



# **İSTANBUL TÜNELLERİNİN ZAMANA VE DEPREM YÜKÜNE BAĞLI DEĞERLENDİRİLMESİ**

SELİM AKYILDIZ

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI İSTANBUL ŞUBESİ

**11 KASIM 2019-İSTANBUL**

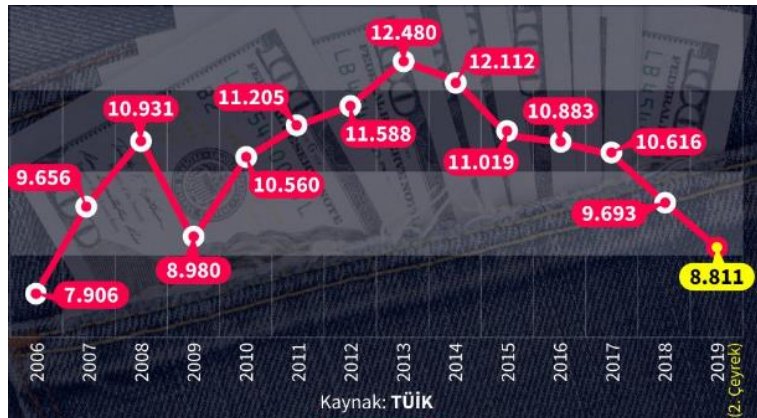
# GİRİŞ

- Kazı faaliyetleri devam eden *Metro tünellerinin durdurulması sonrası* 5 Ocak 2018 tarihinde Maden Mühendisleri Odası, yaşanabilecek tehlikelerle ilgili basın açıklaması yapmıştır.
- Basın açıklamasından 11 ay sonra, herhangi bir deprem olmamasına rağmen kazı işlemleri sürerken, bir Metro Hattında göçük yaşanmıştır ve maalesef 2 işçi yaşamını yitirmiştir (Kasım-2018).
- Bu üzücü olay üzerine yeni bir bilgilendirme metni yayınlanmıştır (2 Kasım 2018).
- İstanbul'da 24 ve 26 Eylül 2019'da meydana gelen depremler sonrası kamuoyunda, deprem ve kazısı durdurulan metro tünellerinde ortaya çıkabilecek tehlikelerle ilgili konular yeniden gündeme gelmiştir.

# 1.Tünel, Ekonomi ve İnsan

- Kişi Başına Düşen Milli Gelir Bazında Global Ölçekte Başlanan Tünel Uzunlukları (1999 – 2004) (Arioğlu, 2011)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Milli Gelir >9386 \$	801	840	1039	1080	931	1208
9386 \$ >Milli Gelir > 3036 \$	34	144	62	89	86	81
3036 \$ >Milli Gelir > 766 \$	236	408	442	404	225	163
Milli Gelir <766 \$	97	123	125	47	76	9
Toplam	1168	1515	1668	1620	1318	1461



- TÜİK Verilerine Göre Kişi Başına Düşen Milli Gelir: 8811 \$
- Buna göre, rahat bir yaşam ve ulaşım için, Türkiye’de Milli geliri artırmalı ve Tünel miktarı (toplam uzunluğu) artırılmalıdır.

