

Istanbul Boğazı Denizaltı Geçişi için Tip Tünel ile Kalkan Tünelin Uygunluğunun Karşılaştırılması

Comparison of Suitability of Submerged Tunnel and Shield Tunnel for Subsea Passage of Bosphorus

Ömer AYDAN

Totai Üniversitesi Deniz İnşaat Mühendisliği Bölümü Skimizu, Japonya

ÖZ

Istanbul Boğazında batırma tipi bir tüp tünelin inşası planlanmaktadır. İnşa edilmesi halinde bu tünel, dünyanın en derin batırma tipi tüneli olacak ve teknolojik açıdan karşılaşılabilecek bir çok problemin çözülmesini gerektirecektir. Çevre sorunlarının yanı sıra, statik ve dinamik yükler altında tünelin Avrupa, yakasındaki Sirkeci yakınlarında çok ciddi duraylılık sorunlarının yaşanması beklenmektedir. Bu yazıda, önce tünelin, inşa edileceği bölgedeki jeolojik, ve jeoteknik özellikler ile çevresel ve sismik koşullar özetlemiş, daha sonra inşaat alanı, yakınlarında oluşabilecek ve büyüklüğü 6'yı geçen depremlerde zeminin sıvılaşma olasılığının oldukça yüksek olacağı üzerinde durulmuştur. Değerlendirmeler, planlanan batırma tipi tüp tünelin jeolojik, jeoteknik, çevre, inşaat, sismik ve deniz trafiği, gibi faktörler açısından pek uygun olmadığını göstermektedir. Buna alternatif bir seçenek olarak, kalkan tipi tünelin, daha uygun olup olmayacağı tartışılmış ve batırma tipi tüp tünel ile karşılaştırılmıştır. Öngörülen tünel hattı değiştirilmediği sürece, tünelin sıvılaşmaya karşı, dirençli daha derindeki zeminde inşa edilmesi daha uygun olacaktır. Bu durumda tünelin deniz tabanından itibaren örtü tabakasının kalınlığının en az tünel yüksekliğinin iki katı olacak şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Bu tür bir derinlikte batırma tipi bir tünelin inşası mümkün olmayacağına göre, tünelin bugünkü güzergahı değiştirilmediği sürece kalkan tünelin inşası en iyi çözüm şekli olacağına kuşku yoktur.

Anahtar Sözcükler: İstanbul Boğazı, kalkan tünel, model deney, sarsma masası, sıvılaşma, tüp tünel,

ABSTRACT

The construction of a sub-sea tunnel at Boğaz (Bosphorus) has been planned as a submerged funnel. If this tunnel is constructed as a submerged tunnel it will be the deepest one in the world and it has many technological challenging problems. Besides environmental concerns, the adverse geotechnical conditions near Sirkeci on the European side might present severe stability problems under both static and dynamic loading conditions. The author has presented an overall view of geology, geotechnical and environmental conditions and seismicity of the construction area. Particularly, it is emphasized, out that the liquefaction of ground in the construction site during an earthquake greater than magnitude 6 may be a big concern for the tunnel. It is pointed out that the presently planned submerged tunnel is not suitable in view of its seismic stability, geotechnical conditions, constructional difficulties, environmental problems and disruptions of both national and international sea traffics. Furthermore, the suitability of shield tunnelling as an alternative is discussed and compared with that of the submerged tunnel. If the sub-sea tunnel is constructed along the planned alignment, it will be better to locate the tunnel in ground, which is more resistant against liquefaction. Under such situation, the overburden of tunnel from sea-bottom will be 2D or greater. Since it is not possible to construct submerged tunnels with such overburden, the shield tunnel should be the best option unless the route and the type of construction is changed...

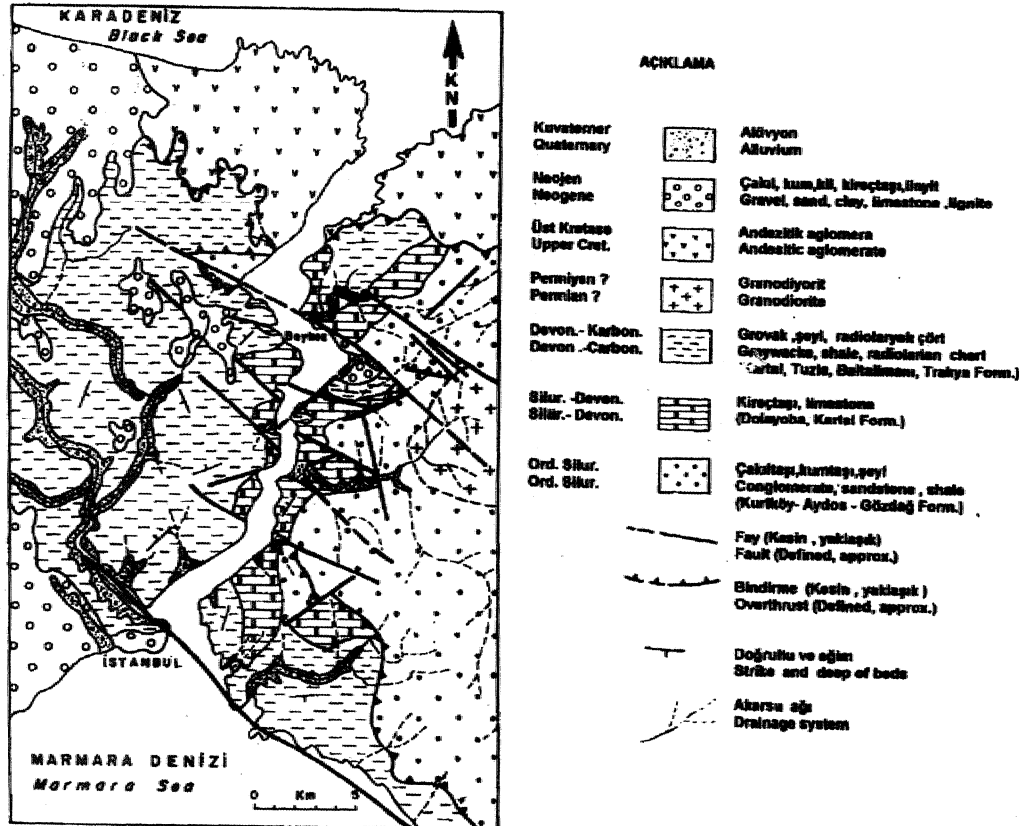
Key Words: Bosphorus, shield tunnel, model test, shaking table, liquefaction, submerged tunnel

Giriş

İstanbul'un son 20 yıl içerisinde büyük bir sorun haline gelen trafik sorununu çözmek üzere Avrupa ile Asya yakaları arasında Boğaz geçişi için değişik seçenekler uzun süreden beri incelenmektedir. Bu duruma çözüm olarak, iki aşına köprü inşa edilmesine rağmen, sorun azalacağı yerde, giderek daha da büyümüştür. Bugüne değin, inşa edilen, köprülerin yanı sıra, Boğaz geçişi için özellikle tüp geçit (submerged tunnel) seçeneği konusundaki değerlendirmeler, 1976 yılından beri İstanbul Belediyesi,, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Demiryolları tarafından yapılmaktadır, 1970li yıllarda tüp tünelin denizaltı geçişi olarak en uygun yöntem olduğuna hiç kuşku yoktur. Ancak 1980'den sonra, kalkan tünelcük yönteminde (shield tunnelling) ve tünel kazısı teknolojisindeki önemli gelişmeler, tüp tünel yerine kalkan türü tüneli hem ekonomik, hem de sismik ve statik açıdan güvenli ve

inşası daha kolay bir yöntem durumuna getirmiştir. Bunun en tipik örneği yaklaşık 11 km'lik kısmı kalkan tünelcük yöntemi ile inşa edilen Tokyo Körfezindeki Aqua-line körfez geçiştir. İlk planlama aşamasında tüp tünel olarak tasarlanan bu körfez geçişi, daha sonra, kalkan tünelcük yöntemi ile inşa edilerek hizmete açılmıştır.

İstanbul için günümüz koşullarında köprü seçeneğinin uygun görülmemesi nedeniyle, şu anda Üsküdar ile Yenikapı arasında dış kredi ile yapılacak tüp geçişi konusu gündemde olup, proje bu seçeneğe göre geliştirilmeye çalışılmaktadır. Konuyla ilgili olarak daha önce bazı değerlendirmeler yapılmış ve uygulanabilecek boğaz geçiş seçenekleri karşılaştırılmış (Tezcan, 1999; Tezcan ve Bal., 2000) olmakla birlikte, yazar tarafından bu görüşlere katkı sağlayabilecek bazı yeni çalışmalar yapılmıştır. Bu yazıda; gerek önceki değerlendirmelere katkıda bulunulması gerekse tüp tünel dışında başka



Şekil 1: Boğaz ve yakın çevresinin jeolojisi (Öztürk 1999)

Figure 1: Geology of the Bosphorus and its close vicinity. (after, Öztürk, 1999)

seçeneklerin de düşünülebileceğinin belirtilmesi amacıyla tüp'ün ile kalkan tünel inşaat koşulları, bunların çevreye ve deniz trafiğine olan etkileri ile bu yapıların sismik ve statik, güvenilirlik, ve ekonomik açıdan uygunlukları konusu karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

İstanbul Boğazı'nın ve Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Sismotektoniği

