_{max}$  eğrisi



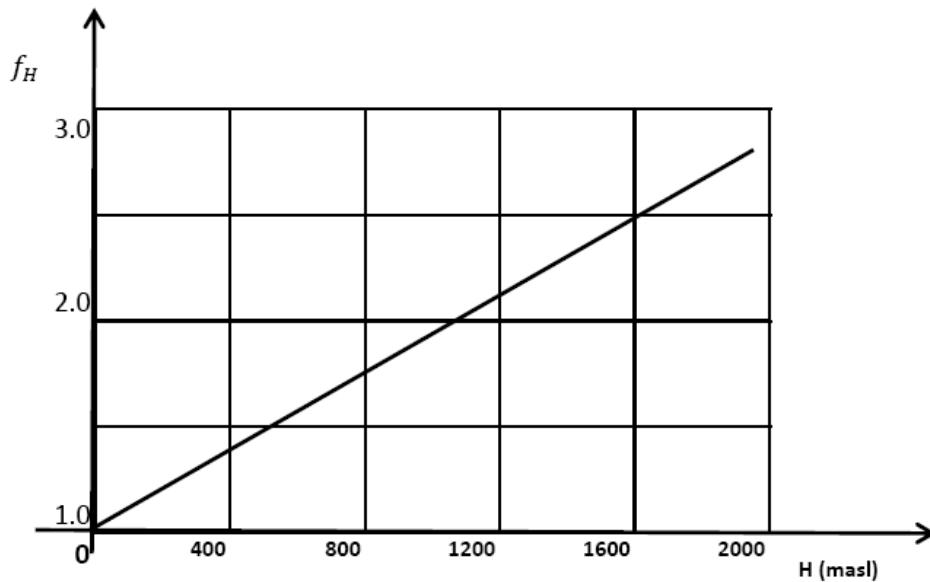
Eğim ve hızla bağlı olan faktör

$-D_{max}$  (maksimum trafik yoğunluk eğrisi) gösteriyor ki eğim arttıkça ve hız arttıkça her bir yol hattındaki araçların duman yayılımı çok yoğun etki yapmaktadır, ama hız azalınca bu miktar azalmaktadır.

- Eğer geçiş şeridi varsa veya güçlü kamyon araçları genelde trafiğe ekseriyette ise D- eğrisi uygulanabilir ( Ki maksimum motor gücü için ortalama 10 HP / t (beygir gücü) ton başına ..)

#### Dizel Kamyonlar için Yükseklik faktörü:

Hali hazırda yüksekliğin duman yayılımının değişik etkisi olmasının konusunda ek bir görüş mevcut değildir. Benzinli ve dizel araçların yüksekliğe göre yayılımı aşağıdadır:



Dizel motorlu kamyonlar için yükseklik faktörü

### İzin verilebilen görüş limitleri

Müsaade edilebilen görüş limitleri tablosu:

Tünel Tipi:	$K_{max}$ en yoğun(pik) trafikte ( $m^{-1}$ )
Yöğun hızlı trafiği olan şehir tüneli....	0,005
Uluslararası yolda şehir tüneli..	$V= 60-80 \text{ km/h}$ 0,0075 $V=100 \text{ km/h}$ 0,005

Görüş katsayısı K yoğun trafikte düşürülebilir ve K – değeri  $0,009 \text{ m}^{-1}$  değerine artırılabilir, fakat yerleşim yeri (şehir) tünellerinde  $K= 0,0075 \text{ m}^{-1}$  in üstünde olamaz. Eğer K değeri  $K = 0,012 \text{ m}^{-1}$  değerine erişince tünel hemen kapatılmalıdır. Tünel içinde bakım çalışması yapılıyorsa K değeri  $K= 0,002$  ile  $0,003 \text{ m}^{-1}$  arasında olmalıdır.

### f-) Acil Yangın Durumunun Şartları

Tünellerde yangın ara sıra nadiren olmakla birlikte, eninde sonunda olması ihtimaline karşı gelişmiş operasyon planının içinde daima göz önüne alınmalıdır. Tünelde yangın olması anında kayıtlı kontrol sistemi derhal otomatik olarak açılmalı ve bu işlem normal operasyondan acil yangın operasyonuna kadar her şartlarda devrede olmalıdır.

İlk aşamada kesitteki normal hava fanları operasyonları yangının olduğu yerde durdurulacak veya hava akımının hızı saniyede iki metrenin altına düşürecek şekilde aşağıya düşürülecektir. Taze hava temin fanları durdurulacaktır. Sonra acil fanlar çok yüksek kapasitede olarak bol miktarda ve yüksek hızda yangını önleme programına göre çalışacaktır.

### **1.3. HAVALANDIRMA SİSTEMİ**

#### a.) Genel

Havalandırmanın amacı; tünel içeresine taze hava temin ederek tünel içindeki zararlı dumanları katlanılabılır (tahammül edilebilir) bir miktara çekmek için azaltma işidir.

Ayrılm veya seçim doğal veya mekanik havalandırma işleri arasında yapılır

#### b.) Doğal Havalandırma:

Her tünelde bir miktar doğal havalandırma vardır. Bu tünelin iki baş portal yerinin açıçık da olsa meteorolojik basınç farkından doğar veya tünelden geçen araçların piston etkisi veya baca etkisi

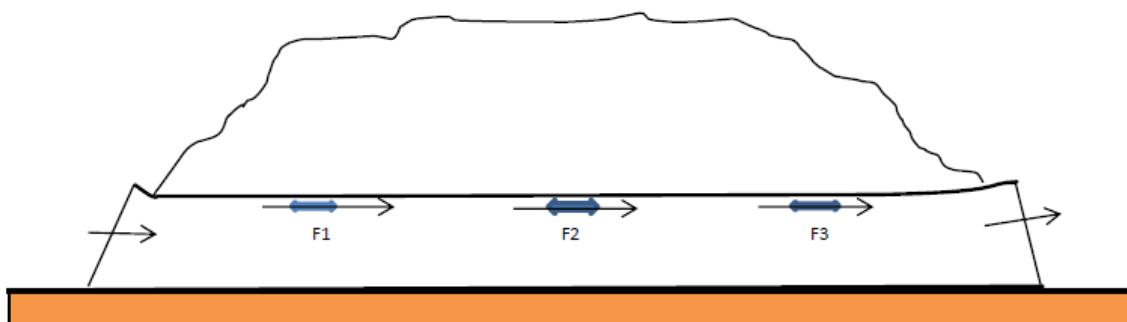
nedeniyle olur. Doğal havalandırmanın yeterli olup olmayacağı kararını, trafik hacmine, tünel uzunluğuna, yolun eğimine ve meteorolojik durumuna bağlıdır.

Çok kısa tünellerde normal şartlar altında havalandırma yeterlidir. Fakat günlük trafik birkaç yüz adet aracı geçerse, uzunluğu da birkaç km yi bulursa mekanik havalandırma olmadan bu tünelde seyahat etmek imkansız olur. Havalandırma sadece çok düşük miktarda meydana gelmiş zehirli dumanların seyreltilmesine yeterli olabilir. Ama zararlı gazları doğal havalandırma seyreltemiyorsa bu sınırdan sonra mekanik havalandırma kurulması gerekecektir.

### **c.) Mekanik Havalandırma:**

#### **c.1-) Jet Fanlar ile Boyuna Havalandırma:**

Boyuna havalandırma sisteminde taze hava tünel girişinin (portal) birinden getirilerek tünele basılır. Bu boyuna havalandırma sistemi; düşük maliyetli kurulması ve yapımı olduğu için mekanik havalandırma sisteminin en ucuz sistemidir. Boyuna hava akımını tesis etmek için, tünellerin tavanlarına veya yan duvarlarına fanlar yerleştirilir. Fanlar tünel ekseni boyunca taze havayı içeriye alır veya dışarıya daha yüksek hızda üfllerler. Bu jet fanlarda gelen itme gücü tünel içindeki havaya aktarılır. Fanlar genellikle iki yönde çalışabilir olarak yapılmıştır, havanın akımını bir yönden diğer tarafa çevirebilmesi, yani diğer yöne hava akımı verebilmesi için fan üflemeleri değişimle mümkündür. Bu durum doğal havalandırmanın da fan havalandırmamasına aynı doğrultuda hava üfleme imkanı işlemeye yarar. Hava kirliliğinin artışı doğrusal olarak gelişir. Bu tip havalandırma hava hızı 8-10 m/saniyeyi geçince kullanılmamalıdır. Hava akımının yüksek hızlarında araçlarını terk edecek kişiler boyuna akım tehlike



**Jet fanlar ile Boyuna havalandırma**



yaratır.

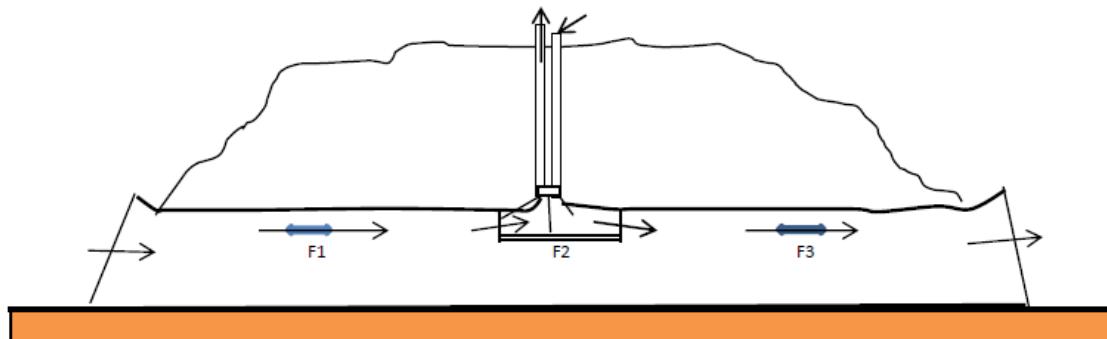
#### **c.2-) Jet Fanlarla Bölünmüş Boyuna Havalandırma Sistemi:**

Bu sistemde, tünel içindeki hava belirli bölgelere ayrılır. Eksoz gazları kendine yakın şafttan veya yaklaşım tüneli çıkışında dışarı atılır, taze hava ise belirli şaft veya galeriden içeri alınır. Dışarı atılacak hava veya içeri alınacak hava tünel içinde birbirine paralel tüplerde de taşınabilir. Bu sistem jet fanlı boyuna havalandırma sisteminin avantajıdır. Aynı şaft veya tüp içerisinde hava taşımanın **birinci şartı** tünel içindeki hava hızının 8-10 m/saniyenin altında olmasını temin etmek olmalıdır.

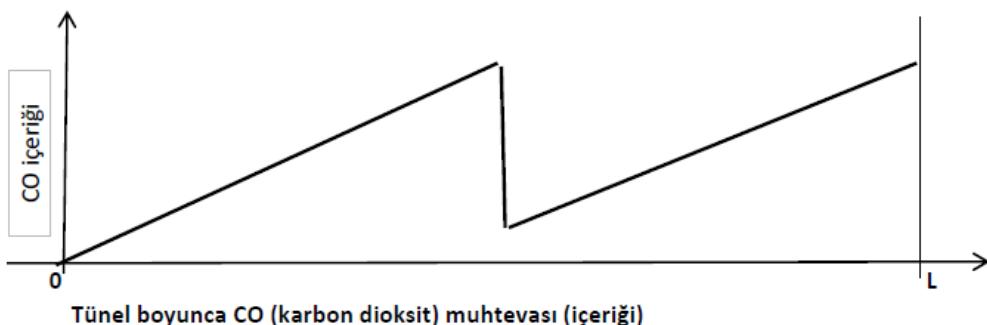
Hava kirliliğinin dağılımı testere dışı karakterindedir. Temiz hava içeriye üflendiğinde kirlilik yoğunluğu keskin olarak hemen aşağıya çöker.

Japonlar elektrostatik çöktürücü sistem geliştirdi ve uzun yol tünelleri için boyuna havalandırma ile birlikte kullanıyorlar. Bu elektrostatik filtreler eksozdan çıkan zerreleri yüzde 70 ile 80 civarında kısmını çökeltiyor, fakat zehirli yayılım olan CO, NO, HC gibi gazlar için etkili olamıyor. Bu tip filtrelerin yapım ve bakım maliyeti oldukça yüksektir. Her bir filtre istasyonu fan gurubu ve yardımcı

elektrik sistemi dahil bir dışarı atma tüneli ister. Filtreleme istasyonlarının kurulma mesafe aralığı ise ortalama 600 – 1000 m civarındadır.



**Jet fanlar ile Boyuna Bölünmüş olarak havalandırma**

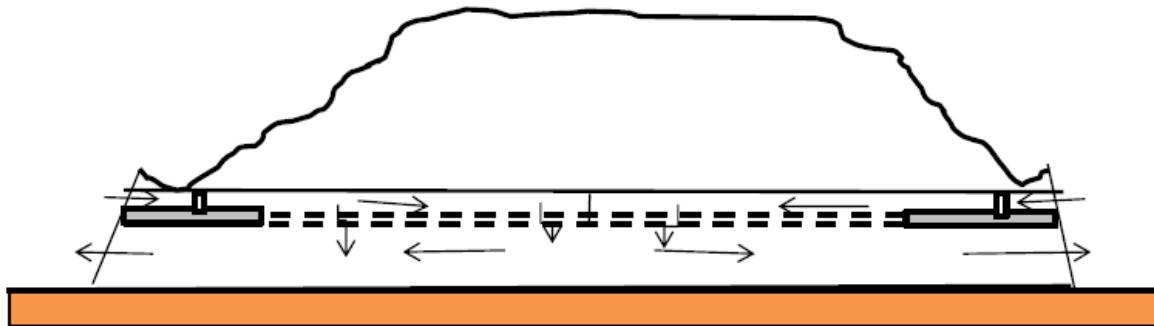


Avrupa ve Japonya'da ki tünellerde arazi deneyimleri ve son çalışmalar tek yönlü trafik ile tünelden geçilmesi(yani iki tüplü, biri gidiş, diğerini geliş) halinde; yangın şartlarında dahi, boyuna havalandırma sistemi daha yüksek seviyede emniyetli olmaktadır. Yangın sebebiyle soyutlanmış bağımsız bölgedeki sıcak gazların ve dumanın akışı, blok olarak tayin edilen yerde ve daima boş olan tünelden dışarı atılır. İlaveten; paralel olarak yapılmış tünel tüpleri, birbirine geçiş koridor tüneli yapımı sayesinde çok iyi kaçış imkanı sağlar.

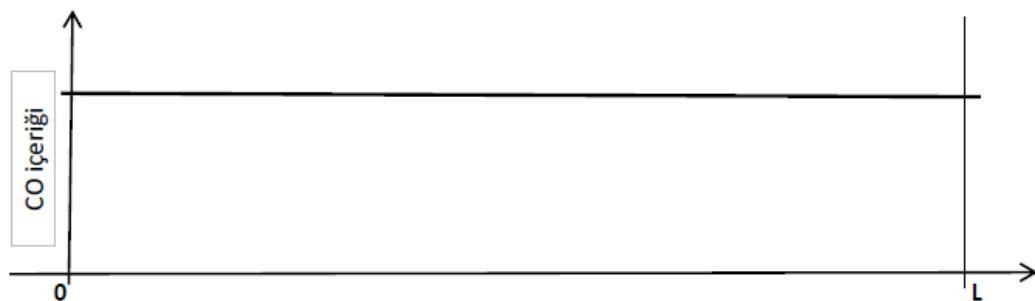
### **Yarı enlemesine Havalandırma sistemi**

Eğer tünelin her yerinde kirlilik aynı ise, tünel aksı boyunca birkaç metrede (örneğin 5- 8 m civarı) taze hava tünele verilmelidir. Bu iş ancak ana tünele paralel bir kutu hava kanalı (duct) yapımı ile sağlanır. Bu hava kanalının tünel tavanında veya tavanında olması önemli değildir. Hava tünelin enlemesine her açılan pencerelerden üflenmelidir. Eksoz gazları bu gelen havanın etkisi ile boyuna doğrultuda tüneli terk edecektir. Bu sebeple bu sisteme yarı enine havalandırma sistemi denilmektedir.

Fanlar genellikle iki tarafa çalışabilir olmalıdır. Bu fanlar içerisindeki kirli havayı çıkışma işinde de kullanılabilmeliler. Bu bize, tünelin ortalama her 6 (altı) metresinden yanın nedeniyle oluşacak dumanın, kir vaseirenin devamlı olarak dışarı atılabilmesini sağlar.



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan Enlemesine Havalandırma



Tünel boyunca CO (karbon dioksit) muhtevası (içeriği)

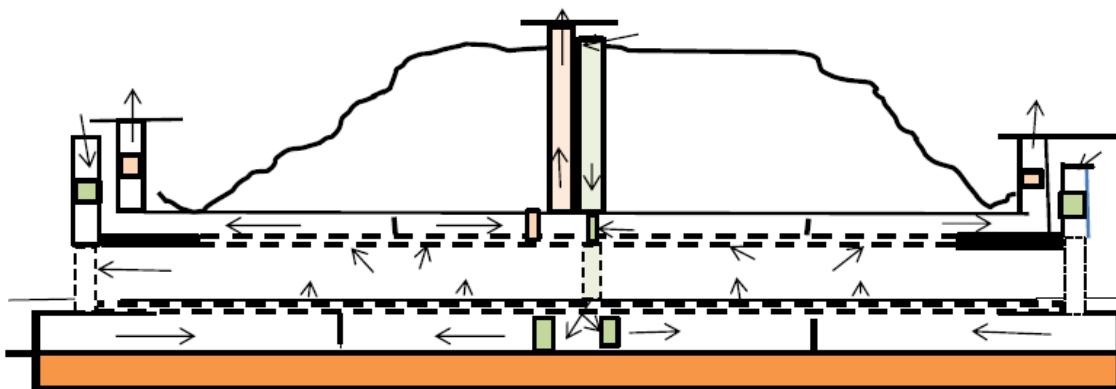
Yarı enlemesine havalandırmanın avantajları yüksek yapım maliyeti yüzünden askıya alınmaktadır. Bu inşaattın gereği ikinci tüp demek daha büyük kazı ve daha fazla harcama, ikinci tavanı oluşturmak ise ayrı bir ek masraf gerektiriyor. Bir önce anlatılan boyuna havalandırmanın işletme masrafından da bu sistemin işletme maliyeti fazladır. Bu sebeplerle yarı enlemesine havalandırma sistemi nadiren kullanılmaktadır.

Boyuna havalandırma hızı 8-10 m/ saniyeye ulaşınca yarı enlemesine havalandırma sisteminin limite erişmiş olunur. O zaman eksoz gazlarının seyreltilmesi gereklidir.

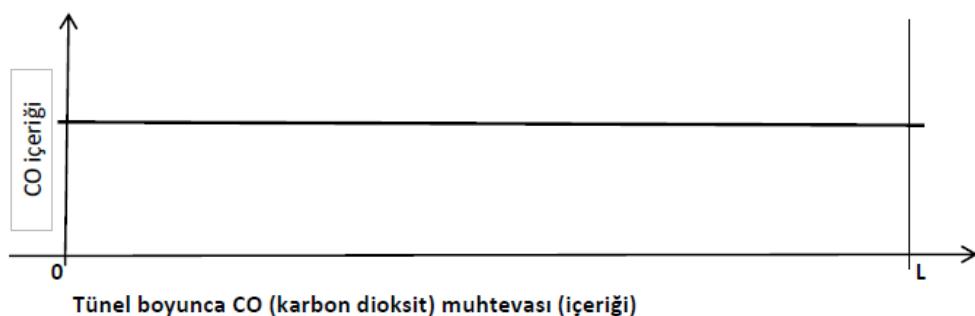
#### Enlemesine Tam havalandırma sistemi:

Bu tip havalandırma sisteminde hem taze hava kanalı (duct), hem de eksoz havası için kanala ihtiyaç vardır. Bu hava kanallarını tünel trafik platformu altında veya üstünde olması önemli değildir. Taze hava kanallardan tünel aksına doğru üflenir ve aynı kanallardan eksoz gazı enine doğru emilip dışarı atılır. Bu işlem gereğine göre yön de değiştirir. Bu sebeple yapılan bu tip havalandırma şecline enine havalandırma denilmektedir.

Enine havalandırma aynı anda dumanın seyreltilmesini de sağladığı ve yolculara taze hava üfleneceği için yanık halinde çok yüksek derecede emniyetlidir. Bu sistemin yapılması ve işletilmesi her şeye rağmen pahalıdır. Yüksek derecede kazı masrafı gerektiren iki boyuna menfeze (box, duck) ihtiyaç vardır. Eksoz gazını ve taze havayı ayırmak için aralarına duvar yapılan ikinci bir tünel tavanı gerektirir. (Aşağıdaki şekilde)



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan **Enlemeden Tam** Havalandırma



### **HAVALANDIRMA İÇİN GEREKLİ HAVA MİKTARININ TESPİTİ:**

Tünel içindeki havanın yolcular için emniyetli hale gelmesini temin için:

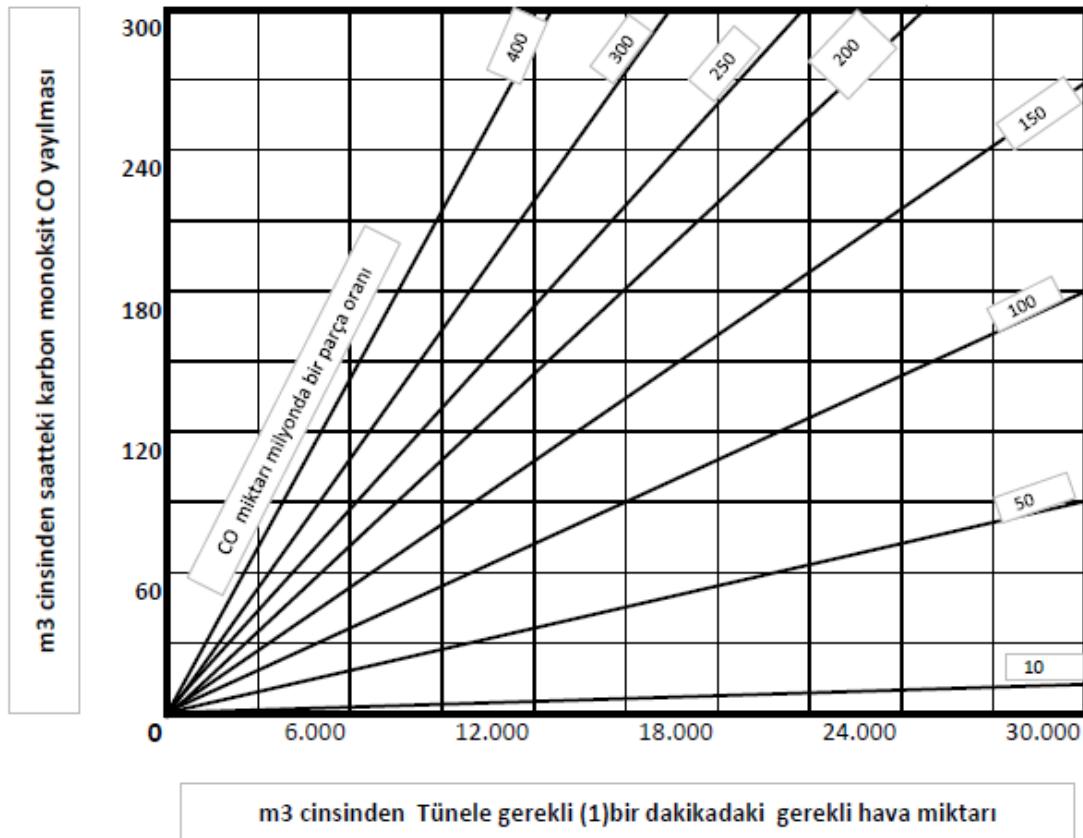
- c.) O tüneldeki koşullara göre meydana gelen CO miktarının tespiti gereklidir
- d.) Bu miktar:
  - b1.) Araçların sayısına
  - b2.) Araçların cinsine
  - b3.) Yolun eğimi ve tünel yerinin yüksekliğine,
  - b4.) Araçların Hızına bağlıdır..

Araçların CO ve  $CO_2$  ve diğer gazlar salımı araç kataloğu verilmektedir.

Bu normal şartlar değerlerini yukarıdaki tablolarda gösterilen yolun eğimi, yüksekliği ve araç hız durumu faktörlerini de ekleyerek hesap edilirse yaklaşık kirlilik miktarı ve kirli gaz hacmi ortaya çıkar.

Bu kirlilik hacmi aşağıdaki grafik görülen seçme değeri örneğin 150-250 ppm (milyonda bu kadar) değeri ile kesişirse o tüneldeki hava gereksinimi ortaya çıkar.

Piyasada tünel fanlarının kapasite ve güçleri mevcuttur. Emniyetli tarafta olan fan gurubu buradan bulunabilir.



m<sup>3</sup> cinsinden Tünele gerekli (1)bir dakikadaki gerekli hava miktarı

#### HAVA AKIŞ DİYAGRAMININ SON ŞEKLİ

Tekrar hatırlatalım CO seyreltilmesi için gerekli hava miktarı aşağıdaki formülle verildi:

CO seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı, kendini etkileyen çeşitli faktörlerin fonksiyonu olarak şöyle gösterilebilir:

$$Q_F = f \left( \frac{q_{co} \times f_y \times f_i \times f_h \times D_{pc}}{CO_{Im}} \right)$$

Burada;

- $q_F$  : Taze hava miktarı gereksinmesi ( $m^3 / s$ , km<sup>2</sup> şerit)
- $f_y$  : Birim otomobil CO emisyon miktarı ( $m^3/h$ , oto)
- $f_i$  : Hız faktörü (-)
- $f_h$  : Tunelin inşa edileceği yerin deniz seviyesinden yükseklik faktörü ( - )
- $D_{pc}$  : Kilometre-şerit başına otomobil sayısı (oto/km, şerit )
- $CO_{Im}$  : İzin verilen maksimum CO yoğunluğu ( ppm CO )

Bir başka ifade ile;

- \* Birim otomobil CO emisyon miktarı ( eski model ve motoru ayarsız araçlarda daha çok ),
- \* Araç hızı,
- \* Rampa çıkışlarında tünel eğimi,
- \* Deniz seviyesinden yükseklik,
- \* Trafik yoğunluğu,

### 3. RAYLI SİSTEMDE TÜNEL VE İSTASYONLARIN HAVALANDIRILMASI

Raylı sistemler yeraltında hat veya istasyon şeklinde olabilir.

Raylı sistemeler elektrik enerjisi ile çalıştığı için hat tunelinin normal şartlarda havalandırılması gerekmektedir.

