

METRO TÜNEL PROJELERİNDE YÜZEY TASMAN BÜYÜKLÜKLERİNİN YARI - TEORİK YAKLAŞIMLARLA BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF PARAMETERS OF SURFACE
SUBSIDANCE CAUSED BY TUNNEL CONSTRUCTION
BY MEANS OF SEMI-ANALYTICAL APPROACHES

Ergin ARIOĞLU <♦>
Başar ARIOĞLU (♦♦>
Erdem ARIOĞLU <*>
Oğuzhan ODBAY (*»»»)

Anahtar Sözcükler Metro Tünelleri, Arazi Hareketleri

ÖZET

Bu çalışmada, sığ-orta derinlikte açılan metro tünellerinin inşaatı nedeniyle yüzeyde gözlenecek arazi hareketlerinin karakteristik büyüklüklerini tanımlayan "dönüm noktasının apsisi", "tasman etki genişliği", "hacimsel zemin kaybı", "maksimum tasman miktarı" ve bina hasar tespit çalışmalarında kullanılan "maksimum eğim", "eğrilik" gibi başlıca parametrelerin, özellikle killi zeminler için tünel geometrik boyutları (çap-derinlik) ve geçilecek formasyonun kohezyon büyüklüğünü gözönüne alan "stabilite sayısı" cinsinden genel ifadeleri çıkartılmıştır.

ABSTRACT

In this study, general relationships based upon semi-analytical model are derived for the inflection point, influence width of surface, volume of ground loss and maksimum surface subsidence which define the characteristic magnitudes of surface movements resulting from excavation of shallow and medium depth tunnels. Utilizing these relationships, the magnitude of the probable damage to be experienced on existing and planned buildings due to tunnelling activities can be assessed reasonably in the development and design of tunnelling projects in residential areas.

- * Prof. Dr. Müh., İT.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul
** İnş. Yük. Müh., Yapı Merkezi, İstanbul Hafif Metro-İncirli Tünel İnşaatı Proje Müdür Yardımcısı
*** İnş. Y. Müh., Yapı Merkezi, Çamlıca, İstanbul
**** İnş. Müh. Yapı Merkezi, Çamlıca, İstanbul

1. GİRİŞ

Özellikle üç büyük kentimizde (İstanbul, Ankara, İzmir) varolan ulaşım sistemleri konfor, zaman ve para ekonomisi, ulaşım güvenliği ve çevre koruma gibi günümüzün "olmazsa olmaz" isteklerine yanıt verecek düzeyde değildir. Sözügeçen kentlerimizde tüm olumsuzluklarıyla sürüp giden "çarpık kentleşme" gelişimleri de ulaşım sorununun boyutlarını daha da arttırdığı bilinen bir gerçektir.

Bugünün toplu ulaşım politikalarında yukarıda değinilen hususlara yanıt verebilecek rasyonel alternatif kuşkusuz metro yapımıdır ve bunun mevcut kentsel raylı sistemler (hafif metro-hızlı tramvay, banliyö) ile etkin koordinasyonunun sağlanmasıdır.

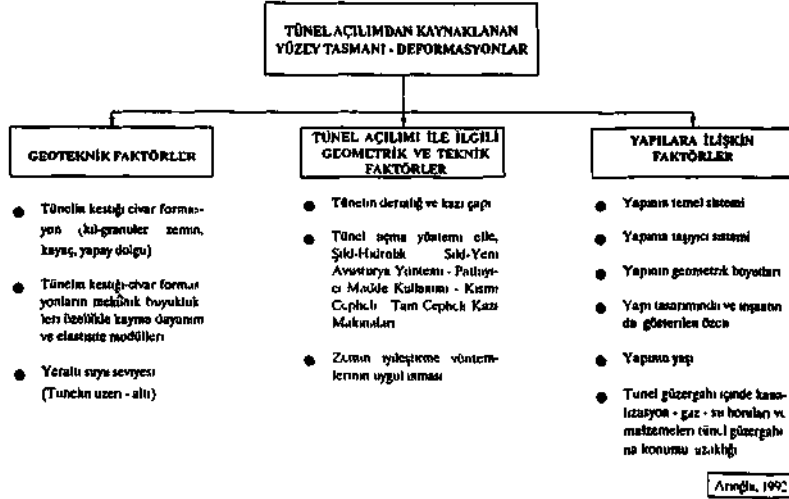
Metro geçkileri ise kaçınılmaz olarak kentleşmenin yoğun bulunduğu bölgelere doğru kaymış, daha açık bir anlatımla konut-işyeri gibi binaların altından-civarlarından geçme zorunluğu projelendirme aşamalarında kritik problem şeklinde gündeme gelmiştir. Metro tünellerinin inşaatında gözlenecek yeryüzü tasman hareketlerinin mevcut binalara etkilerinin önceden belirlenmesi ve olası hasarların minimize edilmesi metro inşaatının genel proje performansı (ilerleme hızının sürekliliği, projenin termininde bitirilmesi, proje bütçesinin beklenenin civarında sonuçlanması) açısından büyük önem taşımaktadır. Kuşkusuz; sözü edilen konu, her mühendislik projesinin temel felsefesinde yer alan çevreye karşı "sorumluluk duymak" ilkesinin yerine getirilmesi bakımından da önemlidir.