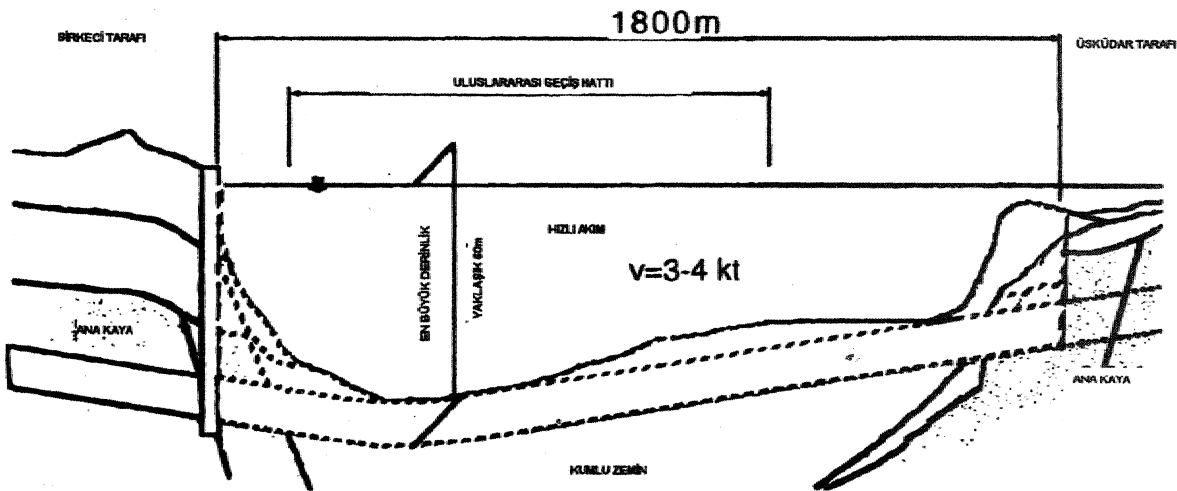
Jeoloji -*

Boğaz ve yakın çevresinin güncel verilere göre jeoloji haritası. Şekil 1'de gösterilmiştir. Stratigrafik anlamda en yaşlı formasyon, olarak, kumtaşı-çakıltaşı-şeyl'den oluşan Kurtköy-Aydos-Gözdağ formasyonu., Boğaz ve çevresinin temel kayasını oluşturmaktadır. Bu formasyonun üzerinde bindirme şeklinde ve kireçtaşıdan oluşan Dolayoba-Kartal formasyonu ile grovak, şeyi ve çörtten oluşan Kartal-Tuzla-Baltalimanı-Trakya formasyonu bulunmaktadır. Boğaz'ın doğu yakasında granodiyorit ve kuzeyde andezitik sokulumlar yer almaktadır. Bu birimler; çakıl, kum, kil, kireçtaşı ve linyitten oluşan Neojen yaşlı birimlerle örtülmüştür. En genç birim olarak, alüvyonlar, akarsu yataklarında ve Boğaz'ın kıyılarında yer almaktadır. Deniz tabanında yapılan sondajlarda alüvyonun oldukça kalın olduğu görülmüştür, Şekil 2'de de görüldüğü üzere,

Boğaz'ın denizaltı geçişinin yaklaşık 2 km'lik kısmı gevşek ve kumlu, alüvyon, malzeme içinden geçecektir. Alüvyonun kalınlığı, Boğaz'ın Haliç ağzına yakın, kısımda, oldukça artmaktadır.

Boğaz'da yaşlı birimlerde kıvrımın eksenine D-B doğrultuludur. Kıvrımlanmış bu birimler, daha sonra, oluşan tektonik hareketler ve volkanik sokulumlar ile parçalanmıştır. Boğazın oluşumu hakkında kesin bir görüş birliği olmamakla birlikte, Kuzey Anadolu Fayının (KAF) oluşumuna bağlı olarak geliştiği öne sürülmektedir (Öztürk, 1999). Anadolu plakasının batıya doğru ilerlemesi ve saat yelkovanına göre ters yönde dönmesi (Aydan, 1997 ve 2000), İzmit Körfezinden Şarköy'e kadar uzanan hat boyunca KAF'nin hareketinden ve yer kabuğuna etkileyen gerilimlerden doğal olarak beklenen KB-GD doğrultulu faylanmalara neden olmuştur.

Kadıköy önünden Haliç'e: doğru uzanan fayın, denizaltı geçişini hemen hemen dik olarak Sirkeci önlerinde kesmesi beklenmektedir. Bu faylar, araları KD-GB doğrultulu, daha küçük ölçekteki faylanmalarla ilişkilidir. Boğaz'ın güncel durumunun, bu faylanmalar ile Dolayoba-Kartal formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşıdaki karstik boşlukların büyümesi ile oluştuğu düşünülmektedir (Öztürk, 1999). Boğaz'da gözlenen fayların sismik açıdan, etkin olduğuna işaret eden bir bulguya şu ana kadar rastlanılmamıştır.



Şekil 2: Denizaltı geçişinin tasarlandığı güzergahın jeolojisi (v: akım hızı)
Figure 2: Geology of the submerged tunnel route (v: velocity of current)

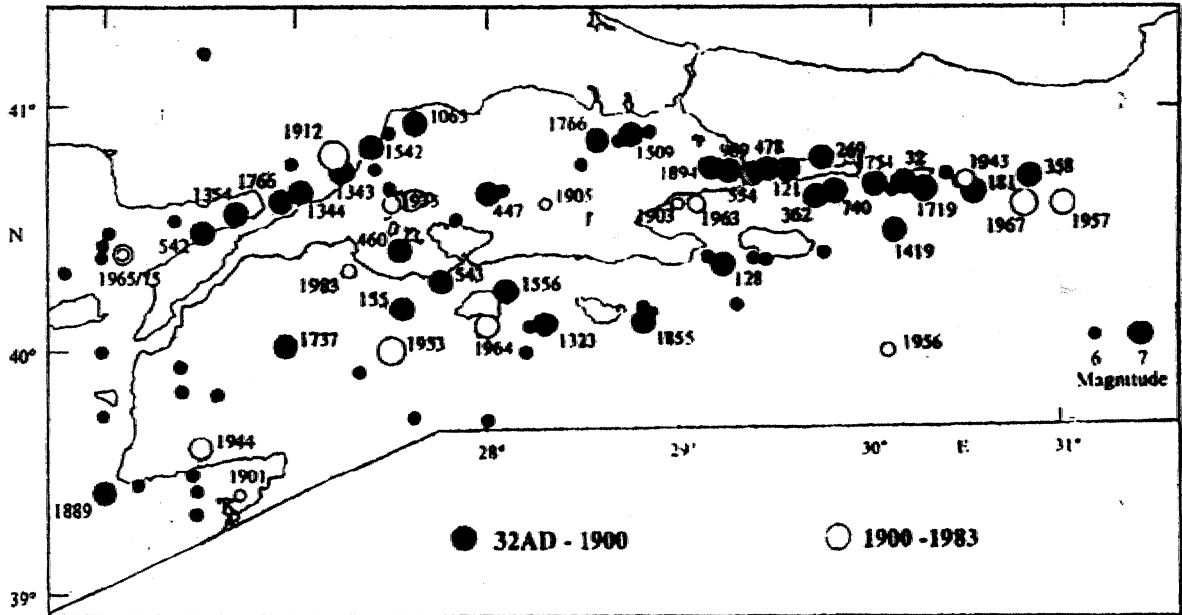
Bilgenin Depremselliği ve Beklenen En Yüksek Yer İvmesi

KAF'nın kuzey kolu Marmara Benizinin içinden geçmekte ve Çınarcık Çukurluğunda çatallanmaktadır. Bu çukurluğu şekillendiren Kuzey Sınır Fayı denizaltı geçişinin tasarlandığı bölgenin yaklaşık 12 km güneyinden geçmektedir (Barka 1997; Aydın vd., 1999). TPAO ve diğer kurumların yaptığı jeofizik araştırmalardan Güney Sınır Fayının yaklaşık 40 km güneyde bulunduğu belirlenmiştir. KAF, sağ yanallı doğrultu atımlı bir fay olmasına rağmen, yeryüzüne doğru düşey gerilimin azalması nedeni ile çiçeklerime olarak tanımlanan ve yer yer oluşan göreceli harekete bağlı olarak çek-ayır şeklinde çukurlukların oluşması düşünüldüğünde, ana fayın çukurluğun ortasına yakın bir yerden geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, denizaltı geçişinin yapılacağı bölgenin ana faya yaklaşık 20-25 km uzaklıkta olacağı söylenebilir. KAF'na bağlı olarak hasar oluşturan depremlerin odaklarının 15-25 km derinde olduğu gerçeğine göre, denizaltı geçişi en kötü olasılıkla olası bir depremin odağına 25 ile 35 km arasında bir uzaklıkta olacaktır.

Şekil 3, Marmara Bölgesinde son 2000 yılda oluşan depremlerin dış-merkez dağılımını göstermektedir (Gençoğlu vd., 1991). Şekilden de görüleceği üzere, Marmara Denizi'nin içinden geçen KAF'nın kuzey kolu üzerinde İstanbul açıklarında büyüklüğü 7'yi geçebilecek depremlerin olma olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle Boğaz geçişi için yapılacak denizaltı tünelinin tasarımında deprem büyüklüğünün 7'nin üzerinde düşünülmesi gerekmektedir.

Şekil 4, Tezcan (1996) tarafından hazırlanan Marmara bölgesi için hazırlanmış en yüksek yer ivmesi eşdeğer eğrilerinin dağılımını göstermektedir. Boğaz'da denizaltı geçişinin yapılacağı alandaki en yüksek yer ivmesi değeri 300 ile 400 gal arasında beklenebilir. Bu harita, Türkiye'nin kuvvetli yer kayıtlı ağının kurulmasından önce hazırlanmıştır. Türkiye'de kuvvetli yer kayıtlı ağının kurulmasından sonra elde edilen kayıtlar gözönünde bulundurularak, Aydın vd. (1996, 1999) ve Aydın ve Kumsar (1997) zeminin en yüksek ivme değerleri için aşağıdaki ilişkiyi önermişlerdir:

$$a_{\max} = 2.8e^{-0.025R} (e^{0.9M} - 1) \quad (11)$$



Şekil 3: Marmara Bölgesi'nde son 2000 yıl içerisinde oluşan depremlerin dış-merkezlerinin dağılımı (Barka, 1997)
Figure 3: Epicenters of the earthquakes occurred in the last 2000 years (after Barka, 1997)

