

SİSMİK DENİZ TABANI HAREKETLERİİNİN KIYILARDA OLUŞTURDUĞU DALGALAR

E. N. OTAY¹ ve C.M. KAZEZYILMAZ-ALHAN²

¹Boğaziçi Univ., İnşaat Müh. Böl., 80815 Bebek, İstanbul. otay@boun.edu.tr

²Duke Univ., Civil & Env. Eng. Dept., Durham, NC 27708-0287, USA. cmk5@duke.edu

ÖZET

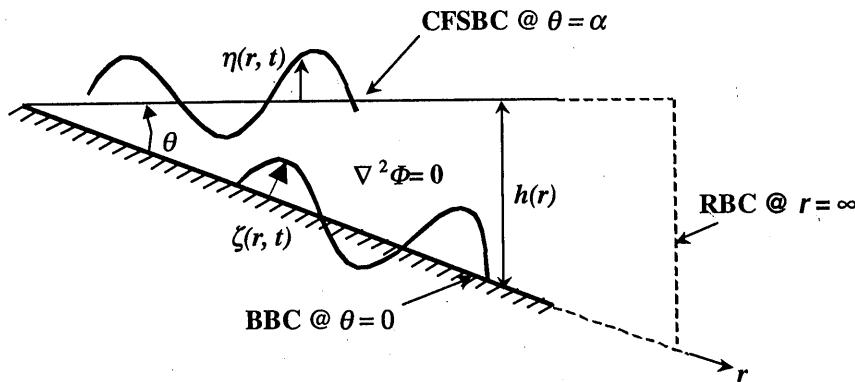
Deprem sırasında kaydedilen sismik yer hareketleri, fiziksel mekanizması sualtındaki bir dalga pedalının işleyişine benzeyen zorlamalar sonucunda yüzey dalgaları oluşturur. Bilinen tsunami mekanizmasından farklı olan bu yeni dalga problemi, sistemi kontrol eden denklemler ve sınır şartları eşliğinde analitik olarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm olası sismik dalga tanımlarına uyarlanarak, farklı eğimli kıyılarda deprem sonucu oluşabilecek su dalgaları incelenmiştir. Daha sonra, elde edilen bu dalga denklemi için gerçek depremlerde ölçülen yer ivmelerini kullanabilecek şekilde Fourier serisi çözümü geliştirilmiştir. Bulunan spekral çözüm 1999 Kocaeli depremi sırasında İzmit Körfezi'ne uyarlanarak, Yarımca'da kaydedilen yer ivmesi sonucu Değirmendere kıyısında oluşan su dalgası hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 tarihinde Marmara Bölgesi'nde meydana gelen $M_w=7.4$ şiddetindeki deprem sırasında İzmit Körfezinde bir deprem dalgasının meydana gelip gelmediği kamuoyunda ve bilim dünyasında uzun süre tartışıldı. Altınok ve diğerleri (1999) ve Yalçınır ve diğerlerinin (1999) yaptığı kıyı taramaları sırasında bulunan ipuçlarına ve başvurdukları görgü tanıklarının ifadelerine deprem sırasında İzmit Körfezi'nin Doğu kesimlerinde tsunami adı verilen büyük dalgaların olduğu saptanmıştır. Açık denizlerde ve derin okyanus tabanlarında meydana gelen sualtı depremleri sonucunda oluşan tsunamiler ve bunların oluşum mekanizmaları Wiegel (1970), Tuck ve Hwang (1972), ve Hammack (1973) tarafından analitik olarak incelendi. Ancak İzmit Körfezi'nde olduğu gibi deniz dibinde kıyıya yakın geçen fay hareketleri sonucu oluşan deprem dalgalarının fiziksel oluşumu üzerine yapılan çalışmalar sayısal model çalışmalarıyla (Hunt, 1988; Raichlen ve diğerleri, 1996, Watts, 2000) sınırlı kalmıştır. Deprem sırasında sabit eğimli kıyı profili boyunca oluşan yüzey dalgalarını ve oluşum mekanizmalarını analitik olarak araştırmak üzere Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki bir tez çalışması kapsamında (Kazezyılmaz, 2000) yürütülen araştırmaların bir özeti aşağıda verilmiştir.

2. DALGA PROBLEMİ

Deprem sırasında deniz dibindeki sismik zemin hareketi etkisiyle su yüzeyinde oluşan dalgaların analitik çözümü yapılmıştır. Çözümde deniz dibi kıyı profili sabit bir eğimle tanımlanmıştır (Şekil 1). Deniz tabanının sismik salınım sonucu su kütlesini harekete geçirmesi potansiyel akım denklemleri ile ifade edilerek iki boyutlu polar koordinat sisteminde analitik olarak çözülmüştür. Burada ana denklem olarak Airy-Laplace dalga teorisi, hafif eğim dalga teorisi ve dalga pedali teorisinde olduğu gibi Laplace denklemi kullanılmış, ancak deniz dibindeki taban hareketini tanımlayan farklı sınır şartları eşliğinde çözülmüştür.



Şekil 1. Problem Şeması ve Sınır Şartları

Laplace denklemi iki boyutlu polar koordinat sisteminde aşağıdaki gibi verilir:

$$\nabla^2 \Phi = 0, \quad 0 \leq r < \infty \text{ ve } 0 \leq \theta \leq \alpha \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial \Phi}{\partial r^2} = 0 \quad (2)$$

Burada, Φ hız potansiyelini, α ise taban açısını, r kıyıya olan radyal uzaklığı, θ açısal koordinatı, α kıyı profilinin eğim açısını, ve t zamanı temsil eder.

Ana denklemde olduğu gibi sınır şartları da polar koordinatlarla yazılmıştır. Serbest yüzeyde dinamik serbest yüzey sınır şartı (DSYSS) ve kinematik serbest yüzey sınır şartı (KSYSS) kabul edilir.

$$\text{DSYSS:} \quad \eta(r, t) = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t}, \quad \theta = \alpha \quad (3)$$

$$\text{KSYSS:} \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta}, \quad \theta = \alpha \quad (4)$$

Hız potansiyelinin zamanda harmonik olduğunu varsayıarak ve DSYSS'ni zamana göre türevini alıp KSYSS'na eşitlendiğinde bileşik serbest yüzey sınır şartı (BSYSS) elde edilir.

BSYSS:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} - \frac{\sigma^2}{g} \Phi = 0, \quad \theta = \alpha \quad (5)$$

Burada, η yüzey salınımını, ζ deniz dibi zemin hareketini, σ zemin hareketinin açısal hızını ve g yerçekimi ivmesini temsil eder.

Taban sınır şartı (TSS) olarak tabandaki suyun zeminin sismik hareketiyle aynı hızda sahip olduğu kabul edilir.

TSS:

$$-\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} = \frac{\partial \zeta(r, t)}{\partial t}, \quad \theta = 0 \quad (6)$$

Denklemler analitik olarak çözüldüğünde hız potansiyeli $\phi(r, \theta, t)$ ve yüzeyde oluşan su dalgası $\eta(r, t)$ için aşağıdaki denklemler bulunur:

$$\Phi(r, \theta, t) = -\frac{r}{k} \sin k\theta \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (7)$$

$$\eta(r, t) = \frac{\cos k\alpha}{\sigma} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (8)$$

BSYSS kullanılarak aşağıdaki yayılma denklemi elde edilir.

$$\frac{\sigma^2 r \alpha}{g} = k \alpha \cot k \alpha \quad (9)$$

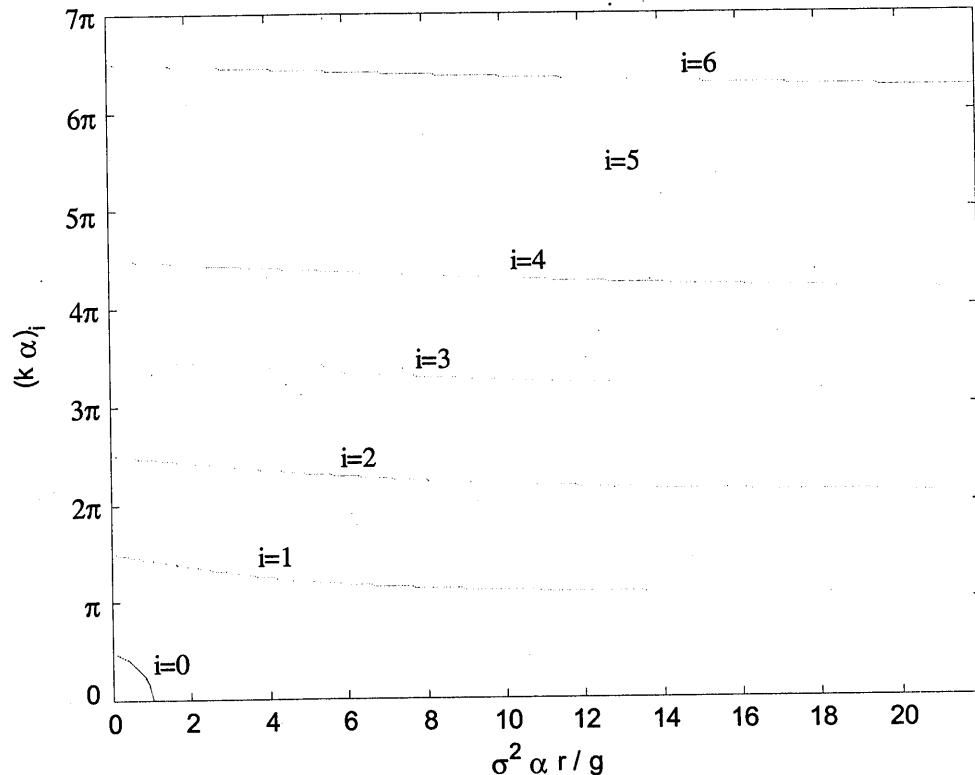
Burada k dalga sayısını temsil eder.

Bu sonuçlardan yüzey dalgası $\eta(r, t)$ 'nın kıyıdan olan uzaklık r , sismik frekans σ , taban eğimi α , yerçekimi ivmesi g , ve zemin hızı $\zeta(r, t)$ 'nın bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Su derinliği h 'nın kıyıdan uzaklık ile radyal açının çarpımı olduğundan hareketle dalga genliğini kontrol eden parametrelerin derinlik, sismik frekans ve yerçekimi ivmesi olduğu bulunur.

3. TABAN VE YÜZEY HAREKETİ ARASINDAKİ GENLİK İLİŞKİSİ

Su yüzeyi salınımını veren (8) denklemdeki $\cos(k\alpha)$ terimi zemindeki sismik dalga ile yüzeydeki su dalgası arasında bir genlik transfer faktörü niteliğindedir. Bu faktörün hesaplanabilmesi için (9) yayılma denkleminin çözümü gereklidir. Bu ise ancak iteratif metodlarla ve sayısal olarak mümkündür. Newton-Rapson metoduna dayalı bir algoritma

ile yapılan çözüm sonucunda değişik $\sigma^2 h/g$ sayıları için Şekil 2'de görülen $k\alpha$ değerleri bulunmaktadır.



Şekil 2. Yayılma denkleminin sayısal çözümü

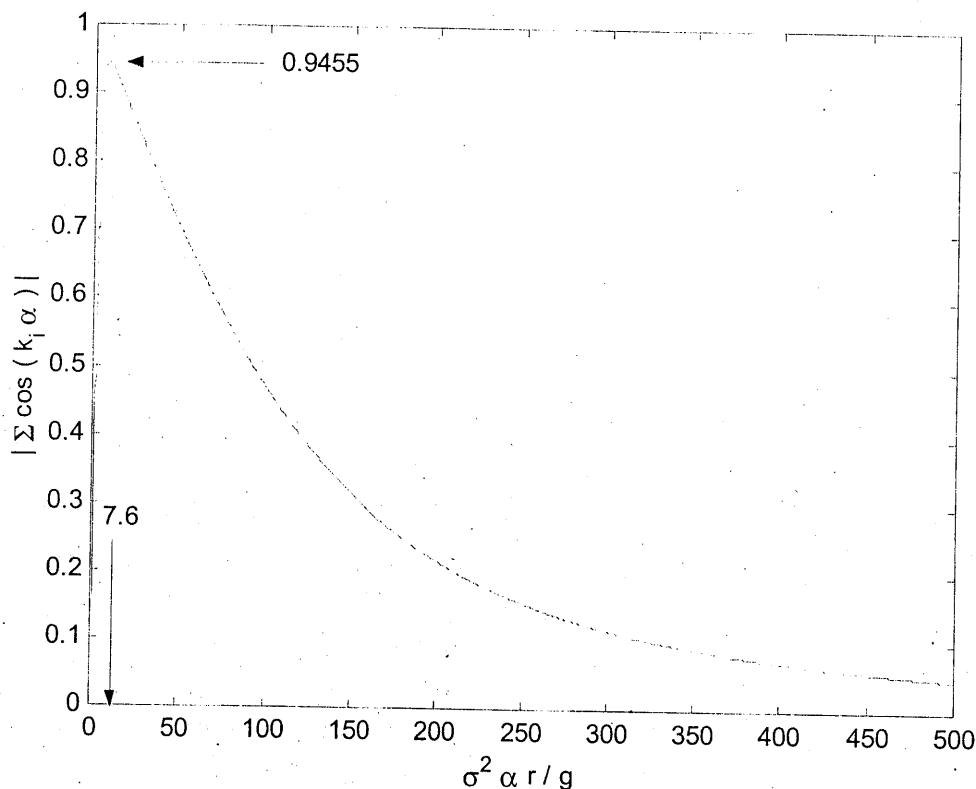
Buradaki k değeri boyutsuz olup Airy-Laplace dalga teorisindeki dalga sayısı gibi dalga boyuyla fiziksel bir bağlantısı yoktur. Şekil 2'de görüldüğü gibi yayılma denkleminin birden çok çözümü vardır. Burada sadece ilk yedi tanesi gösterilmiştir. Yatay akstaki $\sigma^2 h/g$ sayısının aldığı değere göre $k\alpha$ sayısı için farklı limitler geçerlidir (10).

$$(k\alpha)_i = \begin{cases} i\pi + \frac{\pi}{2}, & \frac{\sigma^2 r \alpha}{g} = 0 \\ i\pi + \varepsilon_i, & 0 < \frac{\sigma^2 r \alpha}{g} < \infty \\ i\pi, & \frac{\sigma^2 r \alpha}{g} \rightarrow \infty \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, \infty \quad (10)$$

Laplace denkleminin doğrusal olması sayesinde bütün $\cos(k\alpha)_i$ değerleri geçerli olduğu gibi bunların toplamı da problemin geçerli bir çözümüdür. Bu nedenle su yüzeyi oluşacak tüm salınımların superpozisyonu olarak verilir.

$$\eta(r, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\cos(k\alpha)_i}{\sigma} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (11)$$

Buradaki $\Sigma \cos(k_i \alpha)$ terimi genlik transfer faktöründür, zira yüzey ve zemin dalgalarının genlik oranı bu terimle orantılıdır. Genlik transfer faktörünün $\sigma^2 h/g$ sayısıyla değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Burada genlik transfer faktörünün sıfırdan başlayıp, kritik bir $\sigma^2 h/g$ değerine kadar yükseldiği, ve sonra tekrar sıfıra kadar düşüğü görülmektedir. Şekildeki en yüksek genlik transfer faktörü 0.94 olmakla birlikte bu değerin iterasyon sayısı arttıkça üst sınır olarak bire yaklaşığı görülür. Buradan çıkan önemli sonuç, deprem sonrası oluşan su dalgasının en fazla zemindeki sismik dalga büyüklüğünde olacağıdır.

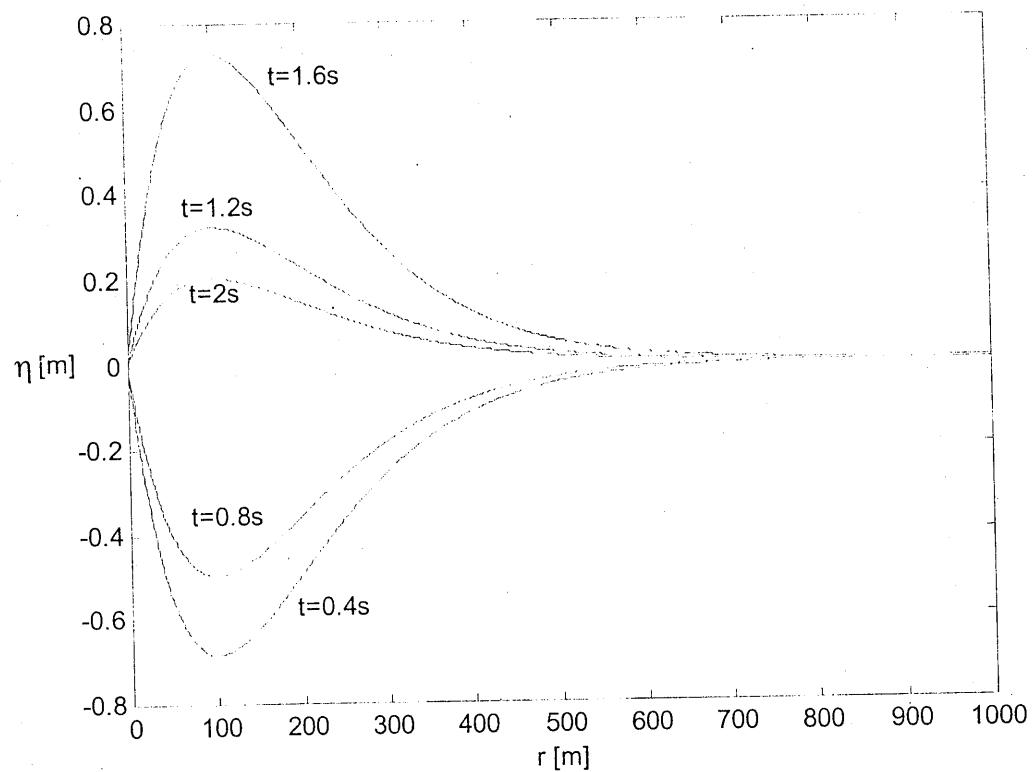


Şekil 3. Genlik transfer faktörünün boyutsuz dalga parametresine göre değişimi

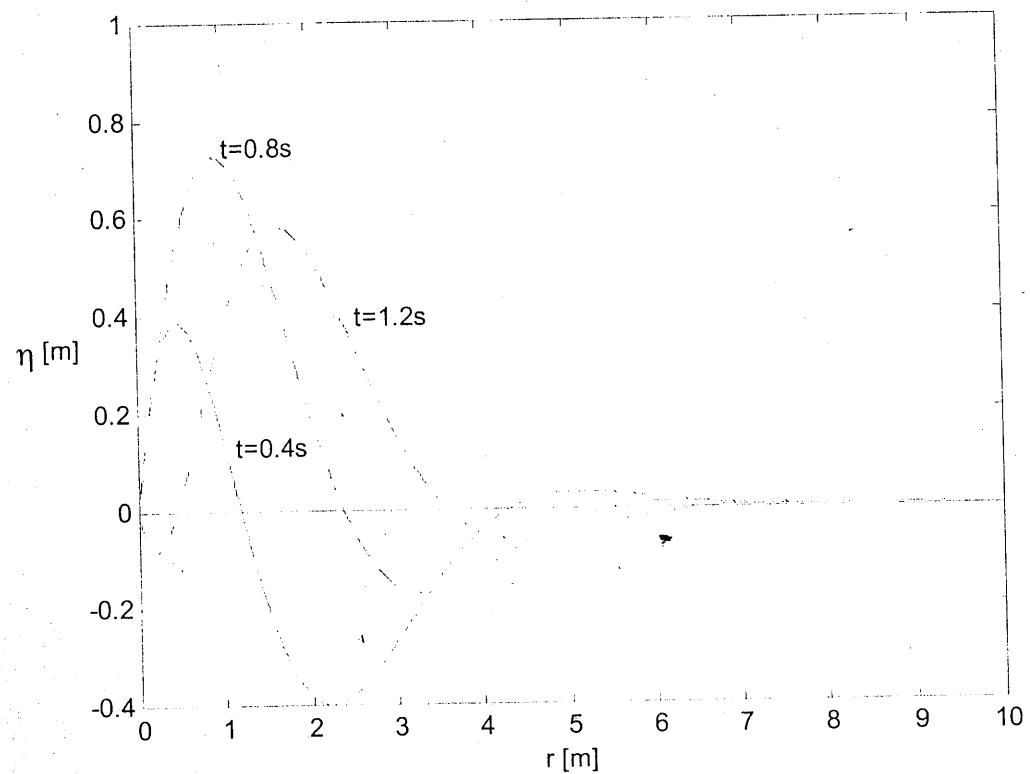
4. DEPREM DALGALARIYLA YAPILAN UYGULAMALAR

Elde edilen analitik çözüme göre deprem sonucu yüzeyde oluşan su dalgası doğrudan sualtı sismik dalgasıyla orantılıdır. Dolayısıyla değişik sismik yer sarsıntıları sonucunda su yüzeyinde değişik dalga-hareketleri oluşacaktır. Olası iki sismik dalga tipi için oluşacak yüzey dalgası bilgisayar ortamında incelemiştir. Bu sismik dalgaların ikisi de zamanda sinüzoidal salınım yapan ve kıyıdan uzaklaşıkça sökümlenen yer hareketleridir.

Birbirlerinden farklı olan noktaları ise mekanda birinin durağan (Şekil 4a) diğerinin ise kıyıdan aşağı doğru hareket etmesidir (Şekil 4b). Sonuçta su yüzeyinde deniz tabanı hareketine bağlı olarak mekanda durağan veya kıyıdan uzaklaşarak hareket eden ama her iki kabulde de kıyıdan uzaklaşıkça sökümlenen dalgalar meydana gelmiştir.