## 2. Tünel Tipleri ve Özellikleri

<b>Karayolu Tünelleri:</b>	Demiryolu tünellerine nazaran güzergah geometrisi açısından çok daha esnektir. Genellikle karayolu tünel projeleri $\pm\%2'$ lik bir eğime göre projelendirilmektedir. Eğer, trafik hacmi düşük ise sözkonusu eğim $\pm\%4'$ e kadar çıkmaktadır. Daha yüksek eğimler havalandırma (CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , emisyonları vb.) ve görüş güvenliği açısından uygun değildir. Karayolu enkesiti günlük trafik hacmine sıkı sıkıya bağlıdır. Uzun tünellerde “havalandırma” ve “yangın güvenliği” projenin en önemli öğelerinin başında yer alır.
<b>Demiryolu Tünelleri:</b>	Demiryolu cer – çekim – parametresi açısından maksimum eğimler $\%1,2'$ dir. Bir ve iki hatlı hızlı tren projelerinde tünel enkesiti sırasıyla 50 m <sup>2</sup> ve (80 m <sup>2</sup> – 100 m <sup>2</sup> )' dir.
<b>Metro Tünelleri:</b>	Tünel enkesiti hatta, çalıştırılacak trenlerin maksimum kapasitesine – tren ticari hızı, koltuk sayısı, konfor derecesi, araç sayısı, araç kapı sayıları ve genişlikleri , istasyon uzunluğu vs. –, tren dizilerinin takip aralıklarına, sinyalizasyon ve ücret toplama sistemlerine bağlıdır. Tek ve çift hatlı metro tünelleri için tipik bir en kesit 35 m <sup>2</sup> ' dir. Yangın güvenliği en üst düzeyde olmalıdır. 2003 yılında Güney Kore' de çıkan yangın sonucunda 168 can kaybı olmuştur.
<b>Hidrolik Güç ve Su Tünelleri</b>	Güzergah geometrisi (yol eğimi, kurp yarıçapı) diğer tünellere nazaran daha esnektir. Genelde sağlam kayada açılırlar. Hidrolik güç tünel kesit alanları düşüm yüksekliği, su debisi ve enerji kayıpları gibi faktörlere bağlı olup, 10 m <sup>2</sup> – 30 m <sup>2</sup> arasındadır.
<b>Kanalizasyon Tünelleri</b>	Kesit alanı 10 m <sup>2</sup> ' dir.











# 3. İstanbul İçin Kısa Değerlendirme

- İstanbul'daki tünel açıklıkları; mikro tüneller hariç yaklaşık olarak 3-21 m arasında değişmektedir.
- İstanbul'da tünellerin açıldığı ortamların RMR (Rock Mass rating) (Kaya kütlesi sınıflama sistemi) değerleri minimum ve maksimum aralığında, yaklaşık olarak 0 ile 90 arasında değişmektedir.
- Buna göre, tahkimatsız kalma süreleri irdelendiğinde, şekildeki gibi olacaktır.