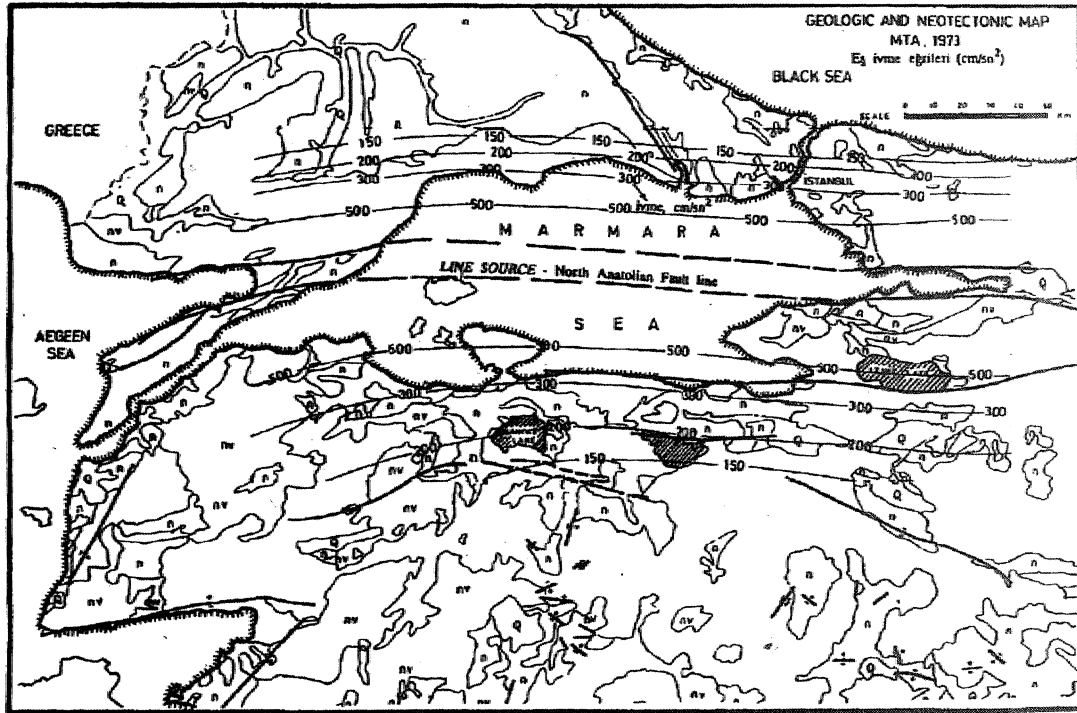
Burada Ms ve R, sırasıyla depremin yüzey dalga, büyüklüğü ve kilometre olarak, odak uzaklığıdır. Depremin büyüklüğü 7.0 ile 7.8 arasında değiştirilerek yapılan hesaplamaların, sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu hesaplamalar en yüksek ivme değerinin 500 gal'dan büyük, olabileceğini göstermektedir. Ancak, hesaplama, sonuçlarının, yüzeydeki değerlere karşılık geldiği, ve derinlik arttıkça, ana kayadaki ivmeye yaklaştığı da gözönünde bulundurulmalıdır. Aynı şekilde (1) no. lu ilişkinin önündeki katsayıyı, 2,8'den 0.56'ya düşürerek 7.8'lik deprem için elde edilen eğri de gösterilmiştir. Bu eğri ile kayada, elde edilen ivme eğrileri karşılaştırıldığında, değerlerin çok yakın olması böyle bir ilişkinin kaya ortamları için geçerli olabileceğini göstermektedir. Aynı ilişki, 1998 Adana-Ceyhan depremindeki Ceyhan, ve Karataş kayıtlarına (Aydan vd., 1998; Ulusay vd., 2000) uygulandığında da, zemin ve kayadaki ivme farklılığı açığanabilmektedir.

Faylanma olasılığı

Bölgenin jeolojisiyle ilgili bölümde değinildiği üzere, Boğaz'da denizaltı geçiş güzergahını dikine kesen ve Tetis Okyanusun kapanmasının ve/veya KAF'nın neden olduğu düşünülebilecek KB-GD gidişli faylar bulunmaktadır. Bunların arasında en önemli olanı, Sirkeci önlerinden geçen ve Halic'in güney sınırını oluşturan Halic fayıdır, KAF'nda oluşabilecek herhangi bir hareketin, hiç kuşkusuz bu tür fayları, etkilemesi ve kısmen de olsa, bir miktar göreceli ötelemeye neden olması beklenebilir. Bu durumda, Halic fayı üzerinde sol yan ve kısmen, normal atımlı bir faylanma beklenebilir. Ancak böyle: bir durumda bile oluşabilecek öteleme miktarının, bugüne değin, yapılan gözlemlere göre küçük olabileceği söylenebilir.

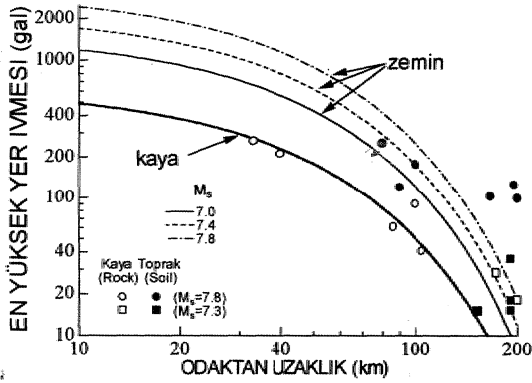
Güzergah ve Jeoteknik Koşullar

Boğaz geçişinin ana güzergahı KD-GB doğrultusunda olup Anadolu yakasında Üsküdar ve



Şekil 4: 1973 yılında Marmara Bölgesi için hazırlanmış en yüksek ivme eşdeğer eğri dağılımı haritası (MTA, 1973)

Figure 4: Map of maximum acceleration contours prepared for the Marmara region (after MTA, 1973)



Şekil 5: Odak uzaklığı ile en yüksek ivme arasındaki ilişki (Aydan vd., • 1996, 1999)

Figure 5; Relationship between the distance to hypocenter and maximum ground acceleration (after Aydan et al., 1996, 1999)

Rumeli yakasında Sirkeci'yi birbirine bağlayacaktır (Şekil 6), Toplam uzunluğu 11000 m olan geçişin, denizaltındaki 1800 metrelik kısmı yumuşak sıvılaşabilir zeminden oluşacaktır (bkz. Şekil 2). Geri kalan kısım ise, ardalanmış kumtaşı-silttaşı-kil-taşı birimlerinin içinde kalmaktadır.

Boğaz geçişinin büyük bir kısmı yumuşak zeminden oluşmakta olup, yapılan jeoteknik amaçlı sondajların lokasyonları Şekil 7'de gösterilmiştir. Deniz tabanından 13 m. derinliğe kadar geçilen zeminin SPT değeri ve beklenebilecek en yüksek yer ivmesi gözönüne alındığında,, bu zeminin sıvılaşa-

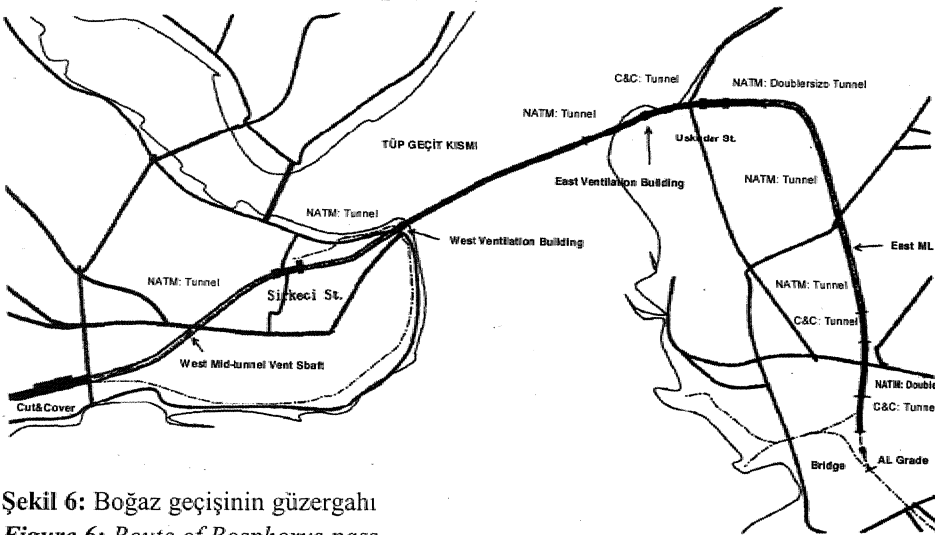
bilir' olduğu kolayca tahmin edilebilmektedir' (Şekil 8), Deniz tabanından. 13 m'den daha. derin kısımlarda ise sağlam zemin gözlenmekte olup, bu kısmın sıvılaşma olasılığı oldukça zayıftır. Tüp tünelin, deniz tabanından 5-12 m derinlikte planlanacağı gözönüne alınır, jeoteknik koşulların iyi olmadığı ve zeminin sıvılaşmasına karşı önlem alınması gerekeceği anlaşılmaktadır...

Boğaz geçişi, güzergahı boyunca deniz derinliği. en derin noktada. 47 m'ye ulaşacaktır,. Tüp tünelin inşası halinde, bu seviyeden. 12 m daha. aşağıya kadar kazı yapılacağı için derinlik 60 m olacaktır... Bu derinlikte: inşa. edilmiş, tüp tünelin dünyada bir başka örneği, yoktur.. Böyle bir derinlikte tüplerin birleştirilmesinde dalgıç kullanımı mümkün olmayıp, tüplerin eklenmesi, oldukça, büyük sorun oluşturacaktır,.

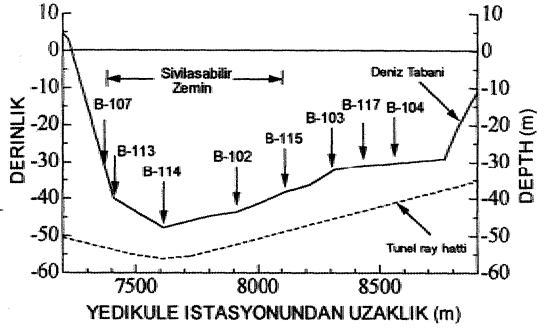
Boğazdaki Çevre Koşulları» Beniz Trafiği ve Deniz Kazaları

Çevresel koşullar¹

Boğaz'da da biribiri ne zıt yönde iki deniz akımı söz konusudur.. Üst akım, Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru olup, değeri 3-4 knots (1.5-2.0 m/s)'dur.. Diğeri ise, Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğrudur,. Bu durumun,, özellikle tüp tünelin inşası halinde uzunluğu 100 m olan tüplerin deniz tabanına indirilmesinde kullanılacak halat-