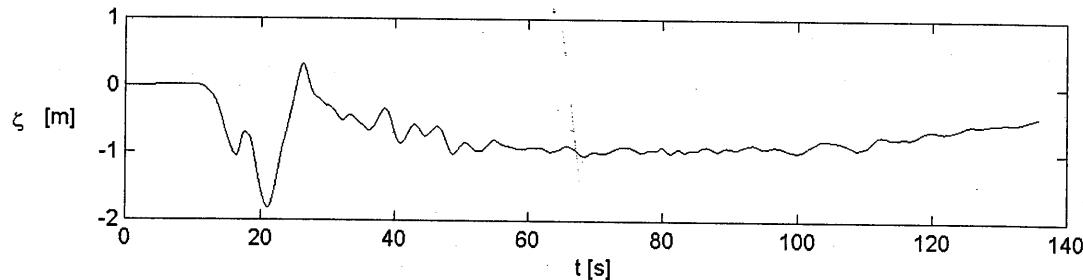


Şekil 4a. Durağan taban hareketi sonucu oluşan su dalgası

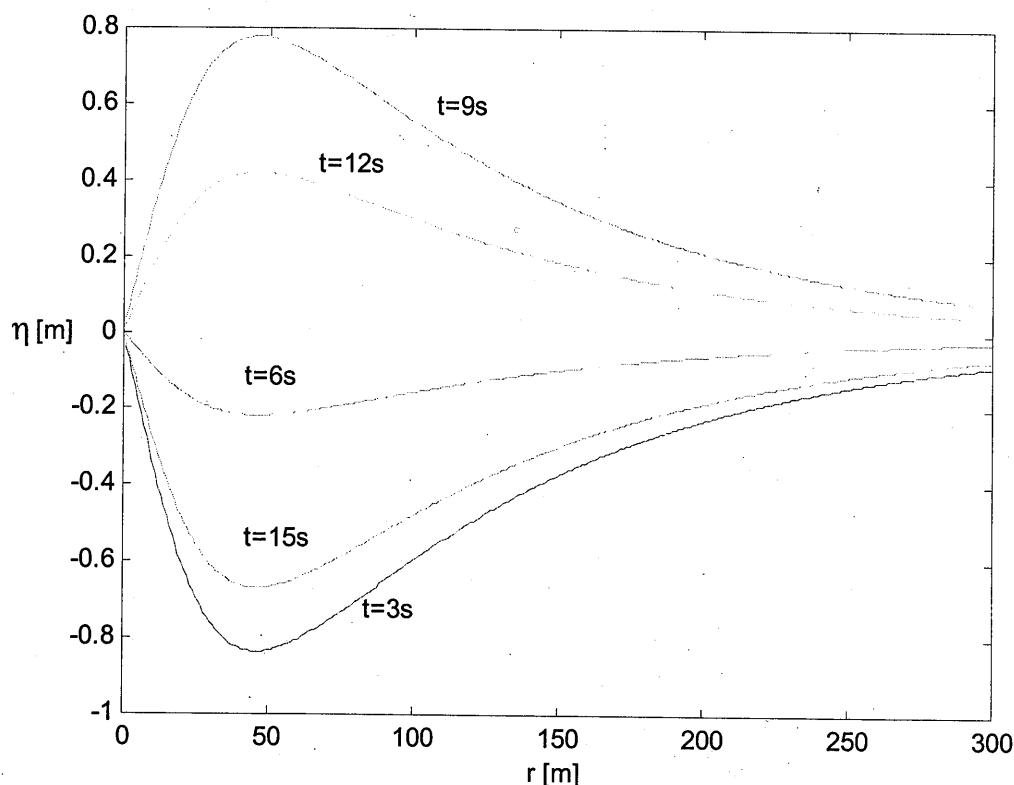


Şekil 4b. İlerleyen taban hareketi sonucu oluşan su dalgası

Yukarda incelenen sismik dalgaların matematiksel fonksiyonlarla gösterilmesine dayanan hesaplamaların yanı sıra, ölçüm sonuçları kullanılarak 1999 Kocaeli Depremi sırasında Değirmendere kıyısında olduğu yönünde veriler bulunan su dalgası incelenmiştir. Onceki bölümlerde kapalı formda verilen analitik çözüm, Fourier serisi halinde geliştirilerek, ölçüm sonucu elde edilen dijital yer ivmesi kayıtları ile çözüm üretebilecek bir bilgisayar algoritmasına dönüştürülmüştür. Değirmendere'deki kıyı profili ölçümleri ve Yarımca deprem istasyonundan elde edilen zemin ivmesi ölçümleri (Şekil 5) kullanılarak bilgisayar ortamında yapılan modelleme sonucunda düşeyde yaklaşık 2 m salınım genliğine varan zemin hareketi sonucunda su yüzeyinde oluşan dalgaın genliği 0.8 - 1.3 m arasında değişmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Yarımca düşey yönlü sismik yer hareketleri (17 Ağustos 1999)



Şekil 6. Kocaeli depremi sırasında Değirmendere açıklığında oluşan su dalgası

5. SONUÇ

Deprem sonucu oluşan kıyı dalgalarıyla ilgili araştırmalar sonucunda, sismik yer hareketleri ve bunların etkisiyle oluşan yüzey dalgaları arasındaki ilişkiyi tanımlayan analitik bir bağıntıya ulaşılmıştır.

Daha sonra bu analitik çözüm olası sismik yer hareketlerine uyarlanarak test edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, deprem sonucu yüzeyde oluşan su dalgası doğrudan deniz tabanındaki sismik salınımla orantılıdır. Dolayısıyla deniz tabanındaki farklı sismik yer sarsıntıları, su yüzeyinde farklı dalga hareketleri oluşturmaktadır.

Elde edilen analitik çözüm Fourier açılımı ile geliştirilerek 17 Ağustos 1999 depreminde Yarımca'da kaydedilen yer ivmelerine uyarlanacak hale getirilmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan model çalışmaları sonucunda ± 2 m'ye varan yer sarsıntılarının, deniz yüzeyinde 0.8 – 1.3 m genlikte su dalgaları oluşturduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ALTINOK, Y., ALPAR, B., ERSOY, S., YALÇINER, A. C. (1999) "Tsunami Generation of the Kocaeli Earthquake (August 17th 1999) in the İzmit Bay: coastal observations, bathymetry and seismic data," *Turkish Journal of Marine Sciences*, Inst. of Marine Sci. & Man., İstanbul Uyniv., 5(3), pp. 130-144.

HAMMACK, J.L., 1973, "A Note on Tsunamis: their Generation and Propagation in an Ocean of Uniform Depth," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 60, Part 4, pp. 769-799.

HUNT, B., 1988, "Water Waves Generated by Distant Landslides," *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 26, No. 3, pp. 307-322.

KAZEYILMAZ, C.M. (2000) "Earthquake Generated Water Waves on Uniformly Sloping Coasts," Lisansüstü Tezi, Boğaziçi Üniv., İnşaat Müh. Böl., Isntanbul.

RAICHLEN, F., LEE, J.J., PETROFF, C., P. WATTS, 1996, "The Generation of Waves by a Landslide: Skagway, Alaska-A Case Study," *Proceedings of the twenty-fifth International Conference on Coastal Engineering*, Orlando-Florida, 2-6 September 1996, Vol. 2, pp. 1293-1306, New York, ASCE.

TUCK, E.O., L.S. HWANG, 1972, "Long Wave Generation on a Sloping Beach," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 51, Part 3, pp. 449-461.

WATTS, P., 2000, "Tsunami Features of Solid Block Underwater Landslides," *Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering*, ASCE, in Press.

WIEGEL, R. L., NODA, E. K., KUBA, E. M., GEE, D. M., G. F. TORNBERG, 1970, "Water Waves Generated by Landslides in Reservoirs," *Journal of the Waterways and Harbors Division*, ASCE, Vol. 96, No. WW 2, pp. 307-333, May.

YALÇINER, A. C., SYNOLAKIS, C. E., BORRERO, J., ALTINOK, Y., WATTS, P., IMAMURA, F., KURAN, U., ERSOY, Ş., KANOĞLU, U., S. TİNTİ, 1999 "Tsunami Generation in İzmit Bay by the 1999 İzmit Earthquake," *Proceeding of ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake*, Maçka-İstanbul, 2-5 December 1999, pp. 217-220, İstanbul Technical University, Turkey.

ABSTRACT

The response of water surface to seismic ground motion is investigated for sloping coasts. The problem is defined as potential flow and solved analytically in two-dimensional polar coordinates. The velocity potential and the free surface displacement are found to be a functions of the ground velocity, water depth, seismic frequency and gravitational acceleration. A numerical algorithm is developed to apply the solution to the Izmit Bay during the 1999 Kocaeli Earthquake. The vertical ground velocity and its frequency components are obtained from spectral analysis of measured ground accelerations during the earthquake.

DOĞU MARMARA DEPREMİNİN KÖRFEZ BÖLGESİ DENİZ YAPILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

¹ Prof.Dr.Yüksel, Y, ²Dr.Özmen, H, ¹Y.Doç.Dr.Çevik, E, ²Jeo.Müh.
Özgüven, O, ¹Y.Doç.Dr.Çelikoğlu, Y, ¹Araş.Gör.Bostan, T,
¹Araş.Gör.Gürer, S, ¹Araş.Gör.Gökoğlu, F.

¹ Yıldız Teknik Univ., İnşaat Müh. Böl., 80750, Yıldız, Beşiktaş, İSTANBUL
² DLH, 4. Bölge Müdürlüğü, İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Gölcük Merkezli Doğu Marmara depreminin, İzmit Körfezi üzerinde kurulu bulunan çeşitli deniz yapılarında neden olduğu hasarlar, yapısal ve geoteknik açıdan değerlendirilerek sunulmuştur. Bölgede mevcut çok sayıda yapıdan Petrol Ofisi tesisleri, Derince Limanı, TÜPRAŞ gibi kritik kuruluşlara ait deniz yapıları örnek yapı olarak dikkate alınmışlardır. Çalışmanın amacı, bu deniz yapılarındaki mevcut yapı ve geoteknik durum ile oluşan hasarları özetlemektir. Bu deniz yapıları genelikle ağırlık bloklu kapak yanaşma yerleri ile kazıklı iskelelerden oluşmaktadır. Derince Limanında sıvılaşma ile birlikte dolgu alanda oturma ve bloklu yanaşma yerlerinde ise denize doğru deplasmanlar meydana gelmiştir. TÜPRAŞ

iskelelerindeki betonarme kazık başlarında kırıklar ve çelik kazıklarda ise buruşmalar olmuştur. Petrol Ofisi iskelelerindeki kompozit yapının dinamik davranışları nedeniyle yatay deplasmanların meydana geldiği belirlenmiştir. Böylece ilerde olası depremlere karşı sismik performansı yüksek deniz yapılarının tasarıımı sırasında bu çalışmadaki oglular göze alınmalıdır. Bu bildirideki bilgiler 99-05-01-01 nolu YTÜ, AFP projesi Rapor1'den derlenerek alınmıştır.

1. GİRİŞ

İzmit körfezi gerek çevresel etkenlere (dalga, rüzgar vb. gibi) karşı korunaklı bir konumda bulunması, gerekse jeopolitik açıdan emniyetli bir coğrafyaya sahibi olmasının yanı sıra İstanbul gibi ticari, sanayi, turizm ve eğitim işlevlerinin en yoğun olduğu şehrin hinterlandı içinde kalması nedeniyle sivil ve askeri amaçlı çok sayıda deniz yapısının bu körfezin kıyı şeridi boyunca inşa edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca bu bölgede karayolu, demiryolu ve havayolu gibi ulaşım sistemlerinin gelişmiş olması da, Türkiye'nin daha iç bölgelerine hizmet verme imkanını sağlamaktadır. Bu bölgede, sanayinde çok gelişmesi ithalat ve ihracatın en büyük yüzdeyle yapıldığı deniz taşımacılığı dolayısıyla gerek devlete gerekse özel sektöré ait çok sayıda limanın gelişmesine neden olmuştur. Sanayi tesisleri ve bunlara hizmet veren yanaşma yapıları ile diğer limanlar çoğunlukla körfezin kuzey kıyılarında yer almışlardır. Marmara bölgesinin, özellikle İstanbul'un tarihi dokusu nedeniyle bölgede turizme yönelik yatırımların da artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle yat limanları inşa edilmiştir, bir kısmında ya inşa edilme (Yalova Yat Limanı gibi) ya da planlama aşamasındadır. Ayrıca, körfezde balıkçılıkla uğraşan halka hizmet amacıyla birçok inşa edilmiş balıkçı barınağı da mevcuttur. Körfez bölgesi sahip olduğu sanayi potansiyeli ile Türkiye Cumhuriyeti Devleti için son derece hayatı bir yapıya sahiptir. Ne yazık ki bütün bu gelişmişliğe karşın bölgenin tarih boyunca gelişiminde karşılaştığı sismik hareketler, bu yapılanmayı korkutucu biçimde tehdit etmektedir. Bu amaçla, yöredeki gerek sanayi yapılarının gerekse bunlara hizmet veren en önemli ulaşım yapılarından biri olan deniz yapılarının sismik performasyonları çok dikkatlice tasarlanmalıdır. 17 Ağustos 1999 Gölcük merkezli Doğu Marmara depreminin bu yapılarda

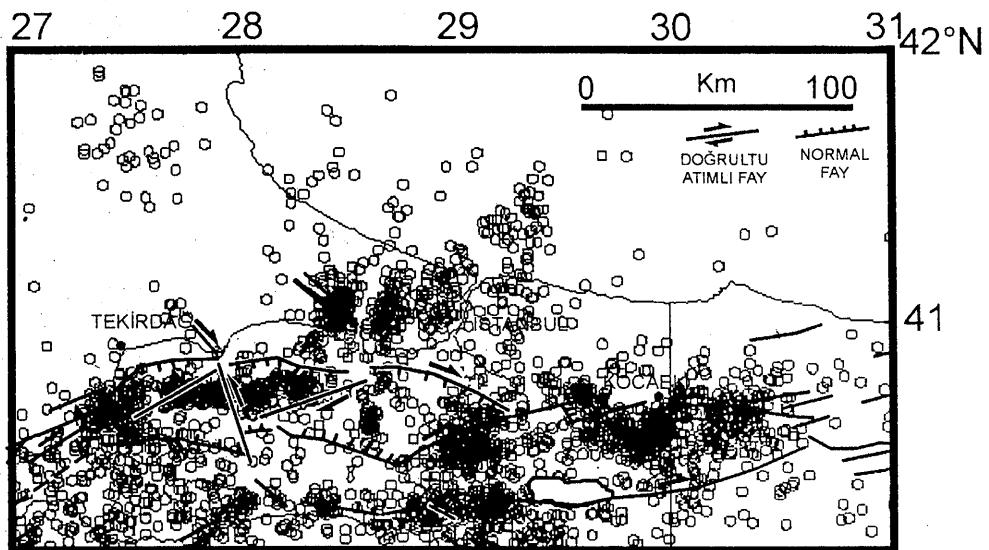
neden olduğu hasarların incelenmesi ve bu hasarların nedenlerinin araştırılması bu araştırmmanın başlıca amacıdır.

Bu nedenle İzmit Körfezi üzerinde kurulu bulunan deniz yapılarından 23 adedinde hasar tespit çalışmaları yapılmıştır. Değişik hizmetlere sahip bu deniz yapılarının öncelikle yapısal durumları ve geoteknik yapıları özetlenmiş daha sonra da oluşan hasarlar belirtilmiştir (Yüksel ve diğ., 2000). Ancak burada sadece üç tesisin yapıları özetlenmiştir. Bu çalışmanın amacı elde edilen sonuçlar yardımıyla bundan sonra olası depremlere karşı alınabilecek önlemlerin tartışılması ve olabilecek hasarlar ile can kayıplarının en aza indirgenmesini sağlamaktır.

2. BÖLGENİN SİSMOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 1939 yılında Erzincan'da başlayan 6 büyük depremin batıya doğru göçü sonucunda Kuzey Anadolu Fay Zonunun toplam 900 km lik bir kısmı kırılmıştır. Bu kırıklarda 7.5 m ye varan yer değiştirmeler vardır.

İzmit Körfezi ve civarında 17 Ağustos 1999 depreminden önce oluşmuş mikro depremlerin dışmerkez dağılım haritasına (Şekil 1) bakıldığından, depremlerin yoğunlaştığı lokalitelерden bir tanesi İzmit Körfezi çevresindedir. Deprem dış merkezlerinin dağılımı İzmit Körfezi güney kıyılarda kuzey kıyılara nazaran sayıca daha fazladır.



Şekil 1 Marmara ve İzmit Körfezi çevresinde 17 Ağustos 1999 öncesinde kaydedilen depremlerin dışmerkez dağılımı ve tektonik hatlar. Deprem verileri Cornell Üniversitesi GIS Haritalama ve Bilgi Servisindeki ISC sismoloji arşivinden alınmıştır.

3. TARİHİ DEPREMLER VE ÖZELLİKLERİ

Mevcut tarihsel ve aletsel deprem verileri ve jeolojik gözlemlere göre, Türkiye'nin önemli sanayi, ticaret ve turizm bölgesi olan Marmara Bölgesinin deprem potansiyeli oldukça yüksektir. Tarihsel depremler olarak MS 11 ile MS 1894 arasında bölgede kayıtlara geçmiş en az 145 adet deprem bilinmektedir. Bunlardan en önemli olanlar; 29 (İzmit), 363 (Marmara ?), 434 (Marmara), 446 (Marmara), 477 (Marmara), 15 Ağustos 553 (Marmara ve İzmit), Ekim - Kasım 557 (Marmara), Ocak 1010 (Marmara), İlkbahar 1034 (Marmara), 18 Aralık 1037, 10 Eylül 1509 (Kıyamet-i Sugra), 12 Haziran 1542 (Marmara), 10 Mayıs 1556, 11 Temmuz 1690, Yaz 1718 (İstanbul -İzmit), 25 Mayıs 1719 (İzmit - Yalova), 2 Eylül 1754 (İzmit Körfezi), 3 Eylül 1763 (Marmara), 22 Mayıs 1766 ve 10 Temmuz 1894 depremleridir (Ambreseys ve Finkel, 1995).

Büyük depremlerin yarattığı tsunamilerin koy ve körfezlerde etkili oldukları bilinmektedir. Tarihsel bilgiler de İzmit Körfezi ve çevresinde tsunami'nın defalarca olduğunu göstermektedir. MS 120/128, 325, 358, 447, 488, 553, 555, 557, 715, 740, 1754, Nisan 1878, Mayıs 1878, 18 Eylül 1963 depremleri İzmit Körfezi ve çevresinde tsunami yaratmıştır (Soysal, 1985; Altınok ve Ersoy, 1998).

4. DOĞU MARMARA DEPREMİ

17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03:02'de, Kuzey Anadolu Fay Zonunun, Adapazarı, Kocaeli, Gölcük segmenti üzerinde yaklaşık 45 saniye süren şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü hakkında çeşitli görüşler vardır. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi büyülüğu önce 6.7 ve daha sonra 7.4 olarak değerlendirmiştir. Amerikan kaynakları ise büyüklüğü 7.8 olarak belirlemiştir. Arazi gözlemleri ise depremin 7.4 ± 0.1 civarında olduğunu göstermiştir. Bu farklar değerlendirme yöntemlerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır. Sonuç olarak depremin moment büyüklüğünün 7.4 ve yüzey dalgası büyüklüğünün ise 7.8 olduğu söylenebilir. Depremin hakim yönü ise E-W'dir.

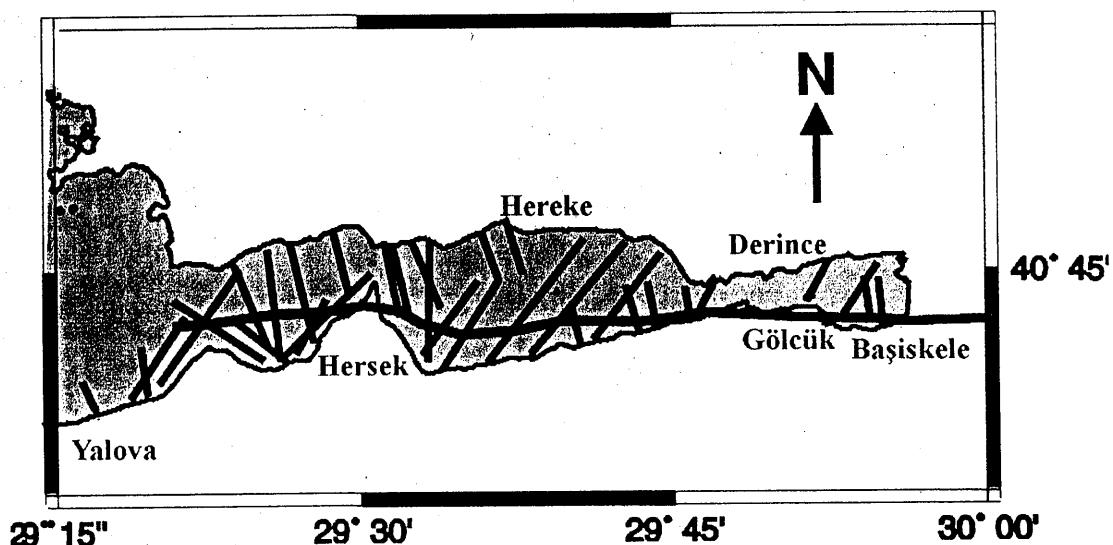
Odak derinliği 10-15 km dir. Yüzeydeki yırtılmanın uzunluğu 120 km civarındadır. Uzun süreli GPS ölçümlerinin Kuzey Anadolu Fay Zonunun depremde çalışan segmentleri için yılda 10-15 mm (Barka, 1992) ilerleme gösterdiği, çeşitli araştırmacılar tarafından yüzey kırığı üzerinde yapılan gözlemlerden 5 metre kadar sağ-yanal yer değiştirmeler rapor edildiği bilindiğine göre, basitçe bu kadar bir yer değiştirmenin oluşabilmesi için gereken enerjinin 333 ile 500 yıl arasında depolanabileceği söylenebilir. Kocaeli Depremi fay hattı üzerinde 350-400 mG mertebesinde yer ivmelerine neden olmuştur.

Kocaeli Depreminin İzmit Körfezinde yırttığı fay yüksek çözünürlü sağlam sismik verilerden yararlanılarak çalışılmıştır (Alpar ve diğ., 1999; Alpar, 1999; Altınok ve diğ., 1999). Bu çalışmalara göre, Başiskele mevkiinde karadan denize giren fay transtansiyonel bir etkiye sahiptir. Bu transtansiyonel karakter fay hattı üzerinde yer alan yerleşimlerdeki

hasarın biçimini üzerinde rol oynamıştır. Güneyde sintetik kuzeyde antitetik faylanmalar kıyı alanlarında çökmelere neden olmuştur. Fay bu noktadan batıya doğru Gölcük, Değirmendere, Karamürsel ve Yalova'da kıyıyı izlemiştir ve aynı transtansiyonel karakteri göstererek Marmara Denizi içinde kaybolmuştur (Şekil 2). Kavaklı ve Gölcük kıyılarının çökmesine neden olan bu fay, her ne kadar Hersek Deltasındaki lagünün altından geçiyorsa da, delta üzerinde fazla bir deformasyona neden olmamıştır.

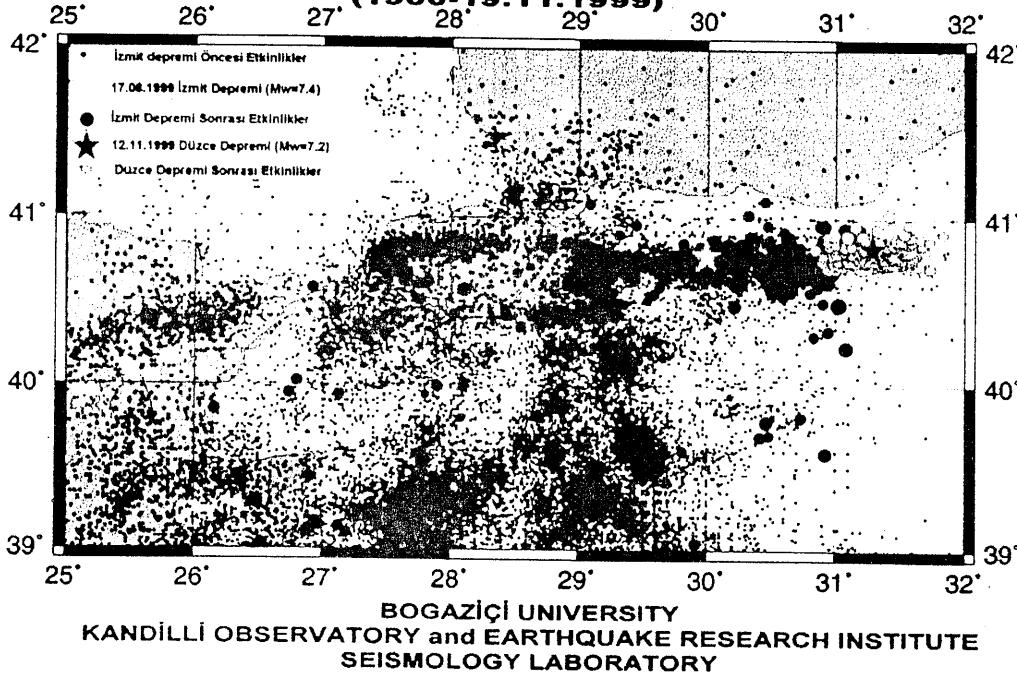
Kocaeli Depremi periyodu bir dakikadan biraz daha az olan bir tsunami de yaratmıştır. Ortalama tırmanma yüksekliği 2.5 metreye kadar çıkan dalgaların körfezin kuzey kıyılara varış zamanı birkaç dakika iken, güney kıyılara olan varış zamanı bir dakika mertebesindedir (Yalçiner ve diğ., 1999; Altınok ve diğ., 1999).