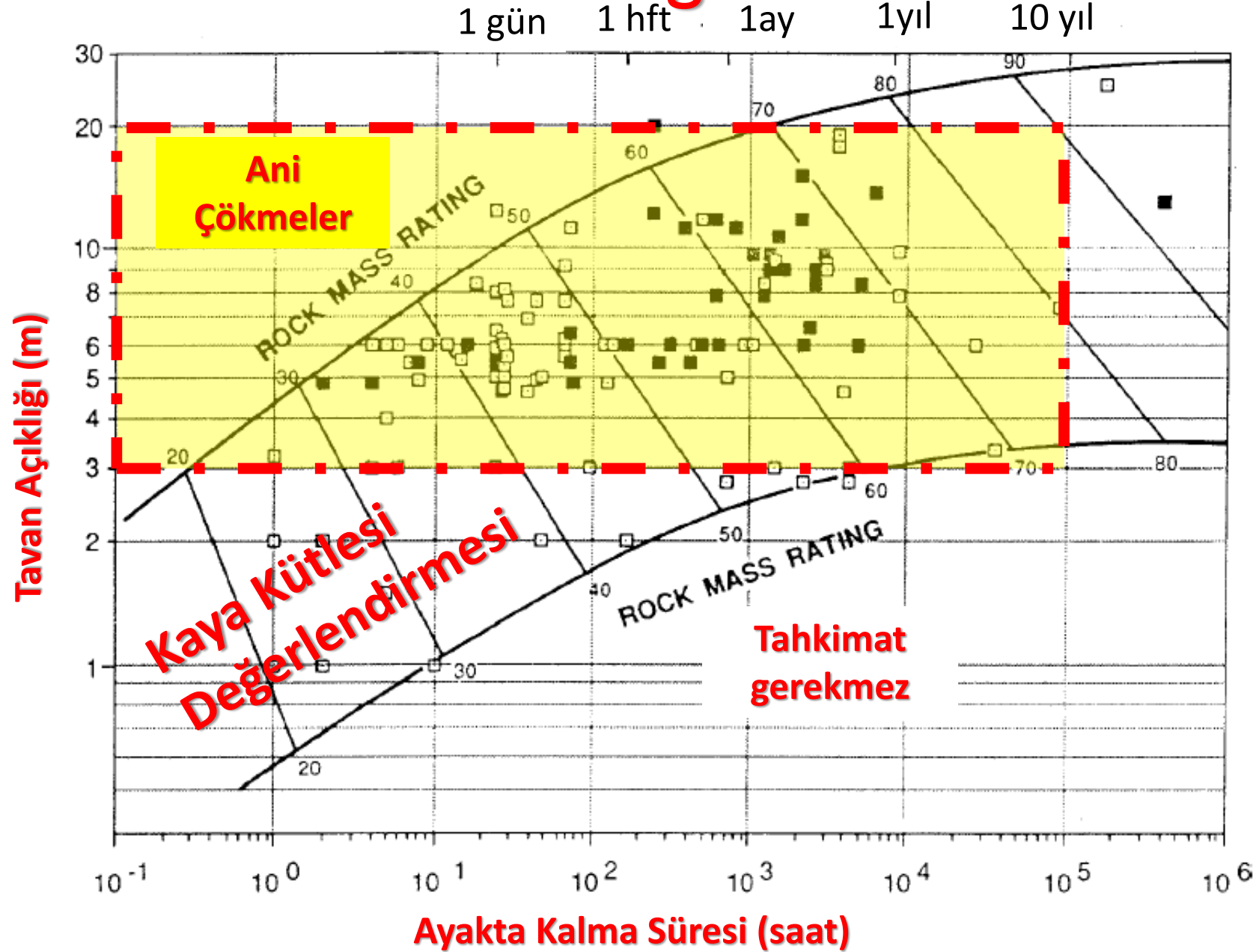
# İstanbul Tünelleri RMR Aralığı

---

<i>Class</i>	<i>Rating no.</i>	<i>Rock Description</i>	<i>Average stand-up time</i>
1	100-81	Very good	20 years (15m span)
2	80-61	Good	1 year (10m span)
3	60-41	Fair	1 week (5m span)
4	40-21	Poor	10 hours (2.5m span)
5	<20	Very Poor	30 min (1m span)

---

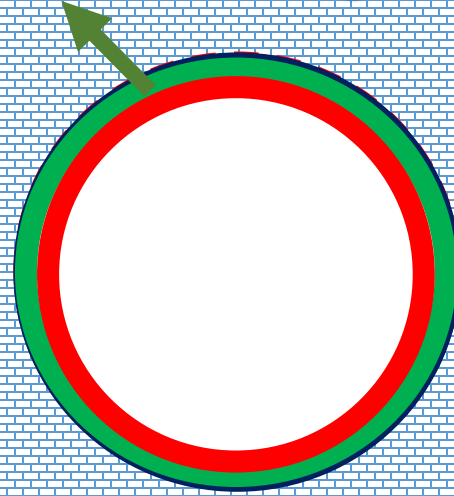
# İstanbul Tünelleri RMR Aralığı-Tahkimatsız Kalma Süresi



- **Bu Grafięe göre, Genel olarak bakacak olursak, İstanbul tünellerinin iyimser şartlar altında en fazla 1 ay tahkimatsız olarak ayakta kalabileceği görülebilmektedir.**
- **Tabii bu sürede İstanbul depremlerinden kaynaklanan sismik bir yüklemeye maruz kalmaz ise!!!**

# 3. Deprem Açısından Değerlendirme

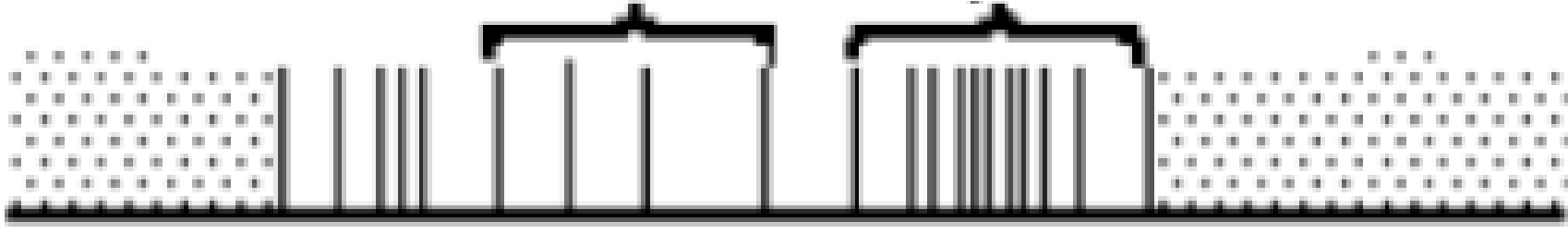
**Geçici Tahkimat:** Belirli bir süreliğine, destek görevi görür.