Şekil 6: Boğaz geçişinin güzergahı
Figure 6: Route of Bosphorus pass



Şekil 7: Boğaz tabanının profili ve sondaj lokasyonları

Figure 7: Seabed profile of the Bosphorus and locations of the boreholes

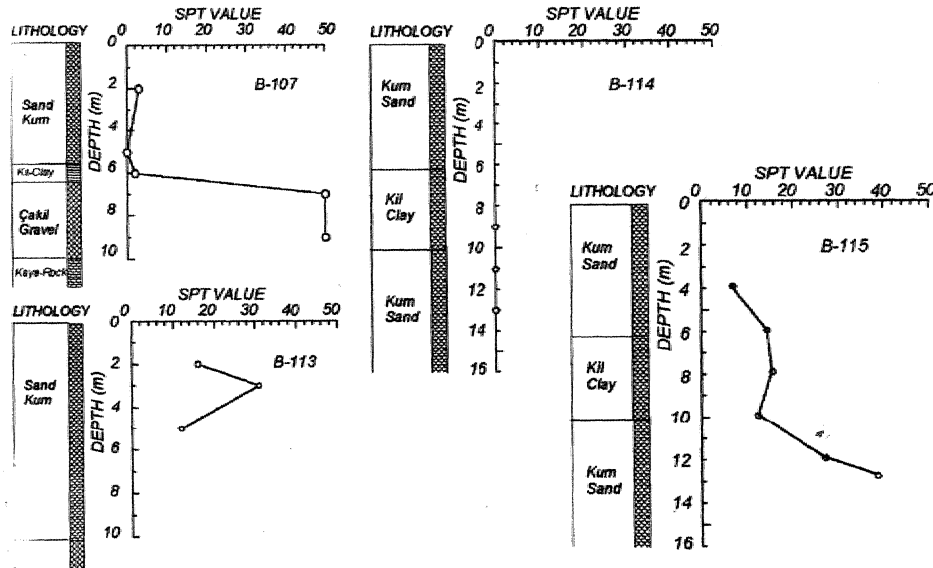
lannin S şeklinde kıvrılmasından dolayı, oldukça büyük sorunlara neden olması beklenmektedir (Şekil 9). Bunun yanı sıra, tüp tünel inşaatı sırasında deniz tabanının kazılıp- düzlenmesi gerekeceğinden,, kazılan toprak deniz akımından etkilenerek çok büyük alanları etkileyecek düzeyde bir deniz kirlenmesine neden olacaktır. Dolayısıyla böyle bir durumun denizdeki canlı ortamını çevresel açıdan etkilemesi kaçınılmazdır., Marmara Bölgesindeki balık göçü, ve balıkçılık mevsimi düşünülerek, denizde yapılacak inşaatın yılın belirli bir döneminde (en az 3 ay) durdurulması gerekecektir., Bu durum, özellikle tüp tünelin inşasını doğrudan ilgilendirecek ve

inşaat süresinin uzamasına neden olacaktır. Kazı sırasında patlatma yönteminin kullanılması halinde, balıklar bu işlemden etkilenecektir..

Boğaz'ın her iki yakasında yapılaşmanın oldukça yoğun ve özellikle inşaat için gerekli bir alana gereksinim duyulacak olmasından dolayı bÜ30ık sorunlar yaşanması beklenmektedir. Özellikle uzunluğu 100 m'yi geçen tünel tüplerinin inşası için büyük bir alan gereklidir.. Böyle bir alanın Boğaz geçişinde bulunmaması nedeniyle, bu tür alanların ancak, Tuzla-Pendik gibi en azından 30 km uzaklıktaki bölgelerde bulunacağı gözönüne alındığında, tüplerin inşaat alanına getirilmesi için zaman ve maliyet açısından sorun yaşanabilecektir.

Deniz trafiği

Boğazlar, tarih boyunca çok önemli bir deniz yolu olarak hizmet vermiştir.. Bugün de bu önemini halen korumakta olan İstanbul Boğazında çok yoğun bir deniz, trafiği söz konusudur. Böyle bir deniz yolu, üzerinde yapılacak inşaat işleminin deniz trafiğini büyük ölçüde etkilemesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla İstanbul'un Anadolu yakasındaki Haydarpaşa ve Kadıköy ile Rumeli yakasındaki Karaköy ve Eminönü semtleri arasındaki vapur seferleri de oldukça etkilenecektir.



Şekil 8: Boğaz'da yapılan bazı sondajlarda belirlenen SPT darbe sayılarının derinlikle değişimi

Figure 8: Variation of SPT-N values from boreholes drilled in the Bosphorus with depth

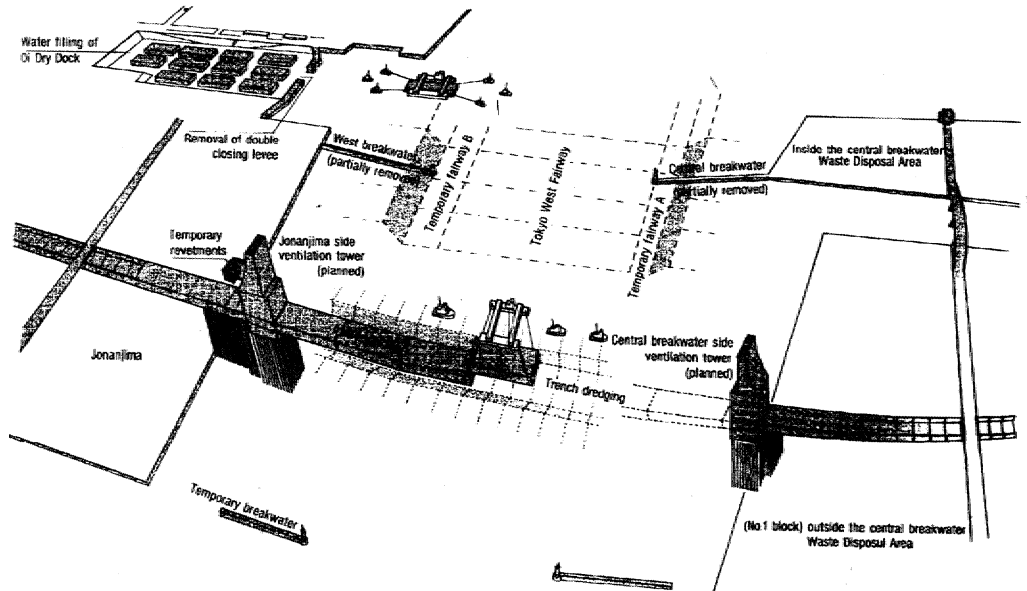
Deniz- kazaları ve diğer sorunlar

Boğazlarda deniz trafiğinin çok yoğun olması, belirli zamanlarda çok yoğun sis oluşumu ve diğer etkenler nedeni ile deniz kazaları ile sık sık karşılaşmaktadır. Özellikle yanıcı ve patlayıcı madde taşıyan tanker' ve savaş gemilerinin bu tür deniz kazalarına neden olması sonucu. Boğaz ve: yakın çevresi, çok 'büyük tehlikelerle karşı karşıya, kalmıştır. Çok sayıda, insanın toplu olarak geçiş yapacağı Boğaz •tüneline bu tür kazaların oluştura-cağı yapısal yüklemelerden dolayı hasar' oluşması çok büyük can kaybına neden olabilecektir,. Bu nedenle tünel ile deniz tabanı arasındaki örtü tabakasının bu tür kazalardan etkilenmeyecek derinlikte olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra., tarihte boğazların birçok sayıda, düşman saldırısına uğramış olduğu gö.zar.dı da edilmemelidir. Dolayısıyla, boğazda inşa edilecek denizaltı tüneli için bu tarihi gerçeğin, de gözönünde bulundurulması zorunluluğu vardır.,

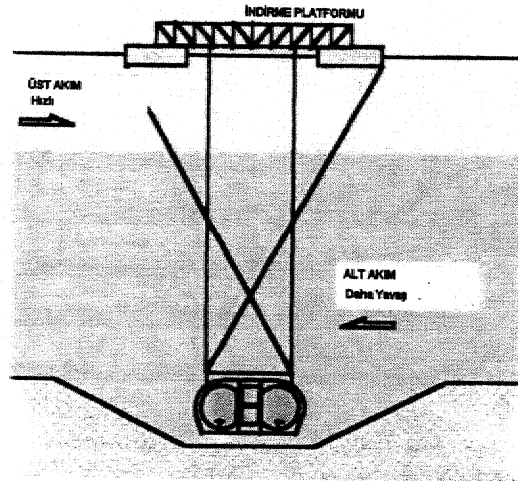
Batırma Tipi Tünel ve Kalkan Tanelin Başlıca Özellikleri

Batırma tipi tüp tünel

Batırma tipi tünellerin (submerged tunnel) inşasıyla ilgili başlıca özellikler Şekil 10'da gösterilmiştir., Bu tür tüneller.» karada, inşa edilen tüplerin



Şekil 10: Batırma tipi tüp •tüneline ana unsurları



Şekil 9: Boğazdaki deniz akımı ve tüplerin konumu
Figure 9: Sea current in the Bosphorus and position of the tubes

deniz tabanında açılan ve tabanı düzlenmiş bir hendeğe batırılarak indirildikten sonra dizilerek yerleştirilmesi ve daha sonra üstlerinin örtülmesi şeklinde inşa edilmektedir. Bu nedenle, deniz kenarında genellikle uzunluğu. 100 m'yi geçen tüplerin inşa edileceği deniz; seviyesinin altında geniş bir yapım alanına gereksinim vardır. Tüplerin deniz tabanına yerleştirilmesinden önce., tüp tünel yüksekliğinin 1.3-1.7 katı derinlikte ve oldukça geniş bir hendeğin kazılması ve tabanının düzlenmesi gerekmektedir. Tüpler inşa edildikten sonra yüzdürülerek tünel inşa alanına getirilmekte ve vinçlerden ve harita

Figure 10: Main features of the submerged tunnel

mühendisliği ilkelerinden yararlanılarak ve dalgıç kullanılarak deniz tabanına batırılıp indirilmekte ve dizilerek birbirlerine eklenmektedir. Tüplerin yüzdürülmesi ve batırılması işleminin en ekonomik şekilde gerçekleştirilebilmesi için, ortalama, yoğunluğu deniz soyunun yoğunluğuna yakın, olacak şekilde hazırlanan su ve çakıl karışımı bir malzeme tüplerin, belirli, kısımlarına, konmaktadır. Yüzdürme sırasında, yoğunluk sudan, az ve batırma, sırasında sudan yüksek, olacak, şekilde:» tüplerin içine su çekilmekte veya eklenmektedir. Tüplerin, karayla birleştirilmesine aynı zamanda inşaat sonrasında havalandırma amacı ile havalandırma, kuyuları açılmaktadır. Hendek kazısından çıkan, malzemenin karada depolanması gerekmekte ve kazı sırasında sulu kazı malzemesinin çevreyi kirletmesini önlemek mümkün olamamaktadır., Ayrıca hem kazı, hem. de tüplerin deniz; tabanına indilip birbirlerine eklenmesi için. deniz •yüzeyinde çalışan ağır iş makinelerine sahip platformların kullanılması gerekmektedir. Bu işlemlerin tümü, bölgedeki deniz trafiğini olumsuz yönde etkileyebilmekte: ve zaman zaman, deniz, kazalarına da neden olabilmektedir. Örneğin, Japonya'da Tokyo Körfezindeki Aqua-line otoyolunun tünel kısmı önce: batırma tipi tünel olarak tasarlanmasına rağmen,, yukarıda değinilen nedenlerden, dolayı, bu yöntemden vazgeçilerek kalkan tünelcilik yöntemiyle inşa edilmiştir.. Diğer yandan, tüplerin eklem yerlerinde su. sızdırmazlığını sağlamak amacıyla kauçuk, contalar kullanılmaktadır.. Basınç altında bu contaların mekanik davranışı iyi olmakla birlikte, çekilme gerilimleri, altında kopabilmektedir. Bunun yanısıra, bu eklem yerleri, tüp tünel yapısının içinde en zayıf noktaları oluşturmakta ve sistemin katılığı, bu. eklem yerlerinde çok. büyük değişimlere: yol açmaktadır.. Dolayısıyla, deprem gibi dinamik •yüklemelere neden olan olaylar sırasında, eklem yerlerinin, büyük ölçüde etkilenmesi ve tüplerin hasar görme olasılığı oldukça artmaktadır..