Ana deprem dalgasının ardından çok sayıda artçı depremler meydana gelmiş ve bunları 12 Kasım Düzce depremi (M_s 7.2) izlemiştir (Şekil 3).



Şekil 2 İzmit Körfezinde 17 Ağustos 1999 da kırılan doğrultu atımlı fay (kırmızı) (Alpar ve diğ., 1999).

MARMARA BÖLGESİ DEPREM ETKİNLİĞİ (1900-19.11.1999)



Şekil 3 Marmara Bölgesi deprem etkinliği ve Doğu Marmara (kırmızı) ve Düzce (sarı) depremlerinin artçı dağılımı. Siyah noktalar Doğu Marmara ve Düzce depremlerinden önceki sismik aktiviteleri göstermektedir (Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli deprem Araştırma Enstitüsü, Sismoloji Laboratuarı).

5. BAŞLICA HASAR ÖRNEKLERİ

5.1 Petrol Ofisi Tesisleri

İki ayrı iskele mevcuttur, bunlar madeni yağ ve akaryakıt iskeleleridir.

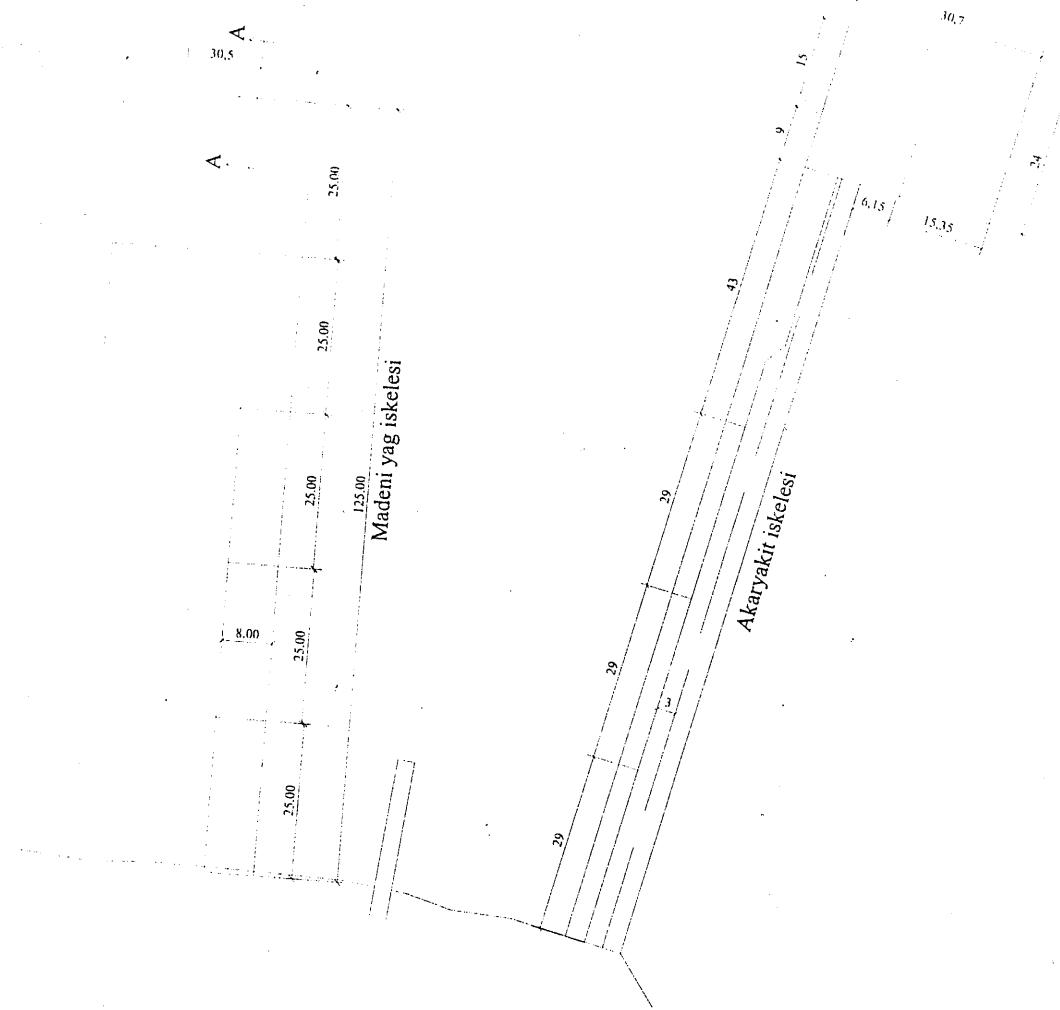
Madeni yağ iskelesi 25.00 m uzunluğunda 5 anodan oluşmaktadır. İskeleyi 75 m uzunluklu (3×25.00) 8.00 m genişlikte üç adet yaklaşım anosu ile 50 m uzunluklu (2×25) 30.50 m genişlikte teşkil edilen iki adet yanaşma anosu oluşturmaktadır (Şekil 4). İskelenin alt yapısı 40×40 cm kesitli betonarme kazık ve 220×220 cm boyutunda betonarme kazık başlıklarları ile oluşturulmuştur. Üst yapıyı betonarme kiriş ve dösemeler meydana getirmektedir.

Akaryakıt iskelesi T şeklindeki iskele ile bu iskeleye sonradan yapılan ilavelerden oluşmaktadır. Eski iskele; 140.70×6.00 m boyutlarında yaklaşım yolu ile 9.00×15.70 m boyutlarında bağlama ve yaslanma anosundan oluşmaktadır (Şekil 4). İskelenin alt yapısı betonarme kazıklar ve betonarme başlık kırışları ile teşkil edilmiştir. Üst yapıyı betonarme kırış ve dösemeler oluşturmaktadır.

Eski iskele ihtiyaç nedeniyle tevsii edilmiştir

- Yaklaşım anolarına 4.00 m ve 6.00 m genişlikli toplam dört adetano ilave edilerek iskele genişliği 10 m'ye çıkartılmıştır.
- Uç bağlama ve yaslanma anosunda tevsiat çalışmalarında büyütülerek 30.70×24.00 m boyutuna ulaşmıştır.
- Yaklaşım anolarına yapılan yapı kısmen kare kesitli betonarme ve kısmen de çelik boru kazıklarla teşkil edilen kompozit bir alt yapı üzerine oturtulmuştur. Kazık başlıklı kırışlar ile üst yapıdaki kırış ve dösemeler betonarmedir.
- Bağlama ve yaslanma anosunda yapılan büyütmede sistem çelik boru kazıklar ile betonarme kazık başlıklarından oluşan alt yapı üzerinde betonarme kırış ve dösemelerle oluşturulmuştur.

İskeleler farklı zamanlarda inşa edilmiştir. Madeni yağı iskelesi inşa edilmeden önce 15 adet sondaj yapılmıştır, ancak bunlardan 4 adedinde yeterli derinlige inilmiştir. Sondaj loglarını ve laboratuvar deneylerini ihtiyaç etmesi gereken geoteknik rapora ulaşılmadığından zeminin mühendislik özellikleri bilinmemektedir. Mevcut zemin profillerinde tek bir sondajın SPT-N değerleri bulunduğuundan korelasyon yöntemiyle zemin için yaklaşık N değerleri kabul edilecektir. Buna göre genelleştirilmiş zemin kesiti Şekil 5'de görülmektedir. Madeni yağı iskelesi için zemin profili yaklaşık 5 m çok yumuşak kil, 15 m civarı yumuşak kil, -26 m kotunun altında 2 m civarında killi silt ve -28 m kotu altında kum-çakıl mevcuttur.



Şekil 4 Genel vaziyet planı

Akaryakıt iskelesi profilleri mevcut olmadığından korelasyon yöntemiyle oluşturulan zemin kesitinde 7-10 m arası iri çakılı az bloklu kum-çakıl altında siltli kil olduğu düşünülmektir. Sondajlar sığ olduğu için bu zeminin kalınlığı ve altı bilinmemektedir. Madeni yağı iskelesinde kazıklar projelendirmeden 4 adet tecrübe kazığı çakılmıştır. Uygulamalardaki kazık boyları ise sondajla uyum göstermektedir.

Projelendirilirken taşıyıcı zemin olarak kabul edilen sıkı kum ve çakıl için $\phi=32.5^\circ$ alınmıştır. Kazıklar uç kazığı olarak düşünülmüş ve çevre sürtünmesi “0” kabul edilmiştir.

Zemin Sınıfı	Zemin Kalınlığı (min-max)	N
SU	3.20 - 8.00	
Çok Yumuşak KİL	0 - 5 (yer yer 11m ye ulaşıyor)	0 - 2
KUM ve ÇAKIL Orta Sıkı	0 - 3 (yer yer 8 m ye ulaşıyor)	18
Yumuşak - Katı, KİL - Siltli KİL	0 - 12.65	5 - 14
Çok Katı KİL	0 - 1.85	15
Siltli, Az Kumlu		
Çok Katı KİL	0 - 1.0	15 - 21
Sıkı KUM ve ÇAKIL		33

Şekil 5 Petrol Ofisi tesisi zemin kesiti

Madeni yağ iskelesinde hasar durumu

- 1- Dalgıç raporunda iskeleye altındaki deniz tabanının gözle görülür şekilde oturduğu bununla birlikte kazıklarda herhangi bir düşey deplasmanın olmadığı anlaşılmaktadır.
- 2- 4 numaralı anoda değişik kazık başlık kırışı altına rastlayan beş adet betonarme kazık başlık kırışına bağlı olduğu noktalardan kırılarak ayrılmıştır. Bu anoda yatay ve düşey deformasyon görülmemiştir.
- 3- 1, 2 ve 3 no'lu yaklaşım anolarında herhangi olumsuzluk gözlenmemiştir.
- 4- 4 ve 5 numaralı ano arasında bir ucta 40 cm'ye varan mertebelerde açılma meydana gelmiştir. Burulma ve yatay yer değiştirmeler nedeniyle 5 numaralı ano proje konturları dışına çıkmıştır.
- 5- 5 numaralı ano altında yer alan betonarme kazıkların büyük bir çoğunluğu başlık kırışlarına mesnetlendikleri noktalardan koparak ayrılmışlardır.

Akaryakıt iskelesi

- 1- 1 numaralı anoda deprem kuvvetlerinin etkisiyle herhangi bir kalıcı deformasyon gözlenmemiştir. Ancak dalgıç ile yapılan gözlemlerden üç adet betonarme başlık kirişinde çatlak bulunduğu tespit edilmiştir.
- 2- 2 numaralı anoda deprem kuvvetlerinin etkisiyle deform olmuş durumdadır. Bu bölüm 1 numaralı anodan 40 cm, 4 numaralı anodan da uçlarda 20-30 cm açıklık ortasında 125 cm ye varan ölçülerde açılalar olacak şekilde uzaklaşmıştır. Bu bölümdeki boru hatları tamamen deform olmuştur. Alt yapısını oluşturan betonarme kazıkların büyük çoğunluğu başlık kirişlerinden kopmuştur.
- 3- 5 numaralı bölümde gözle görülür deformasyonlara rastlanılmamıştır. Ancak bu kesimde deniz tabanında oturmaların olduğu bununla birlikte bu hareketin kazıklarda yarattığı herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.
- 4- 4 numaralı bölümün 5 ve 3 numaralı anolara göre yatay yönde yer değiştirme yaptığı ve sistemin burulduğu görülmüştür. Bu kesimde kazıklardan bir adedinin başlık kirişinden koptuğu, zeminde oturmaların olduğu kiriş ve tabliyelerde yer yer çatlaklar meydana geldiği belirlenmiştir.
- 5- 3 numaralı uç anoda üst yapının zemindeki oturmaya bağlı olarak düşey yönde kalıcı deformasyonlara maruz kaldığı görülmüştür. Bu oturmalar yaklaşık olarak 7 cm mertebesindedir. Bu bölümde üç adet kazık başlık kirişinden koparak ayrılmıştır.
- 6- 6 numaralı ilave uç anoda herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir.
- 7- Akaryakıt iskelesine ait betonarme kazıklar üzerine oturmuş olan eski iskele yatayda 96 cm, düşeyde 20 cm deplasman yaparak yeni iskeleden ayrılmıştır.

5.2 Derince Limanı

Derince limanı sahasında bulunan kıyı tesislerini iki ayrı grupta değerlendirmek gereklidir. Bunlardan birincisini limanın ilk yapıldığı yıllarda inşa edilen rihtımlar oluşturmaktadır. Bu rihtımlar beton bloklu olarak inşa edilmiştir (Şekil 6). Bunlar:

- 220 m uzunluğunda -12.00 m derinliğinde (CD Rihtımı)
- 160 m uzunluğunda -10.00 m derinliğinde (DE Rihtımı)
- 122.45 m uzunluğunda -4.00 m derinliğinde (EF Rihtımı)

yanaşma yapılarıdır.

Rıhtımlar (0-0.25) ton kategoride anroşman temel üzerine oturtulmuşlardır. Rıhtım önləri (50-200) kg önlük anroşmanı ile takviye edilmiştir. Rıhtım arkasında üç değişik kategoride malzeme kullanılmıştır. Bunlar (0-0.4) ton kategori anroşman dolgu malzemesi ocak artığı ve dolgu malzemesidir.

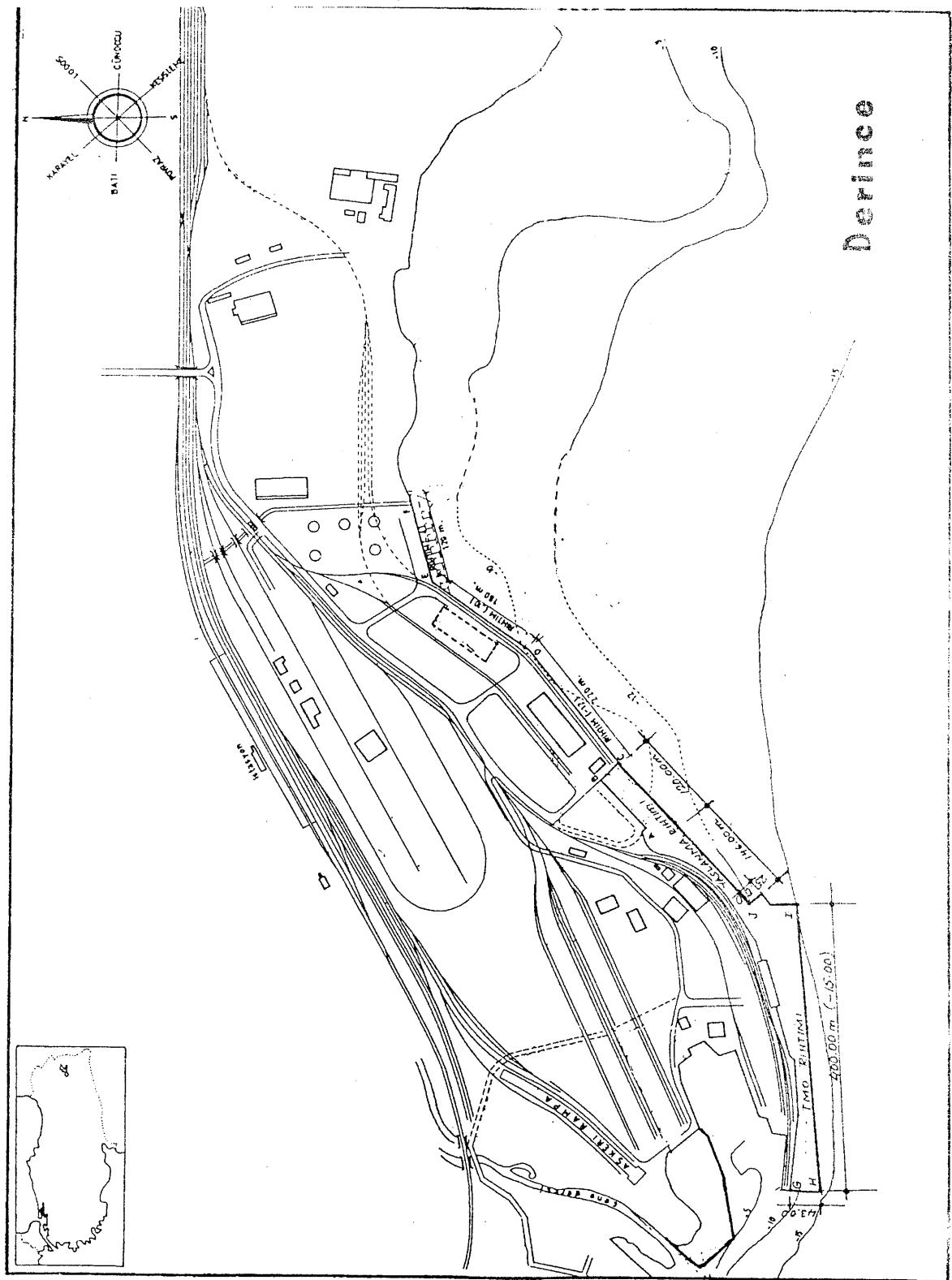
İkinci grup yapılar 1980 yılından sonra inşa edilen kazıklı rıhtım tipi yapılardır. Bunlar beton bloklı rıhtım sınırı ile eski liman arasında kalan kıyı bandında inşa edilmişlerdir.

Bunlar

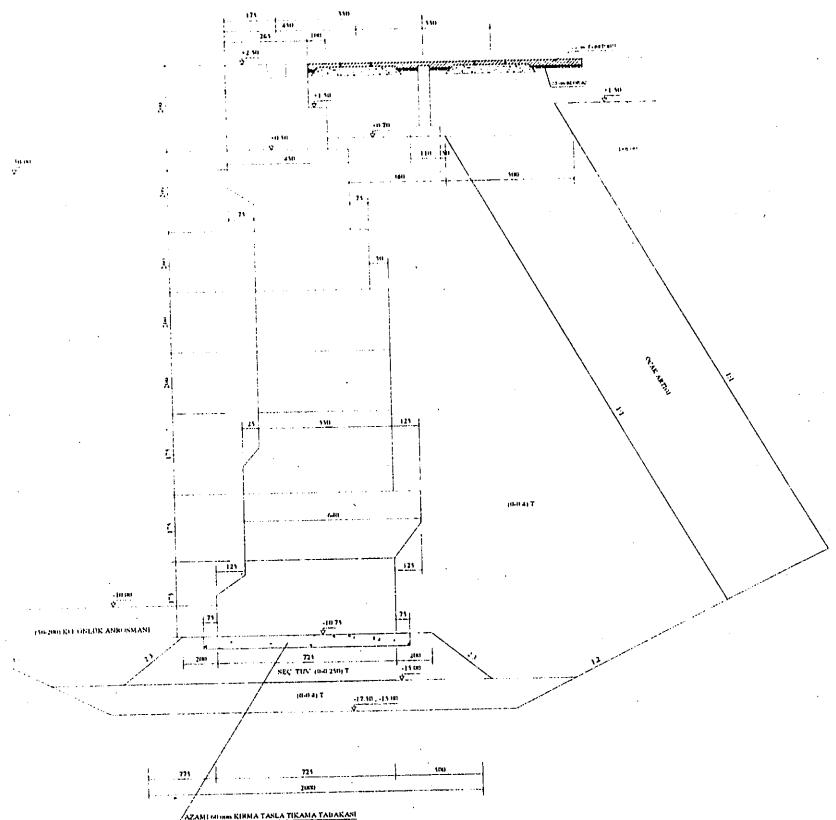
- 400 m uzunluğunda çelik kazıklarla teşkil edilen rıhtım
- 27 m genişliğinde kazıklar üzerine oturtulan kapak atma rampası
- 140 m uzunluğunda $\phi 30$ çelik palplanj ve $\phi 24$ çelik kazıklı olarak inşa edilen yaslanma rıhtımıdır.
- Yaslanma rıhtımı ile mevcut altı no'lu rıhtım arasında kalan yaklaşık 213 m uzunluğundaki rıhtım TMO tarafından inşa ettirilen rıhtıma benzer şekilde TCDD tarafından kazıklı olarak inşa ettirilmiştir.

Yaslanma ve yanaşma rıhtımlarında kazıklı iskele yapısının ön hattındaki kazıklar ile palplanj duvarı oluşturulmuş ve rıhtım arkasındaki ve kısmen rıhtım altına yayılan dolgu itkisine karşı mukavemeti artmak üzere iskele geri sahadaki ankray duvarına gergi çubukları ile bağlanmıştır.

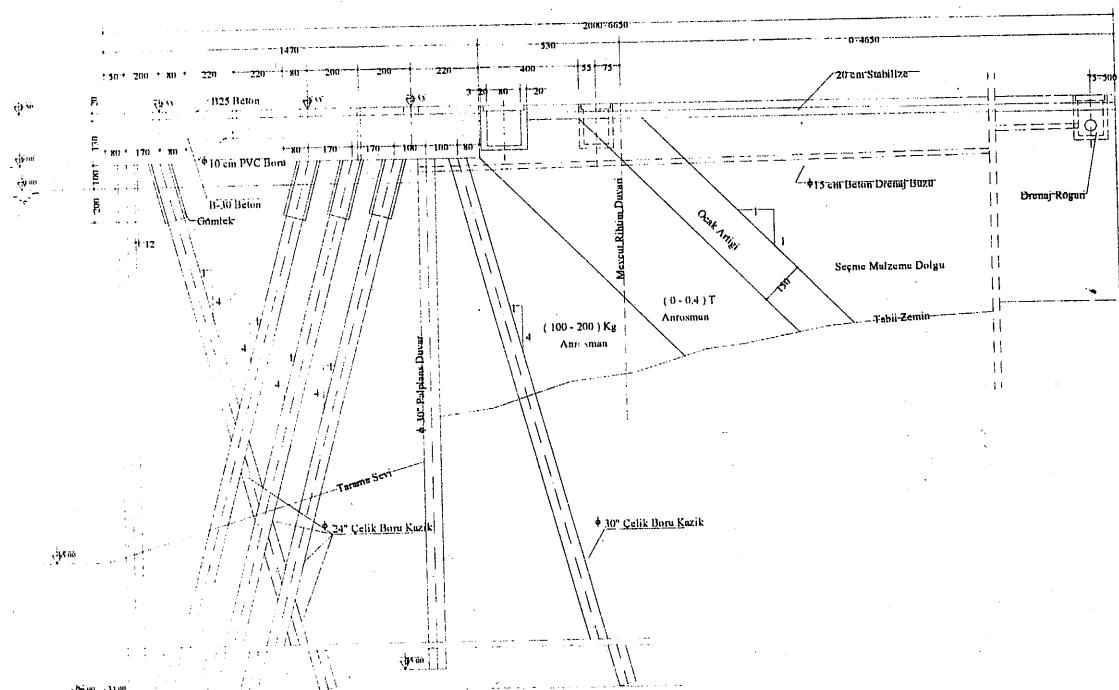
Bloklu rıhtımlarda inşaat öncesi yapılan sondajları gösteren vaziyet planı Şekil 7'de verilmiştir.