İstasyonlarda raylı sistem aracına binecek ve inecek kişilerin istasyon içindeki konforunu sağlamak için:

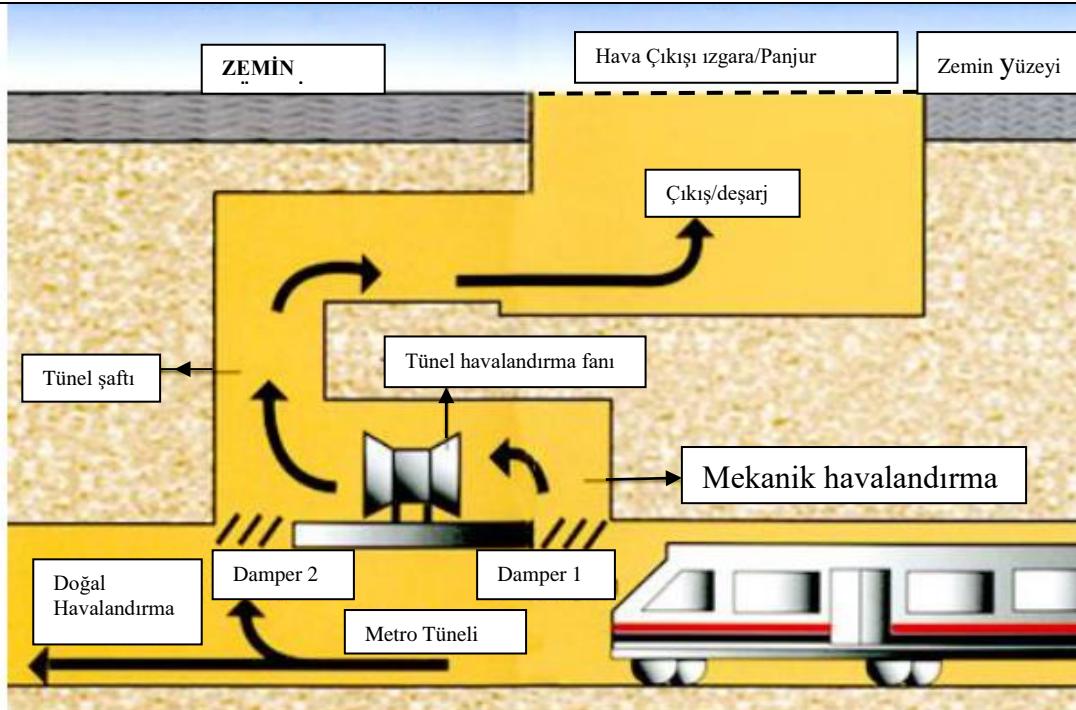
1) Normal havalandırma ve yangın felaketi olması durumunda ise

- 2) Acil havalandırma gereksinimi vardır.  
 3) Ayrıca bilet holü katlarında da o bölgedeki konforu sağlayacak o bölüme yetecek kapasitede havalandırma tesisi kurulmalıdır.

Aşağıda istasyon tüneli boy kesitinde çalışan havalandır şekline ait bir örnek görülmektedir:

- 4.) OTE fan: Trene binilen platformun bulunduğu tünelin hava kirliliğini düzenleyen fan yaklaşık örnek olarak İzmir metro istasyonlarını gösterirsek 50 m<sup>3</sup>/saniye yani saatte 180 000 m<sup>3</sup> hava basma kapasitesinde olmalı ve havanın gereksinimine göre fan yönü değişken tip (reversible) olarak yapılmış olmalıdır. Hat boyu kirli havası baca ve şaftlar vasıtası ile yer yüzeyine atılır, gerekli ise oradan taze hava platforma şaftın diğer bölümünden getirilir. Fan gücü yaklaşık 75 kW tır.
- 5.) TVF fan: Tünel Acil Havalandırma Fanı: Platform tüneline bağlı herhangi bir yangın olması halinde acil olarak yanık simülasyon programına göre devreye girecek yüksek kapasiteli fandır. Bu fan içerisindeki insanların emniyetli bir şekilde yanık yerinden uzaklaşması için gerekli taze havayı sağlamakla birlikte ortamdaki yoğun yanık dumanını da uzaklaştıracaktır. Onun için kapasitesi yüksektir. Yaklaşık 100 m<sup>3</sup>/saniye ortalama 250 000-360 000m<sup>3</sup>/saat miktarda havayı temin edecek güçte 200 kW civarında olmalıdır.  
 Bu fanların nasıl kumanda edileceği ayrı bir kullanım yönetmeliği ile işletmelere verilir, işletmeden evvel de tatbikatı yapılır ki ileri de ikim taraf katarının da istasyonda olması halinde yaklaşık 3000-4000 yolcu bulunıldığı zamanlarda insanların nasıl hareket edeceğini öğrenilmelidir.
- 6.) Gişe Katı Acil havalandırma fanı: yaklaşık 17 m<sup>3</sup>/saniye (60 000 m<sup>3</sup>) saat kapasitelidir ve gişe katının konforu ve acil durumları için tesis edilir. Fan gücü yaklaşık 22 kW tır. Tüm fanlar ne kötü yanık şartlarına ( 250 dereceye 1 saat, 180 dereceye 3 saat dayanmalı) en az bir (1) saat dayanıklı olacak şekilde korumalı olacak ve o evsafat malzemeden yapılmış olacaktır.

#### METRO TÜNELLERİNDE DAMPER SİSTEM İLE TİPİK HAVA TAHLİYE



## **METRO AC-KAPA İSTASYONU EN KESİT ÜZERİNDE HAVALANDIRMA ŞEKLİ GÖSTERİLMESİ**



## **8-TÜNEL HAVALANDIRMA KARAYOLU TÜNELLERİ**

Tünellerde işletme ve inşaat sırasında olmak üzere iki türlü havalandırma tesisi hesap ve projelendirilmesi vardır. Bu bölümde tünellerin işletme sırasında tünel projelendirilmesi anlatılmaktadır. İşletme sırasında gerekli havalandırma tesisleri kalıcıdır.

Tünellerin projelendirilmesinde en önemli konulardan biri tünel havalandırılmasıdır. Bu iş tünellerde motorlu araçların sayısının artarak sebep olduğu gaz ve toz yayılmasının insan sağlığı ve konforuna zarar verdiği son 100 yılda dikkate alınmıştır.

Tünelin havalandırılması (vantilasyon) bu tünel yapısının hangi tür tünel (araç geçiş tüneli, raylı sistem tüneli veya hızlı ulaşım tüneli) olması koşullarına göre değişir ve bu projenin yapımından evvel bilinmesi gereklidir.

### **8.3 Yol Tünelleri**

#### **3.1 Tanımı:**

Tünelden geçen araçların içten yanmalı motorları yanma sonucu çevreye zararlı atıklar yayar. Bu zararlı ürünler tüneldeki bakım personelinin ve tünelden geçen yolcuların sağlığı için tehdikedir. Oluşan bu atıkların ve zararlı gazların tünel ortamındaki oranının zarar verme sınırı altına düşürülmesi ve havanın atık oranının yaşanacak oran seviyesi altına inmesi ve seyreltilmesi tüneli havalandırmak suretiyle olur. Tünel havalandırma sistemleri de tüm uzun tünellerde CO, NO gaz seviyelerinin kabul edilebilir seviyede tutulabilmesi ve normal sürüş sırasında görüş mesafesinin düzgün ve emniyetli olması için projelendirilir.

Bu sistem yangın olması durumunda dahi, duman akışının sağlanması, sıcak ve çok sıcak gazların insanlara zarar vermeden dışarı atılmasını sağlayabilmelidir.

Tünel havalandırması genelde 3 kriter sağlar:

- Tünel kullananlarının sağlık kriterlerine uygun seviyede tüneldeki araç eksoz gazlarının seyreltilmesi
- Tüneldeki hava kirliliğinin güvenli olacak şekilde ve yeterli seviyede tutulması
- Tünelde olabilecek yangınlarda çıkan sıcak gazların ve dumanın kontrol altında tutulması ve kişilere zarar vermeden uzaklaştırılması

Her bir konunun yeterli havalandırma sistemi projesi ve sistem seçimi için bu konularla ilgili özel giriş verilerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

### **3.2 Temiz Hava Gereksinimin Saptanması:**

Hesap usulünün ana prensibi, trafik şartlarını önceden görebilir ve bununla baş edebilir bir tünel havalandırma sistemi yapımıdır.

#### **e. Araçların gaz yayması**

Bu konudaki eğilim, istenmeyen ve yayılan eksoz gazları ile zehirli hava miktarının azaltılmasının sağlanması yönündedir. Bazı ülkeler onlara ait gaz yayılması yasaları üzerine baskı yapmaktadır (zararlı gaz yayan araçların trafikten uzaklaşması gibi), ve diğer taraftan kabul edilen gaz yayılım seviyesinin düşürülmesi yoluna gitmektedirler.

**Araçların eksozlarından çıkararak yaydığı zararlı gaz miktarları**

Gazın Cinsi	Benzinli araçlarda (%)	Dizel araçlarda (%)
Karbon Monoksit (CO)	3,0000	
Karbon Monoksit (CO) maksimum		0,100
Karbon Monoksit (CO) ortalama		0,020
Karbon Dioksit ( $CO_2$ )	13,2000	9,000
Azot Oksitleri ( $NO_x$ )	0,0600	0,040
Kükürt Dioksit ( $SO_2$ )	0,0060	0,020
Aldehitler	0,0040	0,002
Formaldehit	0,0007	0,001

Önemli araç trafiğinin yoğun olduğu önemli tünellerde 5-10 yıllık belli aralıklarla alınmış gaz yayılma kontrol veri alımları mevcuttur. Bu kontrollerde tünelin ilk açıldığı zamandaki zararlı gaz yayılma miktarı ile bu zamanda ölçülen gaz yayılım miktarı birbirine oranlanır. Mevcut gaz yayılması için yapılan düzenlemeler; baskı ile dizel araçların gaz yayma koşullarının azalmasını ister ve böylece projelerde duman seyrelmesini ve taze hava ihtiyacının kontrol edilmesini sağlamaya çalışır. Kamyonlar güçlü araçlardır ve büyük motorlu olmaları nedeni olarak, yüklü olduklarında ve hızlı gittiklerinde daha çok zararlı gaz yayarlar. Diğer taraftan ise; tünel kullanan halk buradaki bulanık ve kokulu atmosferdeki yol bölümüne karşı çok hassastır, ancak bunun da belli seviyede tutulması ek masraf gerektirir. Tünelerdeki zararlı gaz ve görüşe mani olan toz ve buna benzer maddelerin havalandırma ile seyreltilmesi gereklidir. Aşağıdaki tablolar tünel havalandırılması öncesi ve sonrasındaki benzinli ve dizel araçların zararlı maddelerinin listesini ppm (milyonda) değeri olarak vermektedir:

**Benzinli Araçlar**

Gazın Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	30.000	200,00	50
Karbon dioksit	132.000	880,00	5000
Azot oksit ve dioksit	600	4,00	25 e 5
Kükürt dioksit	60	0,40	5
Aldehit	40	0,27	NA
Form aldehit	7	0,02	2

**Dizel Araçlar**

Gazın Cinsi	çikan gaz karışımı Ppm	Seyreltme sonu değer ppm	Ağırlıkça eşik değer
Karbon monoksit	1000	6,70	50

Karbon dioksit	90.000	600,00	5000
Azot oksit ve dioksit	400	2,70	25 e 5
Kükürt dioksit	200	1,30	5
Aldehit	20	0,13	NA
Form aldehit	11	0,07	2

### f. CO ve NO için yayılma faktörleri

Dünya çapında yaşayanlar için PIARC 1983 de tünelerdeki gaz yayılması için aynı yayılma faktörünü önerdi. Bu güne kadar mevcut kullanılan gaz yayılma standartlarına ve kanunlara bakıldığından; Avrupa da bile olunsa bir çeşit veri takımı ile çalışmak zorlaşmaktadır. En gelişmiş yayılma kurallarından oluşan ve halen yürürlükte olan aşağıdaki gaz yayılma faktörleri de bu konunun denetimine yeterli değildir.

Tünel Havalanırmamasının kabul göre 4 (dört) seviyesi vardır: (A, B, C, D gibi)

#### I. Standart

US federal sicil büro 48 FR 48607/117.10.83 / özel araçlar için

ECER 49 Kamyonlar için

Fasılalı gaz yayılma kontrolü

#### J. Standart

ECER 15/04 (2.2.82), R15/5 (1987) özel araçlar için (for p.c.)

ECER 49 kamyonlar için

Aralıklı olarak gaz yayılma kontrolü

#### K. Standart

ECE kuralları ile aynı B deki gibi

Fasılalı olarak gaz yayılma kontrolü

#### L. Standart

Etkin bir yayılma kontrolü yok

Araç sahipliğinin mevcut farklılıklarını dikkate alınan 1987 yılı içi 1,3 ve 4 No. lu tablo ile yayılma verileri deney ve genel tecrübelere dayanılarak verilmiştir.

Gelecek yıllar için veriler şunlara dayalı olmalıdır:

- Uygulanılacak Standart tipi
- Araçlar hakkında geçmiş 10 yılda sahip olma tahmini ve tüm yıllara sırayet eden Yıllık yenileme oranı
- Araçların ömrü geçikçe %30 lara bölünmüş gruplar olarak hangilerinin daha fazla gaz yayılması yaptığıın araştırılması

### c.Karbon monoksit (CO) seyretilmesine dayalı temiz hava temini:

Tünelerde taze havanın debisi ve ihtiyacı aşağıdaki formülle bulunacaktır.

$$Q_F = \frac{q_{CO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H}{3600} * D_{pc} * \frac{10^6}{CO_{lim}}$$

Bu formüldeki birimler aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

$Q_F$  = m<sup>3</sup> / saniye cinsinden gerekli taze hava miktarı (tünele km, hat ;m<sup>3</sup>/s, km,hat)

$q_{CO}^0$  = her bir yolcu aracı için müsaade edilen temel CO miktarı (m<sup>3</sup>/s, km, hat)

$f_v$  = hız faktörü (-)

$f_i$  = eğim faktörü

$f_H$  = o yerin denizden yüksekliği

$D_{pc}$  = km deki geçen araç sayısı ve şerit sayısı (pc / km, hat = M / V )

$M_{pc}$  = maksimum saatlik yolcu araç hacmi / her şerit için ( pc / h . hat )

V = Asıl sürme hızı ( km / saat (h) )

$CO_{lim}$  = en fazla izin verilen CO yoğunluğu (ppm CO) (milyonda bir)

### ***Yolcu aracı ve Kamyonlar için esas alınan CO (karbondioksit) Değerleri:***

Yolun kotu=deniz seviyesi kotu: 0,00; seyahat edilen yolun eğimi  $i=0,00\%$ ; ve yolcu aracı hızı

$V=60,0$  km/saat olması halindeki araçlardan yayılan gaz (emisyon) miktarı:  $q_{CO}^0$  olarak belirtilmektedir. Tablo havalandırma-1 de her bir gaz yayılma o yıl içindeki araç sayısı için değerlendirilmiştir. Arada bir zamanda gerekli değeri bulmak için doğrusal interpolasyon işlemi yapılır.

**TABLO Hav I  
Temel CO değerleri**

Standart <sup>1)</sup>	Gerçek durum	tahmini $q_{CO}^0$ (m <sup>3</sup> /saat.pc)	
		1987	1995
A	0,6	0,2 <sup>2,3)</sup>	0,15 <sup>2,3)</sup>
B	0,6	0,4 <sup>3)</sup>	0,3 <sup>3)</sup>
C	0,8	0,7 <sup>3,4)</sup>	0,6 <sup>3,4)</sup>
D	1-1,5 <sup>5)</sup>	1 – 1,5 <sup>5)</sup>	1-1,5 <sup>5)</sup>

1-) Çok özel uygulamalarda; gerçek ulusal standart kontrol edilmeli, A-D listelerindeki değerlerden değişik olanları olabilir.

2-) 1987 başlarında US standartlarının zorlandığı ülkelerde

3-) Hali hazırda kendine has standardın korunduğu yerlerdeki tahminlere göre

4-) Gaz yayılma kontrol işinin sonradan tanıtıldığı zaman, B standartlarının değerleri alınmalıdır.

5-) Lokal mülk sahiplüğine göre adapte edilmelidir.

### ***Gaz yayılmasında Hız ve Eğim faktörü***

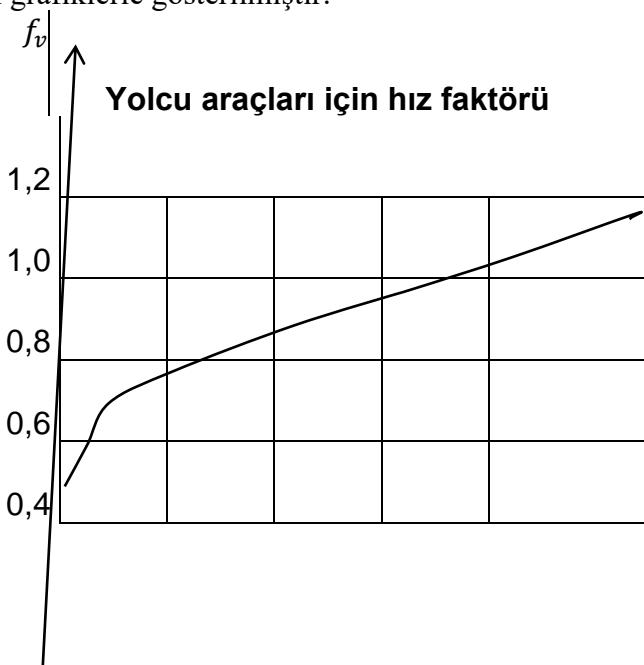
Yol tunelinin eğimi ve araçların hızı, gaz yayılma oranına çok büyük miktarda etkisi vardır.

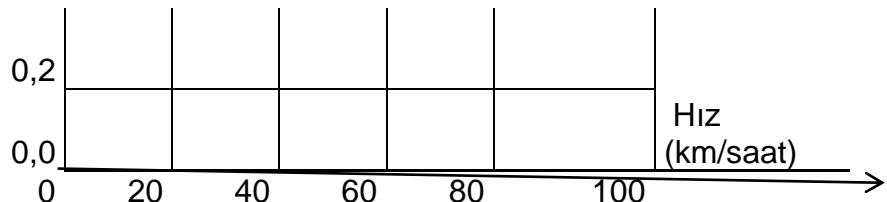
Yukarı doğru eğimde; artan yakıt tüketimi yine artan kirli gaz yayılması sonucunu doğurur. Aşağıya doğru eğimde yakıt tüketimi yatay yola nazaran azdır ve emisyonun miktarı azalmaktadır.

Diğer taraftan fazla eğimli yolda ise aşağı doğru eğimli yolda emisyon çok azalmakla beraber bu sırada fren yapmadan doğan az oranda da olsa zararlı gaz yayılması meydana gelecektir.

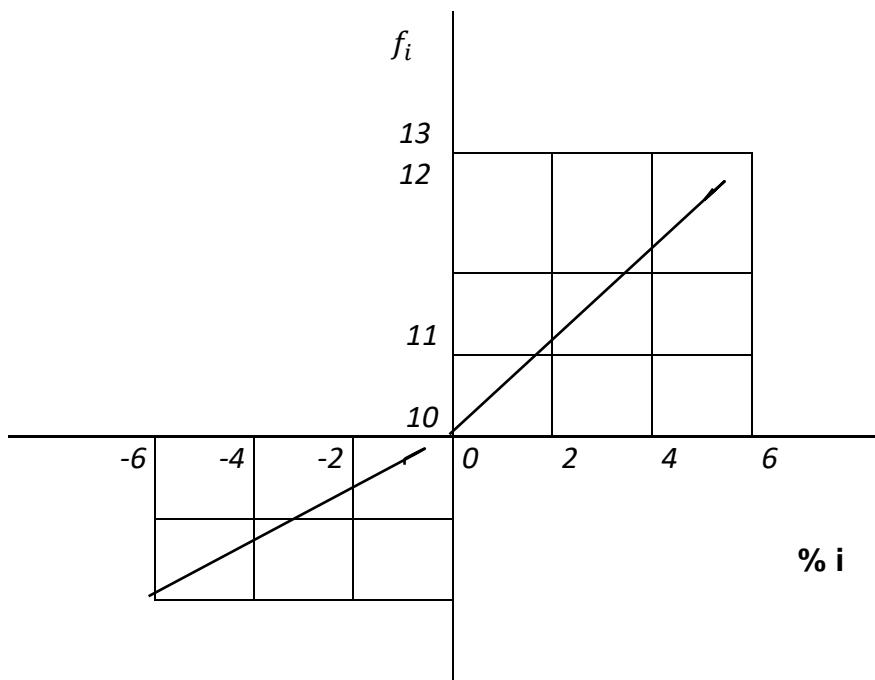
Aşağıda hızla bağlı emisyon faktörü  $f_v$  hav-1 de ve eğime bağlı emisyon faktörü de  $f_i$  hav

-2 deki grafiklerle gösterilmiştir:





Hav- I hıza göre emisyon faktör eğrisi



#### YOLCU ARAÇLARI EMİSYON İÇİN EĞİM FAKTÖRÜ

Hav-2

#### *Yolcu araçları için Yükseklikten ileri gelen emisyon (gaz yayılma) faktörü:*

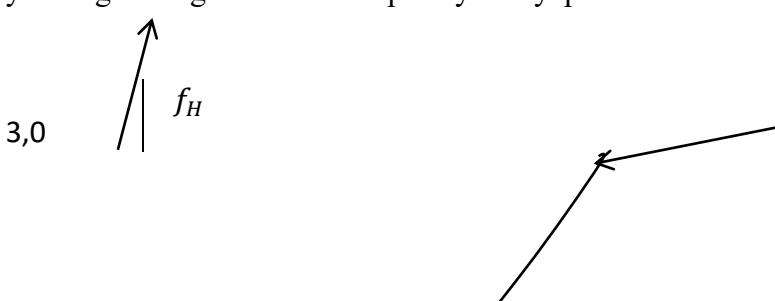
Yüksek rakımlı yerlerdeki yollarda, düşük hava basıncı ve düşük oksijen yoğunluğundan dolayı; ateşlemeli motorlarda hava ile karışan yakıt zengin karışım (yani yakıt bol hava az) haline dönüşür. Araçların hem yüklü olması ve hem de yüksek rakımlı yerlerde seyretmesi yakıt tüketimini artıracağı gibi iyi yanma olmadığından CO üretim ve salımı çok artar. Eğer karbüratörler deniz seviyesine göre ayarlı ise yüksek rakımlı arazi ve yolda o aracın gaz yayılma oranı yüzdesi artacaktır.

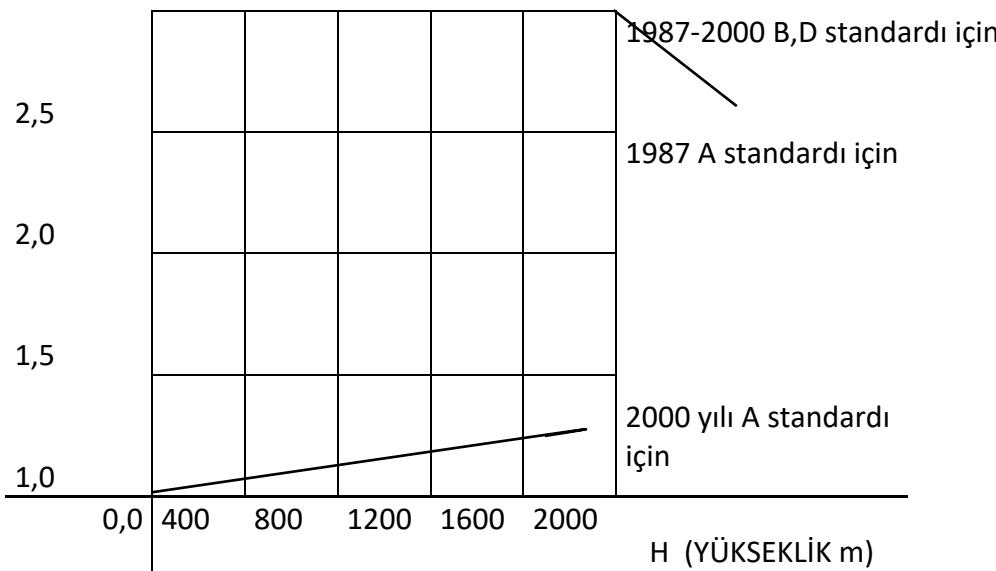
Dizel araçlarda da (yani hava sıkıştırılmış şekilde ateşlenen araçlarda) yüksek rakımda düşük basınçtan ve seyrek oksijenden dolayı zayıf oranda hava karışımı olur ve duman yayılması ve üretimi artar.

Tünel ortamında ve yüksek rakımdaki yollardaki dizel motorlardan gelen duman; özellikle motorların iyi durumda olmamasına ve bunların özenle ayar olmamasına bağlıdır.

Bununla birlikte A standarı olan ülkelerde hava kontrol sistemi hava basınç etkisini otomatik olarak dengeler, böylece yüksek rakımlardaki daha hafif olan yani oksijen (O) bakımından zayıf olan havanın CO yayılmasına etkisi azalır.

Resimde Hav -3 de yükseklik faktörünün 2000 yılına ait değerleri verildi, daha önce ve sonraki yıllara göre değer hesabı interpolasyonla yapılabilir.





**Yolcu araçlarının arazi yüksekliğine göre emisyon faktörü**  
**Resim Hav-3**

mesi, en uygun trafik hacmine göre projelendirme, bu değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Taşıt yolunun en fazla (maksimum) kapasitesi, tünelin yeri ve şerit genişliği gibi diğer faktörlere göre tünel havalandırma projesi için pik (en fazla, yoğun) proje değerleri uygun olarak kabul edilmeyebilir. Yani yolun maksimum kapasitesi olarak pik zamanlardaki trafik yoğunluğu alınarak tünel için havalandırma hesabı yapılmayabilir ( çünkü tam ekonomik olmaz ).

### **İzin verilebilen CO yoğunluğu ( derisimi, kesafeti ):**

Tünelde seyahat eden yolcular her şeyden önce sağlıklı olmayan atmosfere maruz kalmamalıdır, fakat dizel araçların da duman ve isi bu konu için seyreltilmiş olması gereklidir. Birkaç yıl öncesine kadar tüm kriter CO yoğunluğu 250 ppm (milyonda) idi. Bu günün görüşü kamyon sayısının artması ve dizel araçların çoğalması nedeniyle CO yoğunluğu ile birlikte tüneldeki is ve dumanın da ölçülmesi gerektidir.

Bu günde son görüş tünelde kabul edilebilir hava kalitesi için CO miktarının 100 – 150 ppm altında olmasının sürekli olarak tutulması gerektidir.

A, B standartlı ülkelerde A kriteri CO için 100m ppm adapte edilebilir, fakat bazı ülkeler C standardında da ağır ve tikanık trafik için daha düşük limitler kabul edebilir. Diğerleri CO kesafeti için 2000-250 ppm ye izin verilebilir.

Başka koşulların kabul sınırında ise CO 200-250 ppm değeri kabul edilebilir.

Bu CO limitleri ile birlikte diğer zararlı eksoz gazları örneğin NO (Azot monoksit) de yeterince seyrekleştirilir ve zararlı etkisi de azalmış olur.

NO gazının etkisi uzun sürede anlaşıldığı halde CO gazının sıratle etki eden durumu mevcuttur. (örnek: 250 ppm yoğunlukta CO gazı içinde bir (1) saat bulunmak insanda hemen hafif baş ağrısı yapar ve bu baş ağrısı hemen geçmez.