Bu tebliğde, sığ ve orta derinlikte açılan metro tünellerinin inşaatı sırasında yeryüzünde gözlenecek arazi hareketlerinin karakteristik büyüklüklerini tanımlayan "dönüm noktasının apsisi", "tasman etki genişliği", "hacimsel zemin kaybı", "maksimum tasman miktarı" ve bina hasar belirlenmelerinde kullanılan "maksimum eğim", "eğrilik" gibi temel parametreler, özellikle killi zeminler için tünel kazı çapı, aks derinliği ve geçilecek zeminin kohezyon büyüklüğünü ve tünel iksa sisteminin basıncını gözönüne alan "stabilite sayısı" cinsinden genel ifadeleri çıkartılmıştır. Literatürde rapor edilen vaka çalışmaları regresyon analizi ile değerlendirilerek yan-analitik ifadelerde kullanılan "dönüm noktası apsisi" ve "hacimsel zemin kaybı" büyüklükleri doğal ve geometrik faktörler cinsinden belirlenmiştir. Bu şekilde çalışma ile çıkartılan ifadelerin pratik mühendislikteki kullanım olanakları büyük ölçüde genişletilmiştir. Ayrıca, çalışma çerçevesinde çeşitli fiziksel modellere dayandırılarak geliştirilen yan-analitik bağıntıların birbiriyle karşılaştırılması yapılarak temelde içerdikleri benzerliklere dikkat çekilmiştir. Kaya kütlesi içinde açılacak tünellerin yüzey tasman parametreleri de tünel cidanının çapsal deformasyonunu bilmek koşuluyla killi zemin için esas alınan fiziksel modelin kullanımıyla kabul edilebilir bir yaklaşımla kestirilebilir.

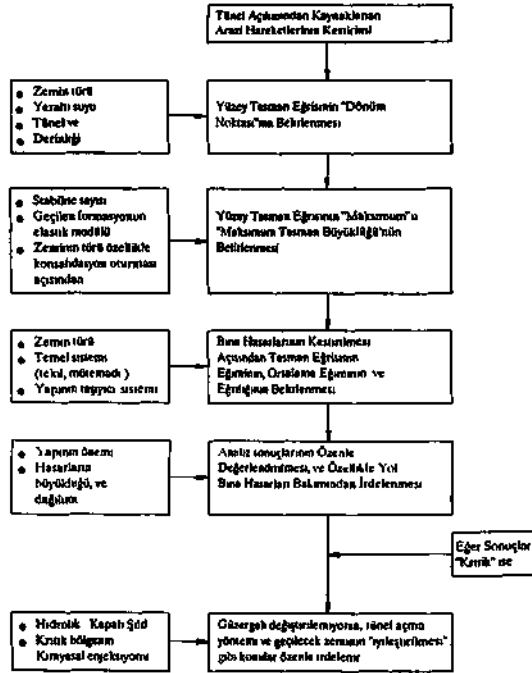
2. TÜNEL KAZISINDAN KAYNAKLANAN YÜZEY TASMAN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

2.1. Genel

Tünel kazı faaliyetlerinin sonucu olarak yüzeyde gözlenecek yer değiştirme hareketlerini ve bunların civar yapılara etkilerini denetleyen faktörler başlıca geoteknik - tünel açılımı ile ilişkin geometrik-teknik faktörler ve yapılara ilişkin faktörler olmak üzere üç ana grupta incelenebilir. Her grup içinde yer alan faktörler ise Şekil-1'de toplu halde gösterilmiştir (Arnoğlu, 1992 a). Açık ki genelde yüzey tasman olayının şiddeti ve yapılara yol açtığı hasarın düzeyi birbirinden bağımsız çok sayıda faktörün karmaşık denetimi altındadır. Örneğin, aynı geometrik koşullar (tünel çapı ve derinliği) altında zeminin kohezyon büyüklüğünü "jet enjeksiyon" yöntemiyle önemli ölçüde arttırarak yüzey taşınımının tüm parametreleri daha iyi hale getirmek mümkündür. Başka bir deyişle, tünelin geçeceği formasyonu iyileştirmek yoluyla yüzey taşınımının büyüklüğü ve oluşturacağı maksimum eğim önemli ölçüde azaltılabilir. Fakat, kötü



Şekil-1 Tünel Açılımdan Kaynaklanan YüzeY Tasmanma Etki Eden Faktörler



(Er, in ARIÖĞLU, 1992)

Şekil-2 Tünel Açılımdan Kaynaklanan Arazi Hareketlerinin Kesirimi İncenecek Hesaplama Aşamaları

şartlar içinde bulunan "yaşlı" yapılar, iyileştirilmiş zemin koşullarında bile arazi hareketlerine çok duyarlı olacaktır. Yapının durumuna bağlı olarak bir hasar söz konusudur.

Tünel açılımdan kaynaklanan arazi hareketlerinin kestiriminde izlenecek hesap aşamalarına ilişkin genel gösterim Şekil-2'de gösterilmiştir (Arioğlu, 1992a). Yüzey tasmanına ilişkin parametrelerin işaretleri şematik açıklamalarıyla birlikte "işaret listesinde" verilmiştir.

2.2. Dönüm Noktası Apsis Değeri

Teorik olarak anılan geometrik büyüklük yüzey tasman eğrisinin (Gauss hata eğrisi) "dönüm noktası'nı" belirler. Bu noktada yatay deformasyon büyüklüğü sıfır, yatay yer değiştirme büyüklüğü ise maksimum değerine ulaşmaktadır.