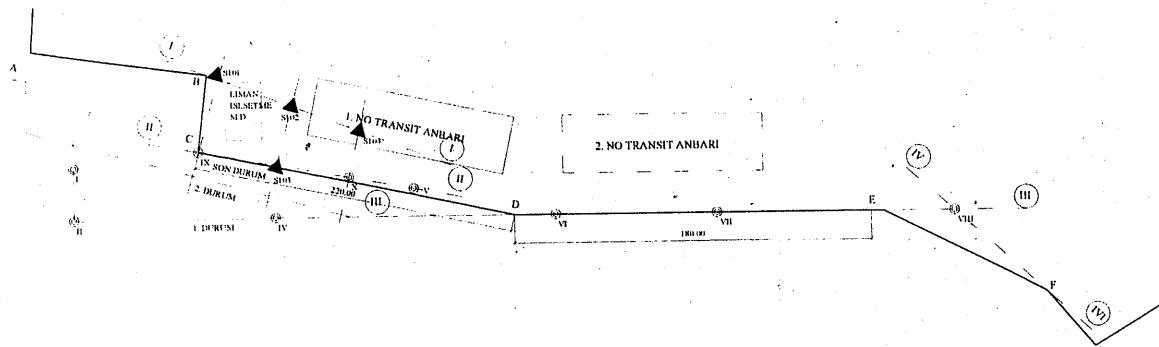
Şekil 6 Genel vaziyet planı



Şekil 6a (-12.00) m' lik Bloklu Rihtimi



Şekil 6b TMO rihtimi kesiti



Şekil 7 Sondaj vaziyet planı

-12 m lik bloklu rihtim (CD Rihtimi)

İnşaat öncesi yapılan sondaj çalışmalarında rihtim altında yer alan zemin profili (Şekil 8) incelendiğinde yaklaşık -17 m derinlikte taşıyıcı nitelikte zemine rastlanmış olup, bloklu rihtim için yapılan stabilite tahkikleri sonucunda rihtim altının zemin koşullarının en gayri müsait olduğu C köşesinde (S-IX) -17.5 m olacak şekilde %2 eğimle D köşesinde -15 m derinliğe kadar 19 m genişliğinde kanal taraması önerilmiştir ancak tarama ekipmanının kapasitesi -16 m taramaya elverişli olduğundan önerilen derinliğe inilememiştir. Ayrıca 1994 yılı sonunda bu rihtimde meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar nedeniyle yapılan incelemelerde rihtimlarda kullanılan 5 ve 35 tonluk vinç ve demiryolu yüklerinin projelendirme esnasında göz önüne alınmadığı görülmüş ve vinç raylarında (üst yapıda) onarım yapılmıştır, ancak kalıcı bir çözüme gidilememiştir. -12 m'lik rihtim arkasındaki geri sahada 1 no'lu transit ambarının bulunduğu bölgede sivilashma gözlemlenmiştir (Şekil 9). Rihtim arkasında kullanılan dolgu malzemesi dere ağzından taranarak dökülmüş çakılı kum olup yaklaşık 10 m kalınlığındadır. Sivilashma ambar binası etrafında düzenli bir hat boyunca izlenmiştir.

-10 m'lik bloklu rihtim (DE Rihtimi)

İnşaat öncesi yapılan zemin etütleri sonucunda (Şekil 10) bu rihtim altının -13 m'ye taranması önerilmiş olup tarama sonrası önerilen derinliğe inildiği söylenebilir. 1995 yılında CD rihtimde bahsedilen deformasyonlar bu rihtimde da meydana gelmiş ve o

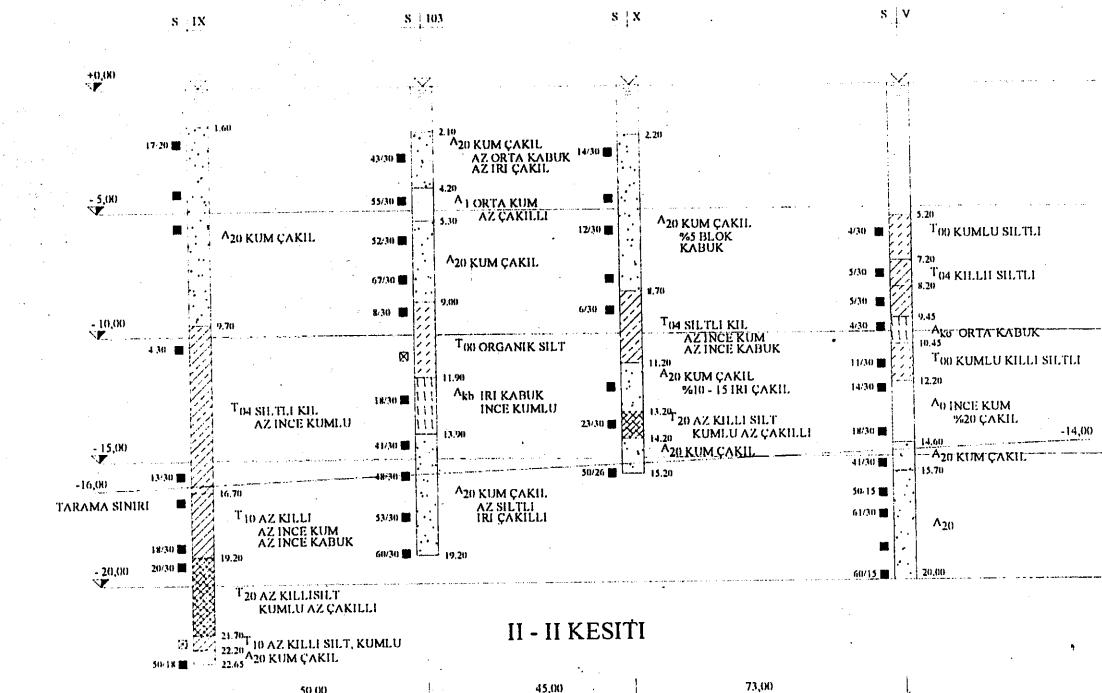
dönemde yapılan tahlıklarla proje safhasında vinç yüklerinin göz önüne alınmadığı belirlenmiştir.

-4 m'lik bloklu rihtim (EF Rihtim)

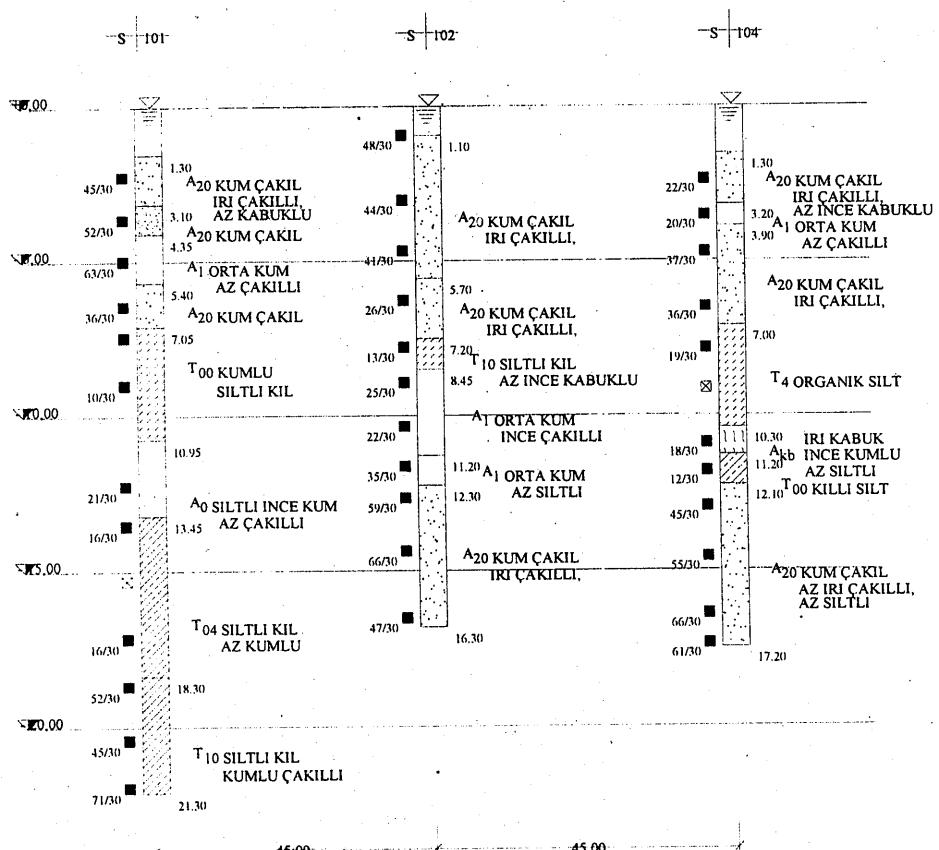
İnşaat öncesi yapılan zemin etütleri sonucunda (Şekil 11) E köşesinin -13 m ye ve F köşesinin ise -6 m ye taranması önerilmiş ancak tarama esnasında rastlanan engeller nedeniyle yer yer istenilen derinliğe inilmediği belirlenmiştir.

- 1- Derince limanında mevcut -10.00 m ve -12.00 m derinlikli rihtımlar gerisinde yer alan transit ambar binaları deprem nedeniyle hasar görmüş durumdadır. Binaların betonarme çerçevelerinin deformasyon olarak deniz tarafına doğru eğildiği ve çerçeve kolonlarının temellere yakın noktalarda deprem etkisiyle kırıldığı görülmüştür. Ambar binalarında dış cephe duvarları çatlamış ve kırılmıştır.
- 2- 5 no'lu -4.00 m derinliği bloklu rihtim geri sahasında kronmanı paralel, tesisat kanalları arkasında çatlaklar ve yarılmalar tespit edilmiştir.
- 3- 5 no'lu rihtim kronmanı doğrultusunda rihtim ortalarında denize doğru deplasman yapmıştır.
- 4- 6 no'lu rihtim geri sahasındaki oturmalar nedeniyle kronman üst kotu ile geri saha kotu arasında 5-70 cm ye varan farklılıklar gözlenmiştir.
- 5- Bu durum nedeniyle 6 no'lu rihtim üzerinde çalışan vinçlerin deniz tarafındaki ayakları raydan çıkmış ve vinçler işletme dışı kalmışlardır.
- 6- 6 no'lu rihtim doğrultusu boyunca denize doğru deplasman yapmıştır: Bu deplasman nedeniyle rihtim kronmanı ile geri saha kaplaması arasında 10-40 cm'ye varan açılalar meydana gelmiştir.
- 7- 7 no'lu rihtim gerisinde yer alan sahadaki oturmaların etkisiyle, bu rihtim üzerinde çalışan vinçler işletme dışı kalmış, 1 adedi yıkılarak kısmen ambar binası üzerinde devrilmiştir.
- 8- 7 no'lu -12.00 m derinlikli bloklu rihtim hattında denize doğru ötelenmeyi çağrıştıran herhangi bir belirgin deformasyon gözlenmemiştir. Anolarda 1-1.5 cm civarında deplasmanlar oluşmuş ancak bu durum halihazır işletme engellememektedir.

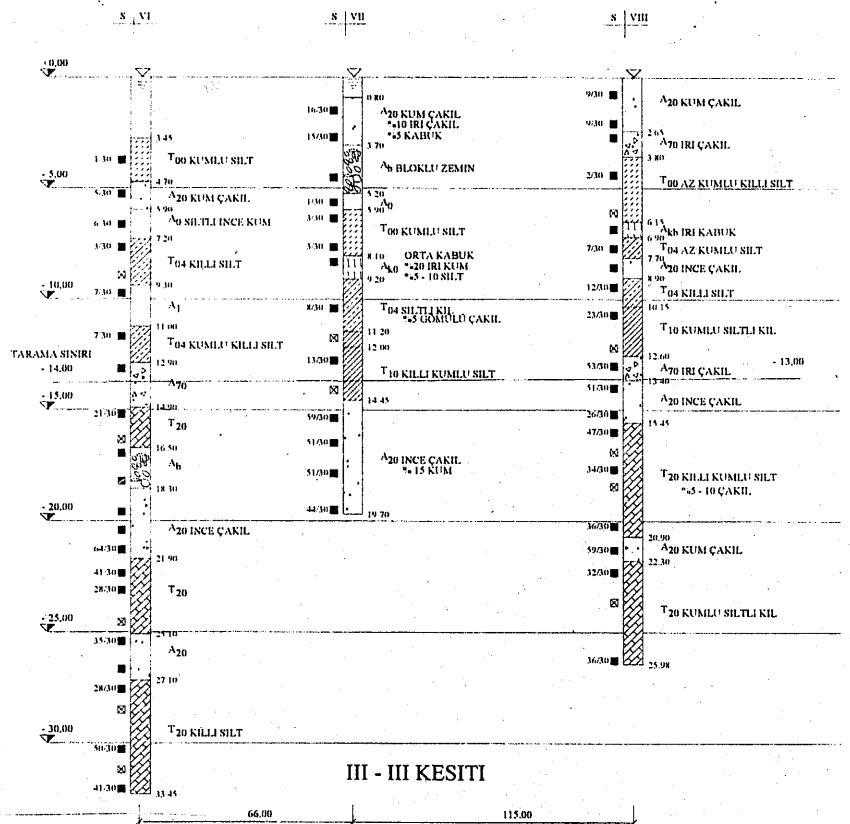
- 9- 6 ve 7 no'lu rihtimler arkasında rihtıma dik ve paralel yarıklar oluşmuş, demiryolu hattı ve saha kaplamaları yer yer hasar görmüştür.
- 10- TMO tarafından inşa ettirilen tahlil rihtımı, kapak atma rampası ve yaslanma rihtimlerinde genel olarak olumsuz bir oluşum gözlenmemiştir. Burada 1917 yılında yapılan palplanjlar enine gergi çubukları ile bağlanmışlardır.
- 11- Kazıklı olarak inşa ettirilen tahlil rihtımının İstanbul tarafındaki üç anolarında deprem sırasında farklı yatay deformasyonlar nedeniyle vinç rayları akslarında 2-3 cm'ye varan ötelenmeler meydana gelmiştir. Bu durum bu kesimlerde çalışan vinçlerde deniz tarafındaki raylara basan ayakların hattan çıkışına ve işletme dışı kalmalarına sebep olmuştur.
- 12- Derince limanı dolgu alanında deprem nedeniyle sıvılaşma meydana gelmiştir. Yüzeye çıkan kumlar özellikle transit ambarların çevresinde birikmiştir. Dolgu alanda 0.40-1.00 m mertebelerinde oturmalar meydana gelmiştir.
- 13- Gerek TMO tarafından inşa edilen yanaşma tesisleri ile 7 no'lu rihtım arkasında kalan ve TCDD tarafından inşa ettirilen kazıklı rihtım arkasındaki dolgu alanlarında oturmalar ve bu oturmalara bağlı olarak saha kaplamalarında açılma kırılma ve yarıklar oluşmuştur.
- 14- Dalgıçlar tarafından yapılan su altı inceleme ve çekimleri sonucunda kazıklı olarak inşa edilen tesislerde gözle görülür bir olumsuzluk meydana gelmediği anlaşılmıştır.
- 15- Bloklu rihtimlerin su altı çelimlerinde ve dalgıç tespitlerinde rihtım bloklarında bozulma, kırılma çökme, ayrılma vb. olumsuzluklar bulunmadığı belirtilmiş olmakla birlikte bu rihtimlerin özellikle 5 ve 6 no'lu rihtimlerin su yüzeyi üzerinde kalan kesimlerindeki denize doğru yatay deformasyonlar rihtım bloklarının bu kesimlerde topyekün birlikte hareket ederek yer değiştirdikleri anlaşılmıştır.



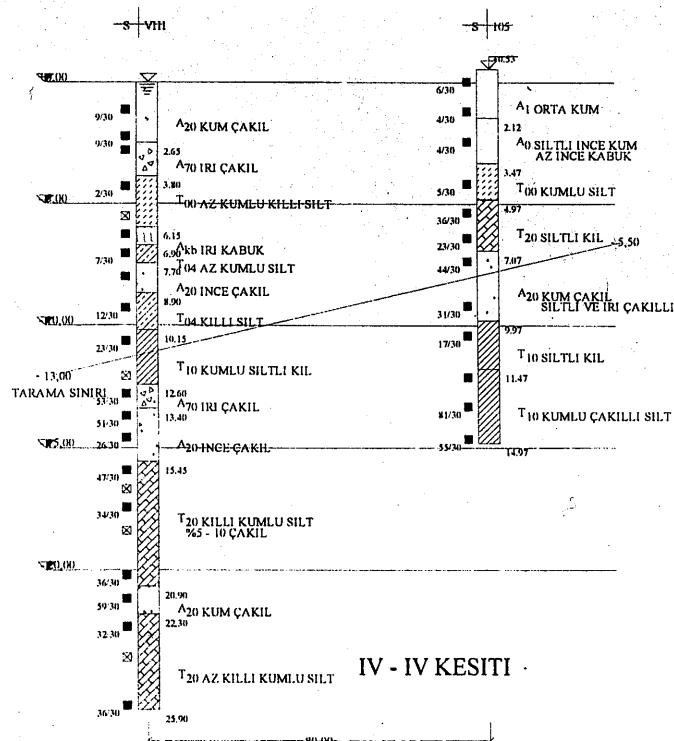
Şekil 8 II-II kesitinde zemin profili (CD Rıhtımı)



Şekil 9 I-I kesitinde zemin profili



Şekil 10 III-III kesitinde zemin profili (DE rihtimi)



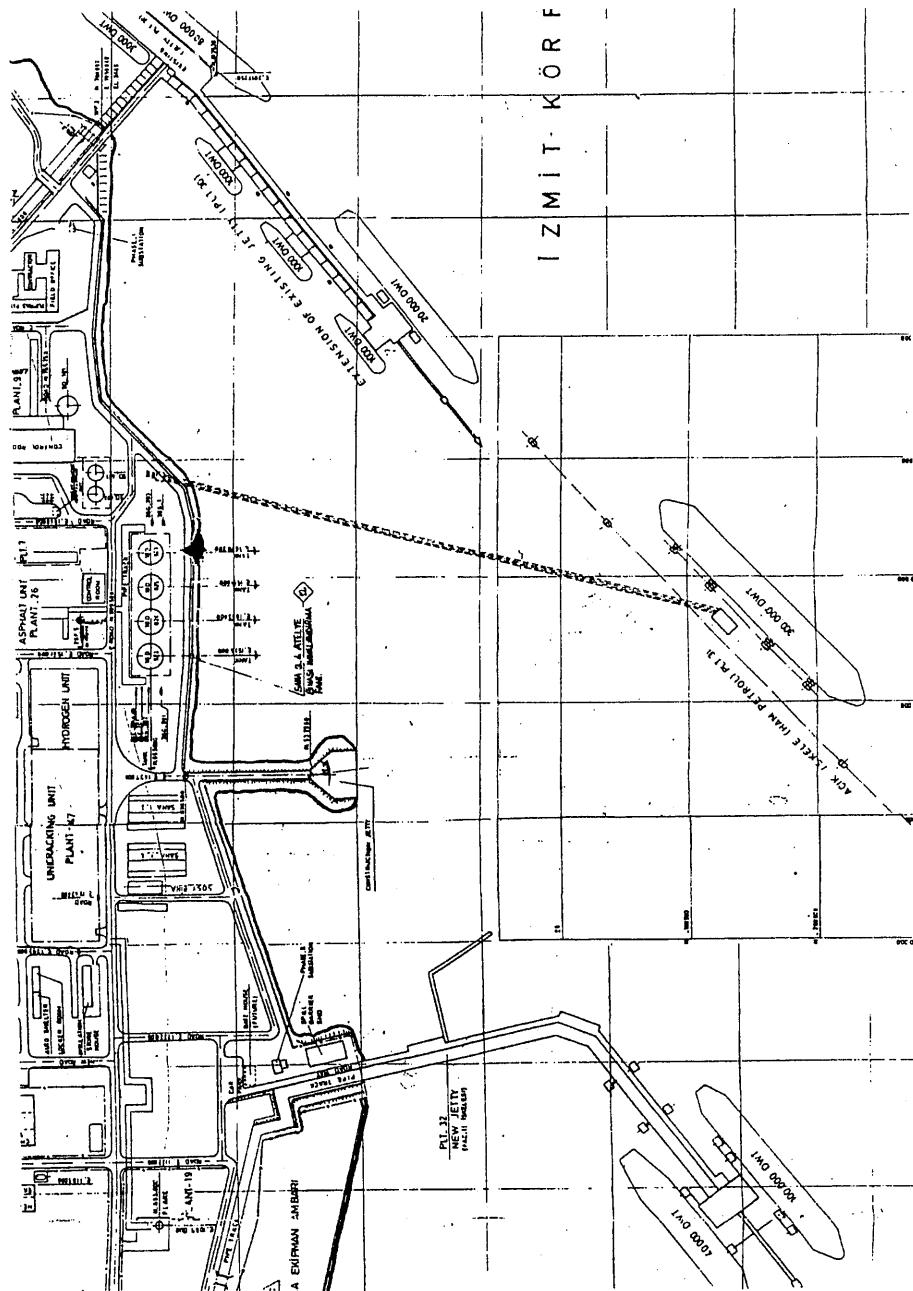
Şekil 11 IV-IV kesitinde zemin profili (EF rihtimi)

5.3 TÜPRAŞ

TÜPRAŞ'a ait deniz yapıları birbirinden bağımsız üç ayrı tesisten oluşmaktadır.

Bunlar

- Faz 1 Yanaşma iskeleleri
 - Denizaltı boru hattı koruyucu dolfenleri
 - Faz 2 Yanaşma iskeleleridir. (Şekil 12).



Şekil 12 Vaziyet Planı

Boru hattına koruyucu dolfenleri alt yapısı $\phi 24$ çelik boru kazıklar ve betonarme kazıkları ile teşkil olunmuştur. Üst yapı betonarme kiriş ve precast döşeme elemanlarından oluşmaktadır.

Faz 2 iskelesi bağlantı ve ulaşım iskeleleri ile yükleme platformu ve yaslanma dolfenlerinden oluşmaktadır. İskelerde ve yükleme platformunda sistem $\phi 609$ mm çaplı çelik boru kazıklar ve betonarme başlıklarla teşkil edilen altyapı üzerine oturtulmuş betonarme kiriş ve döşemelerden oluşmaktadır.

Faz 1 ve Faz 2 tesislerine ait zemin kesitleri sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'de görülmektedir.

Zemin Sınıfi		Zemin Kalınlığı	N
Su		9.70 - 15.50	
Çok Yumuşak Organik KIL	◎ — ◎	2.10 - 2.65	N = 0
Orta Sıkı Kabuklu Kum	§ § § § § § § § § § § §	2.00 - 5.45	N = 10 - 17
Katı Kumlu	X — X		
Siltli-KIL	X — X	0 - 1.90	N = 13
Sert Kumlu	X — X		
Siltli-KIL	X — X		N = 27 - 53

Şekil 13 Faz 1'e ait zemin kesiti

Zemin Sınıfı	Zemin Kalınlığı	N	ϕ / γ'
Su	Ort = 6m		
İnce KUM	3 m	N = ?	$\phi = 30$ $\gamma' = 0.9$
Çakılı Siltli Kum (Orta Sıkı)	6 m	N = 20 - 25	$\phi = 32.5$ $\gamma' = 1.0$
Katı Kumlu Siltli KIL	7 m	N = 30	$\gamma' = 1.1$
Sert KIL		N = 36	$\gamma' = 1.1$

Şekil 14 Faz 2'ye ait zemin kesiti

TÜPRAŞ iskelelerindeki hasarlar;

Faz 1 iskelesi

- 1- Faz 1 iskelesi yaklaşım anosunda deprem kuvvetlerinin etkisi ile düşey deformasyonlar olduğu, çelik boru kazıkların bazıları sakin su seviyesinde buruşarak deform olmuştu.
 - 2- Yaklaşım anosu üst yapısında boyuna betonarme kirişlerde özellikle kesitin taban yüzeyinde korozyon nedeniyle pas paylarının yer yer çatlayarak döküldüğü depremden önce var olduğu düşünülen bu olumsuzluklar sarsıntı nedeniyle daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.
 - 3- Yaklaşım anosu ucunda yer alan yanaşma platformunda H kesitli çelik kazıkların bazıları deprem etkisiyle hasar görmüştür. Bunların üst yapıya bağlandığı noktalarda betonarme tabliye kırılarak parçalanmış ve kazık ile tabliye arasındaki ankastrelilik kaybolmuştur.
 - 4- Yanaşma platformundan sonra yer alan yanaşma dolfenlerinde kenar akslarda yer alan kazıkların başlık kirişlerine bağlantı noktalarında kırılma ve parçalanmalar oluşmuştur.