özellikle eklem, yerlerinde meydana gelebilecek kopmalar¹ sonucu, deniz; suyu. üste konan oldukça geçirimli malzemedan dolayı, çok. kısa. zamanda tüplere girerek,, tünelin su altında kalabilme olasılığını arttırmaktadır.

Kalkan tünelcilik yöntemi

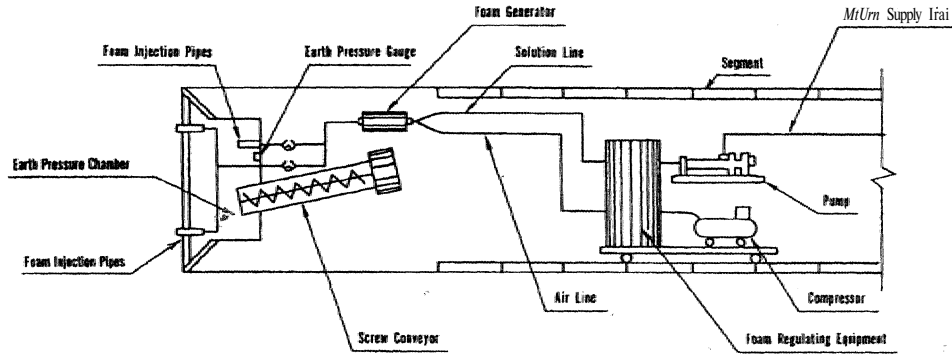
Kalkan tünelcilik yöntemi, 18. yüzyılın sonlarında dünyada, ilk kez Londra'da. Thames Nehri'nin altında inşa edilen tünellerde kullanılmıştır.. Yöntem,,

özellikle: zayıf ve bol su. içeren kumlu zeminlerde: yaygın olarak kullanılmaktadır.. Şekil 11.¹ den görüleceği, üzere, günümüzde: bu. •tünelcilik yönteminde kazı ve destekleme işlemi birlikte: yapılmaktadır. Kazı işlemi, tünel kazı makinesi kullanılarak,, zeminin desteklenmesi ise betonarme kaplama parçaları birbirlerine eklenerek ve silindirik bir-şekil alacak şekilde yapılmaktadır.. Bu tünelcilik yönteminde en. büyük sorun, tünelin duraylılığı açısından, risk taşıyan kazı aynasının duraylılığının sağlanmasıyla ilgilidir. Bu amaçla kazı aynasında, zemine karşı basınçlı çamur (earth pressure balanced method) uygulanmaktadır. Bu işlem, yöntemi ilk kez; öneren İngilizler tarafından pek başarılı şekilde uygulanmamıştır. Daha sonra Japonlar 1980'li yıllarda bu işlemi başarmışlar ve dolayısıyla kalkan •tünelcilik yöntemi diğer tünelcilik yöntemlerine göre oldukça avantajlı bir yöntem konumuna gelmiştir., Bunun yanısıra, yöntemin ana ilkelerinin kaya, tünellerinde kullanılan tünel açma makineleri (Tunnel Boring Machine, **TBM**) ile aynı olması nedeniyle, aynı makinenin toprak ve kaya zemin ortamlarında kullanabilmesi, de mümkün, olabilmektedir.

.Zemin Sıvılaşması ve Denizaltı. Tünelime Etkisi

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, tarihi deprem kayıtları gözönüne alındığında, yakın bir gelecekte: Marmara. Denizi içinde bir deprem kaçınılmazdır. Dolayısıyla tüp geçitinin tasarımında, deprem sırasındaki sarsıntıya bağlı olarak oluşacak yükler ile deniz tabanını oluşturan zeminin sıvılaşma riskinin gözönüne alınması gerekmektedir. Ortalama yoğunluğu az olan tüp geçit, sıvılaşmaya. bağlı olarak zeminin, direncini yitirmesi sonucu, oluşan kaldırma kuvvetinden dolayı, deniz •yüzeyine doğru itilecektir.. Bu durum, tüp geçitinin eklem yerlerinin kopmasına. neden olabilir.,

Sıvılaşma. olgusu, 1964 yılındaki Niigata depreminden (Japonya) sonra, önem kazanmış ve bu davranışa bağlı yapısal, hasarlar incelenmeye başlanmıştır.. Sıvılaşma;, sırasında zeminin makaslama dayanımını yitirmesi ve sıvı. gibi davranmaya başlaması nedeniyle ağır olan yapılar batmakta, hafif yapılar ise: yükselmektedir. Ayrıca, zeminin eğimli olması, halinde: zeminin yanal yönde yayılması ve akmasıyla oluşan büyük yerdeğiştirmelerden dolayı gömülü yapılar burkılmaya, ayrılmaya veya.



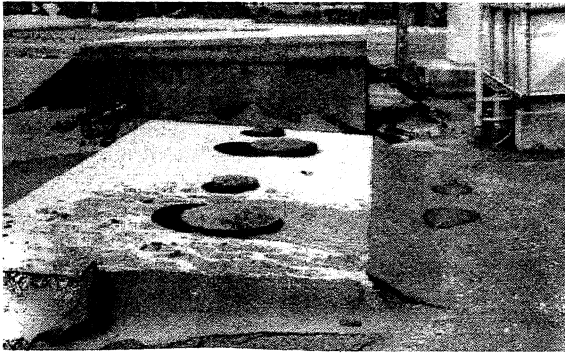
Şekil 11: Kalkan tünelin ana unsurları

Şekil 11: Main features of the shield tunnel

• biikülmeye maraz kalabilmektedir, Şekil 12 ve Şekil 13, Nihonkai Chubu Depreminde tankların ve.. Kushiro-oki Depreminde (Japonya) Kushiro şehrinde kanalizasyon kuyusunun yükselmesini göstermektedir (Kamada, 2000). Bu bölümde, sıvılaştırmanın tüp tünel üzerindeki etkisini incelemek üzere sarsma masası deney düzeneği kullanılarak yazar tarafından yapılan model deneylerin sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır.

Model Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Sarsma Masası

Model deneylerde zemin malzemesi olarak, Japon standartlarına göre 7 no., lu kum kullanılmıştır. Bu. kumun yüzde 96'sı kuvars ve geri kalan kısmı mika ve feldispattan oluşmaktadır.. Kumun fiziksel



Şekil 12: Nihonkai Chubu depreminde (Japonya) Akita kentinde sıvılaştırmaya bağlı olarak benzin tanklarının yükselmesi

Figure 12: Liquefaction-induced uplift of the oil tanks in Akita city during' Nihonkai Chubu earthquake (Japan)

özellikleri ve tane boyutları ile ilgili veriler Çizelge 1'de verilmiş ve tane-boyu dağılımı Şekil 14'de gösterilmiştir. Bu kum.ua doğal kuru duraylılık eğim açısı (angle of repose) yaklaşık" 30o olup, malzeme gevşek kum olarak sınıflandırılabilir.. Zeminin sıvılaştırma öncesi makaslama elastik hızı yaklaşık 80m/s"dir,

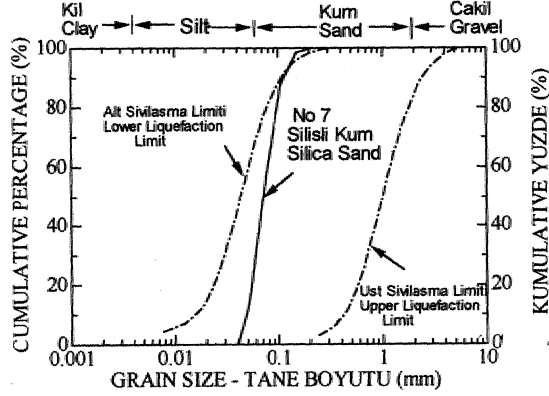
Zemin.; uzunluğu 340 mm, yüksekliği 2,50 mm ve genişliği 200 mm olan. saydam mikadan, yapılmış, bir hazneye yerçekimi altında yerleştirilmiş ve yüzeyi yaklaşık 1.7o olacak şekilde eğimlendirilmiştir. Tüp geçit ve kanalizasyon yapısını modellemek için ise, içi boş., çapı 45 mm ve boyu 80 mm. olan mikadan yapılmış ağız kapalı tüpler kullanılmıştır (Şekil 15).

Sarsma masası; Tokai Üniversitesi, Deniz İnşaat Bölümü'nün Yapı Mekaniği Laboratuvarında mev-



Şekil 13: Kushiro-oki depreminde (Japonya) Kushiro kentinde gözlenen kanalizasyon kuyusunun yükselmesi

Figure 13: Uplift of a manhole observed in Kushiro city during Kushiro-oki earthquake (Japan)



Şekil 14: Model deneylerde kullanılan malzemin tane boyu dağılımı

Figure 14: Grain size distribution of the material employed in the model tests.

cut olup, bu düzenekle ağırlığı 100 kg' a kadar modellerle sarsma deneylerinin yapılması mümkündür., Sistemde uygulanabilir en yüksek ivme değeri 1000 gal olup, deney sırasında sabit ivme altında frekans değişimi veya sabit frekans altında ivme değeri değiştirilerek deney yapılması, mümkündür. Sarsma masasında uygulanabilir en büyük yerdeğiştirme miktarı ise, 100 mm'dir.