Literatürde rapor edilen çeşitli tünel çalışmaları regresyon analiziyle değerlendirilmesi sonucunda dönüm noktasının apsis değeri

$$\left[\frac{i}{R} \right] = K \left[\frac{Z_0}{2R} \right]^n \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Clough ve Schmidt, 1981, Arioğlu-Arioğlu-Odbay, 1992 b, Arioğlu, 1992 a).

Yapı Merkezi-1992 kaynağında genelde şild ile açılmış tünellere (n = 70 adet vaka - yaygın formasyon kil) ait büyüklükler analiz edilmiş ve regresyon sabitleri K = 0.9 ve n = 0.88 olarak elde edilmiştir

Arioğlu-Arioğlu-Odbay, 1992 b kaynağında ise Yeni Avusturya Tünel Açma ve hidrolik şild ile açılan tünel örnekleri (toplam n = 22 adet - 11 adeti YATM ile açılmış • yaygın formasyon : kil) incelenerek (1) amprik formülünün katsayıları K = 1.392 ve n = 0.704 olarak hesaplanmıştır.

(1) ifadesinin kestirim gücünün belirlenmesine yönelik olarak regresyon analizinde kullanılan 30 adet tünel çalışması için dönüm noktasının apsisleri hesaplanmıştır. Karşılaştırmada gözönüne alınan tüneller kilde şild ile açılmış olup, geometrik ve geoteknik parametreleri toplu halde hesap sonuçlarıyla birlikte Ek-1'deki çizelgede verilmiştir. Çizelgede İ0 ve i() ile belirtilen apsis değerleri sırasıyla (K = 0.9 - n = 0.88) ve (K = 1.392 - n = 0.704) katsayılarına karşı gelmektedir. Karşılaştırma sonuçları 1:1 doğru gösterimiyle sırasıyla Şekil-4 a ve b 'de görülmektedir. Aynı şekilde tünellerin açıldığı kilin türü "yumuşak", "sağlam-sıkı" ve "çok sıkı" olmak üzere işlenmiştir. Böylelikle, kil türünün dönüm noktasının apsis büyüklüğü üzerindeki etkisi olup olmadığı araştırılmaya çalışılmıştır.

Şekil-3 yakından incelendiğinde şu pratik sonuçlar ön plana çıkmaktadır :

- (1) bağıntısından hesaplanan dönüm noktasının apsis değerleri ölçülen değerlerden en fazla yaklaşık + %25 sapmaktadır. Bu sapma miktarının kilin türünden bağımsız olduğu ifade edilebilir.

- Yüzey tasman hareketlerinin en kritik parametresi olan dönüm noktasının apsis değeri tünel açma yöntemlerinden (şild • hidrolik şild - Yeni Avusturya Yöntemi) bağımsız olduğu konusunda bir izlenim söz konusudur. Bu olgu şildin kapalı-açık olma durumunda çok daha belirgin olarak gözlenmektedir (Leca, 1989, Arioğlu 1992 b). Daha açık anlatımla, şildin "kapalı" veya "açık" tür olmasının dönüm noktasının apsis değeri üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.

Tasman etkilerinin pratik olarak sıfır ($S = 0$) olduğu noktaların açıklığı etki uzunluğunu belirler ve büyüklüğü

$$L_e \approx 2 (3.1) \approx 6.1 \quad (2)$$

formülünden hesaplanabilir (Attewell, Yeates ve Selby, 1986).

2.3. Maksimum Tasman Miktarının Yan-Teorik Modelle Hesaplanması

Schmidt (1969) kaynağında önerilen fiziksel modele göre, tasman eğrisinin (Gauss hata eğrisi) etki açıklığında birim metre için tanımladığı Hacim " V_t " tünel kazı faaliyetinden kaynaklanan yerdeğiştirmelerin belirlediği "hacimsel zemin kaybına " V_k " eşittir. Anılan hacimlerin genel ifadeleri dairesel kesitli tünel için aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$V_t = 2,5 \cdot i \cdot S_{\text{mak}} \quad (3)$$

$$V_k = \frac{V_t}{V} \cdot 100 = \frac{V_t}{0.785 D^2} \cdot 100, \% \quad (4)$$

(4) ifadesinde (3) nolu bağıntı yerleştirilir ve gerekli nümerik kısaltmalar yapılsa yüzeydeki maksimum tasman miktarı " S_{mak} "

$$S_{\text{mak}} = 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{D^2}{i} \cdot V_k \quad (5)$$

olarak elde edilebilir.