***Önerilen CO gazı emisyon seviyeleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:***

**Tablo : Pik trafikte CO limitleri**

Tünel Tip	Düzenin akan trafik hali ( CO; ppm )	Karışık hatta durağan trafik hali ( CO; ppm )
Yerleşim Yeri Tüneli ( kapasitesi-tam kullanma)		
Günlük karışık..	100-150*	100-150*
Bazen karışık	100-150*	250
Şehirler arası yolcu tüneli (karayolu-dağ)	150	250

Not : \* C ve D standartı sahaları için

### **d-) $NO_x$ emisyonları (azot oksitleri gaz yayılmaları)**

**Trafik Yoğunluğu:**  
Trafik araç bileşimi, trafik yoğunluğu ve hacmi, tünel içinde CO yayılması ile doğrudan bağlantılıdır. Bu durum dikkate alınarak; bilgilerin değerlendirilir

Birçok ülkede, çevredeki  $NO_2$  gazının uzun ve kısa vadeden seviyelerini esas alan kirlenmiş tünel havasının etkisini ortaya koymak bir çeşit uygulamadır. Tünel havalandırma sistemi bu ihtiyaçların bulunması için ayarlanması veya değiştirilmesi gerekmektedir.

### **$NO$ ve $NO_2$ gazının dönüşüm oranları:**

Araçlar tarafından yayılan  $NO_x$  gazları genelde NO (karbon monoksit) gazı içerir, ama atmosferde  $O_2$  (oksijen) alarak yani oksitlenerek çok daha zehirli olan  $NO_2$  gazı haline dönüşür.

NO muhtevası (icermesi) tarafından tesir eden dönüşüm oranı; çevre sıcaklığı ve gün ışığının yoğunluğuna bağlıdır, bu sebeple değerler ancak ortalama verilebilir.

Tünel çıkış portallarındaki ölçümler, hacimsel dönüşüm oranlarının % 5 ile % 10 arasında olduğunu göstermektedir, birkaç km lik daha uzun tünelerde bu oran % 20 ye kadar yükseleniyor.

$NO_2$  (azot dioksit) yayılımının değerlendirilmesi için, tünel çıkış portallarında hacimsel oranın % 30 – 50 arasında olabileceği kabul edilebilir.

Tünel havalandırma şaftından yayılan tünel havası zemine deðmeden evvel atmosferde uzunca bir süre kalır. Bu durumda hacimsel dönüşüm oranı % 60 kabul edilebilir.

### **Gazların formül, molekül gramı ve 1 m<sup>3</sup> teki ağırlıkları**

Gazın Adı	Formülü	Molekül gramı	Kg/m <sup>3</sup>
Karbon monoksit	$CO$	28,01	1,165 – 1,250
Karbon Dioksit	$CO_2$	44,01	1,842 – 1,977
Azot oksit	$NO$	30	1,249
Azot dioksit	$NO_2$	46,06	1,800-1,900
Hava	(% 78 $N_2$ ve % 21 $O_2$ )	29	1,205-1,293
Hidrojen Sülfür	$H_2 S$	34,076	1,434

### **$NO_x$ (azot oksitleri) nin Özgül Ağırlıkları:**

NO ile  $NO_2$  arasında dönüşüm oranları hacimsel temele dayalı olarak verildiği gibi, NO gazı yayılımının da tek başına hacimsel dönüşüm temeline dayalı olarak verilmesi tercih edilebilir. Bununla birlikte çevresel etkisini ortaya koymak için ağırlık birimi kullanmak adettendir. Bu miktarlar hava sıcaklığı ve hava basıncı şartlarına bağlıdır.

Ortalama özgül ağırlıklar:

1  $m^3$  NO gazı = 1,2 kg / litre ve 1 ppm NO = 1,2 g /  $m^3$  1 ppb NO = 1,2 mgr /  $m^3$

1  $m^3$   $NO_2$  gazı = 1,9 kg / litre ve 1 ppm  $NO_2$  = 1,9 g /  $m^3$  1 ppb  $NO_2$  = 1,9 mgr /  $m^3$

### **$NO$ (azot oksit) emisyon (gaz yayılması Hesapları:**

NO gazı yayılması CO gazı yayılması ile aynı parametrelerde tesir gösterir.

Bu sebeple aynı hesap usulü buna da adapte edilebilir:

$$Q_{NO} = q_{NO}^0 \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_H$$

$Q_{NO}$  = NO gaz yayılımının (emisyon) miktarı ( $m^3$  / saat, personel aracı)

$q_{NO}^0$  = temel değer NO gaz (emisyon) yayımı araç başına

$f_v$  = Araçların hız faktörü (-)

$f_i$  = Yolun eğim faktörü

$f_H$  = Yol ve aracın bulunduğu yüksekliğin gaz yayılması faktörü

### **Temel NO gazının yolcu taşıtları için değerleri :**

NO gazının yayılma (emisyon) kuralları; etki bakımından aynen CO gazının emisyon kuralları gibi olduğundan, CO için daha önce anlatılan biçimde standart klasları olan A-D NO (azot oksit) için de kullanılabilir.

Temelde NO emisyonu yolcu araçları için  $v = 60$  km / saat hız,  $i = 0$  % eğim ve rakım olarak da deniz seviyesi için aşağıdaki tablo verilmiştir:  $q_{NO}^0 = (m^3 / saat, yolcu aracı)$

Standart <sup>1)</sup>	1987	1995	2000
A	0,06	0,03 <sup>2,3)</sup>	0,02 <sup>2,3)</sup>
B	0,06	0,04 <sup>3)</sup>	0,03 <sup>3)</sup>
C	0,06	0,05 <sup>3,4)</sup>	0,04 <sup>3,4)</sup>
D	0,06	0,06	0,06

#### **Yukarıda: Temel NO değerleri Tablosu aşağıda ek notlar:**

- 1) Kendine özgü uygulamada, verilen A-D standart değerleri verildiğinden beri ayrı bir durum meydana gelebilir, o vakit gerçek ulusal değer kontrol edilmelidir.
- 2) 1987 yılı başlarından beri Amerikan (US) standartlarının zorlandığı ülkelerde uygulanmaktadır.
- 3) Belirli özel standartların yürürlükte olduğu yerlerdeki ön kabullerdir.
- 4) Sonraları gaz yayılması gözlendiğinde B standart değerleri dikkate alınmalıdır.

#### **Yolcu araçları için Hız (v)faktörleri**

0 ile 80 km/saat arası hızlar için önerilen doğrusal grafik şekilde belirtildi:

#### **Yolcu araçları için Eğim( i) faktörleri:**

Yolcu araçlarının seyrettiği yolun % (-)6, 0, ve (+)6 eğimlerine göre oluşan eğim faktör değerleri doğrusal bağlantılı olarak grafikte gösterilmektedir:

#### **Yolcu araçları için Yükseklik (H) faktörleri:**

Yükseklik faktörü ekseri teknik ekipman ve motor durumuna bağlı olarak etki eder. Daha önceki raporlarda verilen NO yayılımının NO gazı yayılımının yolcu aracı ve yük kamyonu arasındaki daha alçak kottaki farklılıklar, tüneldeki bu yükseklikteki saha ölçümelerinin analizlerinde de geçerlidir. Bu faktör değerleri için aşağıda verilen grafiklerin doğrusal (lineer olarak) kullanılması önerilmektedir:

Kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı derişimi:

Örnek olarak Japonya da kabul edilebilir NO gazı kesafetinin havadaki miktarı limiti; 25 ppm NO (30 mg/m<sup>3</sup>) olarak verilmiştir. Fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini kontrol edemez.

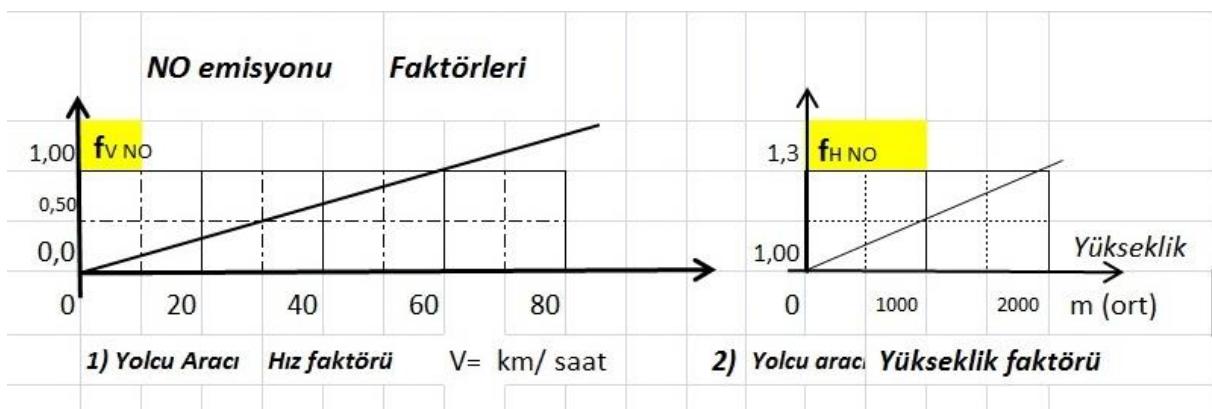
#### **Kamyonlar için NO (azot oksit) gazı yayılımı (emisyon) :**

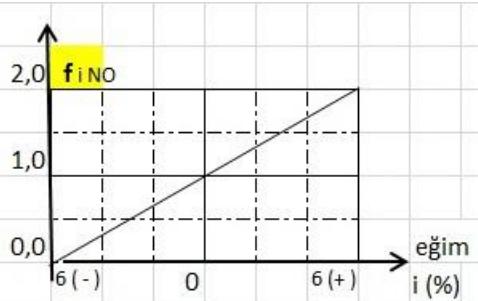
#### **NO gazı yayılması Hesabı:**

Yolcu araçları için yapılan hesap usulünün aynısı kamyonlarda da geçerlidir.

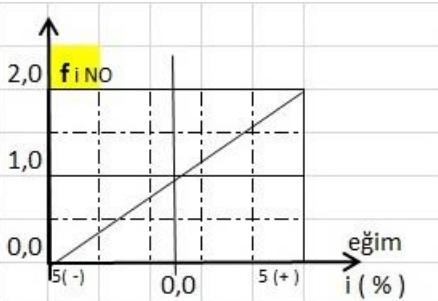
#### **Otobüsler ve Kamyonlar için temel NO değerleri:**

Eksoz emisyon şartları ve kuralları kamyonlarla yolcu araçlarının kiler tamı tamına aynı değildir. Ülkelerdeki NO<sub>x</sub> (azot gazları) limitleri; US (Amerikan) ve ECE (Avrupa) standartları hemen hemen eşittir. Bu ülkelerde NO<sub>x</sub> (azot gazları) limitlerinin aşağı yukarı **% 40** daha azaltılması yönünde eğilim vardır.

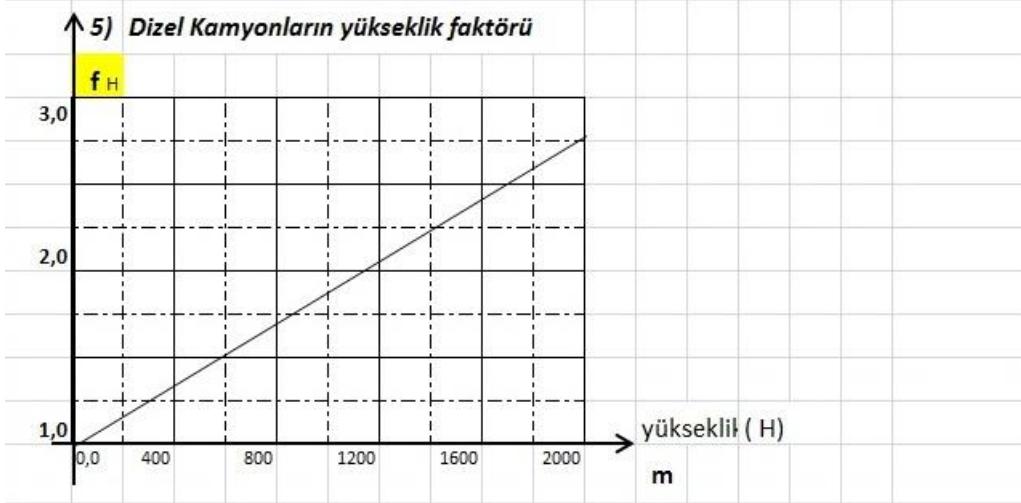




3) Yolcu aracı eğim faktörü



4) Kamyon eğim faktörü



Standart A ve B için; **NO** gazı emisyonu gelecek 10 yılda % 40 düşürülecektir.

Standart C ve D için; Yeni bir kural düşünülmüyor veya onların şartları yürürlükte olacak.

Aşağıdaki tabloda her bir aracın ton başına kabul edilebileceği özel değerler önerilmektedir:

Temel NO gazı değerleri tablosu:  $q_{NO}^0$  (m<sup>3</sup> / saat) kamyon

Standart	1987 yılı	1995 yılı	2000 yılı
A, B	0,037	0,029 <sup>2)</sup>	0,025 <sup>2)</sup>
C, D	0,037	0,037 <sup>2)</sup>	0,037 <sup>2)</sup>

5) Özel uygulamada, A ve D standartlarının verildiği değerler zamanından beri belki değişiklik olabilir, o sebeple gerçek ulusal standart kontrol edilmelidir.

6) Bu koşulların kabulü; özel standardın mevcut durumu korunmalıdır.

Kamyonlar için hız faktörü: Yukarıdaki yolcu aracı için bağlantı kullanılabilir.

Kamyonlar için eğim faktörü: Yukarıdaki yolcu aracı için bağlantı kullanılabilir.

Kamyonlar için Yükseklik faktörü: Halihazır durumda ve zamanda yolcu araçları için yukarıdaki şekillerde gösterilen aynı yükseklikteki etkiler önerilir.

Makul, kabul edilebilir NO (azot oksit) gazı yoğunluklar:

Japonya da gaz içindeki NO gazı kesafetinin limiti 25 ppm dir, fakat genelde bu limit taze hava gereksinimini bize tam açıklayamaz ve bu miktar taze havayı tarif edemez.

#### e. Duman seyreltilmesi için taze hava gereksinimleri (koşulları)

Taze hava gereksinim debi formülü:

$$Q_F = \frac{q_T^0 \cdot m \cdot f_{IV} \cdot f_H}{3600} \cdot D_{hv} \cdot \frac{1}{K_{lim}} \quad \text{Bu formülde her bir ifade açıklaması şöyledir:}$$

**$Q_F$**  = her km hattın saniyedeki taze hava ihtiyacı miktarı (  $m^3 / \text{saniye. km. hat}$  )

**$q_T^0$**  = Duman yayılmasının temel değeri (  $m^2 / \text{saat.ton}$  )

**m** = Esas araç ağırlığı ( t )

**$f_{IV}$**  = eğim / hız faktörü ( - )

**$f_H$**  = Yükseklik faktörü ( - )

**$D_{hv}$**  = Bir şerit hattın her km sindeki ağır taşıt sayısı =  $M/V$  (  $hv/\text{km. hat}$  )

**$M_{hv}$**  = Bir şeritteki ağır vasıtaların saatlik trafik hacmi (  $hv/\text{saat. hat}$  )

**V** = Kamyonun (yük aracı) esas sürüş hızı (  $\text{km} / \text{saat}$  )

**$K_{lim}$**  = makul, kabul edilebilir duman yoğunluğu (  $1 / \text{m}$  ) ( litre / metre )

#### **DİZEL MOTORLU KAMYON VE OTOBÜSLER İÇİN TEMEL DUMAN DEĞERLERİ:**

Kod ECE R 24 (23.Ağ.1971) de verilen duman sınırları limitleri vardır, ama A ve B klasta olan ve hava kirliliğini kontrol edebilen ülkelerde sonuçların görünümü alınır.

A klastaki ülkelerin yüzde ( % ) 20 – 40 gibisi **ECE R 49** tabbkatındadır, kendi kendinden hava alan dizel motorlar; daha az duman yayan turbo şajlı içten soğutmalı dizel motorlar ile yer değiştirecektir.

Tipe D tipi ülkelerde aynı değerler hatta daha yüksek değerde emisyon vardır. Bu düşüncelerde başka aşağıda önerilen emisyon değerleri kullanılmalıdır:

Kamyon ve otobüsler için temel duman değerleri:

**$q_T^0$**  (  $m^2 / \text{saat.taşit}$  ) otobüs/kamyon ;

Standart:	1987	2000
A	16*	10*
B	16	13
C	16	16
D	16 – 25	16 - 25

( \*) A standartlı ülkeden B-D standartlı ülke aracı geçmediği düşüncesiyle,

#### **Ortalama araç ağırlıkları:**

Her tünel projesi için o bölgedeki kamyon durumu analiz edilmelidir.

Ağırlık dizileri aşağıdaki şekilde kabul edilir:

**$m = 6 - 10 t$**  Şehir içi tünellerde, büyük oranda hafif ağırlık taşıtları; dağıtım kamyonetleri ve otobüsler,

**$m = 15 - 19 t$**  Normal ulusal karayolundaki Karayolu Tünelleri,

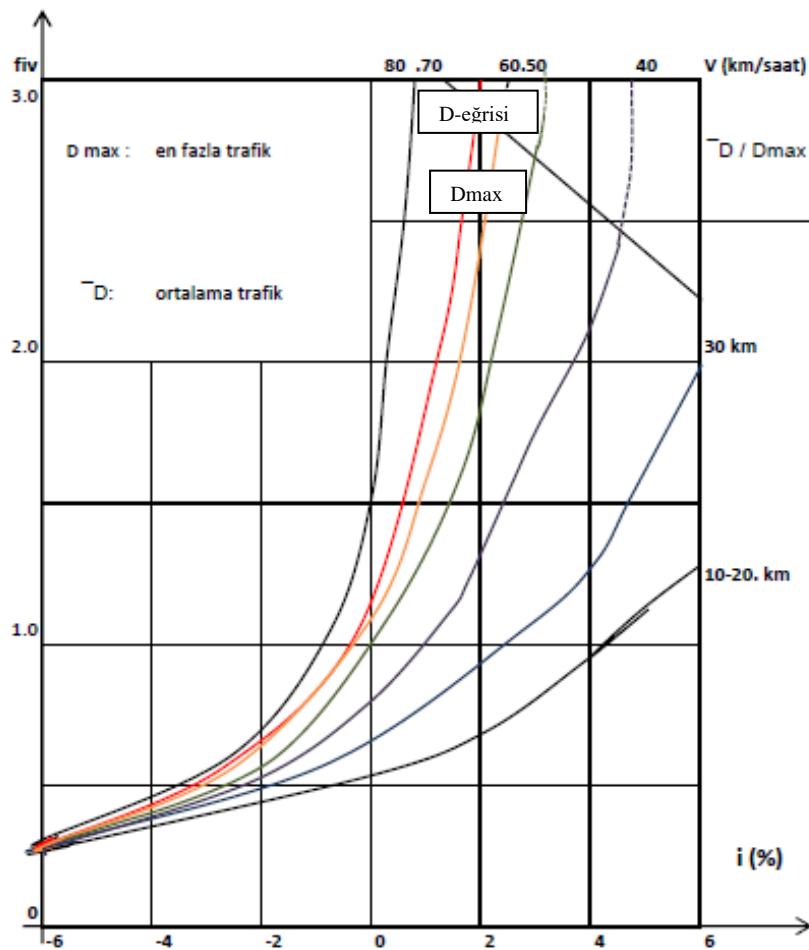
**$m = 20 - 30 t$**  -Ulusal yükleme sınırlarına uyulan, yüksek oranda tam yüklü kamyonların mevcut olduğu, ana taşıma alanında olan tüneller.

#### **Diesel araçlar için eğim ve hız faktörleri:**

- Yukarı doğru eğimdeki yoğun ve durağan trafikte, duman kiri yayılımı artar, daha önce düşünülenen daha yüksek seviyede ve ortalamadan fazla yayılıma katkı verir.

- Genel eğilim, yüksek hız ve kısa sürede ivme kazanma için tam dolu yük kamyonlarının motor güçlerinin artmasını gerektirir. Daha yüksek eğimlerde hız limit eğrisini ( $D_{max}$ ) eğrisine yaklaşır.

$D_{max}$  eğrisi



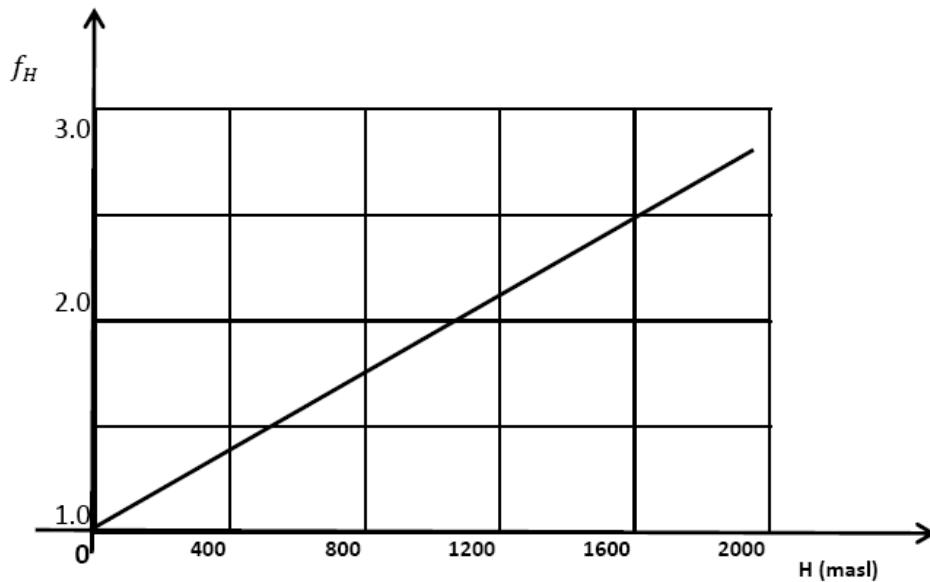
Eğim ve hızla bağlı olan faktör

$-D_{max}$  (maksimum trafik yoğunluk eğrisi) gösteriyor ki eğim arttıkça ve hız arttıkça her bir yol hattındaki araçların duman yayımı çok yoğun etki yapmaktadır, ama hız azalınca bu miktar azalmaktadır.

- Eğer geçiş şeridi varsa veya güçlü kamyon araçları genelde trafige ekseriyette ise D- eğrisi uygulanabilir ( Ki maksimum motor gücü için ortalama 10 HP / t (beygir gücü) ton başına ..)

#### Dizel Kamyonlar için Yükseklik faktörü:

Hali hazırda yüksekliğin duman yayılımının değişik etkisi olmasının konusunda ek bir görüş mevcut değildir. Benzinli ve dizel araçların yüksekliğe göre yayılımı aşağıdadır:



Dizel motorlu kamyonlar için yükseklik faktörü

### İzin verilebilen görüş limitleri

Müsaade edilebilen görüş limitleri tablosu:

Tünel Tipi:	$K_{max}$ en yoğun(pik) trafikte ( $m^{-1}$ )
Yoğun hızlı trafiği olan şehir tüneli....	0,005
Uluslararası yolda şehir tüneli..	$V= 60-80 \text{ km/h}$ $V=100 \text{ km/h}$
	0,0075 0,005

Görüş katsayısı K yoğun trafikte düşürülebilir ve K – değeri  $0,009 \text{ m}^{-1}$  değerine artırılabilir, fakat yerleşim yeri (şehir) tünellerinde  $K= 0,0075 \text{ m}^{-1}$  in üstünde olamaz. Eğer K değeri  $K = 0,012 \text{ m}^{-1}$  değerine erişince tünel hemen kapatılmalıdır. Tünel içinde bakım çalışması yapılıyorsa K değeri  $K= 0,002$  ile  $0,003 \text{ m}^{-1}$  arasında olmalıdır.

### f-) Acil Yangın Durumunun Şartları

Tünellerde yangın ara sıra nadiren olmakla birlikte, eninde sonunda olması ihtimaline karşı gelişmiş operasyon planının içinde daima göz önüne alınmalıdır. Tünelde yangın olması anında kayıtlı kontrol sistemi derhal otomatik olarak açılmalı ve bu işlem normal operasyondan acil yangın operasyonuna kadar her şartlarda devrede olmalıdır.

İlk aşamada kesitteki normal hava fanları operasyonları yangının olduğu yerde durdurulacak veya hava akımının hızı saniyede iki metrenin altına düşürecek şekilde aşağıya düşürülecektir. Taze hava temin fanları durdurulacaktır. Sonra acil fanlar çok yüksek kapasitede olarak bol miktarda ve yüksek hızda yangını önleme programına göre çalışacaktır.

### **1.3. HAVALANDIRMA SİSTEMİ**

#### a.) Genel

Havalandırmanın amacı; tünel içeresine taze hava temin ederek tünel içindeki zararlı dumanları katlanılabılır (tahammül edilebilir) bir miktara çekmek için azaltma işidir.

Ayrımlı veya seçim doğal veya mekanik havalandırma işleri arasında yapılabilir

#### b.) Doğal Havalandırma:

Her tünelde bir miktar doğal havalandırma vardır. Bu tünelin iki baş portal yerinin açıçık da olsa meteorolojik basınç farkından doğar veya tünelden geçen araçların piston etkisi veya baca etkisi

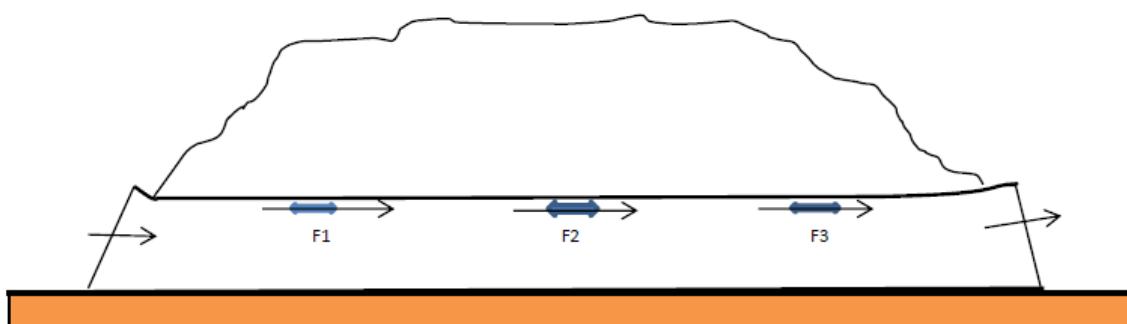
nedeniyle olur. Doğal havalandırmanın yeterli olup olmayacağı kararını, trafik hacmine, tünel uzunluğuna, yolun eğimine ve meteorolojik durumuna bağlıdır.

Çok kısa tünellerde normal şartlar altında havalandırma yeterlidir. Fakat günlük trafik birkaç yüz adet aracı geçerse, uzunluğu da birkaç km yi bulursa mekanik havalandırma olmadan bu tünelde seyahat etmek imkansız olur. Havalandırma sadece çok düşük miktarda meydana gelmiş zehirli dumanların seyreltilmesine yeterli olabilir. Ama zararlı gazları doğal havalandırma seyreltemiyorsa bu sınırdan sonra mekanik havalandırma kurulması gerekecektir.