Model deneyler

Model deneyler sırasında tüp geçit için aşağıda belirtilen iki farklı durum gözününe alınmıştır (Şekil 16):

- Tüp geçitin üzerindeki örtü tabakasının kalınlığı ($h/D=0,25,0,67$)
- Tüp geçit örtü malzemesinin kaya, doğu.su. olması durumu ($h/D=0,67$)



Şekil 15: Yükselme model deneyinden bir görünüm
Figure 15: A view from the uplift model test

Çizelge: 1: Model deneylerde kullanılan kumun fiziksel özellikleri

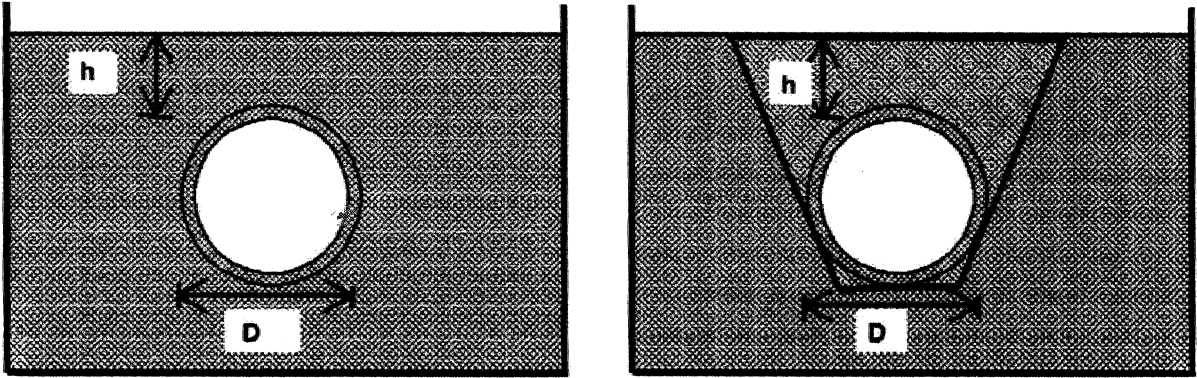
Table 1: Physical properties of the sand employed in the model test

Özgül Ağırlık	2.65
En az boşluk oranı	0,64
En. yüksek boşluk oranı	1. 11.
Ortalama tane boyutu D50 (mm.)	0,03
Eşboyutluluk katsayısı	1.7

Örtü tabakasının aynı tür zeminden oluşması faalinde, örtü tabakasının kalınlığından bağımsız olarak, tüp geçitte yükselme davranışı gözlenmiştir (Şekil 17 ve 18). Tüp geçitin üzerindeki ve yanlarındaki zeminin sıvılaşarak,, yükselen, tüpün oluşturduğu, boşluğa doğru aktığı gözlenmiştir., Örtü tabakasının kalınlığının az, olması durumunda, yükselme kısa. zamanda gerçekleşmesine karşın,, kalınlığın artması ile daha. uzun bir sürede meydana gelmektedir (Şekil 19 ve 20).

Tüpler deniz tabanına, yerleştirildikten sonra,, kaya malzemesinden, oluşan bloklar kullanılarak bunların üstüne ve yanlarına dolgu yapılmaktadır., Böyle bir inşaat, işleminin, zeminin sıvılaşma bağı olarak oluşabilecek, yükselme olgusunun derecesini, azaltması beklenmektedir., Bu varsayımın geçerliliğini incelemek üzere, dolgu malzemesi olarak silisli kumtaşıdan oluşan, çakıl kullanılarak model deney yapılmıştır. Deney sonrası modelin durumu ile ölçülen ivme ve yerdeğiştirme davranışı Şekil 21-22'de verilmiştir.

Dolgunun kullanılması ile tüp geçitin yükselme miktarı azalmakla birlikte, yükselme olgusu, engellenememiş ve dolgunun kumlu zeminin davranışına benzer bir davranış gösterdiği gözlenmiştir., Böyle bir olgunun,, gerçekte 'Tüp geçiti oluşturan tüplerin esnek olan eklem yerlerinde çok büyük çekilme kuvvetlerine ~nedşn olacağı açıklıkla söylenebilir. Dolayısıyla eklem, yerlerinde meydana gelebilecek bir kopma, sonucu, bu. yapılan tamamen su basarak büyük, can kaybına ve hasarlara, neden olacağını, söylemek yanlış olmaz., Zemine etkileyen ivmeyi ölçmek üzere zemin yüzeyine konan alüminyum bloğa ait ivme kayıtlarının,, kayda değer diğer önem-



a) Kaya dolgusu yapılmamış, tüp tünel

a) Tube tunnel without filling

b) Üstü kaya dolgulu tüp tünel

b) Tube with filling

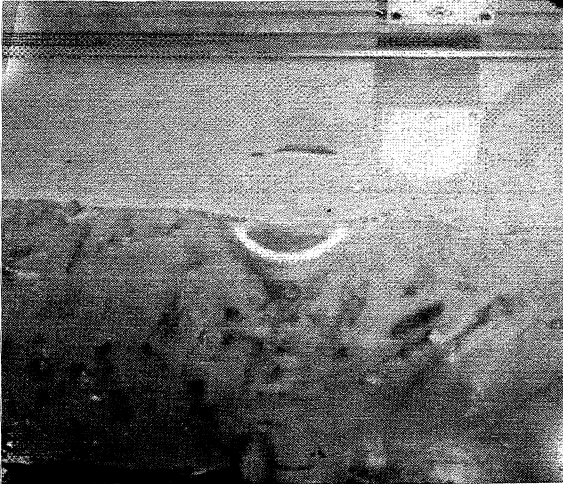
Şekil 16: Model deneylerinde gözününe alman durumlar

Figure 16: The conditions considered in the model tests

II bir husus olduğu söylenebilir. Zeminin, ölçülen ivme değeri sarsma masasında alınan kayıtlarla, hemen hemen aynıdır. Bu gözlem, sıvılaştan zeminin yatay kuvveti iletme özelliğini yitireceği varsayımının doğru olmadığı anlamına gelmektedir.

Batırma, Tipi Tiip Tinel ile Kalkan, Tünelinin Karşılaştırılması

Boğaz geçişi için şu anda tek seçenek olarak düşünülen batırma tip tül tünel ile diğer bir seçenek olabilecek kalkan tül tünelin avantaj ve dezavantajları;



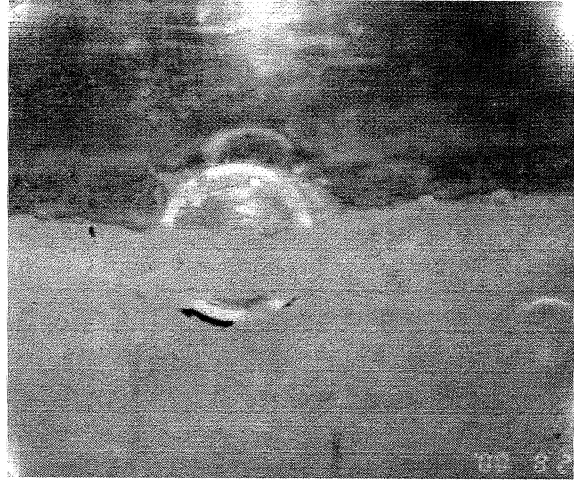
Şekil 17: Model deney sonrası tül geçitin durumu ($h/B=0.25$)

Figure 17: The condition of tube passage after the model test ($k/D=0.25$)

kazı, inşaat, deprem, ve çevre koşulları esas alınarak aşağıda tartışılmıştır.

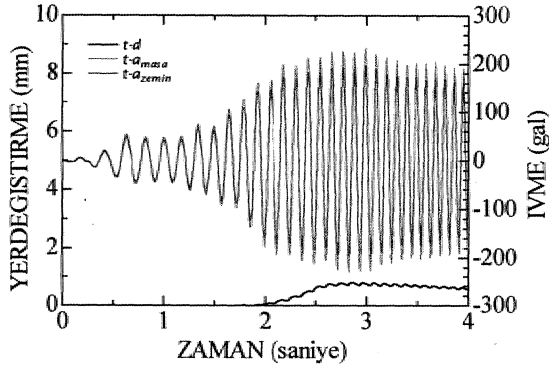
Kazı sorumu

Batırma tip tül tünelin inşası için deniz tabanının, kazılarak düzlenmesi, dolayısıyla deniz tabanından 1.7Dlik bir seviyeye kadar kazı işleminin yapılması gerekmektedir. Böyle bir kazının deniz yüzeyinden yapılması zorunluluğu vardır. Bu durumda deniz trafiği oldukça etkilenecek, yerel ve uluslararası deniz trafiğinde büyük aksamlar meydana gelebilecektir. Kazıdan dolayı oluşacak çamurlu suyun



Şekil 18: Model deney sonrası tül geçitin durumu ($h/D=0.67$)

Figure 18: Tube passageway after the model test ($\beta/D=0.67$)

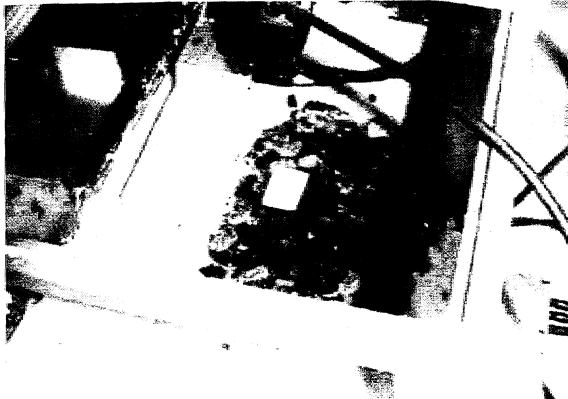


Şekil 19: Sarsma masası deneyi sırasında ölçülen "zaman-ivme" ve "zaman-yerdeğiştirme" ilişkileri ($h/D=0.25$)

Figure 19: Relationship between "time-acceleration" and "time-displacement" measured during the shaking table test ($h/D=0.25$)

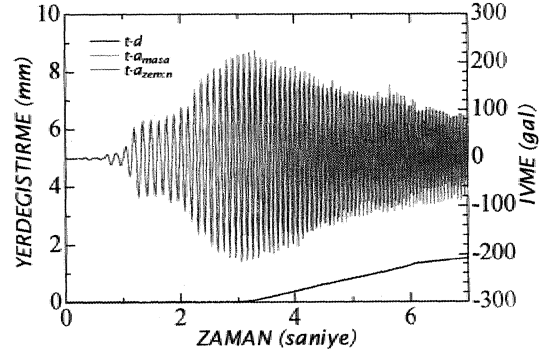
denizde çevre kirlenmesine yol açması da söz konusudur. Bunun yanısıra, bazı kısımlarda kayada kazı yapılmasının gerektiği, durumlarda patlatmaya gidilmesi hem deniz tabanındaki canlıları olumsuz yönde etkileyecek, hem de çevredeki yapılarda sarsıntılara neden olacaktır.