Buna göre yüzeyde tünel kazısından doğan tasmanın maksimum büyüklüğü:

- » Tünel kazı çapına,
- Dönüm noktasının apsisine dolayısıyla (1) bağıntısı gereğince tünel aks derinliği/kazı çapı oranına ve
- Geçilen zeminin hacimsel zemin kayıp yüzdesine

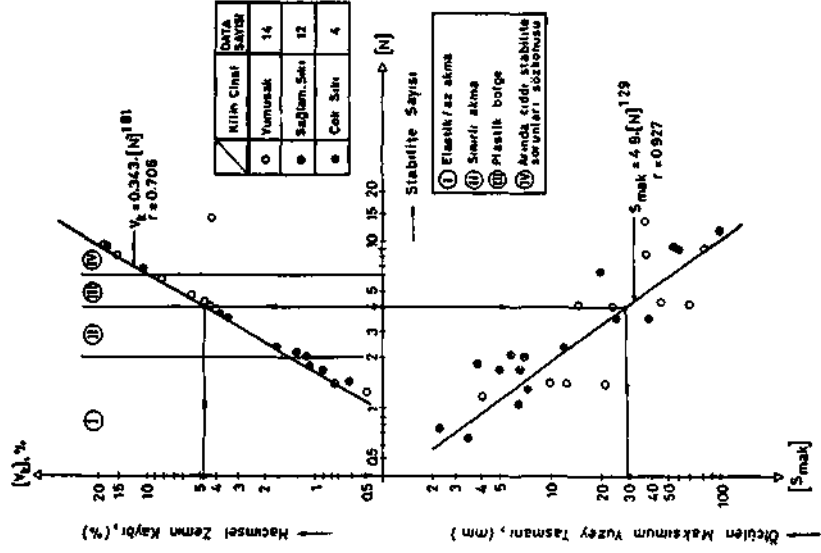
bağlıdır.

Tünel kazısından dolayı zeminde gözlenecek hacimsel kayıp yüzdesi ise :

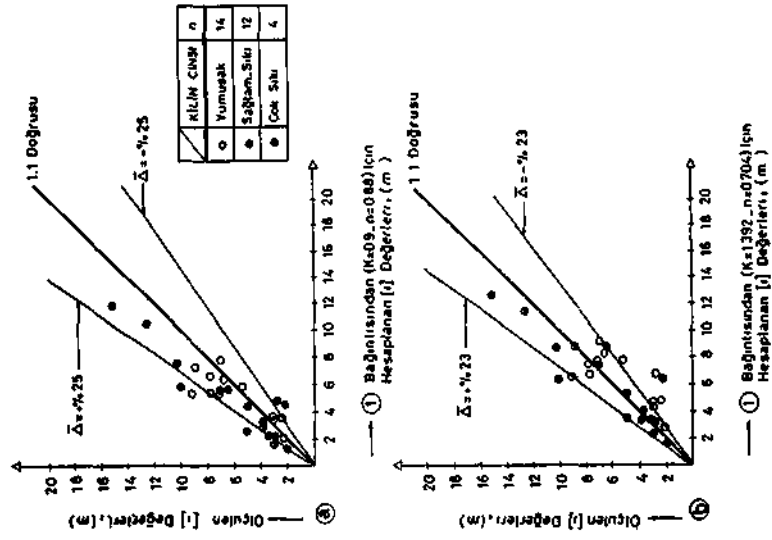
$$V_k = A \cdot N^B \quad (6)$$

$$N = \frac{P_s + \gamma z_0 \cdot G_T}{C_u} \quad (7)$$

üstel regresyon bağıntısıyla ifade edilebilmektedir (Anoğlu, 1992 a). Leca'nın (1989) doktora tezinde rapor edilen hacimsel kayıp yüzdeleri " V " ve stabilite sayıları " N "nın ($n = 70$ adet örnek) değerlendirildiği istatistiksel analizde $A = 0.343$ ve $B = 1.81$ olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre, artan stabilite sayılarında zeminin hacimsel kayıp yüzdesi de çok belirgin ölçüde artmaktadır. (6) nolu ifadenin grafiksel değişimi Şekil-4'de gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde stabilite sayılarına göre tünelin genel stabilite rejimleri işlenmiştir. Söz konusu şekil belirtilen stabilite sayıları bakımından tekrar değerlendirildiğinde, tünel $2 < N < 4$ için "sınırlı akma", $4 < N < 6$ için bütününde "plastikleşme" ve $N > 6$ durumunda ise arında çok ciddi stabilite sorunlarının varolduğu rejim içindedir. Regresyon analizinde sokulmayan datalar (Ek-1 Çizelge) ayrıca şekil-4'de kil türü bazında işlenmiştir. Görüleceği üzere "kontrol dataları" çıkartılan regresyon ifadesiyle çok iyi sayılabilecek bir uyum içindedirler.



Şekil-4. Kili Zeminlerde Şiddetle Açılan Tünellerde Hacimsel Zemin Kaybını ve Maksimum Yüzey Tasmanının Stabilite Sayısı ile İstatistiksel Değişimi



Şekil-3. Öçülen Dönüm Noktası Apsis Değerlerinin Regresyon İfadelerinden Hesaplanan Değerleriyle Karşılaştırılması

literatürde bütün tasman parametrelerini (tünel geometrik boyutları, dönüm noktası apsisi, stabilite sayısı, hacimsel zemin kaybı yüzdesi, yüzeyde gözlenen maksimum tasman miktarı) biranda bulmanın çok güç olduğu hatırlatılarak, Attewell, Yeates ve Selby, 1986 kaynağında sadece "işlenmemiş datalar" (Ek-1 Çizelge) (*)'in dikkate alındığı regresyon analizinin sonucunda maksimum tasman " S_{mak} " ile stabilite sayısı "N" arasında

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{1.29} \\
 & \mathbf{S_{mak} = 4.9 \cdot N} \quad (8) \\
 & \mathbf{r = 0.927} \\
 & \mathbf{n = 30 \text{ adet data}}
 \end{aligned}$$

bağıntısı (Şekil-4) çıkartılmıştır. Bağıntıda stabilite sayısı [boyutsuz] büyüklük olup maksimum tasman ise [mm] birimiyle elde edilecektir. Şekilden izlendiği üzere artan stabilite sayılarında, daha açık bir deyişle tünel civarındaki formasyonunun artan "plastikleşmesi" durumunda yüzeydeki maksimum tasman çok belirgin biçimde artmaktadır.