### **c.) Mekanik Havalandırma:**

#### **c.1-) Jet Fanlar ile Boyuna Havalandırma:**

Boyuna havalandırma sisteminde taze hava tünel girişinin (portal) birinden getirilerek tünele basılır. Bu boyuna havalandırma sistemi; düşük maliyetli kurulması ve yapımı olduğu için mekanik havalandırma sisteminin en ucuz sistemidir. Boyuna hava akımını tesis etmek için, tünellerin tavanlarına veya yan duvarlarına fanlar yerleştirilir. Fanlar tünel ekseni boyunca taze havayı içeriye alır veya dışarıya daha yüksek hızda üfllerler. Bu jet fanlarda gelen itme gücü tünel içindeki havaya aktarılır. Fanlar genellikle iki yönde çalışabilir olarak yapılmıştır, havanın akımını bir yönden diğer tarafa çevirebilmesi, yani diğer yöne hava akımı verebilmesi için fan üflemeleri değişimle mümkündür. Bu durum doğal havalandırmanın da fan havalandırmamasına aynı doğrultuda hava üfleme imkanı işlemeye yarar. Hava kirliliğinin artışı doğrusal olarak gelişir. Bu tip havalandırma hava hızı 8-10 m/saniyeyi geçince kullanılmamalıdır. Hava akımının yüksek hızlarında araçlarını terk edecek kişiler boyuna akım tehlike



**Jet fanlar ile Boyuna havalandırma**



**Tünel boyunca CO (karbon dioksit) muhtevası (İçeriği)**

yaratır.

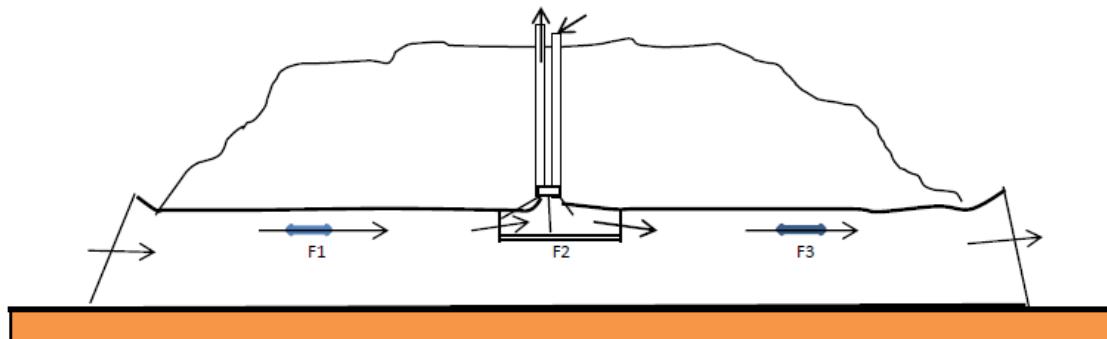
#### **c.2-) Jet Fanlarla Bölünmüş Boyuna Havalandırma Sistemi:**

Bu sistemde, tünel içindeki hava belirli bölgelere ayrılır. Eksoz gazları kendine yakın şafttan veya yaklaşım tüneli çıkışında dışarı atılır, taze hava ise belirli şaft veya galeriden içeri alınır. Dışarı atılacak hava veya içeri alınacak hava tünel içinde birbirine paralel tüplerde de taşınabilir. Bu sistem jet fanlı boyuna havalandırma sisteminin avantajıdır. Aynı şaft veya tüp içerisinde hava taşımanın **birinci şartı** tünel içindeki hava hızının 8-10 m/saniyenin altında olmasını temin etmek olmalıdır.

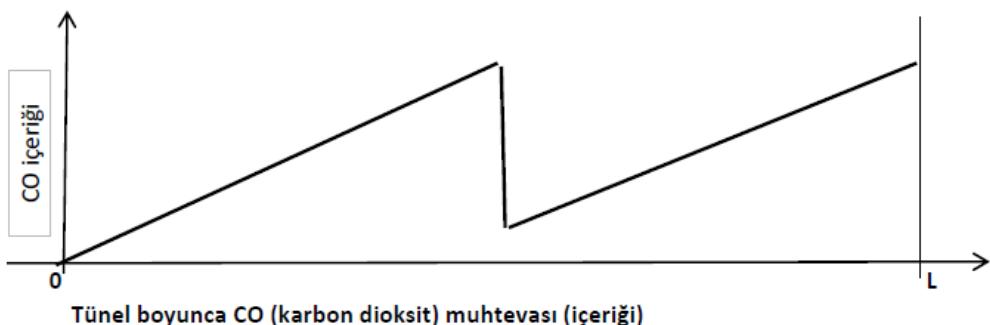
Hava kirliliğinin dağılımı testere dışı karakterindedir. Temiz hava içeriye üflendiğinde kirlilik yoğunluğu keskin olarak hemen aşağıya çöker.

Japonlar elektrostatik çöktürücü sistem geliştirdi ve uzun yol tünelleri için boyuna havalandırma ile birlikte kullanıyorlar. Bu elektrostatik filtreler eksozdan çıkan zerreleri yüzde 70 ile 80 civarında kısmını çökeltiyor, fakat zehirli yayılım olan CO, NO, HC gibi gazlar için etkili olamıyor. Bu tip filtrelerin yapım ve bakım maliyeti oldukça yüksektir. Her bir filtre istasyonu fan gurubu ve yardımcı

elektrik sistemi dahil bir dışarı atma tüneli ister. Filtreleme istasyonlarının kurulma mesafe aralığı ise ortalama 600 – 1000 m civarındadır.



**Jet fanlar ile Boyuna Bölünmüş olarak havalandırma**

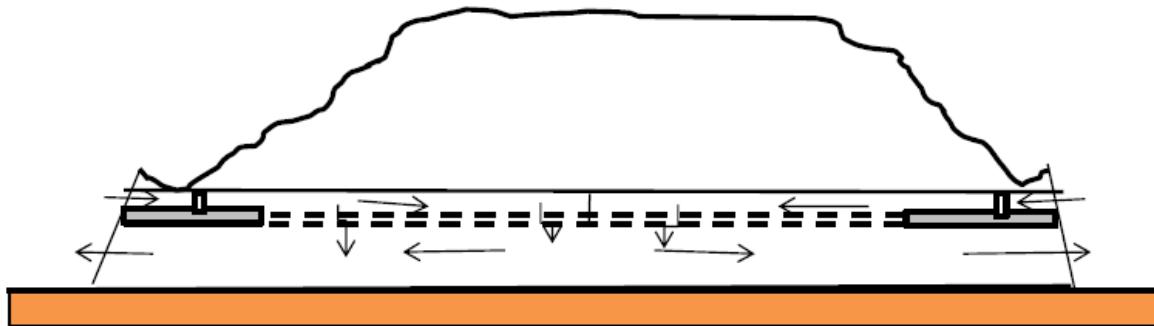


Avrupa ve Japonya'da ki tünellerde arazi deneyimleri ve son çalışmalar tek yönlü trafik ile tünelden geçilmesi(yani iki tüplü, biri gidiş, diğerini geliş) halinde; yangın şartlarında dahi, boyuna havalandırma sistemi daha yüksek seviyede emniyetli olmaktadır. Yangın sebebiyle soyutlanmış bağımsız bölgedeki sıcak gazların ve dumanın akışı, blok olarak tayin edilen yerde ve daima boş olan tünelden dışarı atılır. İlaveten; paralel olarak yapılmış tünel tüpleri, birbirine geçiş koridor tüneli yapımı sayesinde çok iyi kaçış imkanı sağlar.

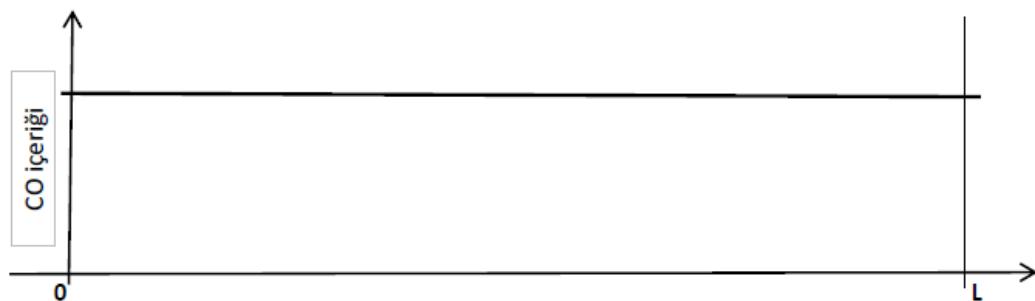
### **Yarı enlemesine Havalandırma sistemi**

Eğer tünelin her yerinde kirlilik aynı ise, tünel aksı boyunca birkaç metrede (örneğin 5- 8 m civarı) taze hava tünele verilmelidir. Bu iş ancak ana tünele paralel bir kutu hava kanalı (duct) yapımı ile sağlanır. Bu hava kanalının tünel tavanında veya tavanında olması önemli değildir. Hava tünelin enlemesine her açılan pencerelerden üflenmelidir. Eksoz gazları bu gelen havanın etkisi ile boyuna doğrultuda tüneli terk edecektir. Bu sebeple bu sisteme yarı enine havalandırma sistemi denilmektedir.

Fanlar genellikle iki tarafa çalışabilir olmalıdır. Bu fanlar içerisindeki kirli havayı çıkışma işinde de kullanılabilmeliler. Bu bize, tünelin ortalama her 6 (altı) metresinden yanın nedeniyle oluşacak dumanın, kir vaseirenin devamlı olarak dışarı atılabilmesini sağlar.



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan Enlemesine Havalandırma



Tünel boyunca CO (karbon dioksit) muhtevası (İçeriği)

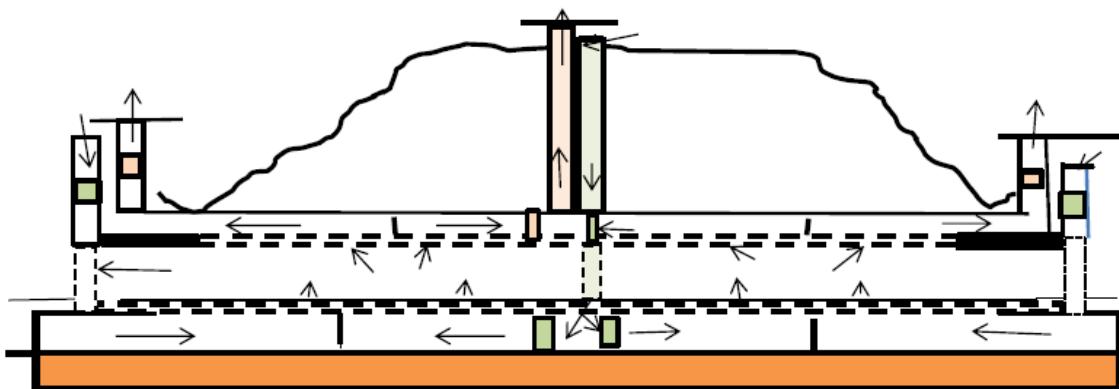
Yarı enlemesine havalandırmanın avantajları yüksek yapım maliyeti yüzünden askıya alınmaktadır. Bu inşaattın gereği ikinci tüp demek daha büyük kazı ve daha fazla harcama, ikinci tavanı oluşturmak ise ayrı bir ek masraf gerektiriyor. Bir önce anlatılan boyuna havalandırmanın işletme masrafından da bu sistemin işletme maliyeti fazladır. Bu sebeplerle yarı enlemesine havalandırma sistemi nadiren kullanılmaktadır.

Boyuna havalandırma hızı 8-10 m/ saniyeye ulaşınca yarı enlemesine havalandırma sisteminin limite erişmiş olunur. O zaman eksoz gazlarının seyreltilmesi gereklidir.

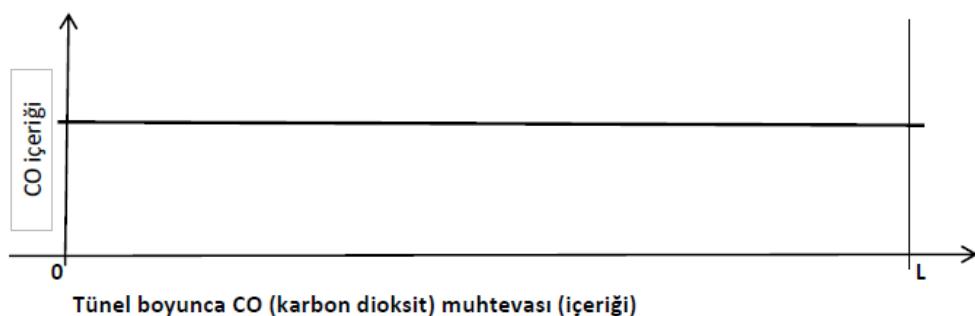
#### Enlemesine Tam havalandırma sistemi:

Bu tip havalandırma sisteminde hem taze hava kanalı (duct), hem de eksoz havası için kanala ihtiyaç vardır. Bu hava kanallarını tünel trafik platformu altında veya üstünde olması önemli değildir. Taze hava kanallardan tünel aksına doğru üflenir ve aynı kanallardan eksoz gazı enine doğru emilip dışarı atılır. Bu işlem gereğine göre yön de değiştirir. Bu sebeple yapılan bu tip havalandırma şecline enine havalandırma denilmektedir.

Enine havalandırma aynı anda dumanın seyreltilmesini de sağladığı ve yolculara taze hava üfleneıldığı için yanık halinde çok yüksek derecede emniyetlidir. Bu sistemin yapılması ve işletilmesi her şeye rağmen pahalıdır. Yüksek derecede kazı masrafı gerektiren iki boyuna menfeze (box, duck) ihtiyaç vardır. Eksoz gazını ve taze havayı ayırmak için aralarına duvar yapılan ikinci bir tünel tavanı gerektirir. (Aşağıdaki şekilde)



Taze hava içeriye üflenmesi suretiyle yapılan **Enlemeden Tam** Havalandırma



### **HAVALANDIRMA İÇİN GEREKLİ HAVA MİKTARININ TESPİTİ:**

Tünel içindeki havanın yolcular için emniyetli hale gelmesini temin için:

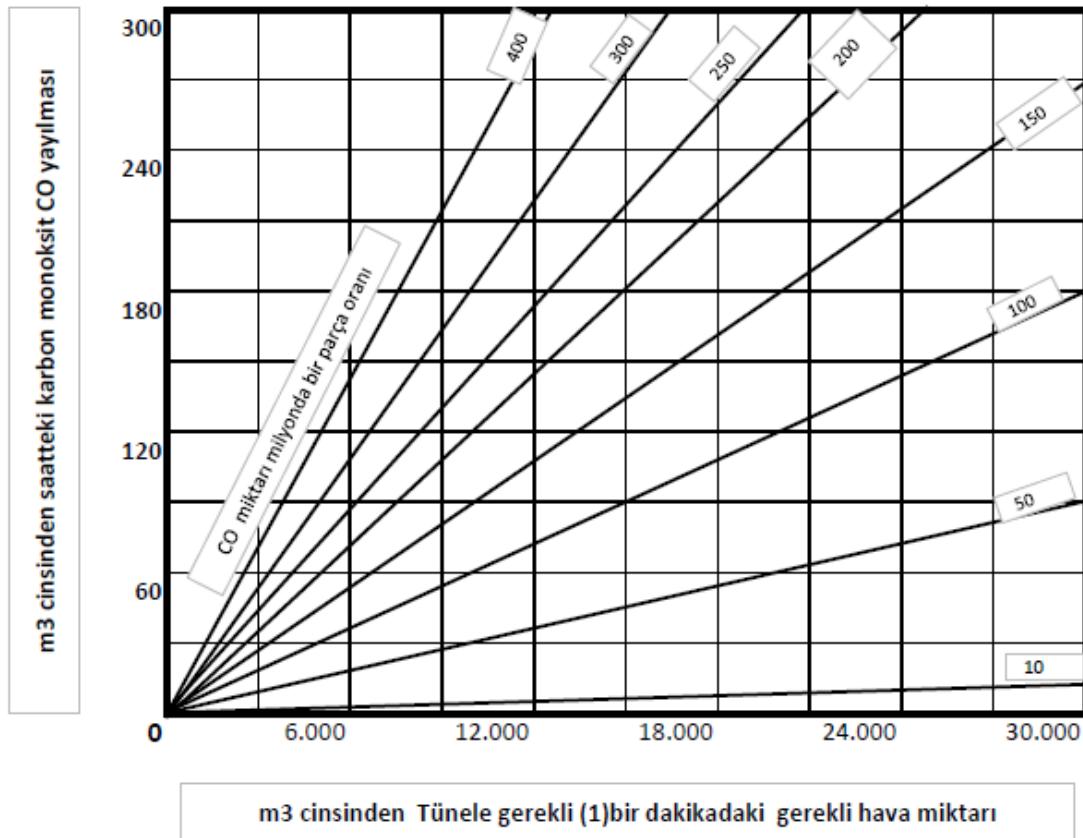
- e.) O tüneldeki koşullara göre meydana gelen CO miktarının tespiti gereklidir
- f.) Bu miktar:
  - b1.) Araçların sayısına
  - b2.) Araçların cinsine
  - b3.) Yolun eğimi ve tünel yerinin yüksekliğine,
  - b4.) Araçların Hızına bağlıdır..

Araçların CO ve  $CO_2$  ve diğer gazlar salımı araç kataloğuunda verilmektedir.

Bu normal şartlar değerlerini yukarıdaki tablolarda gösterilen yolun eğimi, yüksekliği ve araç hız durumu faktörlerini de ekleyerek hesap edilirse yaklaşık kirlilik miktarı ve kirli gaz hacmi ortaya çıkar.

Bu kirlilik hacmi aşağıdaki grafik görülen seçme değeri örneğin 150-250 ppm (milyonda bu kadar) değeri ile kesişirse o tüneldeki hava gereksinimi ortaya çıkar.

Piyasada tünel fanlarının kapasite ve güçleri mevcuttur. Emniyetli tarafta olan fan gurubu buradan bulunabilir.



m<sup>3</sup> cinsinden Tünele gerekli (1)bir dakikadaki gerekli hava miktarı

#### HAVA AKIŞ DİYAGRAMININ SON ŞEKLİ

Tekrar hatırlayalım CO seyreltilmesi için gerekli hava miktarı aşağıdaki formülle verildi:

CO seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı, kendini etkileyen çeşitli faktörlerin fonksiyonu olarak şöyle gösterilebilir:

$$Q_F = f \left( \frac{q_{CO} \times f_Y \times f_I \times f_H \times D_{pc}}{CO_{Im}} \right)$$

Burada;

- $Q_F$  : Taze hava miktarı gereksinmesi ( $m^3 / s, km^3$  şerit)
- $f_Y$  : Birim otomobil CO emisyon miktarı ( $m^3/h, oto$ )
- $f_I$  : Hız faktörü (-)
- $f_H$  : Tünelin inşa edileceği yerin deniz seviyesinden yükseklik faktörü ( - )
- $D_{pc}$  : Kilometre-şerit başına otomobil sayısı ( oto/km, şerit )
- $CO_{Im}$ , : İzin verilen maksimum CO yoğunluğu ( ppm CO )

Bir başka ifade ile;

- \* Birim otomobil CO emisyon miktarı ( eski model ve motoru ayarsız araçlarda daha çok ),
- \* Araç hızı,
- \* Rampa çıkışlarında tünel eğimi,
- \* Deniz seviyesinden yükseklik,
- \* Trafik yoğunluğu,

#### 4. RAYLI SİSTEMDE TÜNEL VE İSTASYONLARIN HAVALANDIRILMASI

Raylı sistemler yeraltında hat veya istasyon şeklinde olabilir.

Raylı sistemeler elektrik enerjisi ile çalıştığı için hat tünelinin normal şartlarda havalandırılması gerekmekz.

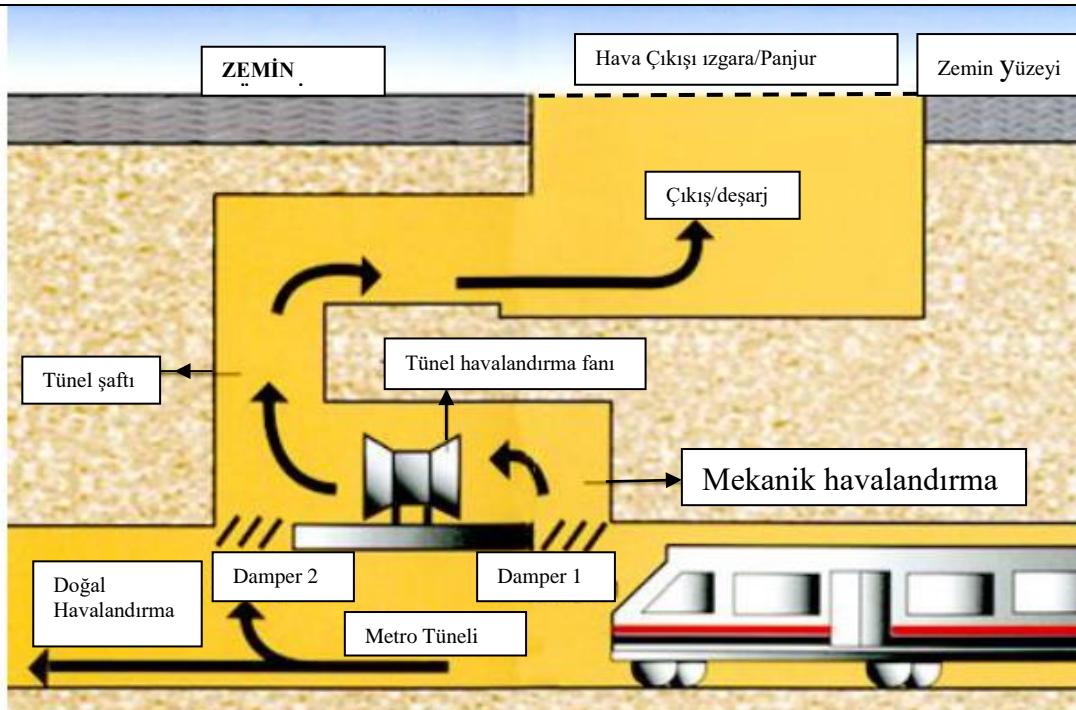
İstasyonlarda raylı sistem aracına binecek ve inecek kişilerin istasyon içindeki konforunu sağlamak için:  
1) Normal havalandırma ve yangın felaketi olması durumunda ise

- 2) Acil havalandırma gereksinimi vardır.  
 3) Ayrıca bilet holü katlarında da o bölgedeki konforu sağlayacak o bölüme yetecek kapasitede havalandırma tesisi kurulmalıdır.

Aşağıda istasyon tüneli boy kesitinde çalışan havalandır şekline ait bir örnek görülmektedir:

- 7.) OTE fan: Trene binilen platformun bulunduğu tünelin hava kirliliğini düzenleyen fan yaklaşık örnek olarak İzmir metro istasyonlarını gösterirsek 50 m<sup>3</sup>/saniye yani saatte 180 000 m<sup>3</sup> hava basma kapasitesinde olmalı ve havanın gereksinimine göre fan yönü değişken tip (reversible) olarak yapılmış olmalıdır. Hat boyu kirli havası baca ve şaftlar vasıtası ile yer yüzeyine atılır, gerekli ise oradan taze hava platforma şaftın diğer bölümünden getirilir. Fan gücü yaklaşık 75 kW tır.
- 8.) TVF fan: Tünel Acil Havalandırma Fanı: Platform tüneline bağlı herhangi bir yangın olması halinde acil olarak yanık simülasyon programına göre devreye girecek yüksek kapasiteli fandır. Bu fan içerisindeki insanların emniyetli bir şekilde yanık yerinden uzaklaşması için gerekli taze havayı sağlamakla birlikte ortamdaki yoğun yanık dumanını da uzaklaştıracaktır. Onun için kapasitesi yüksektir. Yaklaşık 100 m<sup>3</sup>/saniye ortalama 250 000-360 000m<sup>3</sup>/saat miktarda havayı temin edecek güçte 200 kW civarında olmalıdır.  
 Bu fanların nasıl kumanda edileceği ayrı bir kullanım yönetmeliği ile işletmelere verilir, işletmeden evvel de tatbikatı yapılır ki ileri de ikim taraf katarının da istasyonda olması halinde yaklaşık 3000-4000 yolcu bulunıldığı zamanlarda insanların nasıl hareket edeceğini öğrenilmelidir.
- 9.) Gişe Katı Acil havalandırma fanı: yaklaşık 17 m<sup>3</sup>/saniye (60 000 m<sup>3</sup>) saat kapasitelidir ve gişe katının konforu ve acil durumları için tesis edilir. Fan gücü yaklaşık 22 kW tır. Tüm fanlar ne kötü yanık şartlarına ( 250 dereceye 1 saat, 180 dereceye 3 saat dayanmalı) en az bir (1) saat dayanıklı olacak şekilde korumalı olacak ve o evsafat malzemeden yapılmış olacaktır.

#### METRO TÜNELLERİNDE DAMPER SİSTEM İLE TİPİK HAVA TAHLİYE



## METRO AC-KAPA İSTASYONU EN KESİT ÜZERİNDE HAVALANDIRMA ŞEKLİ GÖSTERİLMESİ



## **9 - KARAYOLU TÜNELLERİİNDE TRAFİK KONTROLU ve AYDINLATMA**

Araç geçen tüm tünelerde haberleşme ve trafik denetimine ihtiyaç vardır.

Bu tünelerde işletme güçlüğü; trafik yoğunluğu, tünelin boyu, tünelin bulunduğu yer, iklim koşulları ve tünelin otoyol üzerinde olup olmaması durumuna bağlı olarak meydana gelir. İki hatlı trafik bulunan tünel için minimum gereksinimler aşağıda sıralanmıştır:

- a- Havalandırma için karbon monoksit izleme detektörü,
- b- Trafik gözetleme sistemleri,
- c- Yangın alarm sistemleri ve bunlar için detektör alarm sistemi,
- d- Tünele yaklaşan trafik kayıtlarını tutan sistemler,
- e- Telefon ve diğer izleme cihazları vs.

Şehir içinde boyu az olan alt geçitlerde; yangın, acil telefon ve havalandırma kontrolü izleme sistemlerini en yakın itfaiye merkezi ve polis karakoluna bağlamak emniyet ve takip bakımından uygun ve yeterli olabilir. Lakin uzun alt geçit ve tüneller ayrı işletme ister.

Eğer tünel yapısı birbirine paralel iki yapı ve ilaveten en az ikişer şeritli ise veya ayrıca otoyol karmaşık hattına da bağlı ise o zaman en az gereksinim listesi genişletilir, işaretleme yeterli olmaz ve devreye bilgisayar sistemler girer. Diğer ihtiyaçlar; trafik akışını belli bir döngü içinde izleyen ve izleme kabiliyeti yüksek ekranlı olan trafik kontrol sistemleri, genişletilmiş telsiz telefon sistemi ve özel iklimler için sis ve buzlanma detektörleri olabilir.