Kalkan tünelinin kazısı sırasında, yukarıda sözü edilen soranlarla karşılaşmayacaktır. Tek soran, zemindeki su basıncının tünel aynasının duraylılığı üzerinde yapacağı etki ile ilgilidir. Zemindeki su basıncının değeri, tünelin en derin, noktasında deniz tabanından olan örtü tabakası kalınlığının 2D olması



Şekil 21: Kaya dolgulu tüp geçit model deneyden sonraki durumu ($h/D = 0.67$)

Figure 21: The state of the tube passageway with rock filling after the model test ($h/D = 0.67$)



Şekil 20: Sarsma masası deneyi sırasında ölçülen zaman-ivme ve zaman-yerdeğiştirme ilişkileri ($h/D=0.67$)

Figure 20: Relationship between "time-acceleration" and "time-displacement" measured during the shaking table test ($h/D=0.67$)

halinde yaklaşık 6.6 kgf/cm^2 olacaktır. Tokyo Aqua-Line- denizaltı kalkan tünelinin böyle bir su basıncı altında inşa edildiği gözönüne alındığında, bu tür bir sorunun teknolojik açıdan aşılabileceği görülmektedir. Japonya'da kalkan tünencilğinde kazı makinaları, en yüksek su basıncı 10 kgf/cm^2 olarak düşünülüp tasarlandığı için, bu tür bir sorunun Boğaz geçişi için kullanılacak teknolojinin benzeri teknoloji ismi olması du.ramun.da yaşanmaması beklenmelidir. Kazıda kullanılacak tünel kazı makinesinin hem kaya, hem de toprak zemin kazısında kullanılabilmesi, teknolojik açıdan mümkün olduğu için, kazı işleminin daha ekonomik olması söz konusudur.



Şekil 22: Kaya dolgulu tüp geçit modelinin deneyden sonraki durumu ($h/D=0.67$)

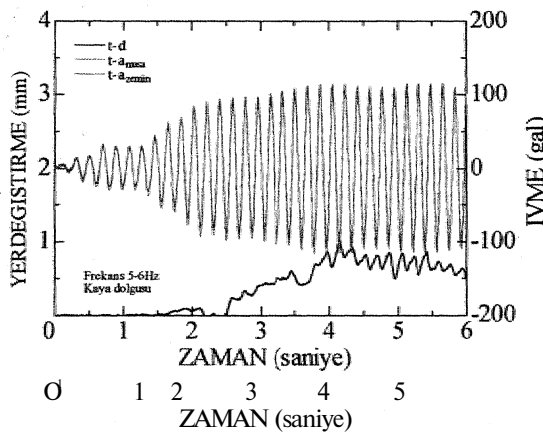
Figure 22: The state of the tube passageway with rock filling after the model test ($h/D=0.67$)

Kara Tünelleri ile Denizaltı Tünellerinin Bağlanma Sorunu

Tip tünellerin, Yeni Avusturya. Tünelcilik Yöntemi (NATM) yöntemi kullanılarak açılacak kara. tünelleri ile bağlanması., duraylılık ve inşaat güvenliliği açısından oldukça, büyük sorunlara neden olacaktır., Özellikle- bu husus, Rumeli yakasındaki Sirkeci'de çok büyük sorun haline gelebilir., Çünkü bu kısımda kazının, oldukça kalın bir normal atınlı fayın içerisinde yapılacak olması ve derinliğin artması, bağlantı inşaatını oldukça zorlaştıracaktır... Meydana gelebilecek su. patlamaları hem iş güvenliğini, etkileyecek, hem de: inşaatın maliyetini arttıracaktır. Diğer yandan, kalkan'tünel yönteminin, kullanılması halinde yukarıda sözü edilen, soranların hiçbiri yaşanmayacaktır. Tünel, karadaki tünelin, bir devamı şeklinde- olacağı için, söz konusu bağlantı yerlerinde böyle' bir soranla karşılaşılması mümkün görülmemektedir.

Denizdeki akıntı, sisteminin etkisi

Batırma tip tüp tünel inşaatında Boğazdaki deniz akıntı sistemi tüplerin deniz tabanına indirilmesi sırasında, dünyada enderi, olmayan S şeklinde halatların şekil değiştirmesine yol açabilecek ve bu şekil değiştirme simetrik, olmayacaktır. Diğer yandan, derinliğin. 60 nfy'e ulaşması nedeniyle tüpler 'dalgaç kullanılması mümkün kılmayacağı için, maliyeti bir hayli yüksek olacak ölçüm sistemi kullanılarak



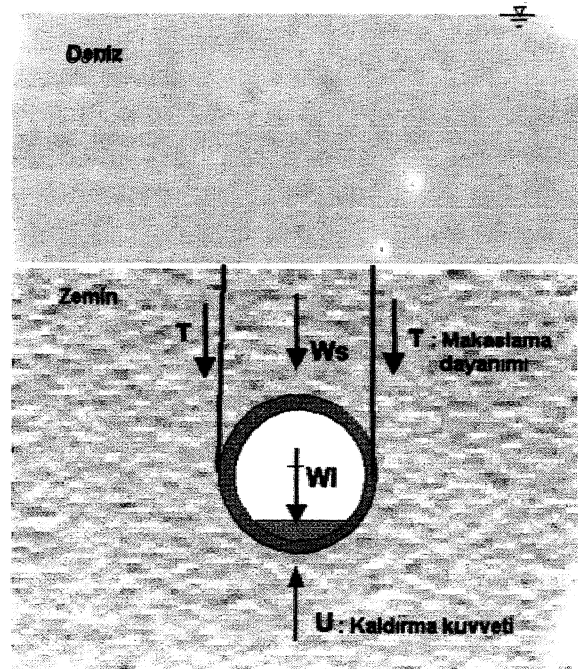
Şekil 23: Kaya dolgulu tip geçilin, sarsma masası deneyi si.ras.in.da ölçülen, **zainan-ivme" ve "zaman-yerdeğiştirme" ilişkileri (b/D=0.-67)

Figure 23: "Time-acceleration" and "time-displacement" relationships of the passageway with rock filling during the shaking table test (hfD=0.,67)

tüplerin birbirlerine eklenmesi gerekecektir., önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, deniz akıntı sistemi kazı. sırasında oluşacak çamurlu suyu çok uzak bölgelere taşıyacak, ve geniş, bir alanda, deniz; kirlenmesine yol açacaktır., Kalkan tünelin inşası halinde ise, yukarıdaki sorunların hiçbiri beklenmemektedir.

İnşaat alanı sorunu

Batırma tip tüp tünelin inşası için uzunluğu 100 m'yi bulan tüplerin inşa edileceği, deniz kenarında gerekli koşulları sağlayan geniş bir alana ihtiyaç duyulacaktır. Bu tür alanlar, bugünkü koşullar altında inşaat alanından 30 km uzaklıkta olacak ve tüplerin yüzdürülerek inşaat alanına getirilmesi gerekecektir. Buna karşın, kalkan tüneline bu sorunun yaşanmayacağı ve karadaki tüneller için planlanan güzergah aynen kullanılacağı için, ek bir alana da gereksinim duyulmayacaktır. Dolayısıyla alan ile tüplerin yüzdürülerek taşınması işleminin neden olduğu ekonomik yüklerin hiçbiri kalkan tüneline inşası halinde söz konusu olmayacaktır.

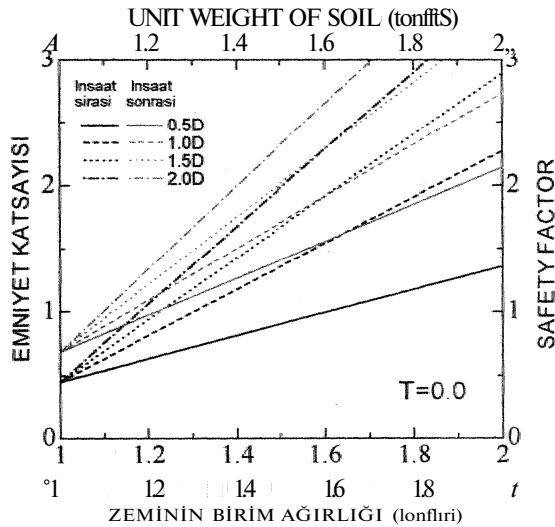


Şekil 24; Boşluk suyu basıncından kaynaklanan kaldırma kuvvetine karşı, tünelin duraylılığı için kullanılan mekanik model

Figure 24; The mechanical model used for the stability of the tunnel against buoyancy effect due to pore water pressure

Deprem ve sıvılaşma soruna

Daha önce değinildiği gibi, yakın bir gelecekte Marmara Denizi'nde bir depremin meydana gelmesi kaçınılmazdır., Dolayısıyla Boğaz tünelinin tasarımında deprem sırasındaki sarsıntıya bağlı olarak oluşacak yükler ile deniz tabanındaki, zeminin sıvılaşma riskinin gözönüne alınması gerekmektedir. Şu anda planlanan seviyede zeminin sıvılaşabilir olmasından dolayı tüp tünel, sıvılaşma sonucu zeminin direncini yitirmesiyle oluşacak kaldırma kuvvetine bağlı olarak» deniz yüzeyine doğru itilecektir. Bu durum, tünelin eklem yerlerinin kopmasına neden olabilecek ve tünelin içinde açılacağı zeminin sıvılaşmaya karşı iyileştirilmesiyle ilgili önlemlerin alınması gerekli kılacaktır. Dolayısıyla tünel maliyeti doğal olarak artacaktır. Tünelin deniz tabanından olan derinliğinin 2D'den daha fazla olması halinde, tünel sıvılaşma riski düşük olan zemin içinde açılacağı için böyle bir sorunun yaşanmayacaktır. Bu durumda bile, belki tünelin çok az bir kısmı için zemin iyileştirme önlemleri gerekebilir. Sıvılaşma sonucu zeminin makaslama direncini yitirdiği varsayımına dayanan basit bir yaklaşım (Şekil 24) için tünel derinliğinin artırılmasının



Şekli 25: Boşluk basıncına bağlı olarak, kaldırma olgusuna karşı güvenlik katsayısının zeminin birim hacim ağırlığı ile örtü tabakasının kalınlığına göre değişimi.