Maksimum tasman miktarının belirlenmesinde (Herzog-1985) tarafından önerilen yaklaşım da kullanılabilir (Anoğlu, Arıoğlu, Odbay, 1992b). Bu bildirinin yazarları, bu yaklaşımı aşağıda belirtilen "değişiklikleri" yaparak, yaklaşımın tasman mühendisliğindeki kullanım alanını daha da genişletmişlerdir.

Tünel kazı faaliyetlerinden kaynaklanan hacimsel zemin kaybı (Herzog-1985) göre

$$V_k = u \cdot \pi \cdot D$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada "u" tünel cidarının radyal yönde yaptığı yer değiştirmeyi göstermektedir. Elastik rejim içinde bulunan bir tünelin cidarının yaptığı yer değiştirmenin büyüklüğü genel olarak

$$u = \frac{1 + \nu'}{E'} \cdot P \cdot \frac{D}{2} \quad (10a)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu çalışmanın yazarları, ortamın elastik büyüklüklerini $[E', \nu']$ "düzlemsel birim şekil değiştirme" koşulları altında bulunduğu kabulünden hareketle

$$E' = \frac{1 + 2\nu}{(1 + \nu)^2} \cdot E \quad (11)$$

$$\nu' = \frac{\nu}{1 + \nu} \quad (12)$$

bağıntılarından belirlemektedir (Leca, 1989). Burada "E" ve " ν " sırasıyla formasyonun elastisite modülünü ve poisson sayısını göstermektedir. Kısa vadeli yükleme durumu dikkate alındığında, daha açık anlatımla "drenajsız koşul" :

Kil $Q = 0.5$

değeri için (11) ve (12) bağıntılarından tünel cidarı etrafında "yumuşatılmış malzeme" durumunda bulunan kilin elastik büyüklükleri

$$\begin{aligned}
 E' &= 0.88 \cdot E \\
 \nu' &= 0.33
 \end{aligned}$$

olarak hesaplanabilir. (10) bağıntısında yer alan diğer büyüklüklerde şöyle yazılabilirler :

(*) Şild ile açılmış tünel örneklerini içermektedir.

$$P = P_s + \gamma \cdot Z_0 = P_s + \gamma \left(H + \frac{D}{2} \right) \quad (13)$$

$$E = \beta \cdot Cu$$

Bu ifadeler ve yukarda verilen elastik büyüklükler (10a) genel bağıntısında yerleştirilirse, tünel cidarının yer değiştirme büyüklüğü

$$u = 0,757 \cdot \frac{P_s + \gamma Z_0}{\beta \cdot Cu} \cdot D \quad (10b)$$

olarak bulunur.

Stabilité sayısının "N"

$$N = \frac{P_s + \gamma Z_0}{Cu}$$

olduğu hatırlanırsa, yer değiştirme büyüklüğü

$$u = 0,757 \frac{N}{\beta} \cdot D \quad (10c)$$

şeklinde hemen basitleştirilir.

Yüzey tasman eğrisinin altında kalan hacmin "V_t"

$$V_t = 2,5 \cdot i \cdot S_{mak} \quad (3)$$

olduğu tekrar dikkate alınır ve

$$V_t \approx V_k \approx u \cdot \gamma \cdot D \quad (9)$$

temel fiziksel şartından hareketle gerekli nümerik sadeleştirme sonucunda maksimum tasman miktarı "S_{mak}"

$$S_{mak} = \frac{V_t}{2,5 \cdot i} = 0,4 \frac{V_t}{i} \approx 0,950 \frac{D^2}{\beta \cdot i} \cdot N \quad (15a)$$

şeklinde elde edilmektedir. (Arioğlu, 1992)

Elastik rejim içinde kalan tünellerde hacimsel zemin kayıp yüzdesi "V%" ile stabilité sayısı "N" arasında

$$V_k = k \cdot N \quad , \quad \% \quad (16)$$

eşitliğinin geçerliliği gözönünde tutulursa, buradan stabilité sayısı

$$N = \frac{V_k}{k} = \frac{V_k}{(0,2 - 0,6)} \approx 2,5 V_k \quad (17)$$

olarak belirtilebilir. Burada "k" elastik rejim için %0.2 • %0.6 değerlerini almaktadır (Analizle ortalama değer olarak %0.4 kabulü yapılmıştır).

(17) bağıntısı, (15a) eşitliğinde yerine koyulursa maksimum yüzey tasmanı,

$$S_{mak} = 2,375 \frac{D^2}{\beta \cdot i} \cdot V_k \quad (15b)$$

olmaktadır. Killer için ortalama β değeri olarak β = 750 kabulü yapılırsa, "S_{ma}|j" büyüklüğü

$$S_{mak} = 3,16 \cdot 10^{-3} \frac{D^2}{i} \cdot V_k \quad (15c)$$

şeklinde belirlenebilir.