Faz 2 iskelesi

- 1- Yükleme platformu dışındaki kesimlerde herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.

2- Yükleme platformunda özellikle çift kazıklı kesimlerde deprem kuvvetlerinin etkisiyle kazık başlık kırışının parçalandığı ve orijinal mesnetleme şekillerinin bozulduğu görülmüştür. Özellikle diyagonal biçimde çakılan kazık başlarının birbirine yaslanmaların meydana geldiği durumlarda, bu hasarlar daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

SONUÇLAR

- 1- Kıyı ve liman yapılarının seçimi ve planlanması depreme karşı mukavim tasarım kriterlerinin geliştirilmesi için yapılacak araştırmalara öncelik ve önem verilmelidir.
- 2- 17 Ağustos 1999 depremi kıyı yapılarında ve liman işletmeciliğinde önemli zararlara neden olmuştur. Bu hasara dolgu alanlarındaki sıvılaşma, kıyı alanlarındaki çökmeler ve yumuşak alüviyal kil tabakaların dinamik deformasyonu gibi bir çok faktör sebebiyet vermiştir. Bu nedenle kıyı yapılarının tasarımında zemin araştırmalarına önem verilmelidir.
- 3- Olması muhtemel yeni depremlerde, acil yardımların zamanında ve sağlıklı olarak halka ulaşılabilirlik deniz ulaşımı en uygun yoldur. Ancak bu yardımların elleçleme işlemini yapabilecek sistemlerin depremden sonra ayakta kalabileceği ve yanaşma yerlerinin zarar görmeyeceği sismik performansı yüksek özel rıhtımların limanlarda dikkate alınarak planlanması son derece önemlidir.
- 4- Ülkemizde deniz yapıları için tasarım kriterlerini içeren herhangi yönetmelik mevcut değildir. Bu nedenle deniz yapılarının tasarımında afet hallerini de dikkate alan her türlü deniz yapısı için yönetmeliklerinin hazırlanmasına gereklidir. Mevcut dikkate alınan deprem kriterleri, yeni deprem yönetmeliği çerçevesinde acilen gözden geçirilmelidir.
- 5- Dolgu alanlarında karşılaşılan sıvılaşma problemi için, bu tip alanlarda seçilecek dolgu malzemesi cinsi ve inşaat teknüğine uygun dolgunun oluşturulmasında tasarım standartlarına uyulmalıdır. Eğer zemin önemli miktarda kumla karışık çakıl yapıya sahipse bu zemin yapısının yoğunluğuna, ince malzeme yüzdesine, hidrolik iletkenliğine bağlı olarak sıvılaşabilir. 17 Ağustos depremi esnasında limanlardaki dolgu alanlarda sıvılaşma ve bununla birlikte çökmeler belirlenmiştir. Bu olay yanaşma

yapılarının, işletme binalarının ve elleçleme ekipmanlarının stabilitelerinin bozulmasına neden olmuştur.

- 6- Tasarımı yapılan deniz yapılarının, inşaatları sırasında projelerine uygun imal edilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle hasar görmüş yapılara 17 Ağustos depremi sonrasında rastlanılmıştır. Buna örnek olarak diyagonal kazık başlarında temas aralıklarının az bırakılması nedeniyle kırılmalar meydana gelmiştir.
- 7- Gerek yanaşma yerlerinde gerekse dalgakıranlarda uygun zemin şartlarını sağlayacak tarama sınırlarının oluşturulmasına özen gösterilmelidir. Yada ekonomik kriterlerde düşünülerek zemin ıslah çalışmaları yapılmalıdır.
- 8- Özellikle iskelelerde farklı dinamik davranışlara sahip yapıların bir arada kullanılması bu yapıların daha fazla hasar görmesine neden olduğu 17 Ağustos depremiyle belirlenmiştir. Örneğin kompozit alt yapıya sahip bir yanaşma tesisinde üst yapının daha fazla deformasyon yaptığı görülmüştür. (Çelik ve betonarme kazığın birlikte kullanıldığı sistemlerde).
- 9- Bloklu ağırlık tipi rihtimlarda blok boyutları sismik performansı artıracak biçimde seçilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek veren YTÜ Araştırma Fonu Başkanlığına, DLH Genel Müdürlüğü ve IV.Bölge Müdürlüğüne, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ALPAR B, (1999), "Underwater Signatures of 1999 Kocaeli Earthquake" Turkish Journal of Marine Sciences, Institute of Marine Sciences and Management, University of Istanbul, V: 5, No: 3, pp: 111-129.

ALPAR, B., YALTIRAK, C ve AKKARGAN, Ş. (1999). Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 17 Ağustos 1999 depreminin İzmit körfezi ve Marmara çıkışı genç çökelleri üzerindeki etkileri, Aktif Tektonik Çalışma Grubu, Sempozyum, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

ALTINOK, Y. and ERSOY, Ş. (1998). Tsunamis observed at Turkish coasts and near surroundings, 7th International Symposium on Natural and Man-Made Hazards, Hazards 98, May 12-22, 1998, Crete Island, Greece.

ALTINOK, Y., ALPAR, B., ERSOY, E., YALÇINER, A.C. ve DOĞAN, E. (1999). Tsunami generation of the Kocaeli earthquake (August 17th 1999) in the Izmit Bay; coastal observations, bathymetry and seismic data, *Turkish J. Mar. Sci.* 5: 5(3): 130-144.

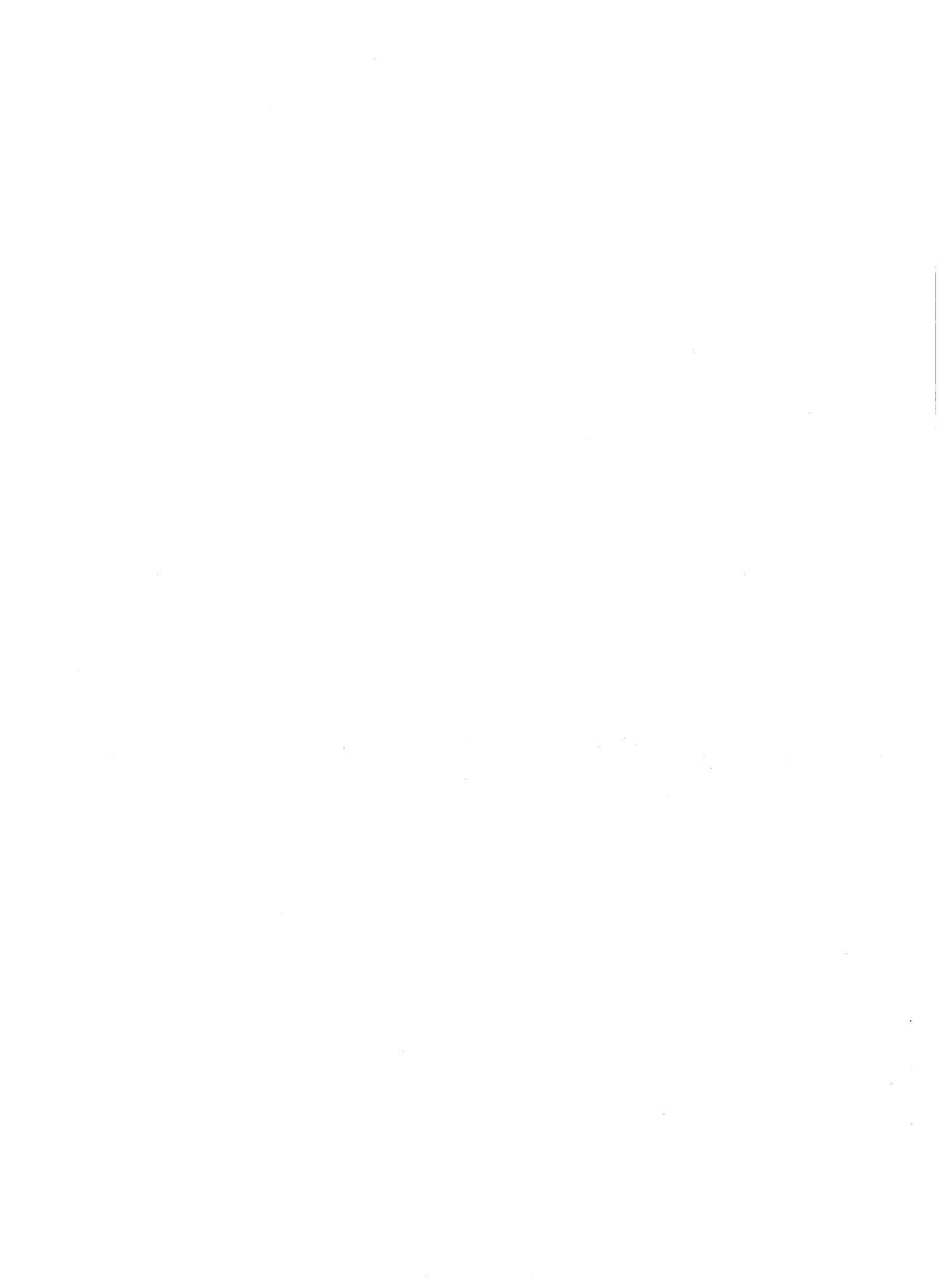
AMBRESEYS, N.N. and FİNKEL, C.F. (1995). Seismicity of Turkey and Asdjacent Areas, A Historical review, 1500-1800. Eren Yayıncılık ve Kitapçılık Ltd., 224p.

BARKA, A.A. (1992). The North Anatolian fault zone, *Annales Tectoncae*, Special Issue to Volume 6: 164-195.

SOYSAL, H. (1985). Tsunami (deniz taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler, İ.Ü., Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 2: 59-67, İstanbul.

YALÇINER, A.C., SYNOLAKIS, C.E., BORRERO, J., ALTINOK Y., WATTS P., IMAMURA, F., KURAN, U., ERSOY, Ş., KANOĞLU, U. and TINTI, S. (1999). Tsunami Generation in Izmit Bay by 1999 Izmit Earthquake, Proceedings of International Conference on Kocaeli Earthquake, ITU, Dec. 2-5, 1999, Istanbul, pp. 217-221.

YÜKSEL, Y., YALÇINER, A.C., ALPAR, B., ÇEVİK, E., ÇELİKOĞLU, Y., ÖZMEN, İ., ÖZGÜVEN, O., BOSTAN, T., GÜRER, S., (2000) "Doğu Marmara Depreminin Deniz Yapıları ve Kıyı Alanları Üzerindeki Etkileri" 99-05-01-01 AFP Projesi Rapor1 Yıldız Teknik Üniversitesi.



**İSTANBUL İÇİN TAHMİN EDİLEN DEPREM
SENARYOSUNUN HAYDARPAŞA LİMANI ÜZERİNDEKİ
OLASI ETKİLERİ**

ÖZMEN Haluk İbrahim¹

YÜKSEL Yalçın²

ÇEVİK Esin³

ÖZGÜVEN Oya⁴

¹**Dr. Mühendis Ulaştırma Bak. DLH İnşaatı 4. Böl. Müd.**

²**Prof. Dr YTÜ İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl.**

³**Yrd. Doç. Dr. YTÜ İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl.**

⁴**Jeoloji Mühendisi Ulaştırma Bak. DLH İnşaatı . 4.Böl.Müd.**

ÖZET

Marmara denizinde olması beklenen ve İstanbul'u yoğun bir şekilde etkileyeceği tahmin edilen muhtemel bir deprem sonrasında, stratejik tesisler olan ulaşım sistemleri yoğun olarak hizmet verecektir. Deniz ulaşımından bu dönemde yoğun olarak yararlanılacak olup Haydarpaşa Limanı İstanbul'un merkezinde yer alması nedeniyle bu

faaliyetin en fazla gerçekleştirildiği tesis olacaktır. Bu çalışmada Haydarpaşa Limanının mevcut yapısının yapım ve projelendirme kriterleri dikkate alınarak muhtemel bir depremden ne şekilde etkileneceği benzer örneklerinden yararlanılarak ortaya konmuş ve deprem sonrasında kesintisiz hizmet vermesi için şimdiden ne gibi önlemler alınması gereği belirlenmiştir.

1.GİRİŞ

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Marmara Depremi sonrasında İzmit körfezinin güney ve kuzey sahillerinde mevcut birçok kıyı tesisi çeşitli derecelerde hasar görmüş ve bazıları da tamamen işletme dışı kalmıştır. Bu durum sonucunda bu tesislerin deniz ticaretine yaptıkları katkıların olumsuz bir şekilde etkilenederek, gerilemesi durumu ile karşı karşıya kalınmıştır.

Stratejik öneme sahip olmaları nedeniyle, doğal afetlerde yoğun olarak kullanılacak ulaşım alt yapı tesislerinin fonksiyonlarını sürdürürebilecek şekilde planlanmış ve inşa edilmiş olmaları önemli bir husustur.

Gelecekte Marmara denizinde olması muhtemel yeni bir depremde İstanbul il sınırları içinde yer alan kıyı tesislerinin, kara ulaşımı alt yapı tesislerinin yoğun bir şekilde hasar görebileceği düşünüldüğünde ne kadar stratejik bir konumda bulundukları anlaşılacaktır.

Bu doğrultuda özellikle Haydarpaşa Limanının muhtemel yeni bir depremi en az hasarla atlatması için gerekli araştırma ve iyileştirme çalışmalarının öncelikle ele alınması önem kazanmaktadır.

Haydarpaşa Limanı, Trakya ve Anadolu'da hinterlandı olan yegane ithalat ve ihracat limanımızdır. Bu çalışmada stratejik bir alt yapıya sahip olan bu tesisin halihazırda ve gelecekte görevceği işlev göz önünde bulundurularak; Marmara denizinde gelecekte gerçekleşme olasılığı yüksek olan büyük bir depremden sonra, ne şekilde etkilenebileceği ve rehabilitasyonu için gereken mali portrenin ne olacağı; proje, inşa ve

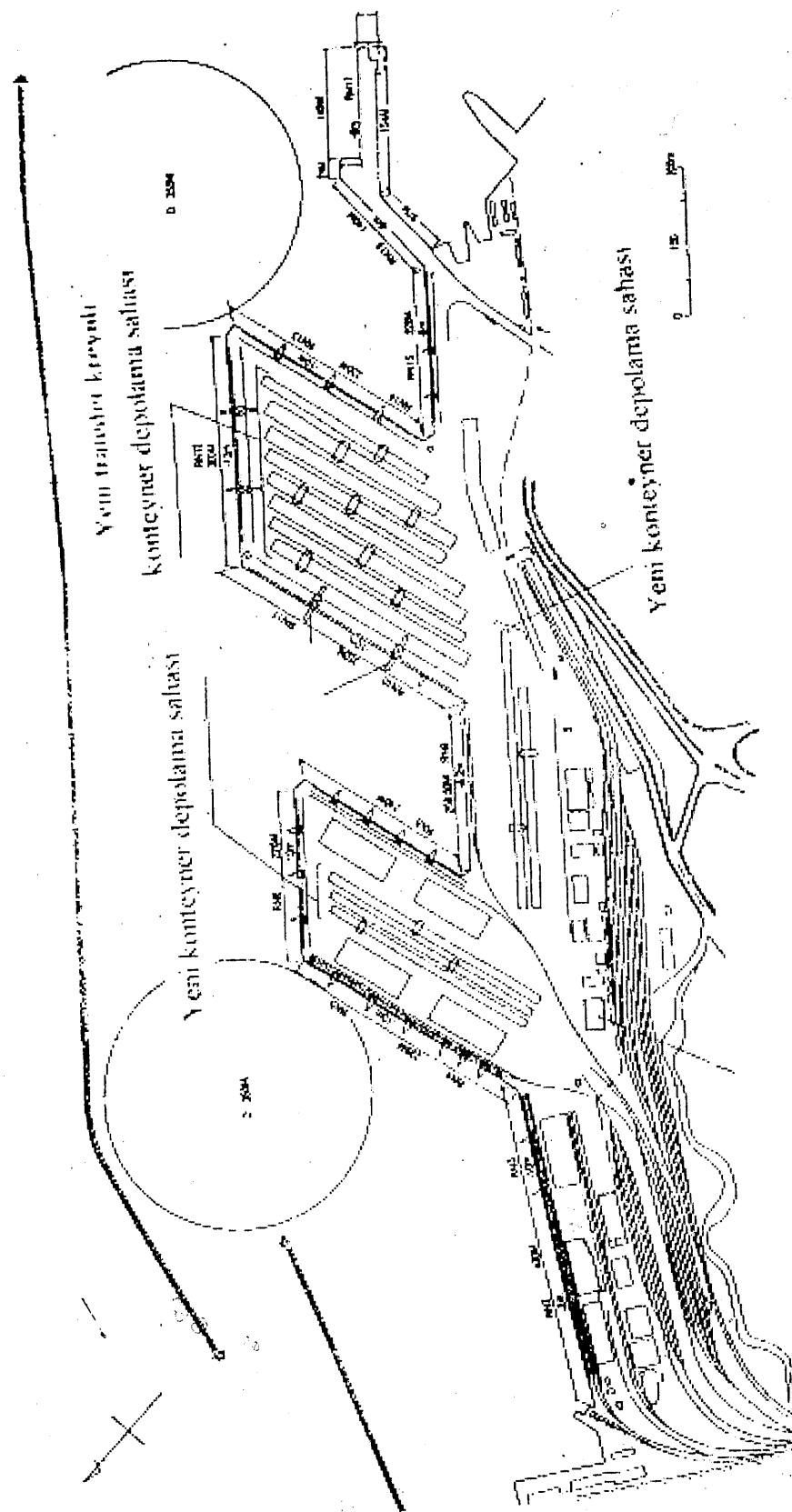
işletme koşulları dikkate alınarak tahmin edilmiş ve ileriye yönelik alınması gereken önlemler belirlenmiştir.

2. HAYDARPAŞA LİMANI

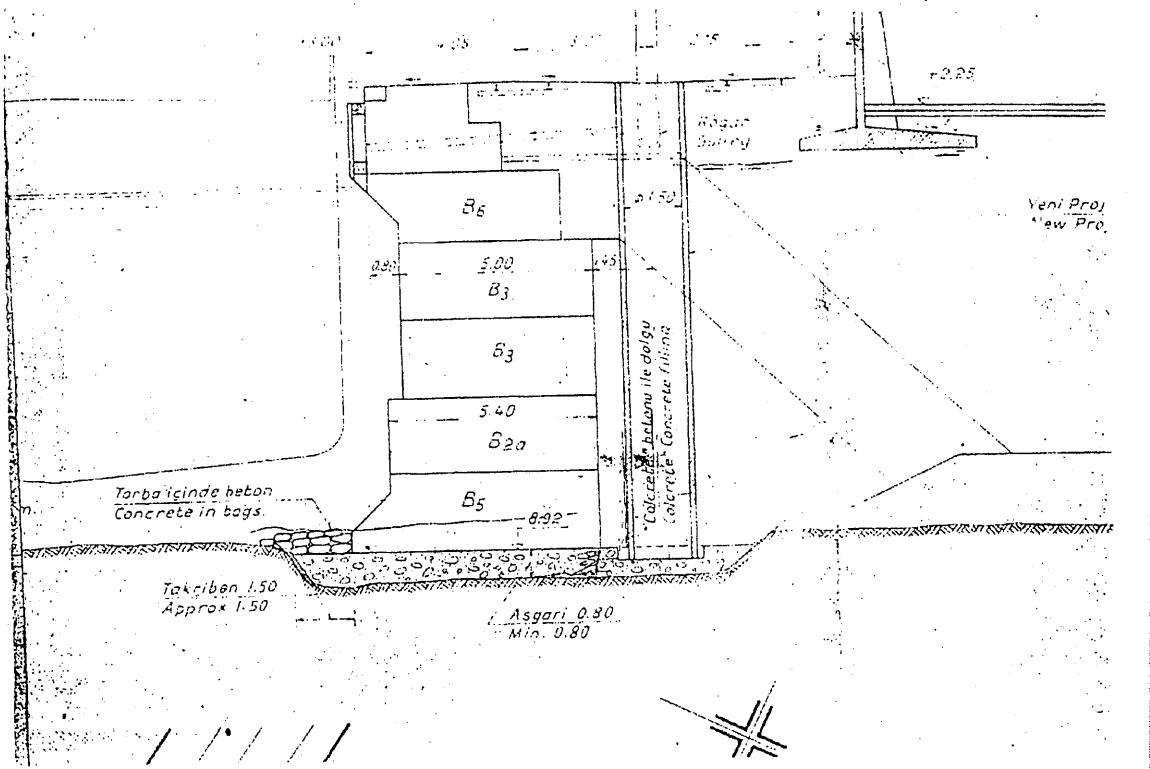
1965 yılından itibaren yapımına başlanılan Haydarpaşa Limanındaki yenileme çalışmaları son olarak 1995 yılında tamamlanarak proje şimdiki haline getirilmiştir. Liman iki ayrı bölümde inşa edilmiştir. Bunlardan birincisi 1965-1975 yılları arasında tamamlanarak hizmete giren hububat rihtımı ve parça eşya rihtımı diğeri ise 1978-1995 yılları arasında inşa edilen konteyner ve feribot yanaşma yerleri ile Ro-Ro iskelesi ve kapak atma rampasıdır.

Şekil 1'deki liman genel vaziyet planından görülen ve 1. bölümünü oluşturan 2 ve 9 numaralı rihtımlar arasında kalan kısımlar değişik derinliklerde beton bloklu olarak inşa edilmişlerdir (Şekil 2)

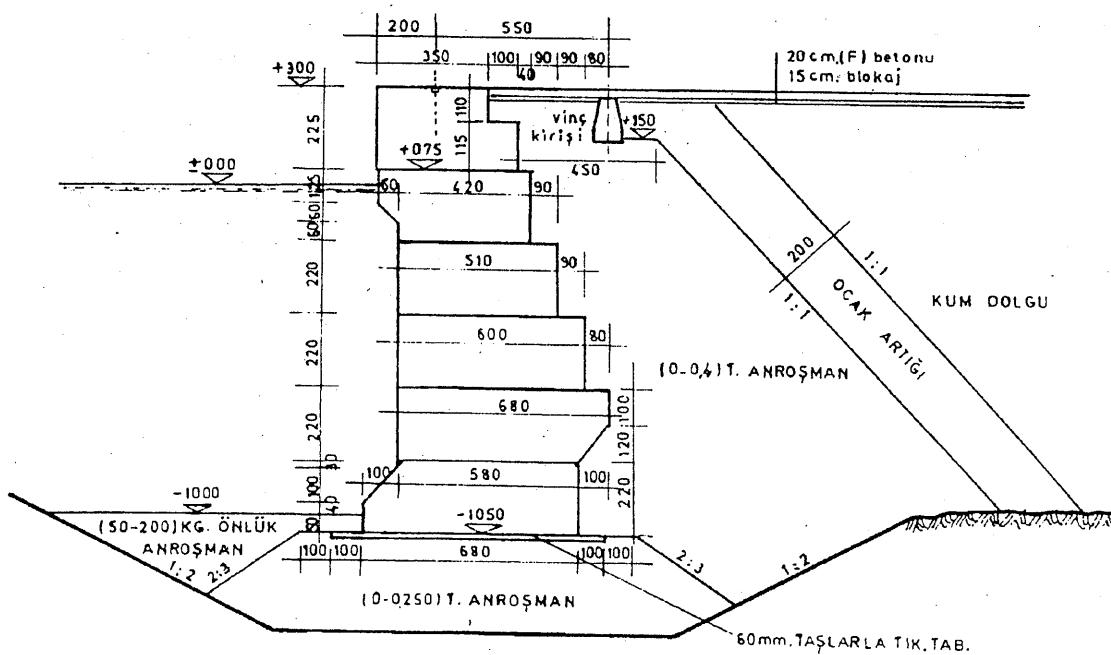
Konteyner rihtımları (10-14 nolu) ve dökme yük rihtımı da (15 nolu) çeşitli derinliklerde beton blok tipinde inşa edilmişlerdir (Şekil 3 ve Şekil 4). 17 ve 18 nolu rihtımlar dolu gövdeli olarak beton blokla inşa edilmiş olup 17 nolu kesim, dış tarafına çelik boru kazıklar üzerinde teşkil edilmiş Ro-Ro kapak atma rampası ve yanaşma iskelesi inşa edilerek yenilenmiştir.