Figure 25: Variation of factor of safety with unit weight of the soil and the thickness of the overburden against uplift phenomena depending of pore water pressure.

tünelin sıvılaşmaya bağlı yükselme olgusuna karşı güvenlik katsayısının değişimi Şekil 25'te gösterilmiştir. Tünel derinliğinin artması, tünelin güvenlik katsayısını da arttırmaktadır. Tünelin üzerindeki örtü tabakasının kalınlığının 2D'den fazla olması halinde, zeminin sıvılaşma olasılığının az ve kohezyona sahip olması, nedeni ile gerçek güvenlik katsayısının oldukça yüksek olacağı Şekil. 25'ten de kolayca anlaşılmaktadır. Boğaz geçişi için düşünülen, eğimin yüzde 1.6 olmasının şart koşulması halinde, tünelin derinliği artması,, toplam, uzunluğunun, da artmasına neden olacaktır. Şu. andaki tünel uzunluğunun aynı olması istendiğinde, tünelin eğimi örtü. tabakası kalınlığının 1.5D ve 2.0D olması için yüzde 2.2 ile 2.6 arasında değişecektir.. Doğru Japonya Demiryollarının 1.994'teki yeni tasarımı yönetmeliğine göre saatteki hızı 110 km'yi geçen demiryollarında bile, çağdaş teknolojiye göre tünel eğiminin, yüzde 3.5 olabileceği belirtilmektedir (EJK, 1994).. Dolayısıyla tünelin üzerindeki örtü tabakasının kalınlığının artmasının önemli bir soran oluşturması söz konusu değildir.. Tünelin, inşa edileceği derinliğin artırılması» deniz, içinde meydana gelebilecek patlama ve saldırı gibi olumsuzlukların etkisini de oldukça, azaltacaktır. Batırma tip tüp tüneline bu tür' durumlara karşı örtü tabakasının kalınlığının artırılması, kazı ve sonradan örtme işleminin neden, olabileceği mali yükten, dolayı oldukça pahalı olup» kalkan, tünelineki gibi örtü tabakası derinliğinin seçimi kolay değildir.

Eklem, ve su sızması sorunu

Batırma tip tüp tüneline inşası sırasında 'tüpler birbirlerine eklenirken kauçuk contalar (eklemler) kullanılmaktadır. Bu kauçuk eklemler, Boğaz tüneline oluşabilecek su basıncına karşı deneysel 'verilere göre yeterli olabilecektir, Deprem, sırasında oluşabilecek, kaldırma kuvvetinden dolayı basmaya karşı yeterli dayanıklılığa sahip olan bu eklemler, istenmeyen çekme kuvvetlerine maruz kalabilirler. Bunun, yanısıra^uzun dönemde bu tür malzemelerin davranışları hakkında bazı bilinmeyen hususlar söz konusudur. Benzeri soranlar, kalkan tüneline inşaatında da söz konusu olmakla birlikte, bu tür tünellerde eklemlerde yaşanabilecek sorunlar daha kolay çözümlenebilmektedir.

Çevre ve deniz trafiği sorunları

Batırma tip tütünün inşası için deniz tabanında kazı yapılması gerekli olacaktır. Bu kazıda çıkarılacak malzemenin karada yığılması sonucunda oluşacak, yığın şevlerinin duraylılığı ile atıklar için uygun alanların bulunması senin oluşturacaktır. Ayrıca kazı sırasında oluşacak çamurlu su, Boğandaki akıntıdan dolayı deniz kirlenmesine neden olacak ve çevre sorunları meydana gelecektir. Ayrıca yerel, ve uluslararası deniz trafiğinde zaman zaman aksamaların meydana gelmesi de kaçınılmazdır. Kalkan tüneline kazı sırasında çıkan malzemenin oluşturacağı atık sorunu, tütünün kine benzer olmakla birlikte, diğer sorunların hiçbirini kalkan tüneline yaşanmayacaktır.

inşaat: süresi

Batırma tip tütünün inşası bir yıl içerisinde, en az üç ay süreyle, balık göçüne izin verilmesi amacıyla, kesintiye uğrayacaktır. Bunun yanı sıra, iklim koşulları (sis, yağmur, fırtına), tüplerin inşaat alanına getirilmesi ve deniz tabanına indirilmesi işlemlerini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu tür sorunların hiçbirisi kalkan, tütünün inşasında yaşanmayacak ve dolayısıyla inşaat süresi daha kısa olacaktır.

Maliyet

Yukarıda sözü edilen birçok husus gözönüne alındığında, tütünün inşaatının maliyeti kalkan tüneline maliyetinden daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir. Öncül tahminlere göre kalkan tüneline inşaatının maliyeti tütünün maliyetinin %60-70 dolaylarında olması beklenmektedir.

Güvenlik

Tütünün inşası sırasında deniz trafiğinde yapılacak düzenlemeler ve iklim koşulları deniz kazalarına neden olabilir. Bunun yanı sıra, deniz üzerinde yapılacak inşaat işlemlerinden dolayı iş kazası olasılığı da yüksek olacaktır. Deniz kazaları sorunu, kalkan tüneline inşaatında söz konusu olmayıp, iş kazaları olasılığı da oldukça düşük olacaktır.

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada İstanbul'un trafik sorununu çözmek üzere inşası planlanan ve tek seçenek olarak gündemde olan Boğaz tütünün geçit projesi değerlendirilmiştir.

ve projenin uygunluğu tartışılmıştır. Ayrıca diğer bir seçenek olarak kalkan tüneline uygunluğu, da karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir. Boğaz geçişi için inşa edilecek tünellerin yakın gelecekte Marmara Denizi'nde meydana gelebilecek depremlerin neden olabileceği sıvılaşma olgusunun tüneline duraylılığı üzerindeki etkisi üzerinde özellikle durulmuştur. Deneysel sonuçlar, sıvılaşabilir zemindeki tüneline zemin suyunun oluşturacağı kaldırma etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir. Bu nedenle tünellerin daha derinde ve sıvılaşma potansiyeli daha düşük olan zeminlerde inşa edilmesinin gerekli olduğu vurgulanmış ve bu tür bir uygulamanın mümkün olup olmadığı tartışılmıştır. Bu inceleme ve tartışmalardan Boğazdaki denizaltı geçişi için aşağıda verilen sonuçlara varılmıştır.

a) Tütünün geçit inşası; kazı, inşaat süresi, deniz kazaları, deniz trafiği aksaması, çevre kirlenmesi, iş güvenliği ve maliyet açısından kalkan tüneline inşaatı ile karşılaştırıldığında, birçok açıdan olumsuz yönlerinin fazla olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

b) Tütünün geçitin planlandığı derinlikteki zemin deprem sırasında kolayca sıvılaşabilir nitelikte bir zemin olup, zemin iyileştirmesini gerekli kılmaktadır. Çok uzun süre hizmet verecek bu tür yapıların zeminin doğal olarak sıvılaşmaya karşı daha dirençli olan derinliklerdeki zeminlerde inşa edilmesinin daha uygun olacağı düşünülürse, mevcut jeoteknik incelemelerin ışığı altında tütünün geçitin deniz tabanındaki örtü tabakasının kalınlığının tüneline çapının iki katı olması gerekir. Böyle bir koşulun tütünün inşasında pek mümkün olmaması ve kalkan tüneline bu koşulu kolaylıkla sağlaması nedeni ile kalkan tüneline Boğaz geçişi için çok daha uygun olduğu, şeklinde bir yaklaşımın daha gerçekçi, olacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, zeminin yumuşak olmasının tüneline eklem yerlerinde oluşturacağı tekrarlı yüklerin büyüklüğünü arttıracığı düşünülürse, tüneline daha sağlam zemine inşa edilmesinin bu yükü oldukça azaltması beklenmektedir.

c) Örtü tabakasının artmasına rağmen, tüneline uzunluğu değiştirilmemesi istenmesi halinde, tüneline eğimi artacaktır, Örtü tabakasının tüneline çapının iki katı olması halinde, tüneline eğimi yüzde 2,6 olup, bu eğimin günümüzde saatteki hızı 11,0 kn'den yüksek olan trenler açısından sorun yaratması beklenmemektedir.

Teşekkür

Yazar bu çalışmanın incelenmesi sırasında Hacettepe Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. Reşat: Ulusay ile Boğaziçi Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. Semir S. Tezcan'ın yapmış oldukları yapıcı eleştirisi, görüş ve önerileri için teşekkür etmeyi bir borç bilir,

Değerlenen Belgeler

- Aydan, O., 1997, Seismic characteristics of Turkish earthquakes.. Turkish. Earthquake: Foundation, TDV/m97-G07, 41 pp.
- Aydan»** Ö., 2000.. GPS ölçümlerine dayanılarak Türkiye'nin, yıllık birini deformasyon ve gerilim hızı dağılımı üzerine bir çalışma. *Yerbilimleri* 22,21-31.
- Aydan, Ö., and Kumsar, EL, 1997. Yeni bir sıvılaştırma tahmin yöntemi ve uygulamaları. İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu, İzmir, Bildiri Özleri Kitabı.
- Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yarar, R., 1996., The seismic characteristics of Turkish Earthquakes. 11th. World Conference on Earthquake Engineering., Acapulco, Mexico, 1-8.
- Aydan, ö., Ulusay, R., Kumsar, HL, Sönmez, H., and Tuncay, E., 1998,. A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation, TDV/DR 006-30, 131pp.
- Aydan, G., Ulusay, R., Hasgür, Z., and Taşkın, B., 1999., A site investigation, of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999. Turkish Earthquake Foundation, 180pp.
- Barka, A.A., 1997.. Neotectonics of the Marmara region., *Active: Tectonics of the Northwestern Anatolia- The Marmara Poly-Project*, 55-87.
- EJR** (East Japan Railway), 1994.. Railway Construction, Design and Planning Manual.
- Gençoğlu, S., İnan, İ. ve Güler, H., 1991. Türkiye'nin deprem tehlikesi., *Türkiye Jeofizik Mühendisleri. Odası» Ankara*.
- Kamada, M., 2000. Kişisel görüşme., Waseda Üniversitesi, İnşaat. Mühendisliği Bölümü,, Tokyo, Japonya,
- MTA» 1973. Geologic and. neotectonic map of Marmara Region.
- Öztürk**, H., 1999., Beykoz (İstanbul-Türkiye) civarının jeolojisi ve İstanbul Boğazi'nin gelişimine bir yaklaşım... İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi,, Sayı 10.
- Tezcan, S.S.,1996. Probability analysis of earthquake magnitudes. Turkish Earthquake Foundation, TDV/TR 96-001.
- Tezcan., S.S.,1999. Comparative study on the 3rd Bosphorus crossing : Submerged 'tunnel or suspension bridge. Intl.. Workshop on Strait Crossing, Oslo, 57-73..
- Tezcan, S.S. ve Bal., I.E., 200i. Tüp geçitin. yeri ve sakıncaları.. İnşaat Dünyası, No:213, 10.2-107 veNo:214, 100-106.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, EL, and Sönmez, H., 2000. Engineering geological characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan earthquake with particular emphasis on liquefaction phenomena and the role of soil behaviour. *Bull.Engineering Geology and the Environment*, 59(2), 99-118.,