Oldukça farklı kabuller altında geliştirilen (15c)'in (5) bağıntısıyla olan uyumunun çok dikkat çekici olduğu burada vurgulanmalıdır.

(5) ve (15.b) bağıntılarının kestirin) kapasitelerini belirlemek amacıyla bağıntılar, EK-1 Çizelgede rapor edilen tünel parametreleri için çalıştırılmış ve sözü geçen formüllerin en fazla + %40 oranında sapma ile sonuç verdikleri görülmüştür. Yaklaşık 30 kontrol dasetasının %25'i + %10 gibi çok küçük sapma bantları arasında kalmışlardır. (Ek-1 Çizelge'de $S_{m,i,y}$ değerleri (5)

bağıntısından, $S_{m,i,y}$ 2 değreleri ise (15c) bağıntısından hesaplanmışlardır).

2.4. Bina Hasar Parametrelerinin Hesaplanması ve Bir Nümerik Örnek

Bina hasarları açısından en kritik büyüklük yüzey tasman eğrisinin "maksimum eğimi'dir. Bu büyüklük tasman eğrisinin dönüm noktası apsisinde ($x = + i$) oluşmakta olup,

$$\left(\frac{ds}{dx}\right)_{\text{mak}} = 0.606 \frac{S_{\text{mak}}}{l} \quad (16)$$

formülünden teorik olarak hesaplanabilir. (Anoğlu, Arıoğlu ve Odbay, 1992). " $S_{m,i,y}$ " ve "T" büyüklüklerinin belirlenmesinde (5), (15c) ve (1) formüllerinden yararlanılabilir. Ele alınan konuya ilişkin ayrıntılı bilgi (Arıoğlu, 1992 a ve b) kaynaklarından temin edilebileceğinden, burada bu bilgiler tekrarlanmayacaktır.

Aşağıda ayrıntılı şekilde düzenlenen bir tünel projesi örneği ile tebliğde çıkartılan ifadelerin uygulamaları gösterilmiş ve olası "bina hasar derecesi" kestirilmişdir.

Tünel Verileri:

- Tünel lokasyonu : Washington D.C Metro Tünel İnşaatı
- Geçilen formasyon : Yumuşak kil
- Kazı çapı : $D = 6.4 \text{ m}$ (Ek-1 Çizelge)
- Tünel aks derinliği : $Z_0 = 14.6 \text{ m}$
- Stabilité sayısı : $N = \frac{\gamma \cdot Z_0}{C_u} = 4$
- Tünel açma yöntemi : Şild ile

Hesaplamalar :

- Dönüm noktasının apsisi [(1) formülünden]

$$\frac{i}{R} = 0.9 \left[\frac{Z_0}{D} \right] = 0.9 \left[\frac{14.6}{6.4} \right] = 1.86$$

$$i = 1.86 \cdot R = 1.86 \cdot \left(\frac{6.4}{2}\right) = 5.95 \text{ m}$$

Ölçülen dönüm noktası apsisi ise $i_g = 5.4 \text{ m'dir.}$

$$\text{Kestirim sapması ise } \frac{5.95 - 5.4}{5.4} \times 100 = + \%10 \text{ düzeyindedir.}$$

- Hacimsel zemin kayıp yüzdesinin hesabı (Şekil-4'den)

$$V_k = 0.343 \text{ N} \approx 0.343 (4) \approx \%4.22$$

olarak kestirilebilir. Tünel dalaşında rapor edilen hacimsel zemin kayıp yüzdesi V_k a $\%3.5$ olup, kestirim sapması ise yaklaşık $\%20$ 'dir.

• Yüzeyde gözlenecek maksimum tasman miktarı (Şekil-4'den) $N = 4$ değeri için doğrudan doğruya,

elde edilmektedir.

(5) ifadesinde de maksimum yüzey tasmanı

$$S_{\text{mak}} = 3.14 \cdot 10^{-3} \frac{D^2}{i}, V_k = 3.14 \cdot 10^{-3} \times \frac{(6.4)^2}{5.95} \times 4.22 = 0.091 \text{ m} = 91 \text{ mm}$$

bulunmaktadır.

(15a) ifadesinden maksimum tasman miktarı yumuşak kil $\beta \ll 500$ için

$$S_{\text{mak}} = 0.950 \frac{D^2}{\beta \cdot i}, N = 0.950 \times \frac{(6.4)^2}{500 \times 5.95} \times 4 = 0.052 \text{ m} = 52 \text{ mm}$$

Üç yaklaşımın aritmetik ortalaması alınırsa

$$S_{\text{mak}} = \frac{32 + 91 + 52}{3} = 58 \text{ mm}$$

elde edilmektedir. Ortalama değer esas alındığında gözlenen değere

$$(s_{\text{mak}} \sim 76) \text{ göre } P_{\text{max}} \text{ miktarı } \frac{58 - 76}{76} \times 100 = -\%24$$

bulunmaktadır.

« Maksimum eğim [(16) bağıntısından]

$$\left(\frac{ds}{dx} \right)_{\text{max}} = 0.606 \cdot \frac{S_{\text{mak}}}{i} = 0.606 \times \frac{58}{595} = 0.059$$

hesaplanmaktadır.

$$\left(\frac{ds}{dx} \right) = \frac{1}{17} > \frac{1}{50} \text{ bulunmaktadır. Bu durumda,}$$

risk grubu "4" olmaktadır ve metro tünelinin geçişinde yer alan civar binaların taşıyıcı sistemlerinde "önemli hasarlar" söz konusudur (Añoğlu, 1992a) (*)

(*) Yapı hasar değerlendirme analizlerinde yapısal hasarların "başlangıç limit büyüklüğü" ($ds/dx > 1/200$) kabul edilmektedir.