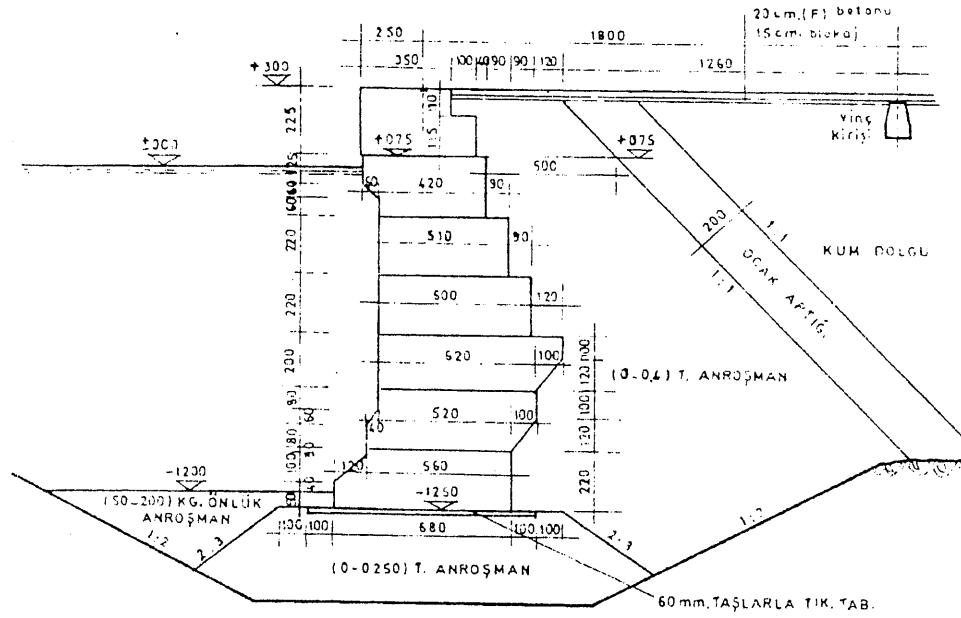
Sekil 1 Haydarpasa limanı genel vaziyet planı



Şekil 2 Parça eşya rihtimi – 8,00 m'lik bloklu rihtim kesiti

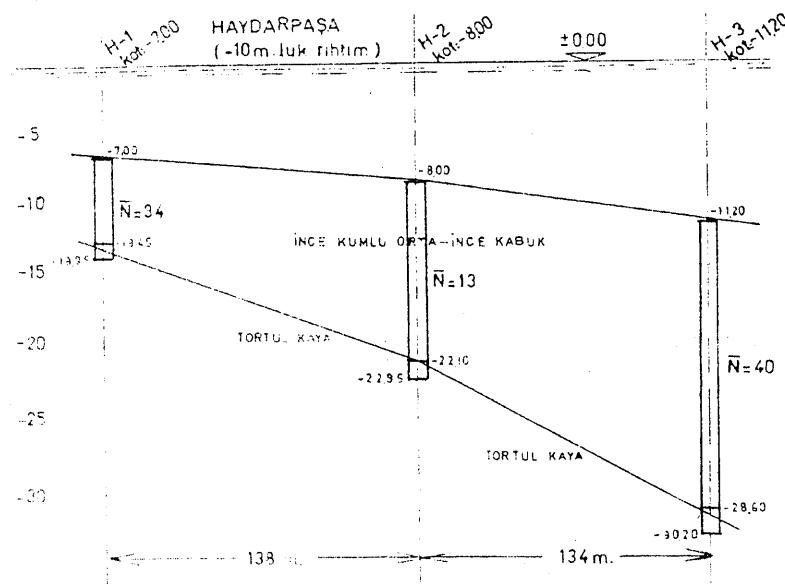


Şekil 3 Konteyner molü –10,00 m'lik bloklu rihtim kesiti



Şekil 4 Konteyner molü -12,00m'lik bloklu rihtim kesiti

Haydarpaşa liman sahasının geoteknik yapısını karakterize etmek üzere Şekil 5' de verilen ve zemin profilinden görüleceği üzere 3 değişik yerde yapılan sondajlardan deniz tabanı seviyesinden itibaren -13,95m ve -28,60 m derinliğe kadar kabuklu ince kum tabakası bulunduğu ve bu derinliklerden sonra taşıyıcı kaya tabakasına inildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5 Haydarpaşa limanı konteyner terminal sahası zemin kesiti

2.1. Haydarpaşa Limanının Mevcut Yapısı İle İlgili Değerlendirmeler

Gerek parça eşya rihtimi ve gerekse konteyner rihtim yapıları birbirinin benzeridir. Ancak parça eşya rihtiminde ve konteyner rihtiminde önemini vurgulanması gereken iki ana unsur bulunmaktadır. Bunlar sırası ile;

1. Rihtim gerisinde kullanılan dolgunun niteliği,
2. Rihtim vinçlerinin hareket ettiği yürüme yollarının(vinç kirişlerinin) dizayn ve inşa şekli.

Parça eşya molünde rihtim gerisinde kullanılan dolgunun niteliği konusunda bilgi verecek yeterli doküman elde edilememiştir. Ancak rihtim vinçlerini kara tarafındaki ayaklarının üzerinde hareket ettiği kirişlerin dizaynı, elastik zemine oturan sürekli temel gibi hesaplanarak yapılmıştır.

Konteyner rihtiminin bulunduğu alanın büyük bir kesiminin dolgusunda ise liman sahası olarak planlanan alanın taranması neticesinde çıkarılan kum kullanılmıştır. Bu durum Şekil 3 ve 4 de uygulama kesitlerinde de görülmektedir. 11 ve 12 nolu rihtim üzerinde yer alan ve uygulama kesitlerinde sürekli temel şeklinde inşa edildiği görülen konteyner vinç kirişleri 90'lı yıllarda yaşanan çeşitli olumsuzluklar nedeniyle kırılarak kaldırılmış ve çelik boru kazıklar üzerinde yeniden inşa edilmişlerdir. 13 numaralı rihtim üzerinde bulunan vinçler ise sürekli temel gibi dizayn edilmiş ve inşa edilmiş kirişler üzerinde hareket etmektedirler.

3. MARMARA DEPREMİNDE BENZER TESİSLERDE OLUŞAN HASAR TIPLERİ

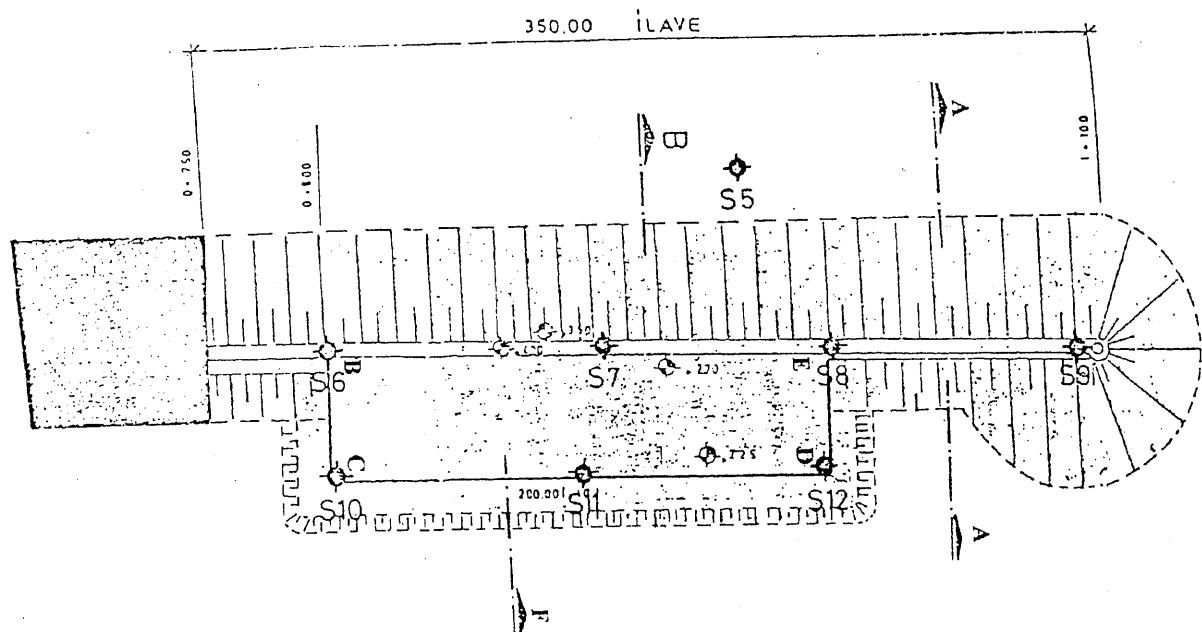
3.1. Tuzla tersanesi limanı

Tuzla Tersanesi Limanı (Şekil 6) ana dalgakıransı içinde yer alan -10,00 m. derinlikli rihtımlar ağırlık tipi beton bloklu rihtım olarak inşa edilmiştir (Şekil 7). Rihtım arkasında 200x50 m boyutlarında geri saha bulunmaktadır. Bu sahanın oluşturulmasında

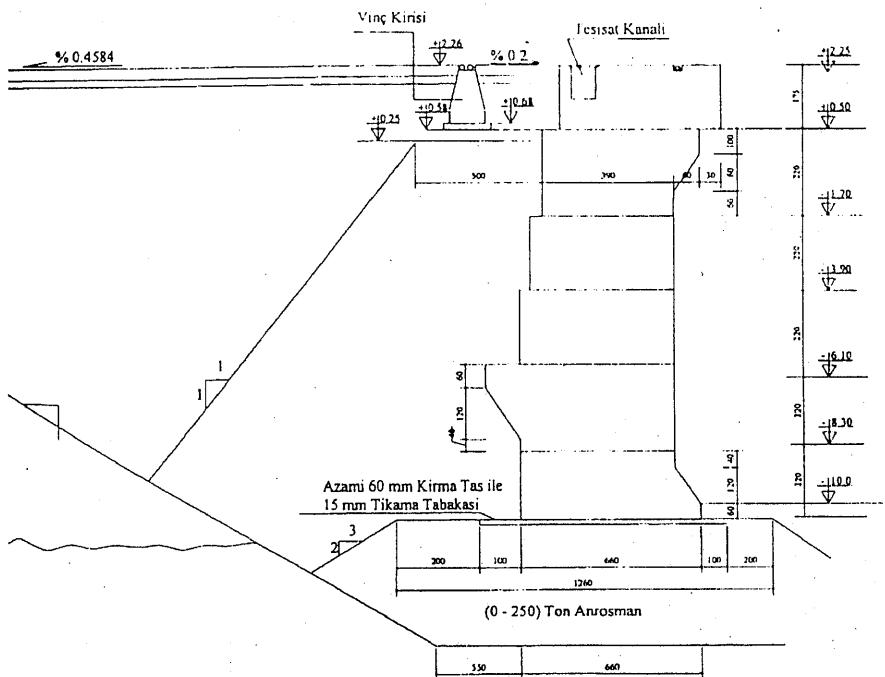
ve rihtim arkasında kullanılan malzeme (0-0,4)ton kategorik malzeme ve KAT özellikli malzemedenir.

Marmara depreminde bu tesiste meydana gelen tipik hasarlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Rihtim hattında kronman duvarı ile geri saha arasında 10-35 cm'lik açılalar meydana gelmiştir.
2. Rihtim kronmanı ile geri saha arasında ki açılalar nedeniyle vinç rayları arasındaki standart aks aralığı orijinal ölçüsünü yitirmiştir.
3. Rihtim geri sahasında orijinal kotuna göre ortalama 20 cm mertebesinde oturmalar oluşmuştur (Resim 1).
4. Geri sahadaki farklı oturmalar nedeniyle beton saha kaplamasında rihtim hattına paralel kırılma ve çatlamlar meydana gelmiştir (Resim 2).
5. Su altında yapılan tetkiklerden bazı rihtim bloklarının orijinal konumlarına göre 20 cm ye varan şekilde denize doğru kaydıkları gözlenmiştir.
6. Rihtim köşelerindeki blokların kenetlenme şekilleri nedeniyle birbirlerini aşırı zorlaması sonucunda kronman duvarının bu kesimlerde kırılma ve çatlamasına yol açmıştır.



Şekil 6 Tuzla tersane limanı ana mendirek ve rihtimi



Şekil 7 –10,00 m'lik rihtim kesiti



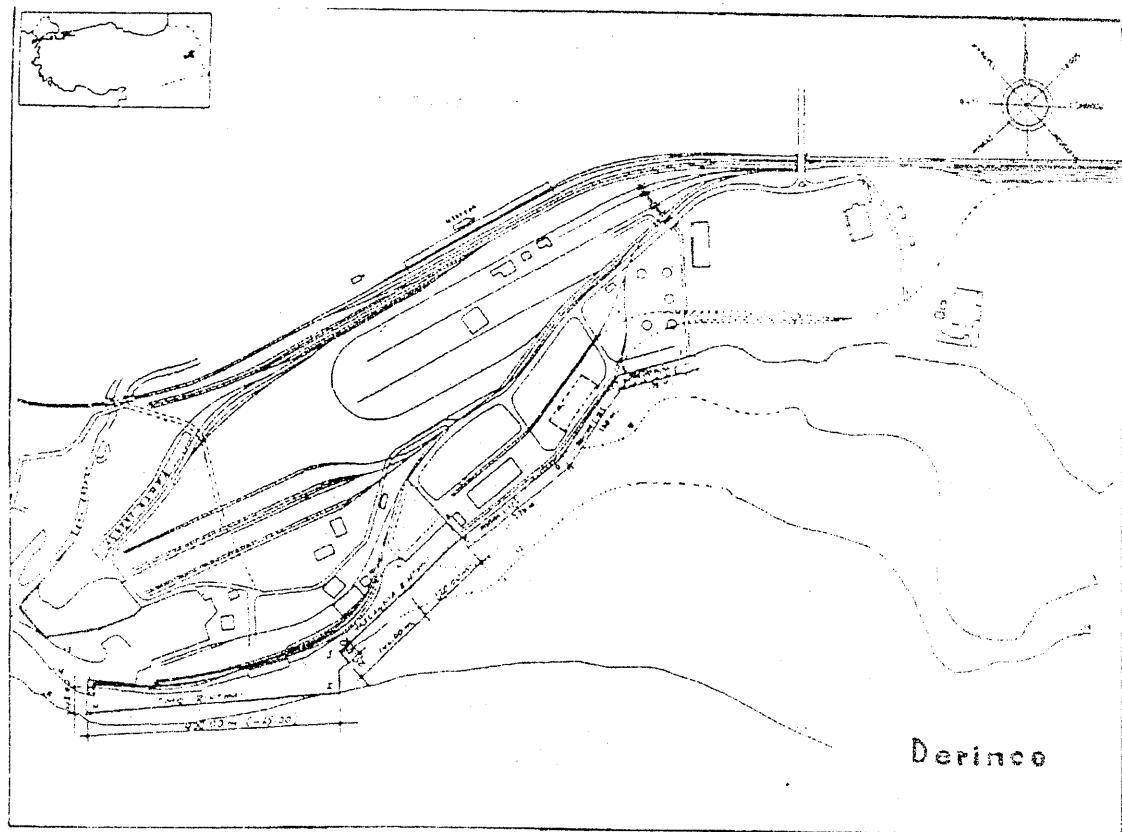
Resim 1 Tuzla rihtim sahasında oluşan oturmalar



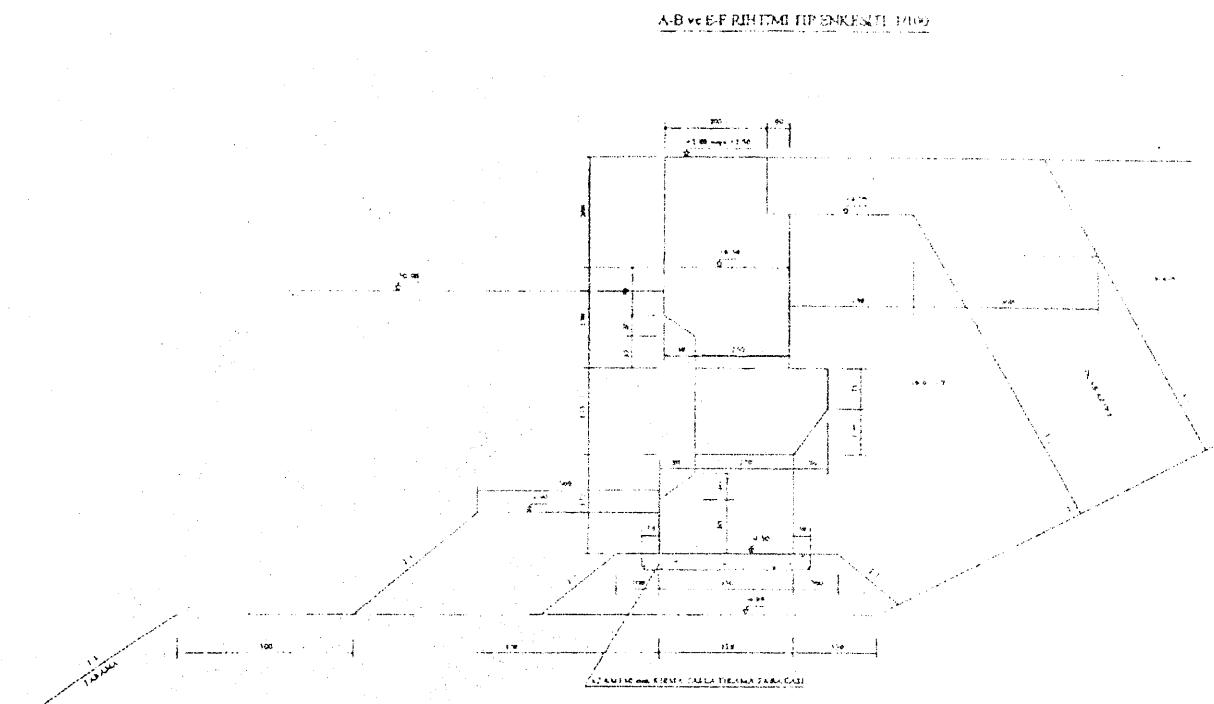
Resim 2 Rıhtım arkası saha kaplamasında oluşan kırılma ve çatlaklar

3.2. Derince Limanı

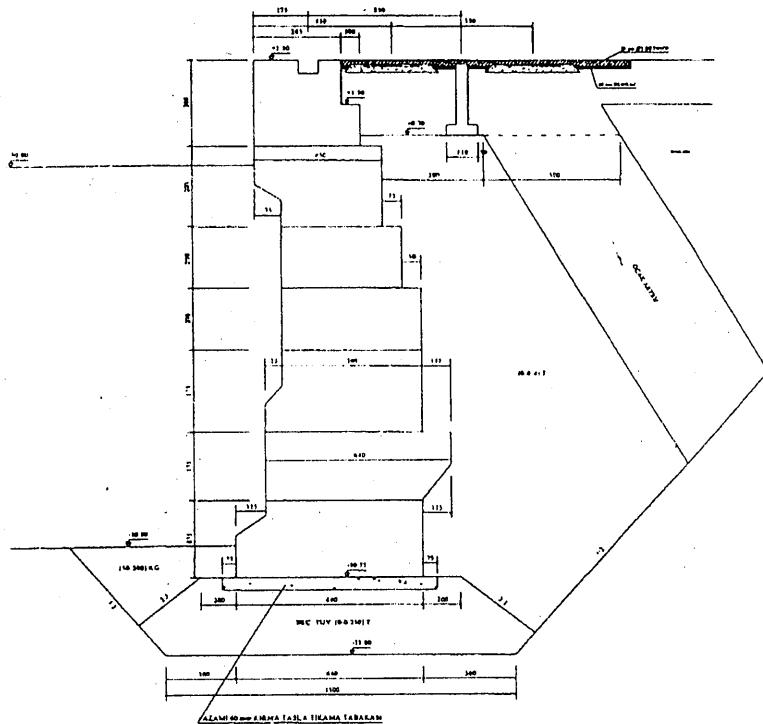
Derince limanı sahasında bulunan yanaşma tesislerini yapısal olarak iki ayrı grupta değerlendirmek gereklidir (Şekil 8). Bunlardan birinci grubu beton bloklu rıhtımlar teşkil etmekte olup (-4,00)m, (-10,00)m ve (-12,00) m derinlikli olarak inşa edilmişlerdir (Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11). İkinci grup yapıları ise, 1980 yılından sonra inşa edilen çelik kazıklı rıhtım tipinde yapılar teşkil etmektedir (Şekil 12, Şekil 13).