Karayolu tünellerinde kontrol merkezi, genellikle havalandırma binalarından birinin içine yerleştirilir. İşletme sistemi elle işlenebilir, kısmen elle kısmen otomatik, tam otomatik veya bunların karışımı şekilde olabilir. Bu merkezler herhangi bir otomatik kontrol sistemini işletmek, etkinleştirmek veya problem olduğunda onun üstesinden gelebilmek tecrübesinde olan operatörler tarafından kullanılır ve gözlenir.

Otomatik doğrulanmış kontrol sisteminin genişletilmesi ilk kuruluş ve bakımının bedeli göz önüne alınarak dikkatle analiz edilmelidir.

Aydınlatma sistemleri; çok kısa tüneller haricinde, uluslararası ve mahalli kod ve standartlara göre projelendirilmeli ve yapılmalıdır.

### **9.1. Tünel izleme ve kontrol sistemi:**

Yüksek sayıda trafik akışı olan otoyolun emniyetli bir şekilde işletilmesi, gelişmiş bir trafik gözetleme ve kontrol sistemini gerektirir. Kontrol ve izleme sistemi bilgisayarla uzaktan kontrol edebilme kapasitesi ve elle merkezden müdahale edilebilme imkânı sağlamalıdır. Gözlem ve kontrol tesisleri; insansız çalışan havalandırma istasyonu yanında arabirim istasyonu olarak olmalı ve bu istasyonda merkezi kontrol sistemine bağlı bir operatör olmalıdır.

Tünel gözlem sisteminde aşağıdaki ekip ve ekipmanları içermelidir:

- CO yoğunluk ve görme hassasiyetini ölçen ölçme cihazı,
- Tünel içindeki hava hızını ölçebilen cihaz
- Telsiz telefon sistemi,
- Dahili talimat verme ve anons verme için telefon sistemi,
- Kapalı devre TV sistemi,
- Trafik işaretleri, işaretler, değişebilir mesaj işaretleri ve trafik akışını takip için indüksiyon akımını kapsayan trafik kontrol sistemi,
- Yangın alarmını gösteren flaş lambası ve zil, yangın tulumbası, alarm haber butonu, ve telefonu içine alan acil haberleşme ekipmanları.

#### **9.2.1. Havalandırma kontrol sistemi:**

Tünel Havalandırma kontrol Sistemi, tüneldeki CO (karbon monoksit) ve duman (kirlilik) kesafetini ölçmek ve de bu sonuçların hava fanlarının çalışması için önceden belirlenmiş eşiklerle kıyaslamasını sağlayacak şekilde projelendirilir. Eğer durum tehlikeli ise ve gerekirse tünel giriş taraflarında kırmızı trafik ışığı konularak kapatılır.

Her havalandırma kesitinde tünel içindeki hava hızları ölçülmesi yapılmalıdır. Sonuç bilgileri, normal havalandırma kontrol yolu ile ilaveten de acil bildirme yöntemi ile de tünel kontrol merkezine aktarılmalıdır.

#### **9.2.2. Kapalı Devre Televizyon Sistemi:**

Tüm tünel hattı boyunca gözlem işinin garanti altına alınması için, tünel hat boyunca gözle izlenmeyi temin eden TV sistemi tesis edilmelidir. Ayrıca tünel trafik hatları izlenmesinden başka portal sahaları da gözlenebilmelidir. TV kameraları ortalama 200 m aralıkla ve gözetleme sahaları birbirinin üstüne çakışacak biçimde yerleştirilir. Kameralar içinde kuvvetli muhafazası bulunan ve odak uzaklığını belirlenmiş videolar bulundurur. Kameranın elektronik kontrolü, gündüz ve gece arasındaki ışık farkına ve değişikliklerine göre ayarlama işini sağlar.

### TÜNEL KAZISINDA DESTEKLEME DESTEKLEMEDEN ÖNCE ZEMİN KLASININ BELİRLENMESİ

Tünel kazısında destek elemanlarını seçmek için zeminin cinsine göre gerekli destekleme biçimini belirlenir. Bu destekleme malzemeleri zemin sınıfına göre değişir. Bu sebepten zeminin ilk araştırmasına göre yapılmış projelerde klaslar (sınıflandırmalar) verilir. Bunun için uzunca bir süre zemin araştırması gereklidir. Araştırma konuları ile proje hazırlama konuları bir başka bölümde incelenecaktır. Bu bölümde klas verme işi hakkında kısaca birkaç örnek vererek destekleme malzemelerinin tanımı ve özelliklerine geleceğiz.

Yüz yıldan beri tünel yapımının en emniyetli ve ekonomik bir şekilde sağlanması için inşaatın yapılacağı zeminin(kayanın) tanınması, sınıflandırılması ona göre desteklenmesi incelenmiştir. Bilim adamları bu konuda çeşitli teoriler ve pratikler önermişlerdir:

Terzaghi, 1946 yılında tünel üzerindeki yükü kaya cinsine göre çelik iksa ile taşitan bir sisteme göre klas sistemi ortaya koydu. Kaya cinsi ve tünel boyutuna göre yük hesabı kuralını ortaya koydu.

Lauffer, 1958 de kazı yapılan kayanın desteklenmeden ayakta durabilme koşullarına göre (stand-up time) sınıflam üzerine çalışmalar yapıp buna göre sınıflama ortaya koydu.

Bieniawsky, 1976 da ( revizyonu 1989 da) RMR sistemi ile tünel zeminini destekleme şekilleri üzerinde durdu. Bu sistemde genel olarak kayanın dayanımı, RQD değeri, kaya çatlaklarının yapısı, çatlak aralıkları, süreksizliklerin yapısı su muhtevası ve kazı açılığı gibi özellikler göz önüne alındı.

Barton, 1974 de Q sisteme göre sınıflama yaptı. Bu sınıflamada RQD (kayanın kalite yönelimi), kaya eklem numaralandırılma No su ( $J_n$ ), kaya eklemi pürüzlülük numaralandırılması No su ( $J_r$ ), kayanın bozusma numaralandırılması No su ( $J_a$ ), eklemlerdeki su durumuna göre kalite düşürme No su ( $J_w$ ), ve kayanın baskı altında olmasının verdiği kalite düşürme numaralandırılma faktörü (SRF) gibi detaylar göz önüne alındı.

1957-1965 yılları arasında Avusturya'da Rabcewicz, Müller, Pacher, tarafından tanıtıldı. 1974 de NATM (yeni Avusturya Tünel açma metodu) adı ile bir zemin klaslama ve tünel açma metodu gündeme tamamen konuldu. Şu anda zayıf zeminlerde de tünel inşaatının yapımına imkan veren bu sistem zemin şartlarının istediği koşullara göre adapte edilerek çoklukla kullanılmaktadır. Bu metot ile tünel kazı sistemlerinde zemin cinsine göre kazı kesiti küçültülmekte bölgümlere ayrılmakta ve zeminin kendini tutabildiği zaman içinde elde edilen kazı boşluğu kısa zamanda desteklenebilmektedir. Kazı adımları da buna göre emniyetli tutulmaktadır. Ayrıca bu metot tünel desteklemesinin aşamalarında yapım işinin emniyetli bir biçimde sürdürülüğünün kontrol şartını (monitoring) yani geride kalan kesitin peryodik olarak ölçüm şartını da istemektedir. Bu ölçüm işi devam eden yapım işlerinde desteklemenin dengeli mi, aşırı emniyetli mi yoksa emniyetsiz bir miktarda mı olduğu bilgisini belirlemektedir. Eğer tehlike varsa ek destekleme, aşırı destekleme varsa azaltma imkanını sağlamaktadır.

Kitabın bu bölümünde Bieniawky ve Barton NATM(ÖNORM) klas metotlarından kısaca bahsedilecektir. Detaylı bilgiler tünel projelendirme ve zemin araştırmaları hakkındaki ikinci kitapta anlatılacaktır. Bu kitapta şu anda çokça uygulaması olan NATM ve onun gerektirdiği desteklemeler anlatılacaktır.

**Tablo 2.2. Kaya Kütle Puanlaması (Bieniawski, 1989).**

A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ ve PUANLAR

Parametre		Değişim Aralığı				
1 Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım
	Tek eksenli basınç dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa 1-5 MPa <1 MPa
	Puan	15	12	7	4	2 1 0
2 Kayaç kalite göstergesi RQD(%)	90%-100%		75%-90%	50-75%	25%-50%	<25%
	Puan	20	17	13	8	3
3 Süreksizlik aralığı	>2 m		0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm
	Puan	20	15	10	8	5
4 Süreksizliklerin durumu	Çok pürüzlü yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler	Sürtünme izli yüzeyler	Yumuşak fay dolgusu > 5 mm kalınlıkta veya	
	Sürekli değil	Ayrılma <1mm	Ayrılma <1mm	ve ya	veya	
	Ayrılma yok	Az ayrılmış eklem yüzeyi	Çok ayrılmış eklem yüzeyi	Fay dolgusu < 5 mm veya	Ayrılma > 5 mm	
	Aynşamamış eklem yüzeyi			Ayrılma 1-5 mm	Sürekli eklemeler	
	Puan	30	25	20	10	0
5 Yeraltisuyu	Tünelin 10 m lik kısmından gelen su (l/dk)	Yok	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilim oranı	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Genel Koşullar	Tamamen Kuru	Nemli	İslak	Damlama	Su akışı
	Puan	15	10	7	4	0
<b>B. SÜREKSİZLIK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTME</b>						
Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puanlar	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60
<b>C. KAYA SINIFI ve PUANLARI</b>						
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	<21	
Sınıf No.	I	II	III	IV	V	
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya	
<b>D. KAYA SINIFLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ</b>						
Sınıf No.	I	II	III	IV	V	
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 m açılık için 20 yıl	10 m açılık için 1 yıl	5 m açılık için 1 hafta	2.5 m açılık için 10 saat	1 m açılık için 30 dakika	
Kaya kütlesinin kohezyonu (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	<100	
Kaya kütlesinin içsel sürtünme açısı (%)	> 45	35-45	25-35	15-25	<15	
<b>E. SÜREKSİZLİKLERİN DURUMUNUN PUANLANDIRILMASI İÇİN ÖNERİLEN REHBER</b>						
Süreksizliğin uzunluğu (devamlılık) puanı	< 1m 6	1 - 3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0	
Süreksilik açıklığı puanı	Yok 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0	
Pürüzlülük puanı	Çok pürüzlü 6	Pürüzlü 5	Az pürüzlü 3	Düz 1	Kaygan 0	
Dolgu puanı	Yok 6	Sert dolgu < 5 mm 4	Sert dolgu > 5 mm 2	Yumuşak dolgu < 5 mm 2	Yumuşak dolgu > 5 mm 0	
Ayrışma puanı	Ayrılmamış 6	Az ayrılmış 5	Orta derecede ayrılmış 3	Çok ayrılmış 1	Tümüyle ayrılmış 0	
<b>F. TÜNELDE SÜREKSİZLİK EĞİM ve DOĞRULTUSUNUN ETKİSİ</b>						
Doğrultu tünel eksenine dik			Doğrultu tünel eksenine paralel			
Eğim yönünde ilerleme 45°-90°	Eğim yönünde ilerleme 20°-45°		Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°		
Çok uygun	Uygun		Hiç uygun değil	Orta		
Eğime karşı yönde ilerleme 45°-90°	Eğime karşı yönde ilerleme 20°-45°		Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20° arasında			
Orta	Uygun değil		Orta			

RMR sistemde kaya klası bulma ile ilgili bir örnek çalışma gösterelim:

Tablo No:	Konu Maddesi	Değeri	Derecelenmesi
4. A.1	Nokta yükleme indeksi	8 Mpa	12
4.A.2	RQD değeri	70%	13
4.A.3	Süreksizlik aralığı	300 mm	10

4.E.4	Süreksizlik durumu	Not 1 gibi	22
4.A.5	Zemin su durumu	ıslak	7
4.B	Çatlak yapı düzenlemesi	Not 2 gibi	-5.
		Toplam	59

Tablonun kullanımında dikkat edilecek konular Not 1 ve Not 2 olarak verildi.

**Not 1:-** Süreksizliği puanlanması: Tablo 4 A.4 de az bozulmuş zeminin süreksizlik değeri karşılığı 25 dir. Ancak bozulma aralığını < 1 mm göstermektedir. Tablodaki E gurubundan: 1-3 m süreksizlik uzunluğunu (puanı 4), ayrışmasını 0,1-1,0 mm (puanı 4), az pürüzlülük (puanı 3), ara dokusu boş (puanı 6), az ayrılmış (puanı 5) değerlerini alınca gerçek toplam 22 puanının gösteriyor.

**Not 2:** - F bölümünde (fair) yani iyice karşılığı tunnel kazı doğrultusuna göre tabaka dalımının 60 derece ters olmasını önermektedir. Tablo B deki ( fair ) iyice karşılığı ilk sırada tunnel işinde – 5 değeridir. Diğer detay bilgiler ileride anlatılacaktır.

#### Kayada Tunel İnşaatında Kalite Indeksi ile Klas Tayini: Q Sistemi:

Norveçli Barton tunnel inşaatında kaya kütlesinin kalite parametrelerine göre kayanın sınıflandırılması yönünde çalışmalar yapmıştır. Bunu aşağıdaki formülle ortaya koymuş, aynı zamanda, Q değerlerinin 0,001 (binde bir) değerinden 1000 (bin) değerine kadar logaritmik ölçekte tunnel açılığına bağlı biçimde tek düzlemede gösterilmesini de sunmuştur.

Formülü:  $Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$  Burada:

RQD: Kaya Kalite tayini katsayısı  
sayı derecesini

bozuşma derecesini

SRF: Baskı, stres azaltma faktör derecesini

$J_r$  : Eklem pürüzlülük derecesini

$J_w$  : Eklemde su azaltma faktör derecesini gösteriyor.

$J_n$  : Eklem

$J_a$  : Eklem

Yukarıdaki formül kayanın 3 önemli özelliğinin çarpımını vermektedir.

1. Kaya bloku boyutu :  $(\frac{RQD}{J_n})$
2. Kaya bloku içindeki yüzey dayanımı:  $\frac{J_r}{J_a}$
3. Kayanın maruz kaldığı şu andaki etkin (yani aktif) baskı:  $\frac{J_w}{SRF}$

Açıklama	Değer	Notlar
<b>Kaya Kalite Göstergesi</b>	<b>RQD</b>	RQD'nin 10 olarak ölçüldüğü veya rapor edildiği durumda (sıfır dahil), Q'yu değerlendirmede 10 nominal değeri kullanılır. 5'lük RQD aralıkları (100, 95, 90 vb.) yeterince hassastır.
a) Çok kötü	0-25	
b) Kötü	25-50	
c) Orta	50-75	
d) İyi	75-90	
e) Mükemmel	90-100	
<b>Eklem Takım Numarası</b>	<b>J<sub>n</sub></b>	
a)Masif, sınıf veya birkaç çatlak	0.5	
b)Bir eklem takımı	2	
c)Bir eklem takımı ve rastgele	3	
d)İki eklem takımı	4	
e)İki eklem takımı ve rastgele	6	Ara kesitler için ( $3.0 \times J_n$ ) kullanınız.
f)Üç eklem takımı	9	
g)Üç eklem takımı ve rastgele	12	Portallar için ( $2.0 \times J_n$ ) kullanınız.
h)Dört veya daha fazla eklem takımı, rastgele, ileri derecede çatlaklı'seker küpü'vs.	15	
j)Topraksi, ezilmiş kaya	20	
<b>Eklem Pürüzsülük Numarası</b>	<b>J<sub>r</sub></b>	
(i)Kaya duvarı teması		
(ii) 10 cm makaslamadan önce kaya duvarı	-	
a)Süreksiz eklem	4	
b)Pürüzlü, dalgalanmalı	3	
c)Pürüzsüz dalgalanmalı	2.0	İlgili eklem takımının ortalama açığlığının 3 m den büyük 1.0 ekle.
d)Çizikli, dalgalanmalı	1.5	
e)Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5	
f)Pürüzsüz, düzlemsel	1.0	Lineasyonlar uygun şekilde yönlenmiş olmak koşuluyla lineasyonlu, düzlemsel, çizikli eklemeler için Jr= 0.5 kullanılabilir.
g)Çizikli, düzlemsel	0.5	
(iii)Makaslandığında kaya duvar teması yok	-	b den g ye kadar olanlar küçük, diğerleri büyük yapılardır
h)Kaya duvarı temasını önlemeye yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0	
j: Kaya duvarı temasını önleyecek kadar kalın, kumlu, çakılı veya ezilmiş kaya	1.0	

Eklem Ayrışma Numarası	$J_a$	$\Phi_r$	
(i) Kaya duvarı teması	-	-	
a) Sıkıca kapanmış, sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu; örnek: kuvars veya epidot	0.75	-	
b) Bozunmamış eklem duvarları; sadece yüzeyde lekeler	1	25-35 °	
c) Hafifçe ayrılmış eklem duvarları, yumuşamayan mineral kaplamaları, kumlu partiküller, kil içermeyen parçalanmış kaya	2	25-35 °	
d) Siltli veya kumlu kil şeklinde kaplamalar, küçük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	3	20-25 °	
e) Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil minerali kaplamaları; örnek: kaolonit, mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vb. ile az miktarda şısebilen killер (süreksiz giysiler, kalınlık 1-2mm'den az)	4	8-16 °	
(ii) 10 cm makaslamadan önce kaya duvarı teması	-	-	
f) Kumlu partiküller, kil içermeyen parçalanmış kaya vb.	4	25-30 °	
g) Kuvvetlice aşırı konsolidé, yumuşamayan kil mineral dolguları (surekli; kalınlık<5 mm)	6	16-24 °	
h) Aşırı konsolidasyon orta veya düşük derece, yumuşayan, kil mineral dolguları (surekli; kalınlık<5 mm)	8	12-16 °	
j) Şısebilen kil dolgulu; örnek: montmorillonit (surekli; kalınlık <5 mm) Ja değeri, kil boyu partiküllerin yüzdesine, suyun girişine bağlıdır.	8,12	6-12 °	
(iii) Makaslığında kaya duvari teması yok	-	-	
k) Parçalanmış kaya ve kil zonları veya bantları (kil şartlarının tanımı için bkz. h ve j şıkları)	6,8 veya 8,12	6-24 °	
l) Siltli kil zonları veya bantları, az kil fraksiyonu yumuşamayan)	5	-	
m) Kalın, surekli kil zonları veya bantları (kil şartlarının tanımı için bkz. g, h ve j şıkları)	10,13 veya 13,20	6-24 °	

$\Phi_r$  değerleri ayrışma ürünlerinin mineralojik özelliklerine yaklaşık bir kılavuz bilgi sağlamak amacıyla verilir.

<b>Eklem Suyu Azalım Faktörü</b>	$J_w$	<b>Yaklaşık Su Basıncı (<math>\text{kg}/\text{cm}^2</math>)</b>
a) Kuru kazılar veya kazı içine minör akış; örnek: yerel olarak 5 l/dak	1.0	<1
d) Çok miktarda akış veya yüksek basınç, eklem dolgularının önemli miktarda yıkanması	0.33	2.5-10
e) Patlatma sırasında son derece yüksek içeri akış veya su basıncı; zamanla azalan türde	0.2-0.1	>10
f) Kayda değer bir azalım göstermeksiz, son derece yüksek içeri akış veya su basıncı	1-0.05	>10

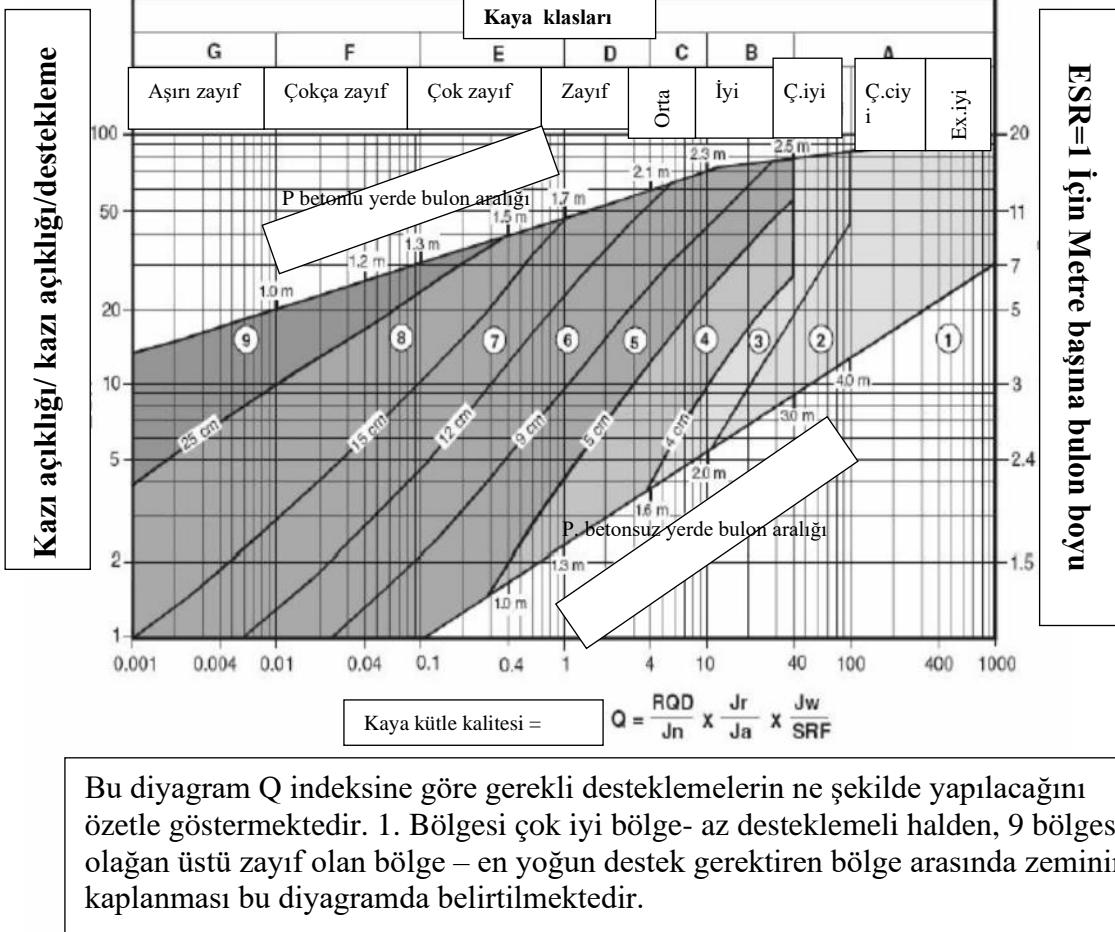
Yukarda belirtilen açıklamalar ışığında tünelcilik niteliği belirteci ( $Q$ ) sayısı aşağıda verilen 3 değişkenin bir fonksiyonu;

- Blok boyutları ( $RQD / J_n$ )
- Bloklar arası makas dayanımı ( $J_f / J_a$ )
- Etkin gerilme ( $J_w/ESR$ )

Tünelcilik niteliği belirtecini ( $Q$ ) kullanarak kazının mekanik davranışını ve tahkimat gerekip gerekmediğini bulabilmek için Barton, Lien ve Lunde eşdeğer boyut ( $D_e$ ) olarak adlandırdıkları yeni bir kavram tanımlamışlardır. Eşdeğer boyut, kazı çapının, tavan açıklığının veya kazı yüksekliğinin, kazı tahkimat oranına (ESR) bölümü olarak tanımlanmıştır. ESR değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. ESR değerleri

<b>Kazı Tipi</b>	<b>ESR</b>
A. Geçici maden kazıları	3-5
B. Düşey kuyular:	
• Dairesel kesitli	2.5
• Dikdörtgen / kare kesitli	2.0
C. Kalıcı maden kazıları, hidrolik santral cebri tüneleri(çok yüksek basınç olanlar hariç), pilot(kılavuz) tüneller, bacalar ve büyük-geniş kazılar için giriş galerileri.	1.6
D. Yeraltı depoları, su arıtma tesisleri, tali karayolu ve demiryolu tüneleri, giriş(yaklaşım) tüneleri	1.3
E. Yeraltı hidrolik santralleri, ana karayolu ve demiryolu tüneleri, sığınaklar, giriş ağızları, kavşaklar.	1.0
F. Yeraltı nükleer santralleri, demiryolu ve metro istasyonları, spor ve halka açık tesisler, yeraltı fabrikaları	0.8

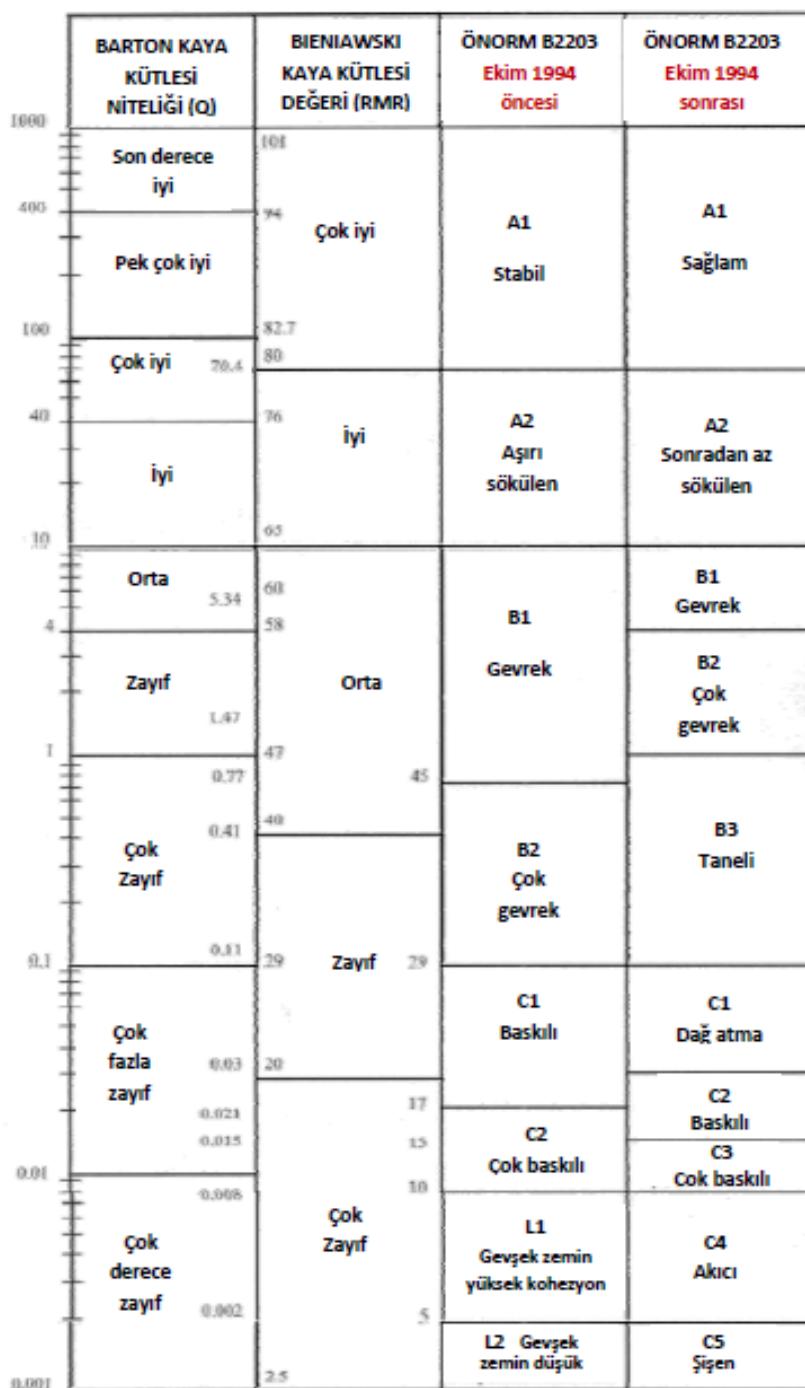


Bu diyagram Q indeksine göre gerekli desteklemelerin ne şekilde yapılacağını özetle göstermektedir. 1. Bölgesi çok iyi bölge- az desteklemeli halden, 9 bölgesi olağanüstü zayıf olan bölge – en yoğun destek gerektiren bölge arasında zeminin kaplanması bu diyagramda belirtilmektedir.