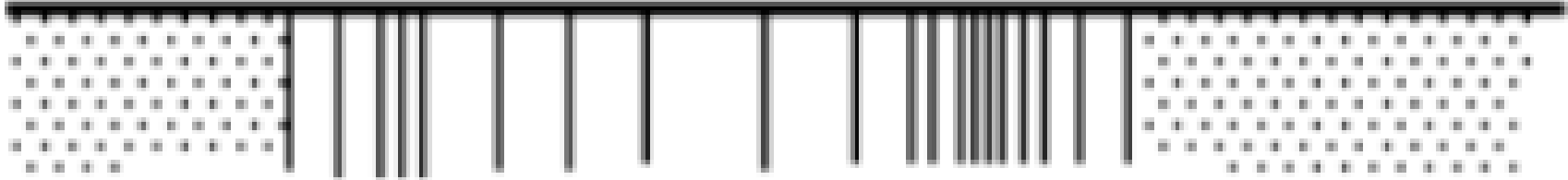
**Kalıcı Tahkimat:** Olası En Büyük Depreme Göre Dizayn Edilir

**Kalıcı Tahkimat:** Tünel Ömrü Boyunca Destek görevi görmesi hedeflenir.

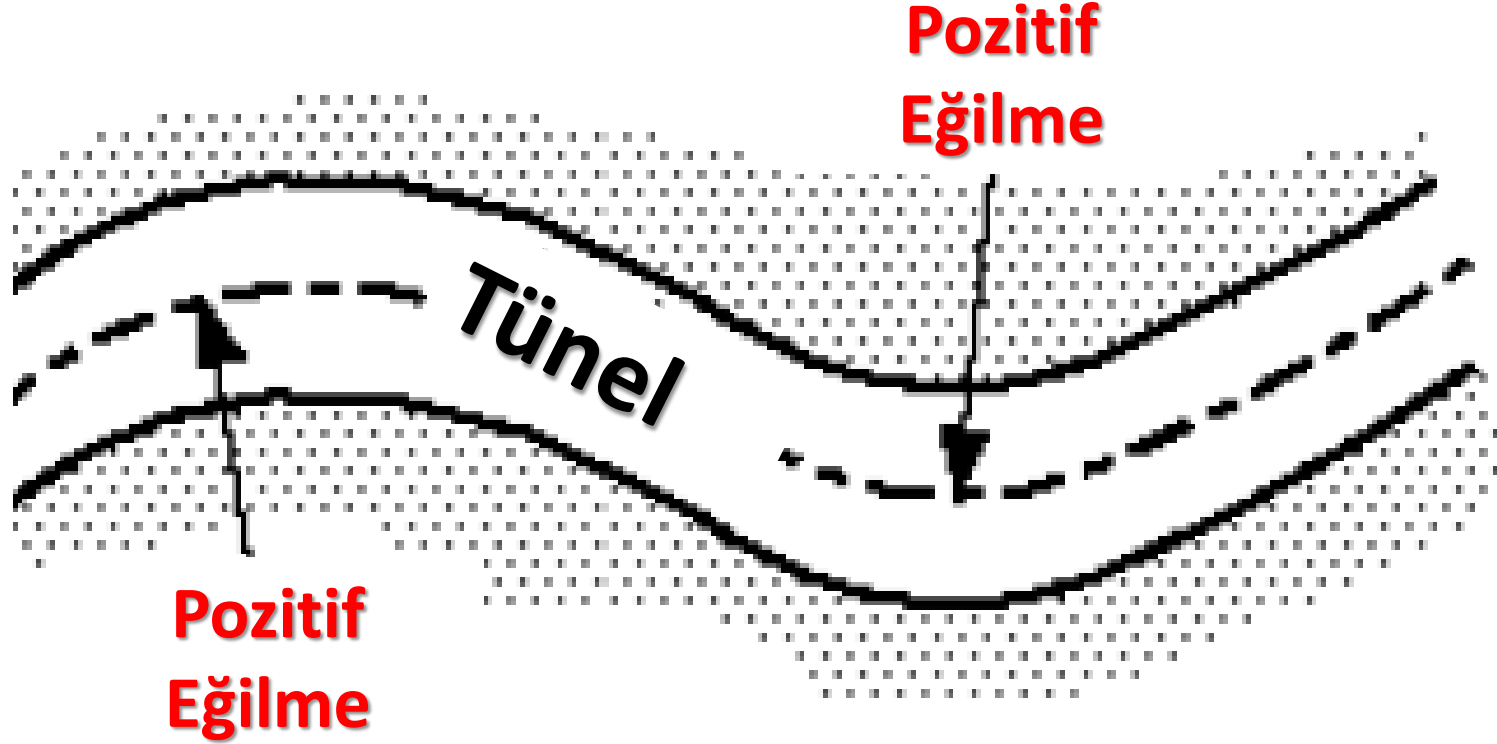
**Çekme Sıkıştırma**



**Tünel**

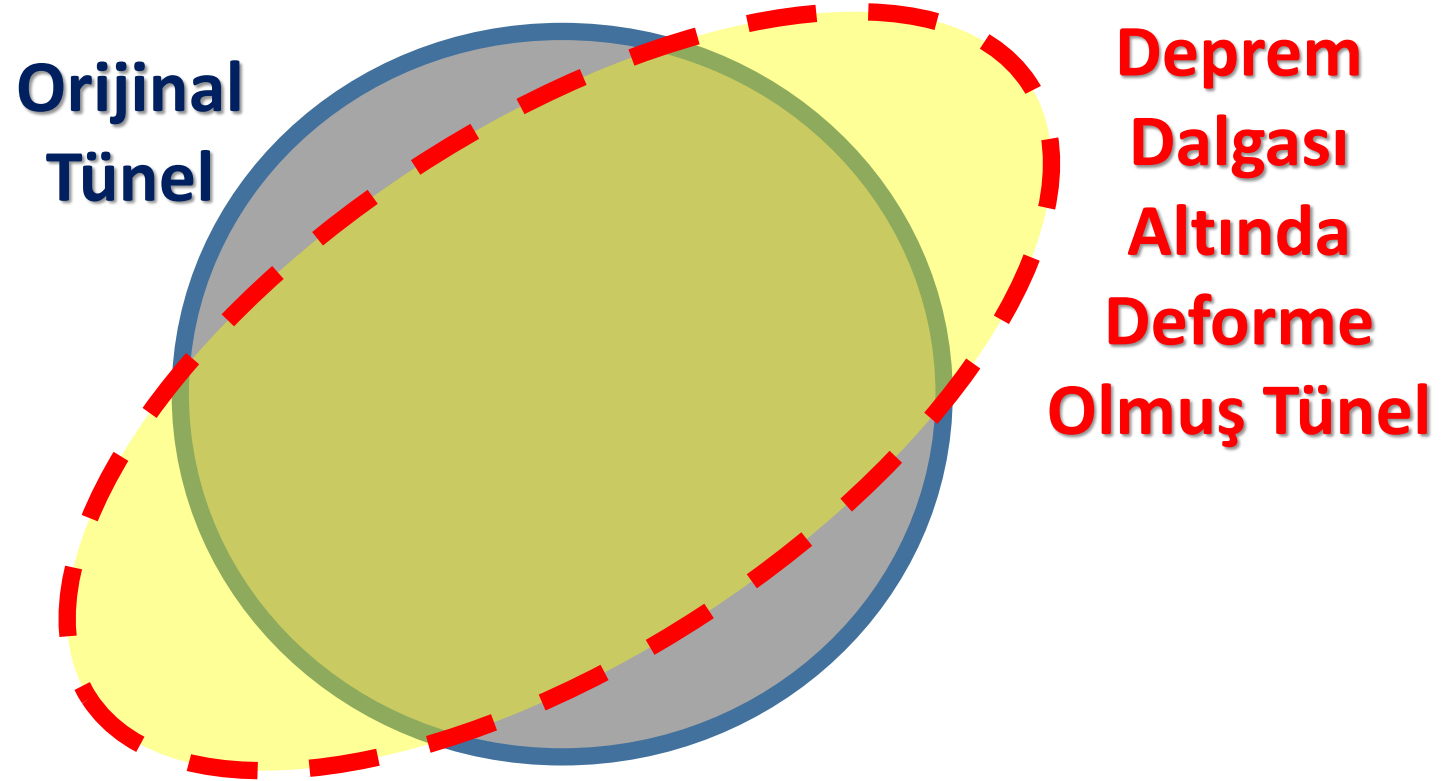


**Sismik etki Altında Tünel Eksenine Boyunca Deformasyon**



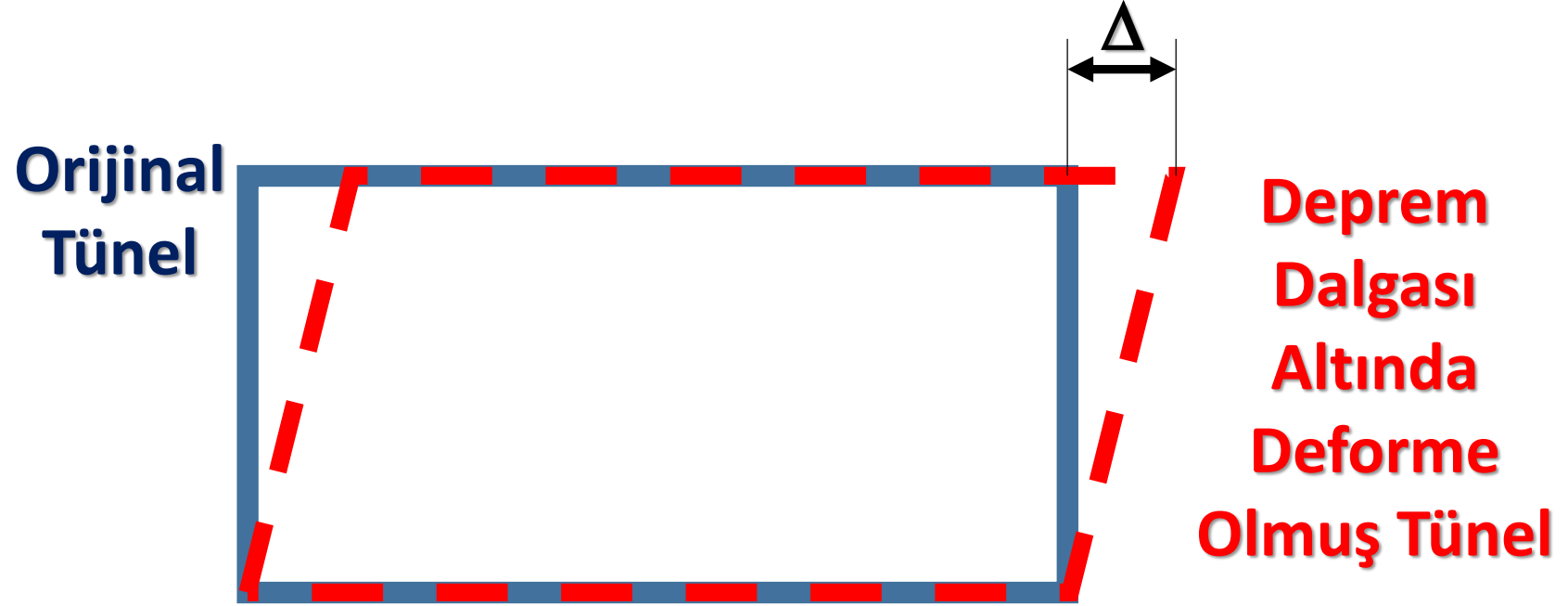
## Sismik Ekti Altında Tünel Ekseni Boyunca Eğilme Deformasyonları

# Dairesel Kesitli Bir Tünelde Oval Deformasyon





# Dörtgen Kesitli Bir Tünelde Deformasyon



# Tünellerin Projelendirilmesi ve Takibi

- Tüneller projelendirilirken, incelenen bölgelerin depremselliği de dikkate alınmalıdır.
- Projelerin uygulanmasından sonraki süreçte de tünel ve yüzey hareketlerinin takip edilmesi gerekmektedir. Görülen ve ölçülen herhangi bir anomalide, ilgili bölgenin kontrol altına alınması ve desteklenmesi veya güçlendirilmesi acilen yapılmalıdır.
- Tünel kazıları ve inşaat faaliyetleri süresince de oluşabilecek deformasyonlara karşı anlık olarak ilgili geoteknik ölçümler ve takipler yapılarak gerekli önlemler alınmalı, güçlendirme faaliyetleri yapılmalıdır.