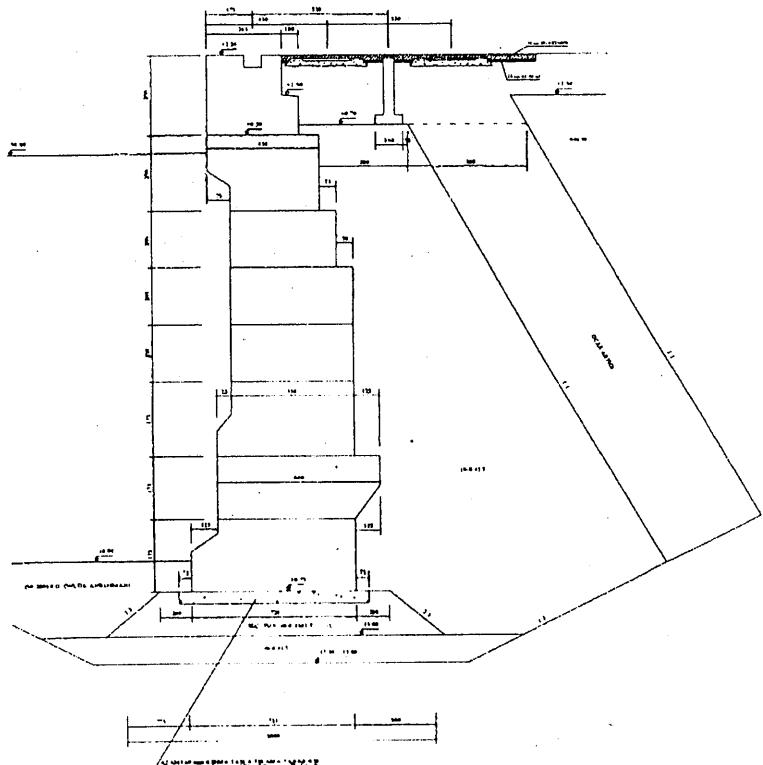
Şekil 8 Derince limanı genel yerleşim planı



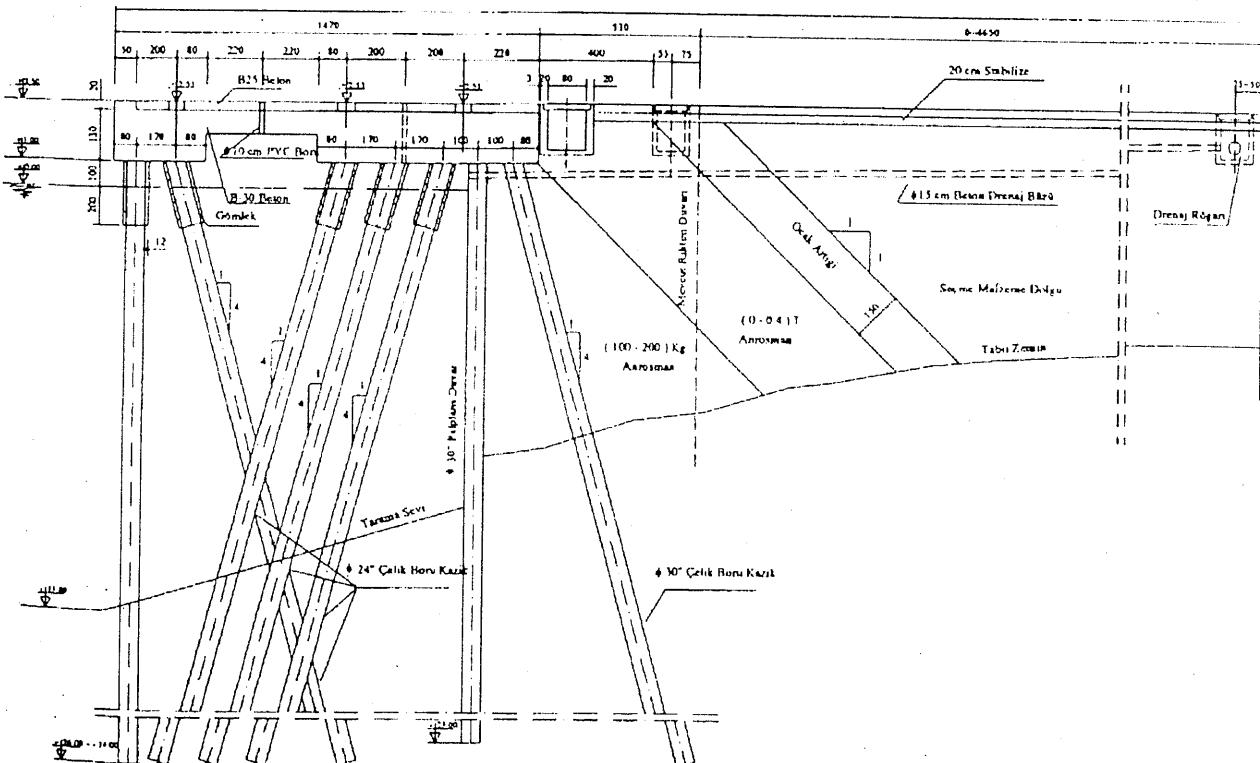
Sekil 9 4.00 m'lik bloklu rihtim kesiti



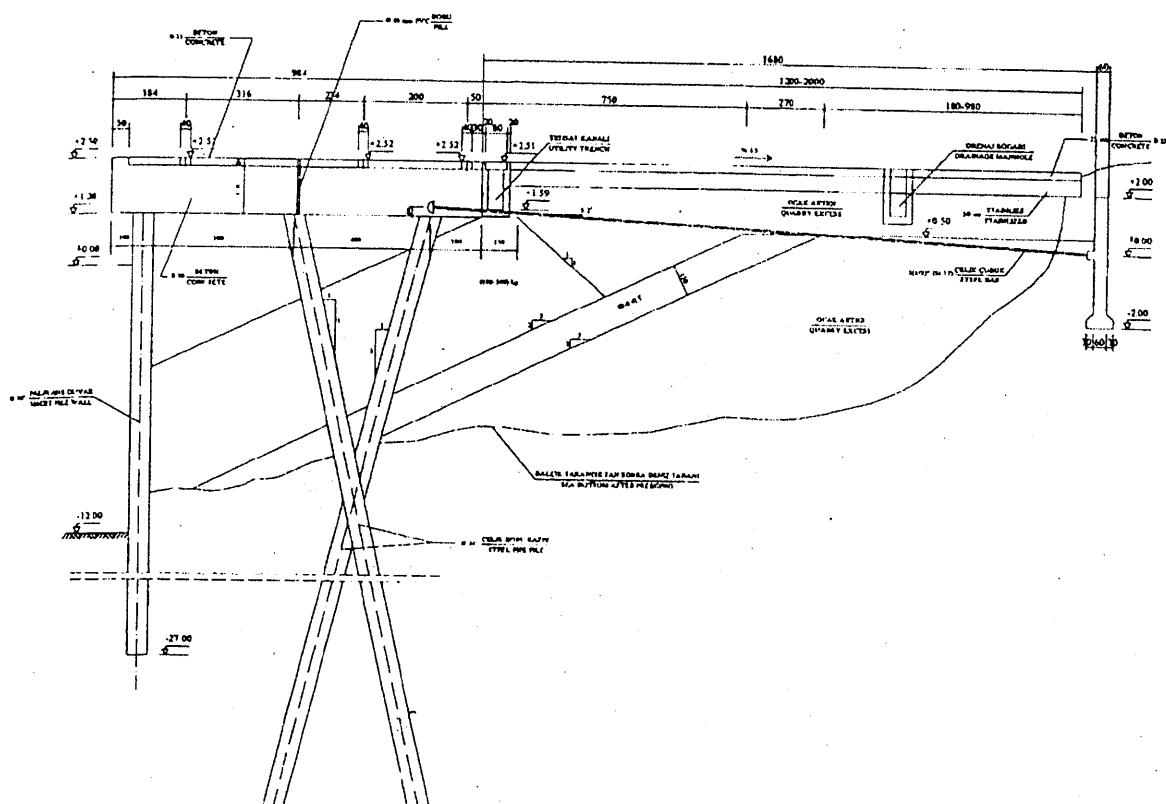
Şekil 10 -10,00 m'lik rihtim kesiti



Şekil 11 - 12,00 m'lik bloklu rihtim kesiti



Şekil 12 TMO yanaşma rihtımı



Sekil 13 Yaslanma rihtimi

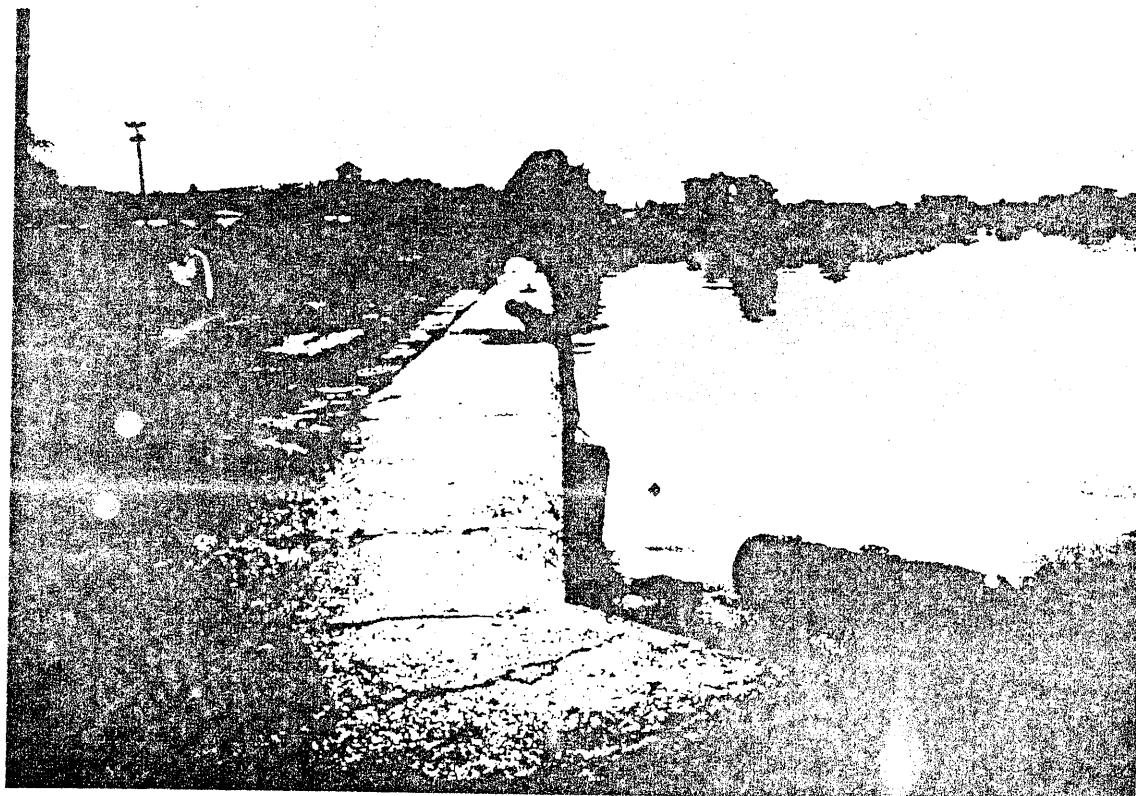
Değişik derinliklerde ve boylarda inşa edilen beton bloklu rihtimler arkasında geniş bir alan mevcuttur. Bu sahanın oluşturulması sırasında rihtim arkasında 0-0,4 ton ve ocak artığı malzeme ile filtre oluşturulmuş ve sahanın kalan kesimleri dere ağzından taranan çakılı kum basılmak suretiyle doldurulmuştur. Bloklu rihtimlerin gerisinde yer alan saha üzerinde transit ambarlar bulunmaktadır.

Büyük bir bölümü TMO tarafından inşa edilen ikinci bölüm iskele ve Ro-Ro yaslanması rihtimleri yüzeğinde boru kazıklar üzerinde inşa edilmiş olup iskele arkası dolgu alanları çelik boru kazıkla teşkil edilen palplanş duvarı ile tutulmuştur.

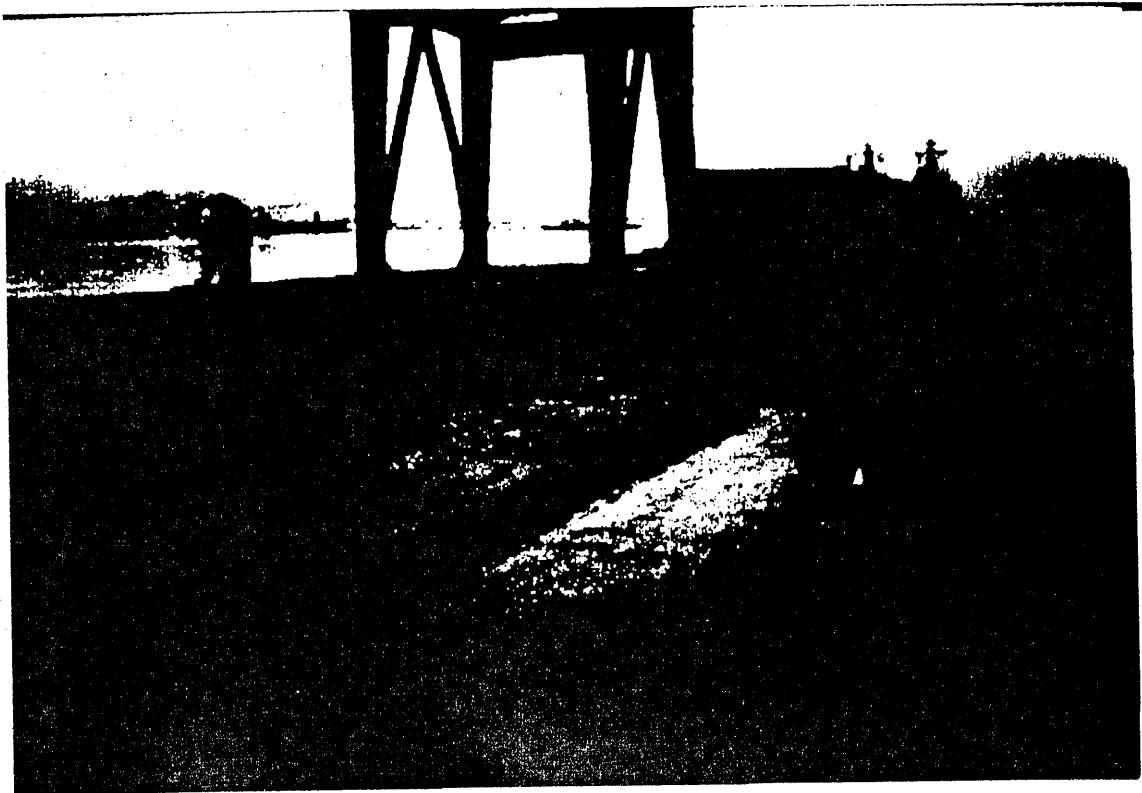
Marmara depreminde Derince limanında meydana gelen tipik hasarlar aşağıda sıralanmıştır.

1. -4,00 m derinlikli beton bloklu rihtim arkasındaki sahada rihtim hattına paralel yarık ve çatlaklar oluşmuş rihtim hattı orta kesimlerinde denize doğru yatay olarak deplasman yapmıştır (Resim 3).
2. -10,00 m'lik rihtim arkasındaki dolgu alanında rihtim üst kotuna göre 70cm ye varan şekilde düşey deformasyonlar meydana gelmiştir (Resim 4).
3. Bu durum nedeniyle rihtim üzerindeki vinç ray aralıkları orijinal ölçülerini yitirmiştir olup vinçlerin deniz tarafındaki ayakları raylardan çıkmıştır. Bu nedenden ötürü 12,00 m'lik rihtim arkasındaki vinçlerden birisi devrilmiştir (Resim 5).
4. -10,00 m'lik rihtim doğrultusu boyunca denize doğru deplasman yapmıştır. Bu deplasman neticesinde rihtim kromptomu ile geri saha kaplaması arasında 50 cm ye varan açımlar oluşmuştur (Resim 6).
5. 12,00 m derinlikli rihtim hattında herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.
6. -10,00 m ve -12,00 m'lik rihtim gerisinde yer alan transit ambarlar hasar görerek kullanılamaz hale gelmiştir.
7. -10,00 ve -12,00 m'lik rihtim hattı gerisinde dolgu malzemesi olarak kumlu malzeme kullanılması nedeniyle sivilaşma meydana geldiğini kanıtlayan görüntüler mevcuttur (Resim 7).
8. TMO tarafından inşa ettirilen yanışma rihtimi, Ro-Ro kapak atma rampası ve yaslanması rihtimlerinde genel olarak işletmeyi engelleyici derecede herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.

9. Yanaşma rihtimi üzerinde çalışan ve tahıl yükleme boşaltılmasında kullanılan vinçlerin deniz tarafındaki ayakları; yatay deformasyonlar sonucu ray akşları arasında oluşan 1-2 cm mertebesindeki sapmalar nedeniyle raydan çıkararak işletme dışı kalmışlardır. İskele ve rihtimlerin su seviyeleri altında kalan kesimlerinde yapılan su altı tetkikleri neticesinde kayda değer hasar ve olumsuzluk görülmemiştir.



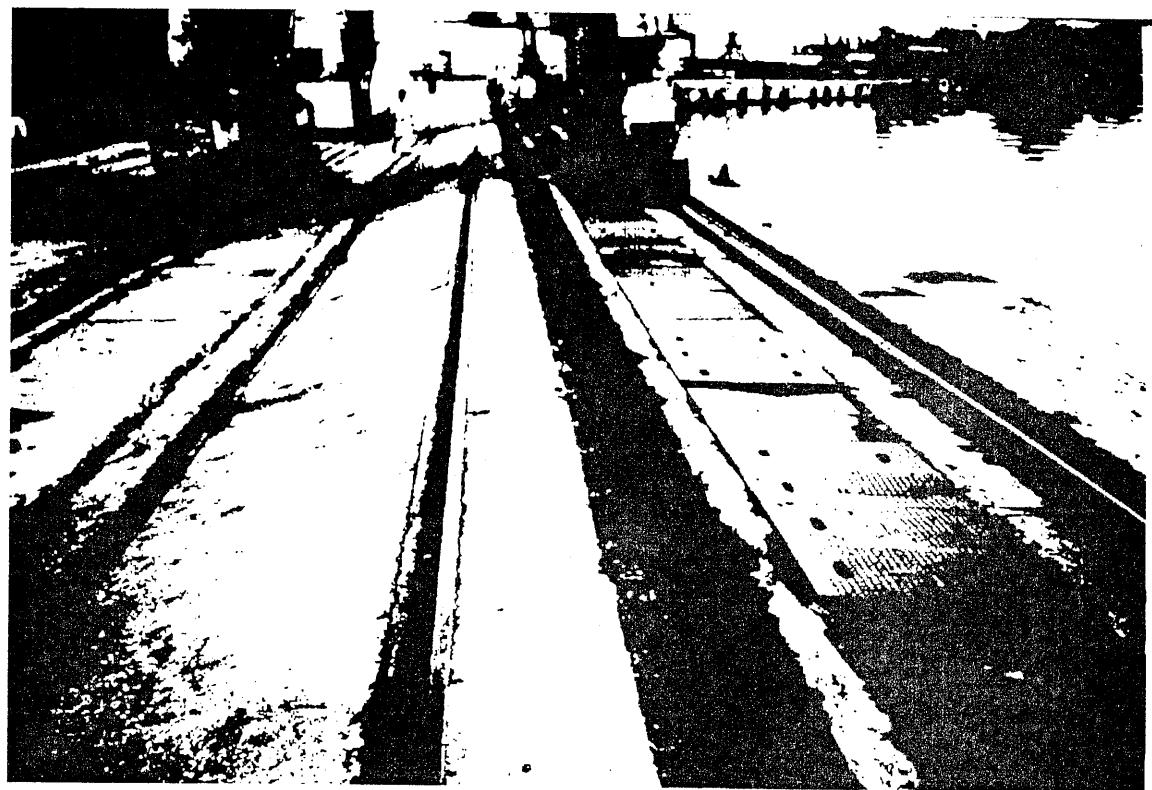
Resim 3 –4,00 m'lik rihtim arkası sahada oluşan kırılmalar



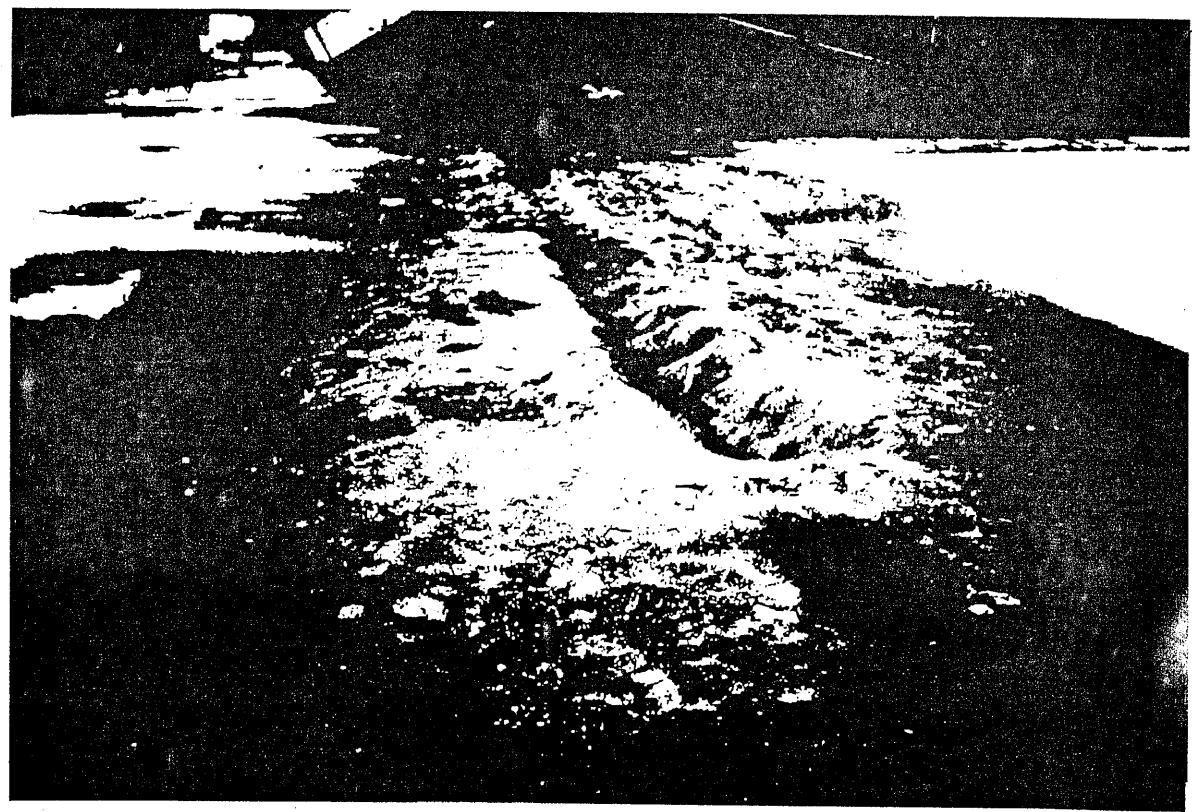
Resim 4 Rıhtım geri sahasında oluşan düşey deformasyonlar



Resim5



Resim 6



Resim 7

4. MARMARA DENİZİ ORİJİNLİ OLASI YENİ BİR DEPREMDE HAYDARPAŞA LİMANININ KARŞILAŞABİLCEĞİ OLUMSUZLUKLAR

Haydarpaşa limanının mevcut alt yapısının karakteri ile benzer özelliğe sahip Tuzla ve Derince limanlarında 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Doğu Marmara depreminden oluşan hasar tipleri ile Haydarpaşa limanının altyapısındaki risk faktörleri dikkate alınarak gelecekte olması muhtemel yeni bir depremde Haydarpaşa limanında beklenebilecek hasar tipleri ve nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Parça eşya ve özellikle konteyner terminali depolama sahalarında büyük ölçüklü düşey deformasyonlar beklenmelidir. Bu ihtimali güçlendiren özellikle konteyner terminal sahasında kullanılan dolgu malzemesinin cinsi ve niteliğidir. Bu alanda kullanılan kum dolgunun sıvılaşma limitleri içinde kaldığı belirlenen Derince limanı rihtım geri dolgu malzemesi ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca Marmara depreminden sonra Haydarpaşa limanında yapılan gözlemlerde tüm sahada öneksizde olsa küçük ölçüktedüşey deformasyonlar gözlenmiştir.
2. Parça eşya ve konteyner terminal sahasında meydana gelebilecek düşey deformasyonlar sonucunda saha kaplamasında rihtım hatlarına paralel çatlak ve yarılmalar ile kabarmalar beklenmelidir.
3. Saha kaplamasında meydana gelebilecek hasara paralel olarak parça eşya ve gerekse konteyner terminali sahasında depremden sonra elektrik, su ve saha drenaj sisteminin tamamen hasar görerek devre dışı kalması beklenmelidir.
4. Parça eşya molü rihtımlarında işletilmekte olan vinçlerin ayakları; deniz tarafında beton blokları olarak inşa edilen rihtım yapısına oturan raylar üzerinde, kara tarafındaki ayakları ise sürekli temel kırıcı üzerine yerleştirilmiş olan raylar üzerinde hareket etmektedir. Deprem sırasında bu iki yapı farklı yatay davranış göstermesi ve sahadan olacak düşey deformasyonlar nedeniyle kara ve deniz tarafındaki vinç rayları arasında kot farklılıkların oluşması ihtimal dahilindedir. Bu durumda ray aksları arasındaki orijinal açıklığın bozulması sonucunda vinç ayaklarının raydan çıkışabileceği bazı vinçlerin de devrilebileceği beklenmelidir.