Aşağıda üç nevi kaya klaslamasının NATM (ÖNORM) yeni Avusturya metodunun ileri sürdüğü klaslama ile karşılaştırma tablosu görülmektedir. Ancak Avusturya Tünel Kalslama sisteminde klas tanımı elastiktir. Sert çizgilerle birbirinden ayrılamaz. Çünkü metodun amacı zeminin kesin ismlendirmekten çok onu desteklemekte başarılı olmaya dayalı olmasıdır. Sistemde zeminin zeminin kendi kemerleşme sistemine taşıtma önerisi ilk amçtır. Bunu başarmak için, ilk destekleme esnel seçilmekte, ve rijit olmayan bu ilk kaplamamın verdiği değere göre yukarıda anlatıldığı gibi kesin ilk kaplama desteklemesinin alternatifleri yaratılmaktadır.

Ayrıca bu metotta zeminin hava almamasını temin edip, bozuşmasını önlemek için püskürme betonunun kazi işlemi biter bitmez zemin yüzeyine atılması ve yüzeyin kaplanması en önemli işlemlerden biridir. İlk destek elemanlarının zeminin havada durma süresi (stand-by) süresinden önce konulması şarttır. Desteklemenin kontrolü deformasyonun ölçümlü yapılmaktadır.

**Kaya Sınıflama Sistemlerinin Karşılaştırılması<sup>(\*)</sup>**



Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Yapım Teknik Şartnamesinde NATM(ÖNORM) a göre zemine klas verilip, buna göre proje yapılması konusundaki bilgiler ek olarak aşağıdadır:

ÖNORM B2203'te tanımlanan kaya sınıfları ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir :

**"A" Kaya Sınıfı :**

A kaya sınıfı "Stabil-Hafif Aşırı Sökülen kaya Kütleleri" olarak tanımlanmaktadır. Bu cins kaya küteleri genellikle stabil olup elastik davranış gösterirler. Yerel destek uygulanmaması halinde, yerçekimi nedeniyle, yer yer sıçr gögükler meydana gelebilir. Gögükler genellikle izole olmuş, önemsiz eklem yapıları nedeniyle oluşur. Elastik deformasyonlar hızla azalır. A kaya sınıfı kendi içinde A1 (Stabil) ve A2 (Sonradan az sökülen) olmak üzere iki tipe ayrılr.

**A1 Destek Sınıfı :**

"Stabil" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Deformasyonlar küçük olup, çok hızlı azalırlar. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme eğilimi yoktur. Suyun kaya stabilitesine olumsuz bir etkisi yoktur. Tünel kazısı teorik olarak "tam ayna" olarak yapılabilir. Kazı profiliin büyük olması halinde, kazı genellikle üstyani ve altyarı kazısı şeklinde sürdürür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

**A2 Destek Sınıfı :**

"Sonradan Az Sökülen" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalırlar. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında süreksızlıklar ve kaya kütlesi zati ağırlığından dolayı sıçr sökülmelerin olma eğilimi vardır. Suyun kaya stabilitesine etkisi gözardı edilebilecek durumdadır. Tünel kazısı teorik olarak "tam ayna" olarak yapılabilir. Kazı profiliin büyük olması halinde, kazı genellikle üstyani ve altyarı kazısı şeklinde sürdürür. Delme-patlatma kazı için gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak seçilir. Üstyari kazısında 2.5-3.5 m, altyarda 4 m ile sınırlanmaktadır. Bu tip destek sınıfında sadece bölgesel olarak tünel tavanında/yan duvarlarda yersel blokların stabil hale getirilmesi amacıyla kaya bulonları kullanılabilir. Bu durumda kullanılacak kaya bulonları, aynadan itibaren en çok bir ilerleme adımı geriden uygulanacaktır. Kaya bulonlama yönü süreksızlıkların yöneliklerine göre seçilecektir. Bulonlama ve diğer destekler projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

**"B" Kaya Sınıfı :**

B kaya sınıfı "Gevrek Kaya Kütleleri" olarak tanımlanmaktadır. "B" olarak gösterilen kaya kütelerinin davranışları, yapısal kenetlenme ve/veya çekme mukavemeti azlığından ötürü hızlı gevşeme ve ayrışmaya yatkındır. Hemen hemen tüm gevrede, boşluk civarındaki ikincil gerilmeler, kaya kütlesinin mukavemetini biraz aşmakta, bununla beraber bu zayıf mekanizması içeriğe ulaşmamaktadır. Destek yapımının gecikmesi halinde artan çökmelere meydana gelir. B kaya sınıfı kendi içinde B1 (Gevrek), B2 (Çok Gevrek) ve B3 (Taneli) olmak üzere üç tipe ayrılr.

### **B1 Destek Sınıfı :**

"Gevrek" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalırlar. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlesinin düşük dayanımı tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökülmelere neden olur. Suyun kaya stabilitesine etkisi genelde ömensiz olarak nitelenebilir. Tünel kazısı üstyari ve altyarı olmak üzere iki kademe ile yapılır. İlerleme adımı uzunluğu üstyari kazısında 2.0-3.0 m arasında, alt yanda ise 4.0 m olacaktır. İlerleme adımı uzunluğu zeminin desteksiz durma süresine, desteksiz açıklığa, destekleme elemanı yerleştirme süresine bağlı olarak ayarlanmalıdır. Kazı için delme patlatma gereklidir. Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme gereklidir. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir. Destekleme aynadan en fazla bir ilerleme adımı geriden monte edilecektir. Tehlikeli alanlar derhal desteklenecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

### **B2 Destek Sınıfı :**

"Çok gevrek" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Tünel desteklemesinin zamanında yapılması halinde deformasyonlar hızla azalırlar. Zamanında destekleme yapılmaması veya destekleme elemanlarının yetersiz olması halinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir. Bozuşmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisinde fazla su akışının kaya kütlesinin mukavemeti üzerinde etkisi bulunmaktadır. Kazı tünel kesitine bağlı olarak bölünür. İlerleme adımı uzunluğu, desteksiz durma süresi ve desteksiz açıklığına bağlı olarak belirlenir. İlerleme adımı üstyari kazısında 1.5-2.0 m altyarda ise 3.0- 3.5 m'den fazla olmayacağındır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır. Tünel tavanı ve yan duvarlarda sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılcaktır. Süren için delme ve benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

### **B3 Destek Sınıfı :**

"Taneli" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Bölünmüş kazıda bile kaya kütlesinde dökülmeler meydana gelir. Kohezyonun az olması ve az çimentolaşma kazının stabilitesinde yetersizliğe neden olur. Bozuşmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisinde fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bölünmüş kazı ile ilerleyebilmek için kaya kütlesini iyileştirici, desteksiz durma süresini artırıcı önlemler alınmalıdır. İlerleme adımı uzunluğu üstyari kazısında 1.25-1.50 m, altyanda ise 3 m'den fazla olmayacağındır. Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır, titreşime hassas kaya kütlelerinde mekanik kazı metotları kullanılacaktır. Taban kazısı ve bir taban beton kemeri yapılması gereklili olabilir. Tünel tavanı ve yan duvarlarda, aynada ve aynanın ilerletilmesinden önce monte edilecek sistematik destekleme gerekmektedir. Süren kullanımı yerel olarak gerekebilir. Sistematik çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre, üstyari aynasından 75-100 metreden daha geride olmamak üzere, yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

#### **"C" Kaya Sınıfı :**

C kaya sınıfı "Baskılı Kaya Kütleleri" olarak tanımlanmaktadır. "C" olarak gösterilen kaya kütelerinin davranışı genellikle, kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonunda oluşan gerilmelerin kaya dayanımından daha büyük olduğunu göstermektedir. Kaya kütlesinin aşırı gerilmelere maruz kalması ile kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zayıflık mekanizmaları oluşur. Kaya kütlesinin plastisite ve viskozitesi, zamana bağlı belirgin deformasyon davranışını göstermesine ve sonuçta büyük deformasyonlara yol açar. Kaya zati ağırlık yüklerinin aktif hale geçmesi ve önemli miktarda gevşeme basıncı, sadece büyük deformasyonlara izin verildiğinde meydana gelir. Bu durum kaya kütlesine zarar verecek derecedeki gevşeme ve ayrışma, kaya dayanımında büyük miktarda azalmaya yol açar. Açılan boşluktaki büyük deformasyonlar ve uzun dönemde zamana bağlı deplasman davranışları, zeminin elastik olmayan, plastik ve viskoz davranışına bağlıdır. Çatlamaya veya dökülmeye eğilimli kaya küteleri ve şışme özelliği gösteren bileşenleri olan kaya küteleri bu gruba girer. Bu grup, aynı zamanda ayrılmış veya bozmuş kayalar, gevşek zemin ve organik zeminler gibi kaya kütelerini kapsamaktadır. Kaya kütlesinin düşük özellikleri nedeniyle kohezyon miktarına ve/veya gevşeme basıncını takiben aşırı gerilmelere bağlı olarak, elastik veya plastik aşırı gerilme oluşur. C kaya sınıfı kendi içinde C1 (Dağ Atma), B2 (Baskılı), C3 (Çok Baskılı), C4 (Akıcı) ve C5 (Şişen) olmak üzere beş tipe ayrılır.

**C1 Destek Sınıfı :** Yüksek örtü kalınlığı altında masif kayada yüksek ön gerilmeler kırılınan kaya kütlesiinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Desteksiz bırakılan kısımlarda fırlayan kayalar parçalanmaya müsaaittir. Kaya kütlesindeki kırılmalar derinlere ulaşır. Bozmuş veya ayrılmış kaya kütlesi içerisinde fazla su akışının kaya kütlesinin dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bölünmüş kazı ile ilerlenmelidir. Taban kazısı gereklidir. İlerleme adımı uzunluğu üstyanda 1.5-2.0 m altýanda 3 m'den fazla olmayacağındır. Kazı düzgün patlatma veya mekanik kazı metodları ile yapılabilir. Destekleme elemanları olarak kısa ama sık yerleştirilmiş kaya bulonları, çelik hasır gereklidir. Ek tedbir olarak kaya kütlesindeki basıncı azaltıcı delikler açılabilir. Bu yöntemle dağ atmaları da önlenebilir. Jeolojik şartlara göre üstyarı aynasından 50-75 m' den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemeri betonu yapmak gerekebilir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

#### **C2 Destek Sınıfı :**

"Baskılı" kaya kütlesi olarak adlandırılmaktadır. C2, çevreleyen kaya kütlesi içerisinde derine uzanan plastik zonlar ve basınç veren davranışıyla karakterize edilir. Bu kaya kütlesinde orta derecede fakat belirgin olarak uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Kazı çevresindeki deformasyonların mertebe ve hızları orta derecededir. Plastik davranışlı yüksek kohezyonlu kaya kütelerinde gerilme gözlenir. Su sıvıntıları ve konsantre su akışının kaya kütlesi

üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Tünel kazısının, üstyari, altıyarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorludur. Portal bölgelerindeki özel durumlar hariç, üstyari kazısı kendi içerisinde böülümlere ayrılacaktır. Üstyari kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunluğu üstyarıda 0.75-1.25 m, altıarda 2 m'den fazla olmayacağındır. Kazı düzgün patlatma ve mekanik kazı metotlarıyla yapılabilir. Traşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Genellikle tünel aynası stabildir. Tüm kesit çevresinde sistematik destekleme gereklidir. Her ilerleme adımında destekleme sistemi tamamlandıktan sonra bir sonraki ilerleme adımına geçilecektir. Tünel tavanında süren uygulaması gerekecektir. Süren uygulaması için delgi sırası ve sonrasında imalatin ayna ve tavandaki kaya kütlesinin olumsuz etkilenmesi önlenmelidir. Destekleme elemanlarının görevi derin plastik kırılmaları sınırlamaktır. Jeolojik şartlara uygun olarak üstyari aynasından 50 m'den daha geride olmamak üzere taban kemerini gereklidir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

**C3 Destek Sınıfı :** "Çok baskılı" kaya kütlesi olarak adlandırılır. C3, derin zayıflık zonlarının oluşması, başlangıçta yüksek ve hızlı deformasyonlar ile karakterize edilir. Deformasyonlar uzun sürer ve yavaş son bulur. Derine inen kırılma ve plastik bölgeler gözlenir. Su sızıntıları ve konsantr su akışının kaya kütlesinin davranışını üzerinde önemli etkisi olmaktadır. Tünel kazısının üst yarı kazısı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorludur. Genellikle üst yarı kazısı aynasında bir destekleme gövdesi gerekecektir. Aynada sistematik destekleme gerekebilecektir. İlerleme adımı uzunluğu, üst yarı kazısında 1.2 metreden, alt yarıda ise 2.0 metreden fazla olmayacağındır. Kazı genellikle yumuşak patlatma veya mekanik kazı metotlarıyla yapılacaktır. Traşlamadan hemen sonra püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Yoğun bir destekleme patemi tüm kazı aynalarında gerekecektir. Deformasyon mertebeleri, deformasyon boşlukları ve/veya büyük deformasyonlara cevap verebilecek destek elemanlarının kullanımı gibi özel bir tertibat gereklidir. Destekleme elemanları, kaya kütlesinin üç eksenli gerilme durumunu idame ettireceklerdir. İlerleme adımı uzunluğunun kısaltılması, süren boyunun uzatılması ve üstyari kazısı aynasında büyük bir merkez destekleme gövdesinin bırakılmasının yeterli olmaması halinde ayna kazısının ayrıca alt kısımlara bölünmesi gerekebilir. Muhtemel çözümler, üstyari kazısının yarı taraf kazalar veya yan galeriler halinde yapılması olabilir. Komple kazı bölümünün aşırı düşey hareketleri olması halinde, kaplama temelinin genişletilmesi, püskürtme beton kabuğunun temel bölgesinin bulunlanması ve enjeksiyonlanması veya geçici taban kemerleri gereklili olabilir. Tüm tünel desteklemesi sistematik olarak, üst yarı ve alt yarı kazı aynasının daha fazla ilerletilmesinden önce tatbik edilir. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekecektir. Süren için delme veya benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Üst yarı kazısında alt böülümlere ayrılmış enkesit ve geçici ring yapıları gereklili olabilir. Üst yarı kazısı aynasından 25-50 metre geride taban kemerinin ring kapaması gerekebilecektir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

#### C4 Destek Sınıfı :

"Akıcı" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Çok az kohezyon ve sürtünme, kaya kütlesinin az plastik davranışına kısa süre desteksiz bırakılan bölünmüş kazıda bile tünel içine malzeme akışına sebep olur. Düşük kohezyon kazıda birçok alt bölünmeyi gerektirmektedir. Önceden süren montajı yapılmadan veya süren ve kazı ile birlikte püskürtme betonu kaplaması yapılmadan zeminin kendini tutma süresi yoktur. Su sızıntıları ve konsantr su akışlarının açığa çıkan zeminin davranış ve özelliklerinde önemli etkisi olabilecektir. Bu nedenle kayanın ortamının dayanımını iyileştirci önlemlerin alınması düşünülebilir. Aynada stabilité problemlerini önlemek için yan galeriler şeklinde bir alt bölünme gerekecektir. İlaveten üstyarı kazısı aynaları destekleme gövdeleri gereklidir. Önden yapılan desteklemeler veya özel destekleme önlemleri ile tünel aynasının destek etkisi sayesinde sınırlı kazı yapılmasına olanak verilmesi mümkündür. İlerleme adımı uzunluğu üstyarı kazısında 1.5 m altyanda ise 2.0 m'den fazla olmayacağındır. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılacaktır. Kazı ile birlikte püskürtme beton kaplaması gerekmektedir. Tünel desteklemesi, üstyarida ve altyarida her bir ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren tabiki, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Kazı aynasında, püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu, drenaj elemanlarından oluşan destekleme sisteminin, kazı sırasında veya hemen sonrasında kullanılması gerekebilecektir. Alt bölmelere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gereklidir. Süren uygulanması zorunludur. Üst yarı kazısının alt bölmelere ayrılmış kesimlerinde geçici ring kapama gerekebilir. Taban kemerinde ring kapaması, üstyarı kazı aynası gerisinde 25 ile 50 metre arasındaki kısa mesafelerde gereklidir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir.

#### C5 Destek Sınıfı :

"Çok kohezyonlu, kısa süreli stabil" kaya kütlesi olarak adlandırılır. Şişme potansiyelli kil minerali, tuz, anhidrit içeren kaya kütelerinde su alımıyla meydana gelen hacim artışı sebebiyle gevşemeler olur. Kemer ve aynada serbest açıklıkların sınırlanmasıyla kaya kütlesi sınırlı bir sürede stabil kalabilir. Sızıntı ve konsantr su akışının, kazılan zeminin davranışını ve özelliklerinde büyük etkisi vardır. Şişme başlatılmış olabilir. Üst yarı, alt yarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur. Pek çok halde üst yarı kazısı aynası için bir destekleme gövdesi gerekecektir. İlerleme adımı uzunlukları üst yarı kazısında 1.5 metreyi, alt yarı kazısında 3.0 metreyi geçmeyecektir. Kazı tünel ekskavatörü ile yapılabilir. Büyük kayaların veya mevzii olarak sert kaya kısımlarının kazısında patlatma gerekebilir. Tünel desteklemesi, üstyarida ve altyarida her ilerleme adımında tamamlanmalıdır. Süren boru veya çelik levha süren uygulaması, tavan kesiminin büyük kısmında gerekecektir. Alt bölmelere ayrılmış kesitin kazısı ile birlikte püskürtme beton kaplaması yapılması gereklidir. Geoteknik ihtiyaçlara uygun olarak üstyarı aynasından 25 metreden daha geride olmamak üzere taban kemerini gereklidir. Destekleme sistemi projelerde detaylı olarak gösterilecektir. Tünel güzergahı üzerinde yapılan sondajlar ve sondaj numuneleri üzerinde yerinde ve laboratuarda yapılan testler sonucunda elde edilen

verilerin ışığında ÖNORM B 2203'e göre tünel yukarıda tanımı yapılan çeşitli kaya sınıflarına ayrılr. Her bir kaya sınıfı için kazı sistemi birincil destekleme elemanlarının (püskürtme beton, çelik hasır, çelik iksa, süren, bulon vb.) ve ikincil destekleme elemanlarının (kaplama betonu) tasarımları gerçekleştirilecektir. Tünel boyunca tünel yapımı sırasında karşılaşılacak kaya/zemini tünelin kazı ve desteklemesine yönelik olarak sınıflandırılması ve kazı/destek tip projelerinin hazırlanmasında aşağıdaki sıra izlenecektir.

- 1) Jeolojik-jeoteknik raporda farklı kaya sınıflarına göre tanımlanmış kaya/zeminin dayanım ve fiziki parametrelerini, kullanılacak destek tiplerini (püskürtme beton, çelik iksa, bulon vb.) malzeme parametrelerini, kazı geometrisi ve kazıdan etkilenenek kazı çevresi, örtü yükü gibi temel bilgileri esas alan herbir kaya sınıfı için ayrı hesaplama modeli oluşturulacaktır.
- 2) Tünel desteklerinin ve kazı aşamalarının projelendirilmesi nümerik (Finite Elements, Finite Difference, Boundary Elements) (sonlu elemanlar, sonlu farklar, sınır elemanlar) ve analitik hesaplamalarla (Hoek and Brown) kesinlik kazanacaktır. Bu hesaplamalarda tünel yapımı sırasında kaya sınıfına bağlı olarak gerektiğinde desteksiz, destekli kazı aşamaları, tünelin geometrisi ve farklı malzeme kompozisyonları (bulon, püskürtme betonu vb.) modellenebilir. Hesaplamalarda aşağıdaki koşullar gözönünde bulundurulmalıdır.
  - i- İlkel gerilmeler durumu ( tünel kazısı yapılacak ortamın, kazı öncesinde kendi ağırlığından oluşan gerilmelerin verilmesi)
  - ii- Kazı sonu hali (kazı sonrası desteklenmeden önceki durum veya aşamalı kazı durumunda bir önceki aşamada kazının yapılmış ve desteklenmiş durumu gözönüne alınarak her kazı aşaması için)
  - iii- Birincil destekleme sonu hali (Tünel kesiti boyunca tüm desteklerin yapıldığı son durum için)
  - iv- Kazı destekleme aşamaları ile birlikte iki tünel tüpü için yürütülecek kazı ve desteklemenin etkileşimi gözönünde bulundurulacaktır. Tünel tüplerinde sürdürülecek kazının aynı düzlemdede ve boyuna yönde birbiriyle olan etkileşimi hesaplamalarda incelenmelidir.
  - v- İnşaat sonu hali (Kaplama betonunun yapıldığı ve varsa yeraltı suyunun etkisinin gözönüne alındığı son durum)
  - vi- Kaplama betonu, 30 cm.'den küçük olmayacak şekilde geçirimsiz betondan oluşacak ve aksi gereklilikçe (yeraltı suyu, tünel üzeri sıçrı örtü kalınlığı, olası heyelan bölgesi, yumuşak zemin, gehir içinde yapılaşmanın olduğu bölgeler gibi etkenlerden dolayı daha farklı yaklaşımlar gerekebilir) kesit alanının en az % 0.15'i kadar donatı içerecektir. Donatı kesite göre simetrik yerleştirilecektir. Ömek verilecek olur ise ; kaplamanın 40 cm, paspayının 5 cm olduğu bir kesitte kesitin her iki yüzüne  $35 \times 100 \times 0.15 / 100 = 5.25$  cm² donatı yerleştirilmesi gerekecektir. Minimum donatı, donatıda çatlak oluşumunun yarattığı gerilmeleri sınırlamaya ve çatlak genişliğinin azalmasına yardımcı olur (çatlak genişliği 0.2 mm'den büyük olmamalıdır). Kaplama betonunda basınç bölgesi 15 cm'den daha küçük olmamalıdır. Ayrıca kaplama betonu arkasındaki kontak

*enjeksiyonu basıncı ve yapım sırasında kalınınması için gerekli minimum dayanım hesaplanmalıdır.*

vii- Hesap raporları, gerekli olan bütün hesap kriterlerini, hesapları ve tasarımda kullanılan değerleri gösteren program çıktılarını içermelidir.

3) Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan kazı ve destekleme sistemine (bulon patemi, uzunluğu, püskürme beton kalınlığı vb.) göre tip destekleme projeleri ile tip kazı ve destekleme sırasını gösteren projeler hazırlanacaktır.

4) *İki tüp arasındaki yaya ve araç geçişlerinin bulunduğu kesimlerle ilgili olarak yukarıda belirtilen hesaplamalar yapılacak ve kaya/zemin koşullarının uygun bulunduğu kesimlerin seçilmesine dikkat edilecektir. Bu tür geçişler için tip destekleme ve kazı projeleri verilecektir.*

5) *Tünellerde su taşıyıcı zemin/kaya tabakalarıyla karşılaşılması beklenen kesimler için özel kazı ve destekleme projeleri hazırlanmalıdır.*

6) *Tünellede yapım çalışmalarında kullanılacak kazı yöntemi ve ekipmanı her kaya sınıfı için belirlenecektir. Yine patlatmalı kazı önerilen kaya sınıfları için patlatma patemi projelendirilecektir.*

7) Yapım sırasında projelendirmede gözönüne alınan deformasyon, oturmalar, gerilme artışlarının kontrol edilebilmesi için geoteknik ölçüm programı ve tipik ölçüm kesitleri proje aşamasında hazırlanacaktır. Tipik ölçüm kesitleri, kaya sınıflarına bağlı olarak gereken sayıda ve noktada ölçüm işlemlerini belirtecek gerekli detaylar verilecektir. Herbir kaya sınıfı için yapılan kazı ve destekleme projesi sonucunda belirlenen deformasyon miktarları, yapım ve kaçınılmaz kazı toleransları tünel kazı geometrilerindeki değişiklikleri içerecek şekilde tablo halinde ayrı bir paftada gösterilecektir.

## **2.2.2. Portal Kesimlerinin Projelendirilmesi**

Tünellerin portal kesimlerinin projelendirilmesi ; alın (ayna) ve yan portal şevlerinin tasarımları ve tünellerin düşük örtü kalınlığı altında yer alan portal kazı bölgelerinde tünel kazısına emniyetli bir şekilde başlamak için uygun kazı koşullarının yaratılması ile ilgili tasarım çalışmalarını kapsayacaktır. Aşağıda sırasıyla verilen çalışmalar yapılacak ve raporlar hazırlanacaktır.

1) Tünel portal tasarımının yapılabilmesi için, portal bölgelerinde tasarımın önünü açacak gerekli araştırma çalışmaları yapılmış olmalıdır. Bu çalışmalarдан elde edilecek mühendislik parametreleri ile alın ve yan portal şevlerinin stabilité analizleri ve tasarımları yapılacaktır. Bu amaçla portal kesimlerine özel jeolojik-jeoteknik rapor hazırlanacaktır. Bu rapor yapılan tüm portal araştırma çalışmalarını gösteren plan ve veri paketini kapsayacaktır. Bu raporlarda alın ve yan şevlerinin jeolojik-jeoteknik yapılarını gösteren plan, profil ve enkesitler yer alacaktır. Raporda yeralan jeolojik ve jeoteknik araştırma çalışmaları değerlendirilecek, şev stabilité hesaplamalarına ilişkin zemin/kaya parametreleri ve diğer öngörüler (kinematik analiz sonuçları vb.) verilecektir. Raporlarda ayrıca şev tasarımında gözönüne alınan tüm veriler (zemin/kaya dayanım

parametreleri, şevelük yüksekliği, yükleme koşulları vb.) ile şevelerin geometrisini belirlemek için yapılacak tüm analizler (düzlemsel, dairesel ve kama tipi kayma vb. stabilité analizleri) verilecektir. Portal bölgelerinde tünel kazısının başlatılacağı kesimde stabil kaya koşullarının varlığı, stabil kaya kalınlığı, şaşırtmalı giriş koşulları ve alınması gereklili tedbirler özel olarak değerlendirilerek portal gevlerinin tasarımını alternatifli çalışılacaktır. Şevelerin desteklenmesi gerekliliği durumunda destekleme hesapları (püskürtme betonu, ankrat, kazaklı duvar vb.) detaylı bir şekilde bu raporda yer olacaktır. Şevelerin tasarımını kısa ve uzun dönem statik durum ve sismik durum için yapılacaktır. Güvenlik katsayıları uzun dönem statik durumda pik parametreler için 1.5, reziduel parametreler için 1.3, kısa dönem stabilitede pik değerler için 1.3, deprem durumunda 1.1 olarak gözönüne alınacaktır. 2) Tünellerin portal kesimlerinde trafik emniyeti için portal yapılarının projelendirilecektir. Portal yapılarının tasarımında bu bölgelerin genel topografik durumu, gevlerin konumu ve çevresel faktörler (şehir içi, şehir dışı vb.) gözönüne alınmalıdır. Portal yapılarının statik ve betonarme hesapları ile gerekli çizimler verilecektir.