# Sonuçlar ve Öneriler

1. Yeraltında açılan bir boşluk yüzeydeki statik dengeyi, yani doğanın dengesini bozmaktır.
2. Doğa bozulan bu dengeyi eski haline getirmeye çalışacaktır.
3. Doğanın bu davranışına karşı bir kuvvet oluşturmak için tünel içerisinde önce geçici tahkimat (yapay güçlendirme) yapılır. Tünellerde yapılan bu ilk tahkimat geçici tahkimattır.

4. Geçici tahkimatın gelen yükü taşıma süresi vardır. Bu süre dolmadan nihai tahkimat (Donatılı veya donatısız Beton Kaplama) yapılır. Nihai tahkimattan sonra tünel taşıyıcı hale yani güvenli hale getirilir.
5. Bu tahkimat sayesinde tünel üzerinde oluşan gerilmeler ve yükler homojen şekilde dağıtılarak, tünelin kabul edilebilir deformasyonlar içerisinde kalması sağlanır.
6. Eğer bu tahkimat/destekleme yapılamaz ise, öncelikle tünel içi deformasyonlarda artış gözlenir, ardından yüzeyde deformasyonlar başlar.

## **Yukarıda kısaca belirtilen gerekçeler nedeniyle;**

Durdurulan projelerin yapımına başlanmış ancak nihai tahkimatı yapılmamış olan şaft ve tünelleri (dikey, yatay ve eğimli yeraltı açıklıkları) açılmış bölgelerde, tünel ve çevre güvenliği açısından;

1. Projelerin ne kadar duracağı henüz bilinmediğinden yeraltı kazıları ile açılmış olan tünellerin/bölgelerin betonlanmasının tamamlanması gerekmektedir.
2. Şaft (dik kuyu) ile ulaşım sağlanan tünellerde şaft üstleri kapatılmalıdır.
3. Tünel beton kaplaması, yani nihai tahkimatı yapılmaz ve tüneller olduğu gibi bırakılırsa, bekleme süresince tünel içindeki düşey ve yanal hareketler ölçülemediği için tünel içerisinde gerekli tedbirler alınamaz, bu da hem tünel içerisinde deformasyonların artmasına hem de yüzeydeki yapıların da bundan etkilenmesine neden olacaktır.

4. Yüzeydeki deformasyonlar, yapılarda/binalarda yapısal hasarlara yol açabilir. Bu nedenle bekleme süresince tünellerdeki deformasyonlar uygun yersel veya uzaktan algılama gibi yöntemler kullanılarak düzenli olarak takip edilmelidir.
5. Tünellerde oluşan deformasyonlar ayrıca, işin tekrar başlaması sırasında ilave tahkimatlar yapılmasına, bu da maliyetlerin artmasına sebep olur.

6. Su geliri bulunan tünellerde, su gelişinin kesilmesi gereklidir. Suyun tünel içerisine alınması yüzeyde deformasyonlara sebebiyet verebilir.
7. Yeraltı sularının kontrol edilmemesi, tünel çevresinde yer alan yapılarla birlikte, su-kanalizasyon-enerji-iletim-doğalgaz hatlarının zarar görmesine neden olabilir.
8. Durdurulan, kapatılan şantiyeler yaşam alanları içinde bulunduğu için çevre güvenliği sağlanmalıdır.

9. Metro-tünel projeleri gerekli mühendislik ölçüm, etüt ve planlama işlemleri yapıldıktan sonra proje maliyetleri hesaplanmakta, daha sonra ortaya çıkan proje maliyetleri üzerinden ihale edilmektedir. Dönemin İBB yönetimi tarafından yapılan iptal gerekçesi bu süreçlerin doğru bir şekilde işletilmediğinin de açık bir kanıtıdır.

Bu yüzden durdurulan bu projelerde ortaya çıkan kamu zararının sorumluları ortaya çıkarılmalıdır.





**DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİZ**



# Kaynaklar

- Arioğlu, E., 2011, Tünel Dersi sunumları, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Azlan Adnan, Mohd Zamri Ramli, Siti Khadijah Che Osmi, Seismic Performance of Tunnel Lining under Long Distant Earthquake Effects, <https://www.researchgate.net/publication/279861915>.
- G. Lanzano, E. Bilotta, G. Russo, Tunnels under seismic loading: a review of damage case histories and protection methods, <http://www.reluis.it/doc/pdf/Pubblicazioni/Lanzano-Bilotta-Russo.pdf>