3. SONUÇLAR:

Bu çalışmada incelenen konulardan elde edilen belübaşlı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır :

- Tünel kazı faaliyetlerinden kaynaklanan yüzey tasman hareketlerini belirleyen iki temel büyüklük sözkonusudur : "dönüm noktasının apsisi" ve geçilen zeminin geoteknik parametrelerine bilindiğinde gözlenecek yüzey taşınımının "maksimum değeri" ve bu büyüklüğe bağlı olarak yapı hasarlarını boyutunu belirleyen "maksimum eğim" kabul edilebilir yaklaşıklıkla hesaplanabilir (Şekil-1 ve 2).

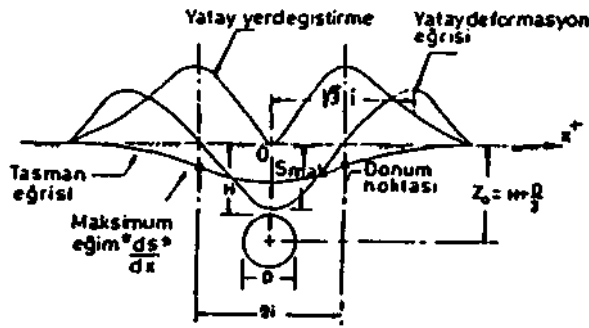
- Dönüm noktasının apsis değeri killi formasyonlar için (1) bağıntısından en fazla +%25 bir sapma ile hesaplanabilir (Şekil 3a). ayrıca, dönüm noktasının sadece geçilen zemin türüne (granüler zemin, kil, yapay dolgu, karışık zemin) bağlı (Arioğlu, Anoğlu ve Odbay, 1992) tünel açma yönteminden ise bağımsız olduğu ileriye sürülebilir (Şekil 3b).

- > Maksimum tasmanın hesaplanması için çeşitli yaklaşımlara dayandırılan yarı-analitik bağıntılar geliştirilmiştir (5.bağıntı ve 15.bağıntı). Bu bağıntıların ortalama şartlar altında nümerik olarak hemen hemen aynı sonuçları verdikleri gösterilmiştir. Ayrıca, literatürde rapor edilen çeşitli tünel çalışmalarına ait dataların (şiltle açıklan tünel ve yaygın geçilen formasyon kil) regresyon analiziyle değerlendirilmesi sonucunda "hacimsel zemin kayıp yüzdesi" ile "stabilite sayısı" ve "stabilite sayısı" ile "maksimum yüzey tasmanı" aralarında gayet anlamlı istatistiksel bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan hareketle pratik mühendislik tasarıma yönelik olarak bir nomogram hazırlanmıştır (Şekil-4).

TEŞEKKÜR:

Yazarlar çalışmanın yapılmasını ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn.Dr.Y.Müh.Ersin ARIOĞLU'na teşekkür ederler.

KULLANILAN İŞARETLER :



C_n	• Tünel senininin otarajru kajmm mukavca *
D	at Tünel kan çam
E	m TÖndianünlünün elastisite modBQ
F	» Yumuşatılmış, zeminin emstishe nodula
I	• Tünel tepe noktasının derinüfl
I	• Tond tasman eğrisinin donanı noktan asabi
K_h	• U) bsfntamdaU ragnsjon saUtları
L₀	• TasaunellderininsihroMniğueÜdgenifHil
N	• Stabilité sayısı
P	B Toplam arazi basına
P₀	• StlrtaiyakO

R	= Tünel kazı yarıçapı
r	= Tünel dđannın radyal yer-değiştirmesi
v	= Birim ilerleme için tÖnel kazı alanı hacmi, (m ³ /m)
V_k	= Tünel kausiriardouyru zeminde oluřan hacimsel kayıp yüzdesi (%)
V_t	= Tasman eğrisinin birim ilerleme ldn etki açıklığında tarfiledigil hacim (m ³ /m)
ds/dx	= Tünel zemininin birim hacim ađirig-
B	= Kil cinsine bağlı amprik faktör (Yumuşak kil için : 8= 500, Sağlam sua kil için : O 1000; çok sıkı Ul için i B= 1500)
U	= Arında uygulanan basınçlı havanın şiddeti
U₀	= Tünelin geŞUEl -minin poisson oranı
U₀	= Yumuşatılmış zeminin poisson onun
ds/dx	= m % + l'de oluřan maksimum egun

KAYNAKLAR :

ARIOĞLU, Ergin., 1992 a ; "Şehir Güzergahlarında Tünel Faaliyetlerinden Dolayı Yerüskü Hareketleri ve Binalarda Oluşacak Hasarların En Aza İndirilmesi", Meslek İçi Eğitim Semineri Notları, Maden Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

ARIOĞLU, Ergin., ARIOĞLU, Erdem., ODBAY, O., 1992 b ; "Sığ ve Orta Derin Yeraltı Mühendislik Yapılarının Açılmasından Kaynaklanan "Yüzey Tasman'ına Ait Parametrelerin Kestirimi", 4.Ulusal Zemin Mekanik Kongresi, İstanbul Cilt 1, S.177-193.