3) Tünellerin portal bölgelerinde ağaç-kapa ve fulüt yapısı gibi portal yapılarının gerekliliği halinde bu yapılar ile ilgili hesaplamaları aynı rapor kapsamında verilecektir. Yapıların hesapları farklı yük durumları (ölü yük, hareketli yük, deprem yükü ve toprak basınçları) için yapılacaktır.

4) Portal bölgelerinde tünel kazısına başlamak için oluşturulan ilk tünel aynasında alınacak destekleme önlemleri yukarıda belirtilen çalışmaların sonucuna göre tasarlanacaktır. Bu bölgelerde yapım sırasında güvenliği sağlamak için geçici koruyucu kemer (kanopi) yapıları projelendirilecektir.

Portal projeleri kapsamında;

- portal kazaları plan, enkesit, boykesit ve görünüşleri,
- portal ayna ve yan şevelerin destekleme detayları,
- portal yapılarının enkesit, kalıp ve donatı detayları,
- kanopi yapısına ait detayları ve
- portal bölgesinin özelliklerinden kaynaklanabilecek başka yapılara ait detayları gösteren paftalar hazırlanacaktır.

## **TÜNELELERDE İŞ GÜVENLİĞİ VE İŞ KAZALARI ve BUNLARIN İŞİN MALİYETİNE ETKİSİ**

Tünel inşaatı, inşaat işlerinde iş güvenliği bakımından tehlikesi en fazla olan iş koludur. Çalışan işçiler yeraltı şartlarında, daha az aydınlıkta, daha tozlu ve gürültülü koşulda çalışarak üretime katkıda bulunmaktadırlar. Karanlık, tozlu ve gürültülü ortam; kişinin dikkatini ve işe yoğunlaşmasını azaltır bu yüzden iş verimi azalır. Ancak çalışma sırasında en önemle durulacak konu dikkatin iyi olmaması yüzünden meydana gelebilecek iş kazalarıdır.

İş kazalarının meydana gelmesindeki ana nedenler şunlardır:

- a.) İnsan gücü ile makine ekipman arasındaki kontrol edilemez temaslar,
- b.) Tünelde kaplama için geçici konulan desteklemelerin göçmesi,
- c.) Patlayıcı kullanımı gibi işin doğasında tehlike olan işlerdeki kazalar,
- d.) İşçinin bizzat yanlış yöntemde veya dikkatsizce çalışması,
- e.) İslı destekleyici malzemelerden oluşabilecek yangınlar,

Yukarıda sıralanan kaza nedenlerinin olasılıklarını aza indirmek için yapım mühendisi şu önlemleri alır:

- a.) İşçiyi eğitmek, (özellikle her vardiyada tehlikelerin ne olduğunu tekrarlayıp, belletmek)
- b.) İşçinin çalışma koşullarını iyileştirmek (aydınlatma, işaretleme, koruyucu giyim gibi)
- c.) Patlayıcı malzemenin kullanımı gibi her malzemeyi, iş makinesi gibi her makineyi de o işte yetişmiş yeterli kişilere kullandırmayı sağlamak,
- d.) Çalışma sırasında işçilerin gerekli sayıda olanlarını iş başında bulundurmak, ilgisi ve gereği olmayan kişileri çalışma yerinden uzakta tutmak,
- e.) İş yerinde kaza zamanında neler yapılacağının planı ve ona gerekli kişi, araç ve malzemenin temini ile acil eylem uygulamasının zaman zaman tekrarlanması sağlanmak, göçük ve yangında neler yapılacağını işçilere uygulamalı anlatmak.

İş kazaları kişilere maddi ve manevi hasar vermekle kalmaz. Bir işçinin yaralanması veya ölümü maddi masrafi tazminat ve sigorta yoluyla kısmen de olsa karşılanır, ancak olayın iş yeri moraline ve işin seyrine etkisi de büyüktür.

Bunlar özetle şöyle sıralanabilir:

- 1.) İşçinin sigorta ve tazminatı masrafları,
- 2.) İşin olaya bağlı olarak durması
- 3.) Yönetimin ve emniyet birimlerinin tekrar işe başla diyene kadar, rapor vs için durma,
- 4.) Kişi, mal ve ekipman zararlarını tespiti için gerekli zaman ve iş kaybı,

### **İŞ KAZALARINI AZALTMA VE ÖNLEMENİN KURALLARI**

Yukarıda açıklandığı gibi, inşaat ve imalat sırasında iş kazası meydana gelmesi çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. İnşaatın büyülüğüne ve tünelin uzunluğuna göre geçmiş zamanlarda yapılan insan hayatı kaybı hayli ürkütücüdür. Her 3-5 milyon US \$ lik bina inşaatında veya her yarı mil (yani 0,85 km) uzunluktaki tünel inşaatında 1 insan hayatının kaybedildiği istatistik bilgilerinden çıkmıştır. Bu 1970 yılları öncesinin bilgisidir, ancak bu gün gerek makine ve ekipmanın mükemmelliği, gerekse idarecilerin insan sağlığı ve iş güvenliğine önem vermesi ve bunun için gerekli koruma standartlarını ortaya koyup, uygulamasının sağlanması bu değerleri eski değerlerin altında birine düşürmüştür. Bu sonuç bile işçi sağlığı ve iş güvenliğinin önemini vurgulamaktadır. Hiç olmaması en arzu edilen durumdur.

Tehlikenin aza indirilmesi, işçi sağlığının ve hayatının korunması için her işin yüklenicisi ve idaresi aşağıdaki önlemleri almaya ve aldırtmaya mecburdur.

- 1. İşçinin işe göre giyindirilmesi ve ona uygun makine ve alet ile çalıştırılması:
  - a.) İş elbisesi, kask, koruyucu çizme, eldiven, gözlük, maske ile donatılması

- b.) Yapacağı işe göre; iş sehpası, merdiven, emniyet kemeri, cep feneri verilmesi  
c.) İşin özelliğine uygun bakımlı ve tünel içi koşulda çalışacak tipte makine temini

2.) İşçilerin iş sağlığı bakımından emniyette olması için:

a.) İş

yerinde sağlık memuru, sedye, ve ilk yardım ekipmanı bulundurulması, b.) Tünel içinde acil durumu bildirmek için telefon hattı, acil durum sedyesi temini, c.) İşin önemine göre şehir dışında revir binası tesisi, ambulans araç hazır tutma işi, d.) Şehir içinde ise en yakın sağlık kuruluşu ile devamlı haberleşme,

3.) Eğitim ve uygulama:

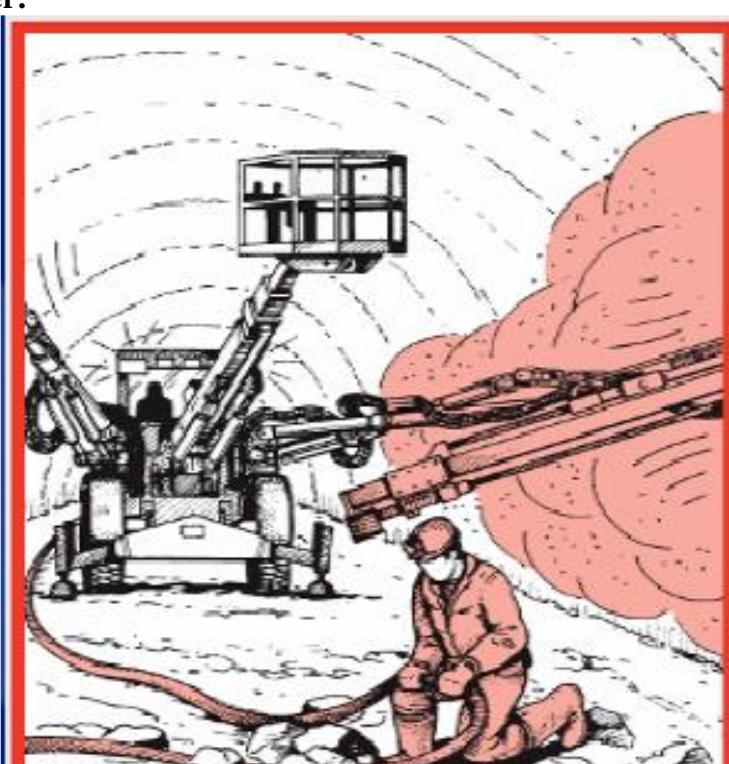
a.) Tünel içi çalışmalarında dikkat edilecek konuların sık sık işçilere eğitimle verilmesi b.) Yangın ve kaza durumunun tünel içi ve dışı için 6 ayda bir olma durumu tatbikatı

4.) Kayıtlama:

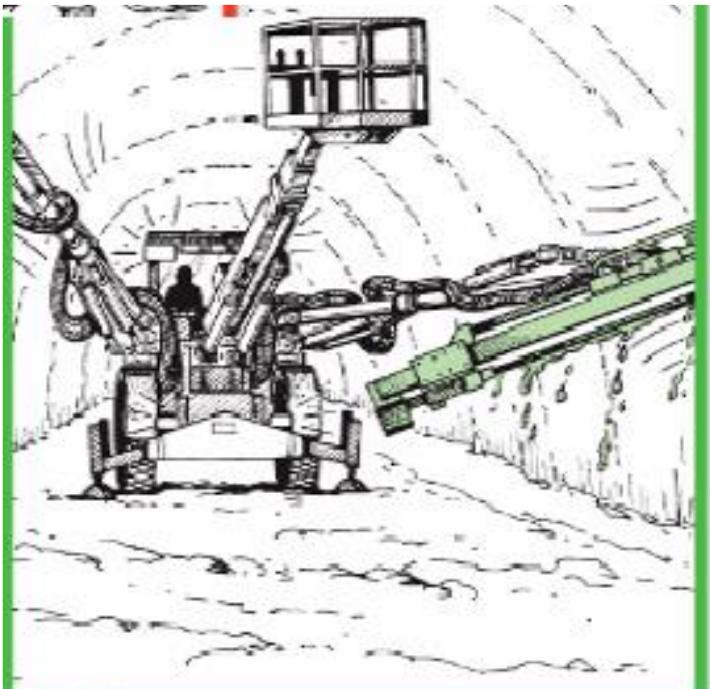
İş güvenliği ve işçi sağlığı koşullarının kontrol edildiğinin her hafta kayıtlanarak defterde korunması, ve gerekli alet ekipman varlığının gözden geçirildiğinin Çalışma Müdürlüğü koşullarına göre yazılması.

## TÜNEL İÇİNDE İŞÇİLERİN DİKKAT ETMESİ GEREKLİ KAZA ÖNLEMLERİ

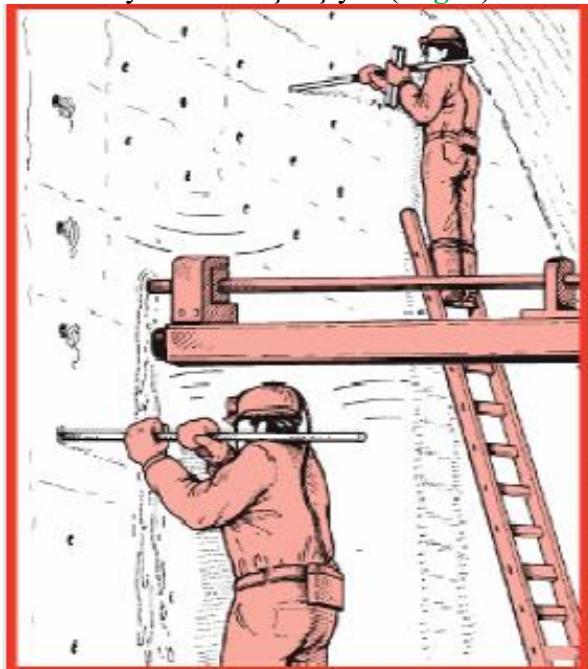
Örnekler:



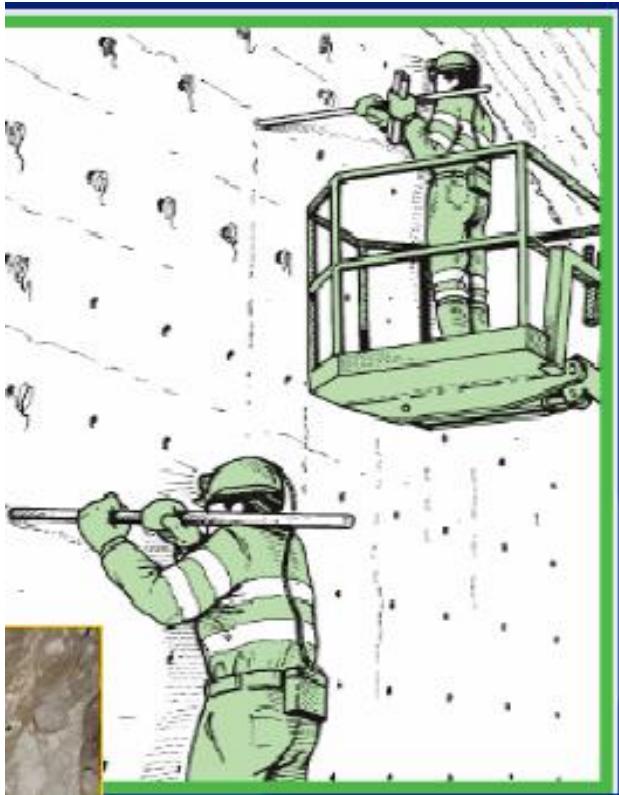
1-) Yeraltı delgi işinde sert zeminde hava ile delgi işi (**Yanlış**). Bu işlemde çevre toz olur, görüş azalır, kaza olasılığı artar, ek havalandırma gerektirir.



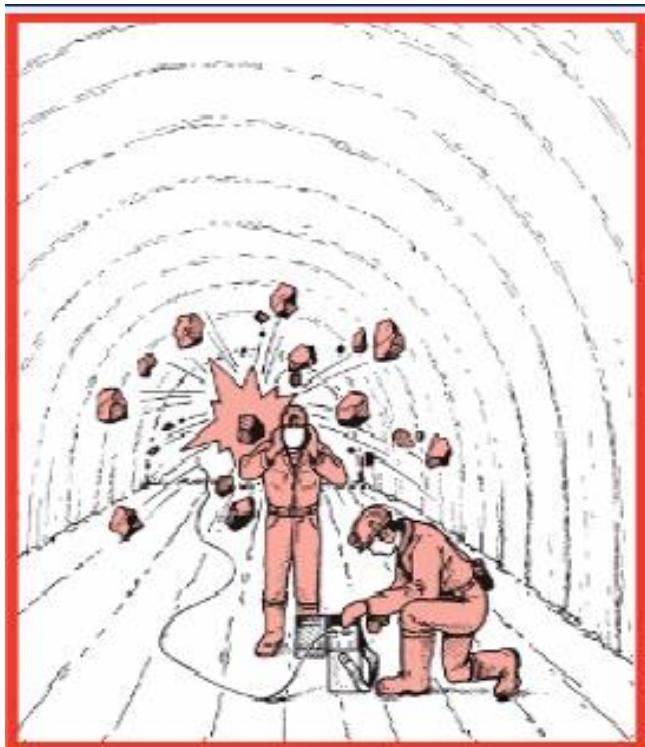
Delgi makinesi kayada su ile çalışıyor (**doğru**). Yukarıdaki güçlükler ortadan kalkıyor.



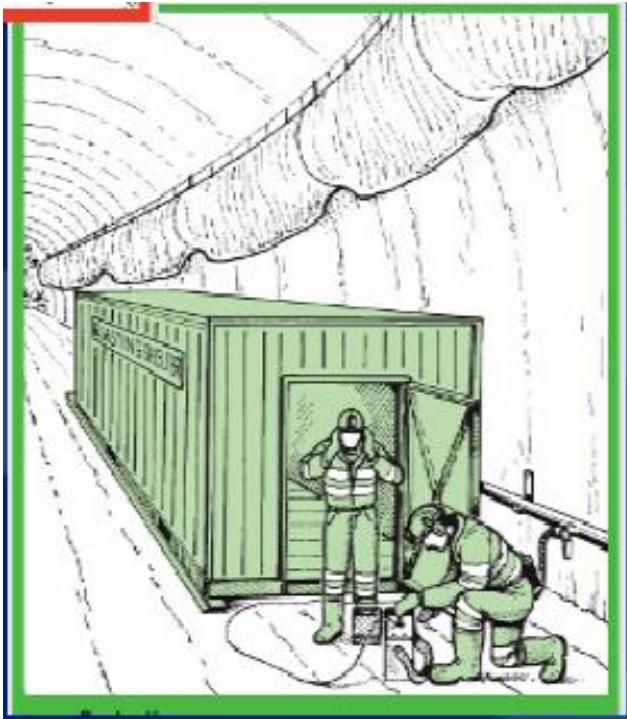
2-) Jumbo çalışırken yerde ve yanında merdivenle bulon çakma işi yapılması (**Yanlış**). Makine manevrası ile her ikisi de tehlikede, her an kaza olabilir.



Delgi işi dışında makinenin sehpası ile bulon çakma işi yapılıyor (**doğru**)



3-) Tünel aynasındaki patlayıcıyı manyeto ile önlem almadan patlatma (**Yanlış**).  
Aynadan emniyetli mesafe düzde 150 m, virajda 75 m olsa dahi tehlike vardır.



Tünel içindeki bir konteyner, veya cep içinden ateşleme yapmak emniyetlidir.(D)

Ayrıca şekilde görüldüğü gibi hasar görmemesi için hava hattı da sönmüş durumda. Patlatmadan sonra havalandırma çalıştırılacak.

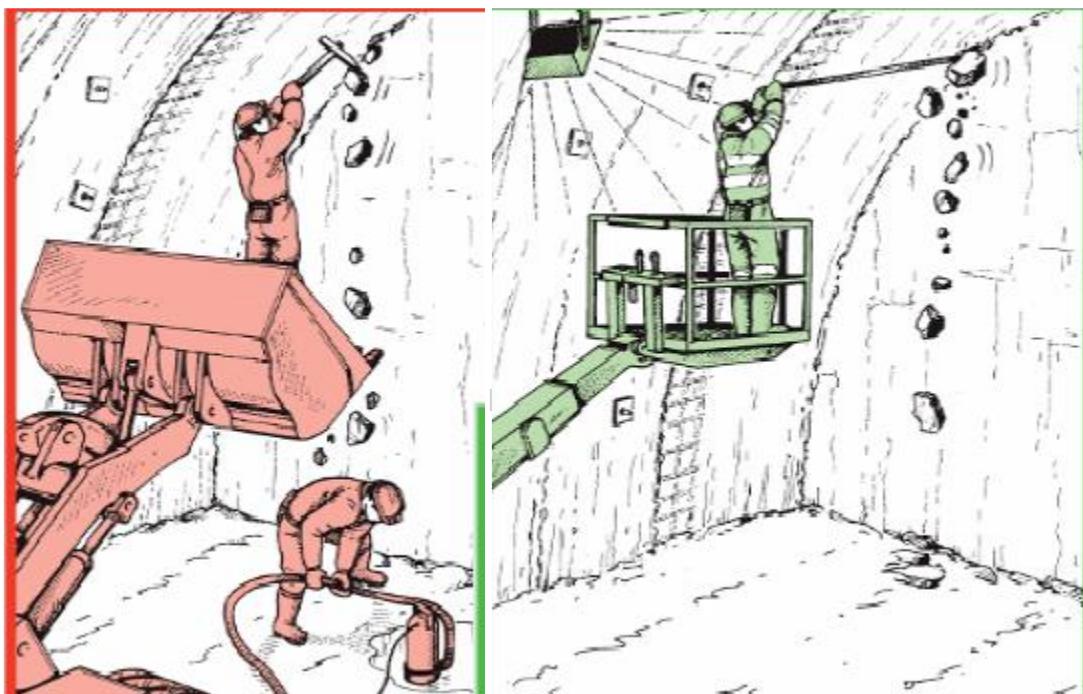


çok

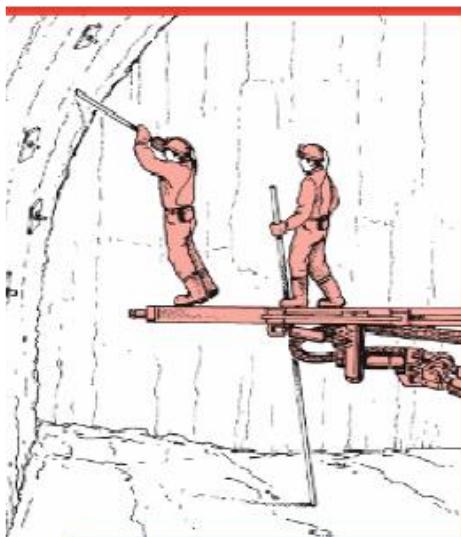
4.a) Kazıdan sonra **kavlak alma** işi: Elle tehlikeli, ve **yanlış**.



Kazı sonrası **Kavlak alma** uygun ekskavatörlerle yapılmalıdır. (**Doğru**)

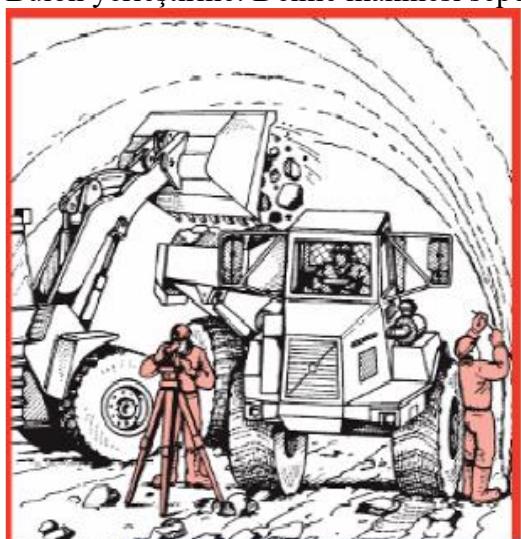


4.b) Kazıdan sonra elle **kavlak alma** (scaling) yükleyici yardımcı ile (**Yanlış**).  
Özel makine sehpası yardımcı ile **kavlak alma** işi (**Doğru**).



5.) Bulon Yerleştirme : Delme makinesi bomu üzerinden ( **Yanlış** ).

Bulon yerleştirme: Delme makinesi sepeti yardımı ile (**doğru** ).



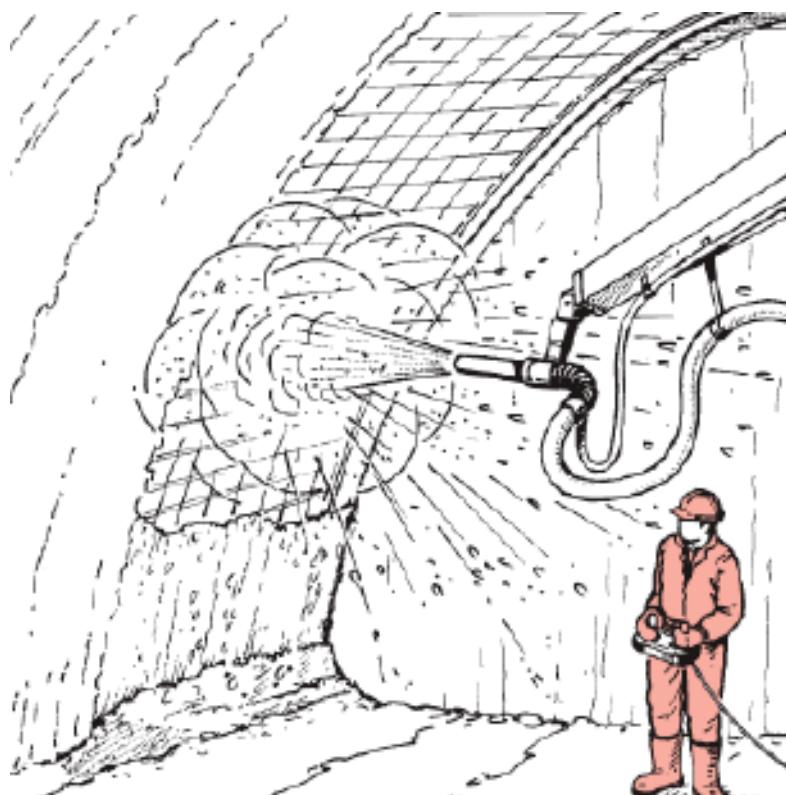
6-) Kazı yapılan yer civarında çalışma yapmak (ölçme veya destekleme) ( **yanlış** ).

Kazı yapılan yerde sadece yeterli aydınlatması olan biçimde sadece kazı yapma(**D**).



7-) Püskürtme Beton hortumunu gevşek zemin üzerinde tutarak çalışma ( **Yanlış** ).

Hortumun nozulunu makinenin kişi sepeti içinden tutarak çalışma (**doğru** ).



8-) Oto kontrol ile çalışan nozulu bom altında yönetmek (**Yanlış**)



Püskürme beton atma makinesi nozulunu bom yanından yönetmek (Doğru).

#### **TÜNELDE ve PORTALDA OLABİLİR ACİL DURUMLAR, KAZALARIN ASIL NEDENLERİ ve ACİL DURUMLAR:**

Yukarıda anlatılanların özeti gibi:

- a.) Zeminin göçmesi,
- b.) Desteklemelerin göçmesi,
- c.) Zeminden çok hacimde su gelmesi veya Portaldan tünel içine sel gelmesi,
- d.) Gaz patlaması,

- e.) Oksijen Yetersizliği,
- f.) Yangın ( gazların patlamasından veya araçların yanmasından),
- g.) Hareket halindeki makinelerin sebep olduğu çarpmalar, ezmeler,
- h.) Tesis, plant arızaları (Beton santrali, basınçlı hava sistemi, elektrik hattı),
- i.) Çalışmanın durması. (Bu durumda iş yeri boş olduğundan zeminden veya dışarıdan şantiyeye gelen tehlikeler olabilir)

**İŞÇİNİN Karıştığı kazaların asıl nedenleri şöyle sıralanabilir:**

- 1.) Kazı yamacından veya tünel tavanından malzemenin işçinin üstüne düşmesi,
- 2.) İşçinin kendisinin yamaçtan veya iş makinesi sehpasından düşmesi,
- 3.) Tünelde zeminin göçmesinin içine işçinin karışması,
- 4.) Tünel ağızından veya zemin bünyesinden ani su baskını olması,
- 5.) İş makinelerinin manevra süresinde işçiye çarpıp zarar vermesi,
- 6.) Kurulu enerji hattı, basınçlı hava hattı gibi kurulu tesislerden gelebilen zararlar,
- 7.) Patlatma sonrası oluşabilecek gaz problemleri,
- 8.) Tünelde hava kirliliği (Oksijen yetmezliği, toksik madde varlığı, radon varlığı)

İşçi sağlığını korumak için ona zarar verebilecek bu konuları ve bunlardan gelebilecek tehlikeleri eğitim ile işçiye vermeliyiz.

Ayrıca Patlatma sonrası şu işlemleri yapmalıyız:

Tünel formeni ve ateşçi ile bu işin ehli kişiyi 30 dakika havalandırmadan sonra tünel içi tetkikine yollamalıyız.

I.) Bu kişilere gaz ölçme cihazı ve maske verilmelidir.

II.) Şartların uygunluğu bildirildikten ve tehlike yok raporundan sonra işçiye izin verilecektir.  
Çalışma ortamındaki gazların alt ve üst limitleri daha önceki bölümlerde havalandırma bölümünde anlatılmıştır.

Ancak limitleri kısaca şöyle özetleyebiliriz:

<u>Gazın adı</u>	<u>en az miktarı</u>	<u>en fazla miktarı</u>	<u>Göstergede</u>
Oksijen ( $O_2$ )	20,3 yüzde	20,9 yüzde	19,5 – 23
Azot Dioksit ( $NO_2$ )	0-2	2-5	5 ppm (milyonda bir)den az
Karbon monoksit(CO)	1-5	2-5	25 ppm (milyonda bir) den
Patlayıcı gaz muhtevası (LEL)	1.....5.....	yüzde	10 yüzde
Radon gazı	24,5.....	142,5 Bq/m <sup>3</sup>	

Yukarıda yazılı gazlardan CO, gazının oranı özel cihazlarla inşaati yapılan tünelde her gün belli saatlerde ölçümü yapılmalıdır. Bunun için çok hassas cihazlar mevcuttur.



Tekli gaz ölçüm cihazı



**Çok多层次 gaz ölçüm cihazı (birkaç çeşit gaz cinsinin oranını tespit eder.)**

**Çalışma hayatında yukarıda sıralanan iş kazalarının bir kaç çeşidine rastladım.**

Bunların çoğu tünel içi şartlarının insan psikolojisine negatif etkisi sonucu olmuştur.

Örnekler:

- 1.) 1978 ağustosunun son günü Amasya'da Çeltek kömür madeni işletmesinin portal ağzında sedde yapıp sel önlemi alınmadığından sel baskını olmuş ve onlarca işçi boğulmuştur.
- 2.) Yükleyici operatörünün tünel kazı sahasında uyuyan kendi yağcısını ezmesi,
- 3.) Kaya blokları patlaması sonucu yükleyici kepçesinde tünel tarama ve gabarisine kazının getirilmesi için tabanca ile tarama yapan işçisinin vefatı,
- 4.) Su diye sıvı püskürtme betonu katkısı ile yüz yıkayan işçide görme yeteneğinin kaybı,
- 5.) Basınca maruz istinat duvarı yakınında donatı işçilerin duvar yıkılması sonucu duvar altında kalması,
- 6.) Ehliyetsiz yağcıların ustasından habersiz yükleyici kullanarak devrilmesi ve ölümü,
- 7.) Heyecanlı vinç operatörünün treni görünce betonarme kırışı demiryoluna düşürmesi,

- 8.) Beton Santral operatörü beton kazanını temizleyen kendi yağıcısını görmeden, sistemi çalıştırarak öz yeğeninin ölümüne sebep olması,
- 9.) Tünel aynasındaki su belirtilerini dikkate alarak tünel aynasına su testi delgisi yapılmaması sonucu, suyun aniden patlayıp tüm makine ekipmana hasar vermesi,
- 10.)      Tünel aynasında kaya gerilmesi mevcut iken formenin aynaya yaklaşıp göçük içinde kalması, şans eseri yaralanmakla kurtulması
- 11.)      Patlatmadan sonra ateşçi ekibinden usta olmayan işçilerin tünel aynasına gitmesi sonucu, akciğerlerinde hasara sebep olmaları, (Suudi Arabistan-2005).
- 12.)      Şartname koşullarını taşımayan hava depo tankına basınçlı hava verilerek hava tankı patlaması sonucu işçi ölümleri ve yaralanmalar,

## **10 - TÜNEL YAPIM ŞANTIYESİNDE YAPILACAK İSLER:**

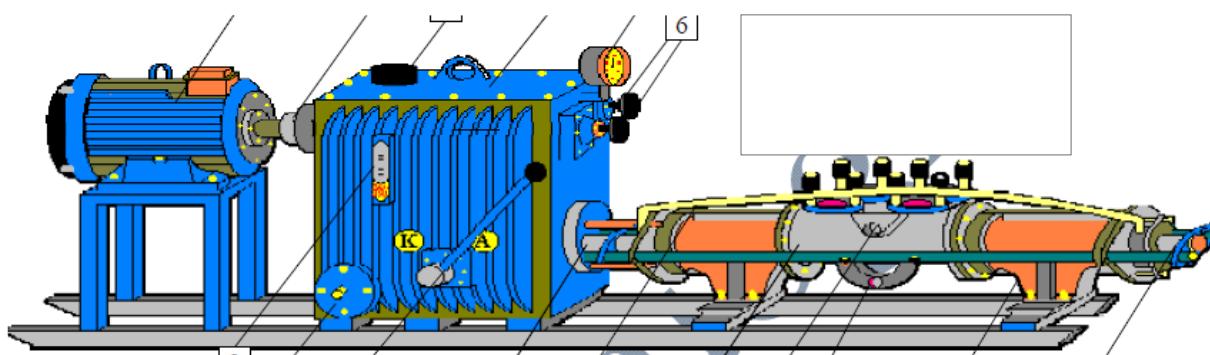
- a.) Şantiye Kurulması, makine ve ekipmanlar, kazı yapmak için hazırlıklar (Portal yapısı, Şaftlar)

Tünel İnşaatını yapacak olan şantiyede olması gereklili binalar ve inşaatın yürütülmesini sağlayan sabit makine ve ekipmanlar aşağıda plan üzerinde gösterilerek özetlenmiştir:

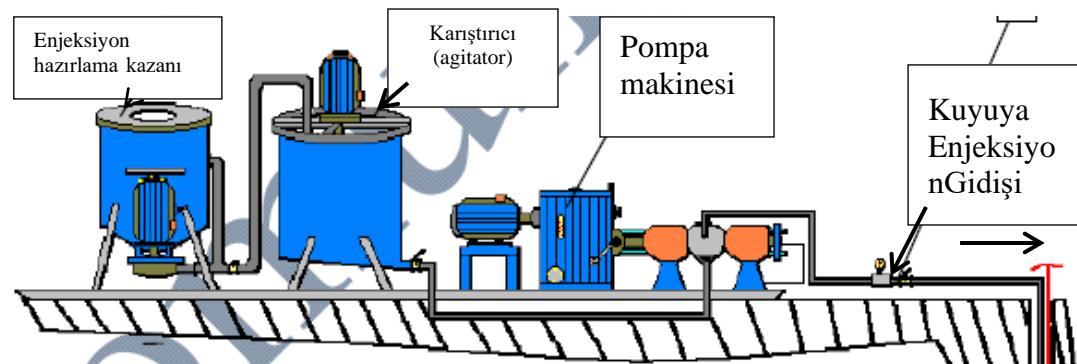
- **Şantiye Binaları** :- Yönetim Ofisi, Tamir-bakım Atölyesi, Malzeme Ambarı, Mutfak ve yemekhane, Tuvaletler, Banyolar, İşçi yatakhaneleri,
- **Yerleşik makine ve ekipmanlar**: Enerji merkezi (trafo veya jeneratörler), Basınçlı Hava sağlama merkezi (kompresör ve bağlı basınçda dayanıklı hava depoları), Basınçlı Su temin Merkezi (hidrofor, su pompaları), Havalandırma hatları. Beton ve Püskürtme beton hazırlama merkezi (**Beton santrali** 60-90 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli)
- **Ambarda bulunması gereklili bu makine ve ekipmanları destekleyen ana malzemeler**:  
Enerji kabloları (AG ve OG hatları için),  
Basınçlı Hava hatları boruları (4 veya 6 inç çaplı ve 6-8 bar basınçda dayanıklı özellikleri kolay montaj edilebilir anlamında( quick coupling tipi),  
Basınçlı Su hattı Boruları (3 veya 4 inç çaplı 4 veya 6 bar basınçda dayanıklı kolay montajı olabilir cinsten)  
Drenaj Boruları (4 veya 6 inç çapta sert PVC veya demir boru-eğimle suyu dışarı atacak)
- **Tünel içinde Bulunması gereklili Makine ve ekipman**:  
**Kazı ve yükleme makineleri**: Delme için; Jumbo (Tamrock, Atlas Copco )  
Yükleme için; Ekskavatör veya Yükleyici  
Taşıma için: Kaya kamyonu, Malzeme şafttan çıkacak ise: Portal veya seri kule vinç gereklili. Çevre kirletmemek ve kamyonlara direkt olarak yüklemek için vinç altına üst seviyede kazı kovası devirme platformu gereklidir.  
**Püskürtme Beton** Nakli için Mikser Kamyon, atılması için de Püskürtme Beton Makinesi (Shotcrete machine, Aliva, Meyco, Putzmaister vs gibi) ),  
**Hasır Çelik ve iksa Montajı için** : - Sehpa veya ek taşıma platformu, Yine montaj için Kaynak makinesi,  
**Drenaj için**: Dalgıç Yüzen çamur pompaları (flyght, Veda, Grindex vs)  
**Bulon-Süren Delgi ve montaj için**: Özel Jumbo (robot, ), Enjeksiyon makinesi  
**Drenaj için pompalar**: Dagiç çamur pompaları (Flyght, Veda, grindex vs)  
**Beton Kaplama için ekipmanlar**: Kemer Beton kalıpları; ray üzerinde yürürlük, Mikser Kamyon 6-8 m<sup>3</sup> kapasiteli yeterli sayıda, Beton pompası (tünel içi elektrikli, 35-40 m<sup>3</sup> kapasitede), Demirci iskele arabası, çekilerek yürürlük, İzolasyon iskelesi kendi çekilerek yürürlük, tarama ve final ölçme arabası ile aynı olabilir,  
Enjeksiyon makinesi, takım, karıştırma, agitator, pompalar,



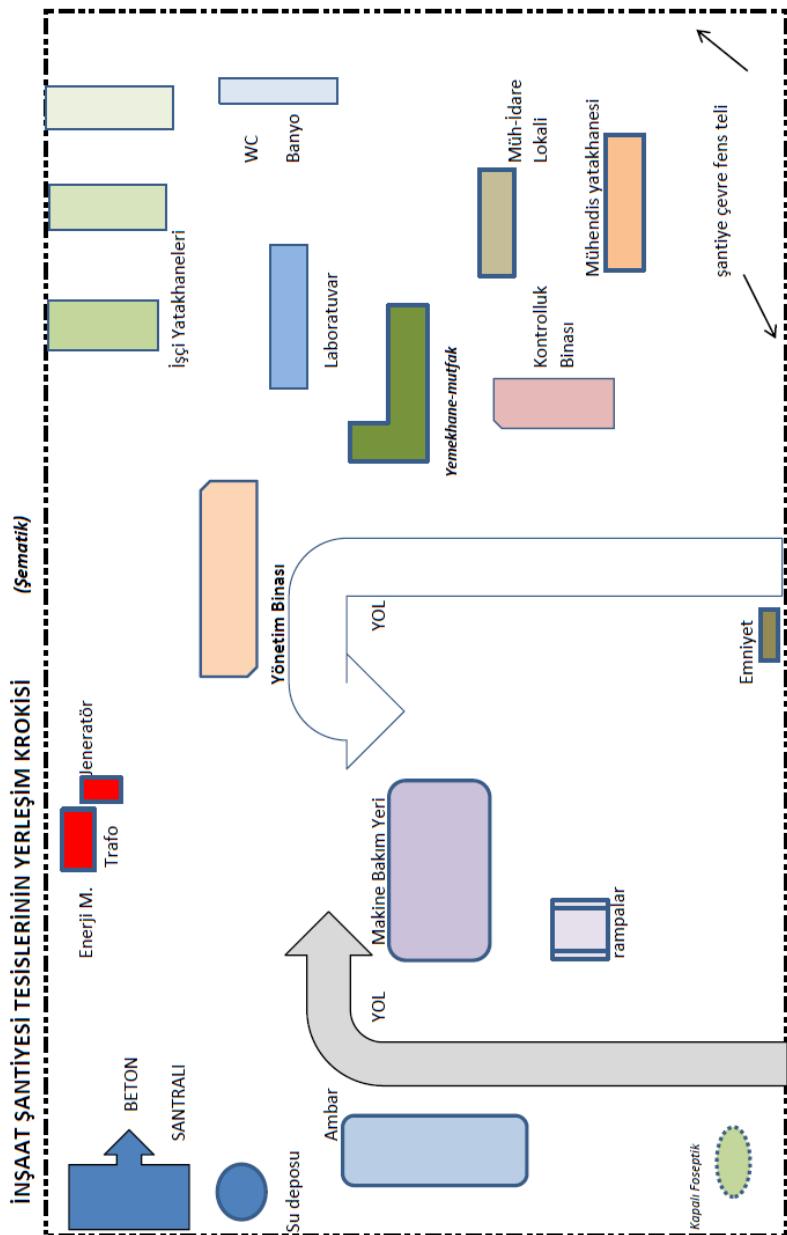
Drenaj için çamur pompası örneği

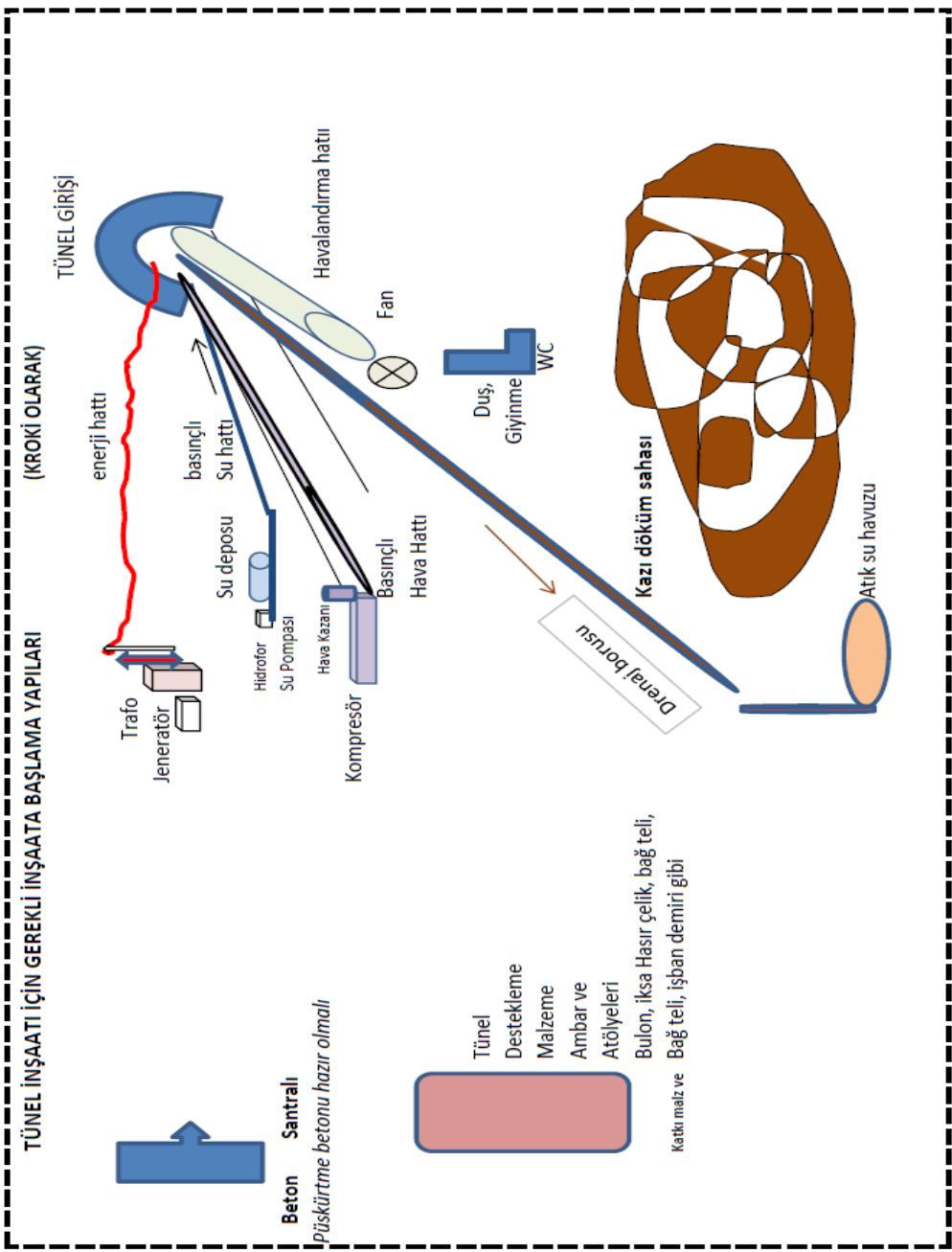


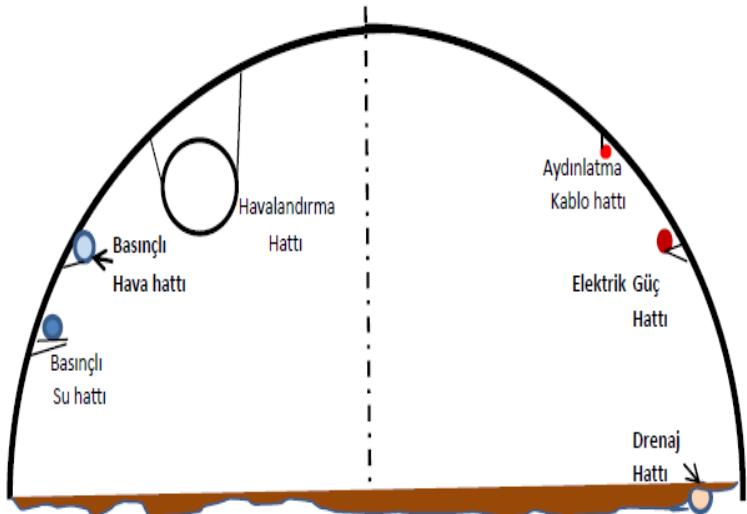
Enjeksiyon Pompası Clivio Tipi (Somuncuoğlu Firması, Ankara)



Enjeksiyon işleminin Hazırlık ve uygulamasının gösterilmesi







TÜNEL İNŞAATI YAPILIRKEN KAZIYI DESTEKLEYEN TESİSLERİN  
KONUMLANDIRILMASI

TÜNEL KAZISININ PORTAL veya MOBİL VİNÇ İLE ŞAFTTAN YUKARIYA ÇEKİLMESİ



ŞAFTIN YUKARIDAN AŞAGIYA GÖRÜNÜŞÜ ( Kazı kovası, Havalandırma ve Beton Boruları )





**12.08.2005**



ŞAFT İÇİNDE YUKARI BAKIŞ (Yanlardaki üst düzlemler ölçü indirme noktaları içindir)



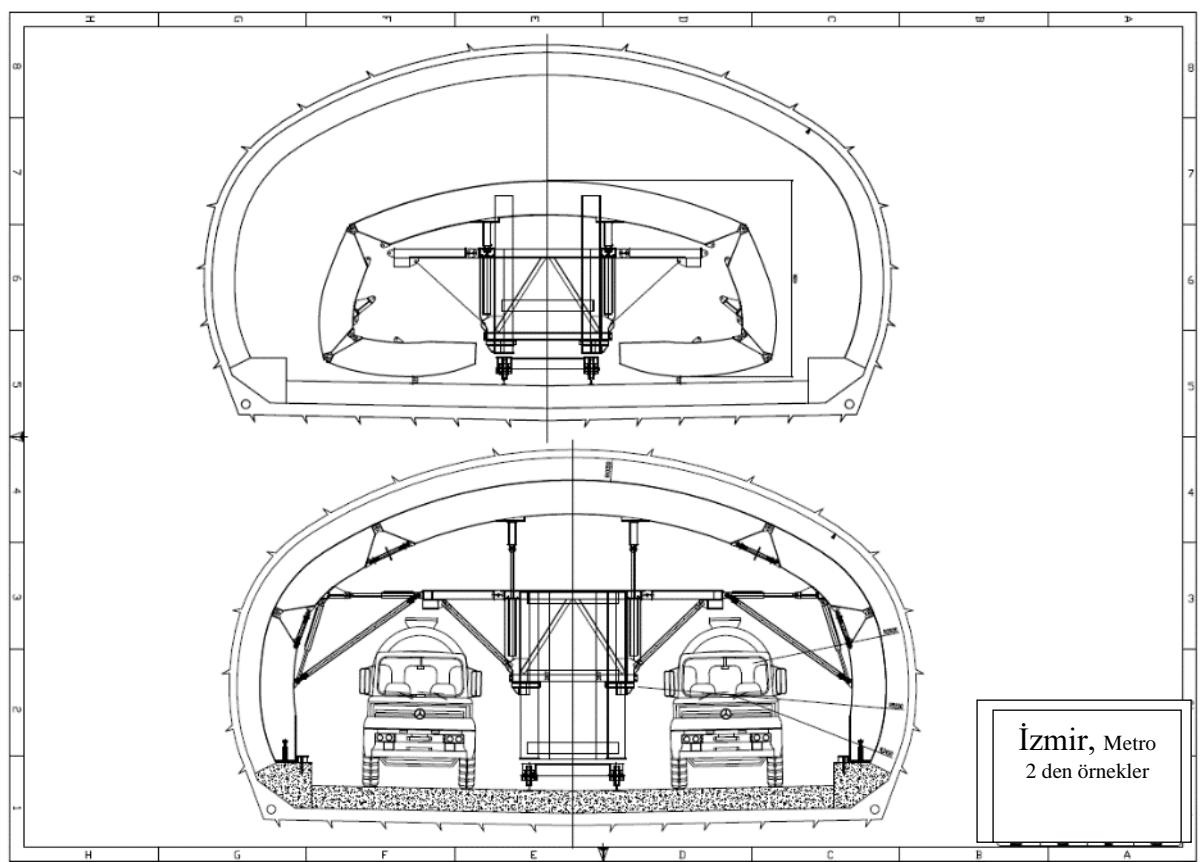
MOBİL VİNÇ İLE ŞAFTTAN JUMBO MAKİNESİ İNDİRİLMESİ



ŞAFT DİBİNDE T1 TÜNELİ (Raylı sistem – çift hat) kalıp kurulması



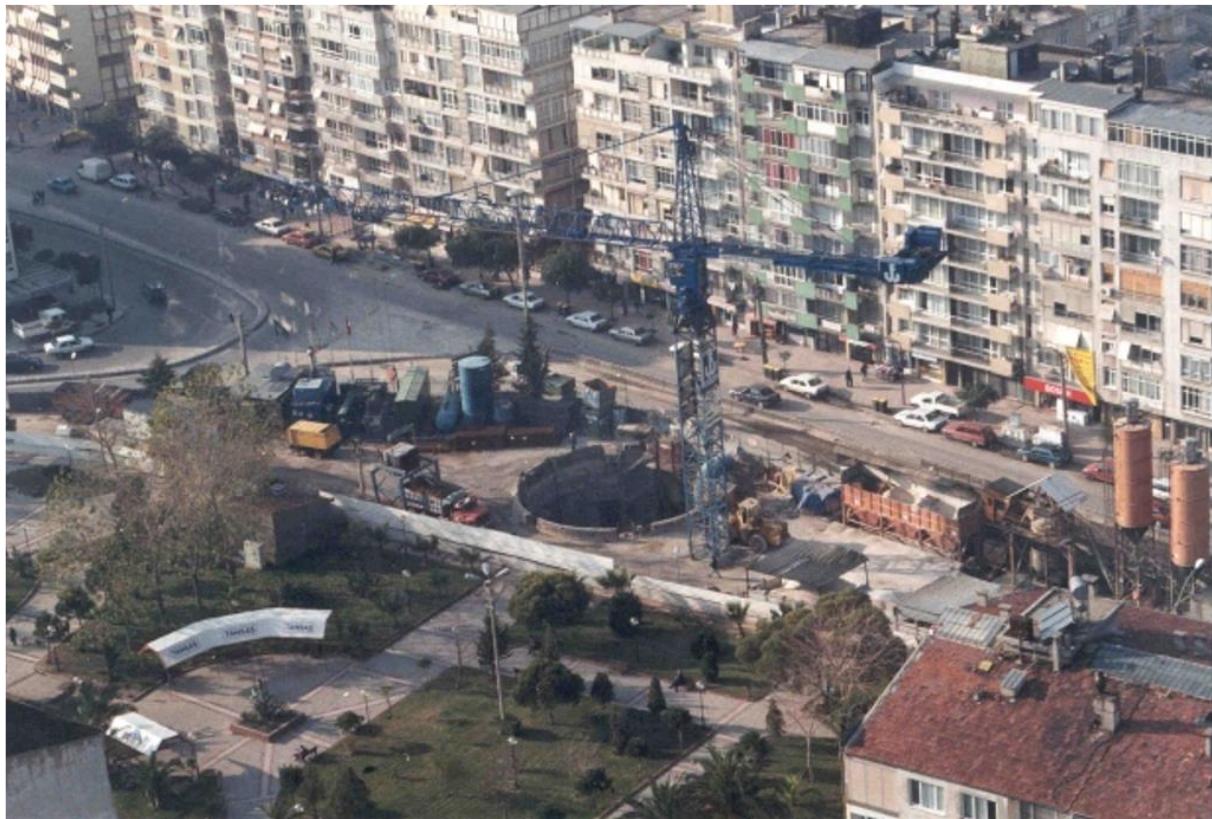
Şaft dibinde kurulmuş çift hat raylı sistem kemer kalıbının kurulmuş hali



**RAYLI SİSTEMLERDE İSTASYON TİPİ KEMER KALIP PROJESİ** (Kapalı ve kurulu durumları)











## **KAYNAKÇA**

1. John O. Bickel, T. R. Kuesel, Malabar / FLORIDA TUNNEL ENGINEERING HANDBOOK
2. Geoconsult, Conculting Engineerin Co. Salzburg / Avusturya TRAINING LECTURE FOR TUNNEL WORKS No 1 and 2
3. Karayolları Genel Müdürlüğü, OTOYOLLAR ve TÜNELLER TEKNİK ŞARTNAMESİ
4. Yapı Merkezi A.Ş. RAYLI SİSTEM ve TÜNELLER TEKNİK ŞARTNAMELERİ