ATTEWELL, P.B., YEATES, J., SELBY, A.R, 1986: "Soil Movements Induced By Tunnelling And Their Effects on Pipe-Lines And Structures, Blackie, Chapman and Hall, Newyork.

CLOUGH, G.W., SCHIMIDT, B., 1981; "Design And Performance of Excavations And Tunnels In Soft Clay" Soft Clay Engineering Brand, E.W. And Brenner, R.P., Eds., Elsevier Scientific Publishing Co., Chapter.8, pp.569-631.

HERZOG; M., 1985; "Die Setzungsmulde Über Seicht Liegenden Tunneln" Bautechnik, Berlin, 11, pp. 375-377.

LECA, E., 1989; "Analysis of NATM And SHIELD Tunnelling In Soft Ground" PH.D Thesis, Virginia Polytechic Institute And State University, Blacksburg, USA.

SCHIMIDT, B., 1969; "Settlements and Ground Movements Associated With Tunnelling in Soil" PH.D Thesis, University of Illinois, Urbana, U.S.A.

YAPI MERKEZİ., 1992; "İstanbul Metrosu'nda Yeryüzü Hareketlerinin Kestirimi" Rapor, Yapı Merkezi, Araştırma ve Geliştirme Bölümü, Çamlıca, İstanbul (Yayımlanmamış).

ÇİZELGE - Killi Zeminlerde Şild ile Açılan Çeşitli Tünelere Ait Geometrik-Geoteknik ve Yüzey Tasman Parametreleri ve Yan Teorik Modellerin Sonuçları

Lokasyon ve Kilit Çeşitli	D (m)	Z ₀ (m)	$\frac{\gamma \cdot Z_0}{C_u}$	V _k %	İlgilen (mm)	S _{mak.} M _{pl} ten (mm)	I ₁ (m)	I ₂ (m)	S _{mak.} I (mm)	S _{mak.} 2 (mm)
London	4.15	29.3	2.1	1.31	12.6	6.17	10.43	11.43	6.79	3.29
N.W. A.	2.01	7.5	2.02	1.23	3.9	7.86	2.88	3.54	5.42	2.69
N.W.A.	4.25	13.38	9.4	19.80	9.1	81.5	5.25	6.63	214	61.45
London	4.15	20.0	1.70	0.90	10.3	7.00	7.45	8.74	6.53	3.73
London	4.15	34.0	1.70	0.90	15.2	5.00	11.88	12.70	4.10	2.34
Washington	6.4	14.6	4.0	4.22	5.4	76.0	5.95	7.96	91.22	52.32
Frankfurt	6.5	15.0	1.50	0.72	6.8	23.0	6.11	8.15	15.63	19.71
Frankfurt	6.5	13.3	1.50	0.72	7.1	13.0	5.49	7.49	17.40	21.93
Frankfurt	6.5	13.3	1.50	0.72	7.1	10.0	5.49	7.49	17.40	21.93
Heathrow	10.9	13.3	2.50	1.80	6.5	12.0	5.84	8.73	115.0	32.21
San Francisco	5.5	19.0	14.0	4.07	6.9	36.0	7.36	9.16	515.3	54.66
Chicago	6.10	11.89	3.55	3.41	2.8	39.6	4.93	6.80	80.82	50.91
Tokyo	7.01	215.5	5.85	8.39	54.4	12.2	8.82	11.11	14.68	61.93
San Francisco	5.4	17.98	4.67	5.58	8.9	46.0	7.02	8.80	74.95	37.96
Olumu	3.05	18.29	1.03	0.36	7.9	6.10	6.64	7.49	1.58	2.75
Chicago	6.10	10.97	3.85	3.94	2.30	25.6	4.60	6.42	100.10	29.72
Brasilia	5.6	8.00	4.03	4.27	3.00	25.0	3.27	4.40	53.14	30.34
Brasilia	3.6	9.00	4.03	4.27	1.50	US	3.63	4.76	47.87	27.33
Brasilia	3.96	8.50	4.28	4.77	3.00	5.0	3.49	4.72	6.73	36.34
Anglian	2.70	8.00	13.40	37.61	3.80	95.0	3.16	4.04	272.4	29.37
Anglian	2.70	5.50	9.20	19.04	2.80	58.0	2.27	3.10	192.0	28.06
Thames	1.78	17.10	1.89	1.09	10.00	3.80	5.87	6.09	US	0.97
Thames	1.78	3.40	0.76	0.21	2.00	3.70	1.42	1.96	1.47	1.61
Thames	1.52	4.90	1.09	0.40	3.00	7.10	1.92	2.41	1.51	1.25
Ur/Vin	3.40	6.00	6.67	10.64	5.00	20.00	2.52	3.53	153.3	19.38
London	4.13	14.06	1.22	0.49	7.80	4.00	5.46	6.81	4.81	7.24
Thames	2.82	11.70	0.78	0.22	5.00	2.20	4.44	5.34	1.24	1.33
Newcastle	5.21	14.20	1.40	0.63	7.00	7.50	5.67	7.35	9.47	4.25
Belfast	2.74	5.00	8.10	15.81	2.10	37.50	2.09	1.91	17.83	56.65
Anglian	2.70	5.50	9.20	19.04	3.20	600	2.27	3.10	19.20	28.06