5. Konteyner terminalinin 11 ve 12 nolu rihtimlerinde 2 şer adet olmak üzere 4 adet konteyner vinç çalıstırılmaktadır. Olası bir depremde vinçlerin yürüme yollarının oturduğu yapı farklılığı nedeniyle farklı yatay deplasmanların meydana gelebileceği düşünüldüğünde bazı vinçlerin, özellikle deniz tarafındaki ayaklarının ray aksından çıkabileceği düşünülmektedir. Ancak yürüme yollarının oturduğu alt yapının oturmalara karşı performansının fazla olduğu düşünüldüğünde ray hatları arasında kot farkı oluşmayacağ ve vinçlerde devrilme gibi olumsuzluk meydana gelmeyeceği düşünülmektedir. Bununla birlikte vinç ayaklarının mafsallı birleşim noktalarında yer değiştirmeye farklılarından oluşabilecek deformasyonlar beklenmelidir.
6. 15 ve 18 nolu rihtimler beton bloklu olarak inşa edilmiş olup bu rihtimler arkasında kalan sahalarda da terminal sahasında olması muhtemel düşey deformasyonlara benzer olumsuzluklar beklenebilir.
7. 17 numaralı rihtima bitişik inşa edilen Ro-Ro iskelesi ve kapak atma rampasında sistem seçimi ve inşa şekli dikkate alındığında olası bir depremde tesisi işletme dışı bırakabilecek nitelikte hasar beklenmemektedir.
8. Parça eşya terminali üzerinde bulunan transit ambarlarının, deprem sırasında gerek sahada deprem sırasında oluşabilecek düşey deformasyonlar ve gerekse niteliği konusunda bilgi sahibi olunamayan ancak sivilaşma limitleri içinde kalacak granülometriye sahip olabileceği düşünülen dolgu malzemesi nedeniyle meydana gelebilecek sivilaşma neticesinde hasar meydana gelebilme riskinin bulunduğu düşünülmektedir.
9. Deprem sırasında sivilaşma riski çok yüksek olan konteyner terminali sahası üzerinde yet alan trafo binalarının zarar görerek içindeki ekipmanları ile birlikte işletme dışı kalabileceği ihtimal dahilindedir.
10. Gerek parça eşya terminalindeki rihtimler ve gerekse konteyner terminali rihtimlerinde, rihtım hatlarının birleşim noktalarında blok yerleştirilmesindeki özellik nedeniyle deprem sırasında blokların kendilerinin ve diğer blokları fazlaca etkilemeleri söz konusudur. Bu kesimlerde Tuzla Tersanesi Limanı rihtimlerinde depremden sonra tespit edilen hasarlara benzer olumsuzluklar meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bunun neticesinde rihtım üst yapısında kromyan duvarı, vb elemanlarda kırılma ve çatlamalar oluşabilecektir. Marmara depreminden sonra Haydarpaşa Limanı İşletme Müdürlüğünce yaptırılan su altı çekimlerinde rihtım köşelerinde yer alan beton blokların çok fazla hareketlendiği ve orijinal yerleştirme konumlarına göre küçük

ölçekte de olsa yer değiştirdikleri belirlenmiş olup bu tespit yukarıdaki ihtimalin gerçekleşme olasılığını güçlendirmektedir.

Muhtemel bir depremde tahmin edilen bu hasar durumları göz önüne alınarak Haydarpaşa limanı için minimum hasar maliyetleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Haydarpaşa Limanında muhtemel hasar maliyetleri(*)

Depremde Hasar Görebileceği Tahmin Edilen Tesisler	Parça Eşya Terminali (\$)	Konteyner Terminali (\$)	Toplam (\$)
Drenaj tesisleri	65.000	95.000	160.000
Saha kaplama ve dolgu işleri	8.000.000	13.500.000	21.000.000
Su tesisatı	15.000	20.000	35.000
Elektrik tesisatı	230.000	350.000	580.000
Vinç kırışları	810.000	270.000	1.080.000
Atölye, ambar ve sosyal tesisler(**)	1.150.000		1.150.000
TOPLAM			24x10⁶

(*) Bu maliyetlere teçhizat ve ekipmanlarda meydana gelebilecek zarar bedelleri dahil edilmemiştir.

(**) Liman içinde yer alan üst yapı tesislerinin herhangi bir muhtemel depremi onarılabilir nitelikte hasarlarla atlatacağı düşünülerek toplam inşa bedelinin %20 oranında onarım maliyetini ifade etmektedir. Ancak bu tesislerin daha büyük hasar görerek kullanılamaz hale gelmesi durumunda toplam maliyetin 4milyon ABD doları artarak 28 milyon dolara yükseleceği tahmin edilmiştir.

5. SONUÇLAR

1. Marmara denizinde İstanbul'u etkileyerek yeni bir depremin meydana gelmesi durumunda stratejik bir alt yapı tesisi olan Haydarpaşa limanının bundan etkileneceği ve hasar görerek işlevini yerine getiremeyecek duruma gelmesi ihtimal dahilindedir.
2. Muhtemel hasarların meydana gelmesinde en büyük etkenler, liman tesislerinin projelendirilmesi sırasında yanlış sistem seçimi ve inşa sırasında teknik şartname ve yönetmeliklere uyulmaması gösterilebilir.

3. Liman inşaatlarında yoğun olarak kullanılan çeşitli kategorilerde dolgu malzemeleri özelliklerinin teknik şartnamelerinde öngörülenlerden farklı olması sıvılaşma yada aşırı düşey deformasyonların oluşmasında önemli etken olmaktadır.
4. Haydarpaşa limanı konteyner terminali rıhtım arkası dolgu alanında kullanılan kum dolgu malzemesi olası bir depremde liman için en büyük riski oluşturması beklenmektedir.
5. Haydarpaşa limanı için alt ve üst yapının inşa şekillerini de kapsayan bir envanter çalışması yapılarak risk grubu yapıların tespit edilmesi uygun olacaktır.
6. Risk taşıyan tesisler için iyileştirme çalışmalarının belirlenerek belirli bir program dahilinde uygulanması, olası bir depremden etkilenme riskini azaltacaktır.
7. Bu yapılar içinde en fazla önem arz edenler, dolgu alanları ile vinç kırışları ve üst yapı tesisleridir.
8. Dolgu alanları ve vinç kırışları için farklı iyileştirme metotları içinde uygulama kolaylığı, güvenlik ve ekonomi kriterleri dikkate alınarak uygulanacak yöntemin seçilmesi gerekmektedir.
9. Üst yapı tesisleri için yürürlükteki deprem yönetmeliği dikkate alınarak güçlendirme projelerinin hazırlattırılarak uygulanması gerekmektedir.
10. Kıyı yapılarının dizaynında ülkemize özgü bir yönetmeliğin bulunmaması bu alanda boşluk yaratmaktadır. Bu konuda ilgili kuruluşların koordinasyonu ile bu ihtiyacın giderilmesi zorunlu hale gelmiştir.
11. Kıyı yapılarının güçlendirilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda ve yeni planlamalarda, yürürlükteki deprem yönetmeliğine uyumlu dizayn kriterlerinin nasıl olması gerektiği konusunda belirsizlik söz konusudur. Bu konuda yapılacak bir çalışma ile bu eksikliğin giderilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

DLH., (1990), "Haydarpaşa Limanına Yeni Mol İlavesi ve 2. Fери İsklesi İnşası Kesin Hesap Raporu", İstanbul.

Unitek Mühendislik İşleri Ltd. Şti., (1991), "Derince Limanı TMO Rıhtımı Ve Ro-Ro Kapak Atma Rampası Uygulama Projeleri", Ankara.

Yüksel Proje Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., (1983) "Haydarpaşa Limanına Yeni Mol İlavesi ve 2. Feri İskelesi İnşaatı As-Built Projeleri", Ankara, 37 Pafta.

Yüksel, Y., Yalçınler, A.C., Alpar, B., Çevik, E., Çevikoğlu, Y., Özmen, H.İ., Özgüven, O., Bostan, T., ve Gürer, S., (2000) "Doğu Marmara Depreminin Deniz Yapıları ve Kıyı Alanları Üzerindeki Etkileri" İstanbul, *Rapor-1, AFP* No:99-05-01-01, YTÜ ve Ulaştırma Bakanlığı.

GÜNEYBATI ANADOLU'NUN NEOTEKTONİK YAPILARINA GENEL BİR BAKIŞ VE BÖLGENİN DEPREM ETKİNLİĞİ

Sükrü ERSOY (1), Yıldız ALTINOK (1) & Ahmet Cevdet YALÇINER (2)

(1) İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34850 İstanbul

(2) ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANKARA

ÖZ

Bölgeye ait neotektonik yapılar coğrafik olarak Muğla ile Marmaris arasında; jeolojik olarak ise Menderes Masifi ile Beydağları Otoktonu arasında kalan Likya naplarına ait allokton kayaçlar ile Geç Oligosen döneminden günümüze kadar olan dönemde çökelmiş kayalar içinde gelişmiştir.

Bu yapıların hangi dönemde gelişmeye başladığının saha incelemelerinden elde edilen kanıtları aynı zamanda Batı Anadolu'da kıtasal kabuğun genişlemesinin tartışmalı olan başlangıç tarihine de ışık tutacaktır.

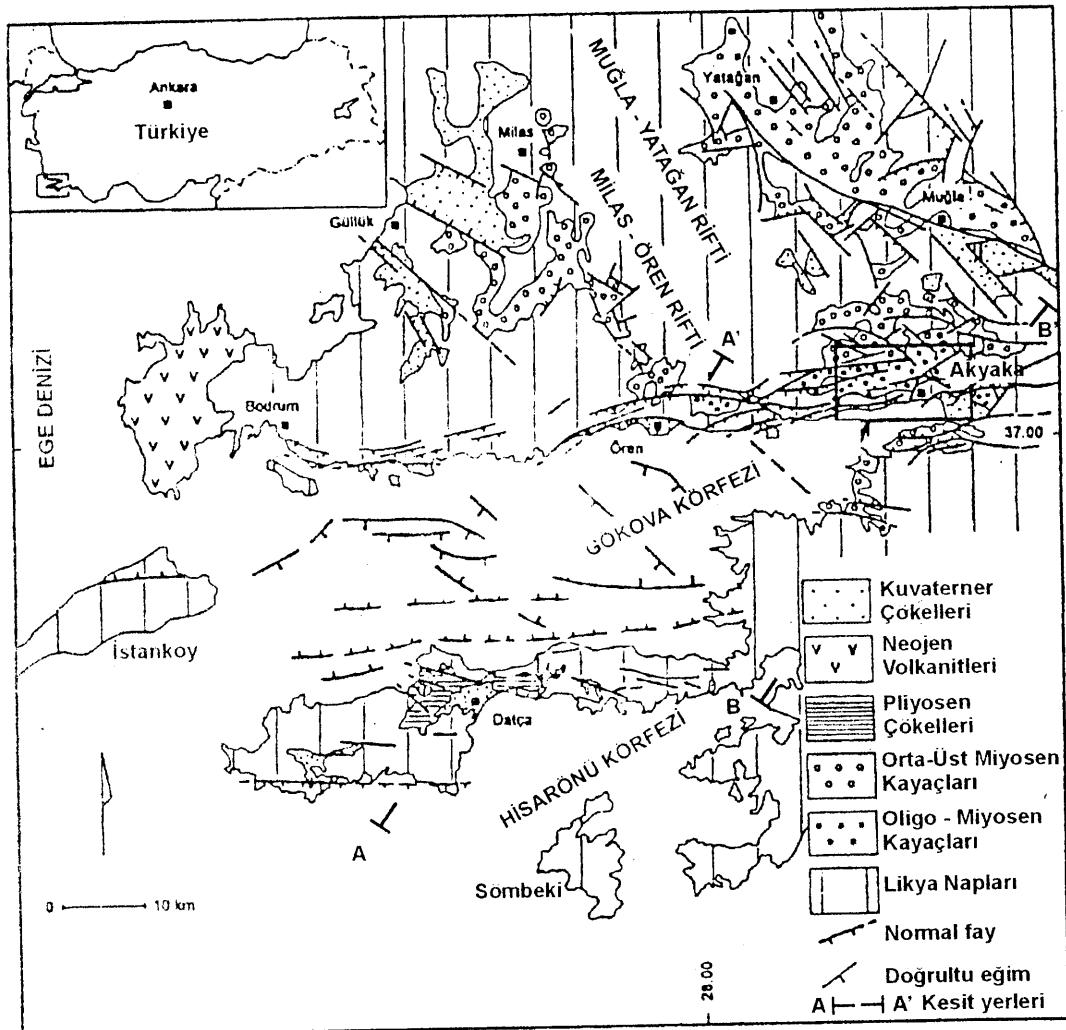
Neotektonik yapılar jeolojik etkinliklerine göre Geç Oligosen?- Erken Miyosen sırıralma tektoniği yapıları ile Pliyosen-Kuvaterner dönemi yarı graben yapıları, kıtasal yükselme ve alçalma hareketleri ve büyümeye faylı yapıları gibi genç oluşumlara ayrıılır.

Bölgemin yüksek olan deprem etkinliğinin yanı sıra oluşan depremlerin bazılarının depreşim dalgası (tsunami) de yarattığı bilinmektedir.

GİRİŞ

Bodrum ve Marmaris yerleşim alanları arasındaki bölge, jeolojik anlamda kita kabuğunun inceldiği Batı Anadolu'nun en güney sınırını oluşturur. İlgili bölge, uzun mesafeler taşınarak üst üste yiğilmiş ve kita kabuğunun kalınlaşmasına neden olmuş allokton kayaçlar ile bunu izleyen gerilmeli dönemde normal faylarla kita kabuğunun incelmesine, başka deyişle uzamasına neden olan neotektonik birim ve yapıların yan yana bulunması nedeniyle jeolojik anlamda önemli verileri bünyesinde taşırl. Bu bakımından tartışmalı olan Batı Anadolu'nun tektonik modeline yeni veriler sağlayacaktır. Bölgede paleocografik, stratigrafik, yapısal jeolojik-tektonik, paleontolojik, magmatik anlamda pek çok jeolojik çalışmaların (Becker-Platen, 1970; Atalay, 1980; Pişkin vd. 1983; Görür vd., 1995a ve b;

Şenel, 1997; Yılmaz vd., 2000) yanında depremsellik (Soysal vd., 1981; Ambraseys, 1988; Eyidoğan vd., 1991; Kur'an ve Yalçınler, 1993) ve kıyı ötesi sismik çalışmaları (Kurt vd. 2000) gibi önemli jeofizik çalışmaların da varlığına rağmen bu alanın tektonik yapıları ve birimlerine henüz tatmin edici bir yorumlanamamıştır. Saha çalışmalarında gözlenen birim ve yapılardan elde edilen (özellikle neotektonik) veriler kronolojik olarak içinde sinematize edilmiş ve bölgenin güncel depremselliğe katkısı tartışılmıştır.



Şekil-1 GB Anadolu neotektonik haritası (Görür vd., 1995 den alınmıştır)

GÖKOVA KÖRFEZİNİN BATİMETRİSİ İLE KİYI TOPOGRAFYASININ YAPISAL YORUMU

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin 1/100 000 ölçekli haritasındaki derinlik noktaları kullanılarak mekanik olarak eşderinlik eğrileri çizildiğinde ortaya çıkan batimetri şu şekilde yorumlanabilir. Körfezin en doğusunda Büyük Azmak deresinin oluşturduğu bir delta düzluğu bulunur. Buradaki delta çökelleri alttaki tüm birimleri örttüğünden altındaki jeolojik ilişkilerin anlaşılmasına izin vermez.

Körfezin kuzeyi basamaklı tip bir topografya gösterir. Bu basamaklı tip jeometri karadaki yapısal blokların bir devamıdır. Körfezin kuzeyi güneyinden daha sarp bir topografyaya sahiptir. Basamak tipi fay bloklarının sınırladığı yükseklik denizden 1000 metreye kadar varır. Kuzey kıyının doğu kısmında (Akyaka köyü çevresi) eğemen olan sarp topografya, batıya doğru (Bodrum dolayında) yerini daha yumuşak bir topografaya bırakır. Bunun nedeni kuzey kıyının doğu kısmında haşin topografayı oluşturan fayların Ören'in (antik adıyla Ceramos) biraz batısında güneşe dönerek deniz içine girmesine bağlanabilir. Bu sınır aynı zamanda jeolojik formasyonlar için de kaba bir ayıraçtır. Bodrum dolayında yoğun bir Neojen volkanizması izlenirken, doğu kıyıda aynı birimleri göremeyiz. Doğu kıyıda konglomeraların oluşturduğu yaşılı molas çökelleri eğemendir. Bu jeolojik farklılıklar körfezin kuzey-güney doğrultusu boyunca Bodrum ve Datça arasında da izlenir. Bodrum dolayındaki volkanikler Miyosen yaşılı iken Datça'kiler Kuvaterner'dir. Bu hayli jeolojik ilginçtir. İki birim arasındaki ilişkinin anlaşılmasına körfezin suları izin vermez. Bu durum bizce yapısal kökenlidir. Körfezin tam orta batısı yakın geçmişte (Kuvaterner başı) şimdikinden daha farklı olarak dağınık olmalıdır. İstanköy (Kos) adasının şimdiki coğrafik konumu böyle bir yapısal değişimin sonucu olabilir.

Körfezin güneyinde Datça'ya yakın kıyılarda deniz dibi topografyası aniden derinleşir. Bu derinlik 700 metrelük kot farkına neden olur. Bu derinlemeye yarımadanın yükselmesine bağlı olarak gelişen doğu-batı gidişli normal faylardır. Bu süreksizlikler bölgede yapılan sismik yansıtma kesitlerinde de belirgin olarak görülür. Körfezinin orta kısmında ise ortamın aniden sıslaştığı sırt yer almaktadır. Deniz dibindeki diklige rağmen kıyılar kuzeye oranla birkaç küçük koy ve ada içeren daha yumuşak bir topografyaya sahiptir.

Gökova körfezini araştırmak amacıyla 1996 yılında MTA Sismik-1 gemisi çok kanalı sismik yansıtma yöntemiyle araştırmalarda bulunmuştur. Bu sismik veriler jeolojik olarak yorumlandığında görülür ki, en doğudaki delta çökelleri içinde gaz çıkışları ya da dom olarak yorumlanabilecek yapılar vardır (Ecevitoglu vd., 1996). Benzer yapılara, Yunanistan ana karası üzerinde Helenid dağı kuşağına ait İyoniyen zonunda yapılan araştırmalarda da birimler arasına girmiş Pliyo-Kuvaterner döneminde sokulmuş Mesiniyen tuz domlarında rastlandığı (Underhill, 1988) Ersoy (1996, sözlü görüşme) tarafından ilgili araştırmacılar aktarılmıştır.

Körfezin merkezi kısmının batısında ise kuzeye eğimli bir listrik fay üzerinde güneye doğru çökel kalınlığı artarak bir yarı graben jeometrisi oluşturur (Kurt vd., 1999). Sözü edilen listrik fay büyük olasılıkla Datça yarımadasının üzerinde Pliyosen yaşılı grabeni güneyden sınırlayan büyümeye fayının deniz içindeki devamıdır. Ersoy (1990, 91) un Datça yarımadası üzerinde yaptığı incelemelerde bu durum açıkça kaydedilmiştir. Bu çökeller Kos adasının tam merkezi kısmında yer alan graben dolgusu Pliyosen çökelleri ile özdeştir.

Drenaj modellerine bakıldığında onların aktif fayların sıkı kontrolünde olduğunu görürüz. Faylanma çökelmeyi de kontrol eder. Nehirlerin çoğu güneye doğru akmasına rağmen drenaj havzalarının küçük olması nedeniyle çökel akışı da azdır. Batıya doğru kuzey-güney drenajlı büyük derelerin akarken şevler ise daha az belirgindir. Nehirler tabanın yükselmesinden daha hızlı ise vadiler derine doğru kazılır ve şevler aşınarak gerileyebilir. Çünkü, körfezdeki faylar güney ve doğu kıyılarla oranla Bodrum'un kıyılarına daha uzaktır. Koca çay denize eriği Ören'de 50 km. ye varır. Uzunluğunun büyük bir kısmında faylara

parallel olarak akarken, derin ve dar vadiler oluşturur. Drenaj havzası çok geniş olduğundan denize eriştiği yerde de geniş bir yelpaze oluşturur. Pekçok nehir yükselmiş fay bloğunun eğimli yamacı üzerinde kuzeye doğru akar. Nehirler aşındırma hızları yükselme hızından fazla olduğunda fayları kesebilir. Böyle bir durumda Koca çay sadece Ören'de güneye akar.

Faylı bölgelerde litoloji de drenaj modelini denetleyen önemli etkenlerden biridir. Litolojinin aşınmaya karşı dayanıklı olduğu yerde taban bloğundaki ana drenaj faya parallel olur. Gökova'nın kuzeyi buna iyi bir örnektir.

Litoloji aynı zamanda fayların uzunluğu ile de ilişkilidir. Kireçtaşı gibi dayanıklı litolojilerdeki fay uzunlukları gevşek tutturılmış kayaçlara göre daha uzundur (örneğin, Gediz grabeninde taban bloğunu oluşturan çökeller dayanımsız kayaçlardan oluştugundan faylar kısa segmentler halinde devam eder (Paton, 1992).

GÜNEYBATI ANADOLU'DA DEPREM OLUSTURABILECEK OLASILI DIRİ FAYLAR

Arazi gözlemlerinden önce bölgenin sismik aktivitesine bakılacak olursa tarihsel ve aletsel dönemde bölgede büyük depremlerin oluştuğuna ilişkin kayıtlar vardır. Güneybatı Anadolu'daki depremleri oluşturan nedenler hem tektonik, hemde volkanik kökenlidir. Bu bölgenin ilk diri fayları Şaroğlu vd. (1992) nin hazırladığı haritada gösterilmiştir.

Bilindiği gibi Girit'in güneyinde yer alan kuzeye dalaklı bir yitim zonuna bağlı olarak üst levhada gelişen Santorini ve Nisiros gibi bir dizi volkanik dağı ve ada yer almaktadır. Tarihsel kayıtlar bunların püskürmesi sırasında büyük depremlerin ve depreşim dalgalarının (tsunamilerin) oluştuğunu gösterir.

Kos üzerinde grabeni sınırlayan faylarda büyük depremlerin olduğu çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur (Sieberg, 1932, Ambraseys, 1988).

Datça yarımadasını en batı ucunda yer alan Knidos antik şehrini kesen yaklaşık doğubatı gidişli normal fayın şehri birkaç kez yıktığı bilinmektedir. MS 4. yüzyılda Rodos'u yerle bir eden depremin Knidos'ta da bazı yarılmalara neden olduğunun kanıtı antik kazılarda ortaya konmuştur (Sönmez, 1998). Ambraseys (1981), 1865'da 6.7 büyüklüğünde bir depremin meydana geldiğini söyler. Ayrıca, Knidos'ta MS 700 yılında yerleşimi sona erdiren bir deprem olabilir (Barka, vd., 1996).

Datça yarımadasının merkezi kısmında yer alan grabeni güneyden sınırlayan KB-GD gidişli fayın bulunduğu alanda yapılan arazi gözlemlerinde hala karasal çökellerin (yamaç molozları) eşlik ettiği sin-sedimenter bir büyümeye fayına tanık oluruz (Ersoy, 1990, 1991). Burada jeolojik süreçlerin devam etmesi bu fayın diri olduğunu ve deprem oluşturabileceğinin ciddi bir verisidir.

Ayrıca, Bozburun yarımadasında Hisarönü körfezi ile İçmeler arasında tüm yarımadayı kesen doğu-batı gidişli faylar diri olabilir. Örneğin, 19/6/1987 ve 5/10/ 1999 tarihli yıkıcı olmayan depremlerin merkez üsleri bu bölgeye rastlar.

Kuzeyde ise Gökova körfezini kuzeyden sınırlayan fayların deprem oluşturdukları hem tarihsel, hem de aletsel dönemlerde bilinir. Bir delta üzerine kurulu antik Ceramos (Ören) şehrinin kuzeyden dağların eteklerinden sınırlayan fayların yıkıcı depremler oluşturduğunun verileri vardır. Barka'ya göre (Ambraseys ile kişisel görüşme) MS 141 ve 142 depremleri bu fay üzerinde olmuştur. 1493 depremi ise Gökova batısında Bodrum (Halikarnassos) şehrinin yok ettiği bilinir. Ayrıca, bu yerleşim alanı üzerinde kurulu, çevredeki Neojen kömürlerini işletmeye yönelik Ören termik santrali tam altından geçen bu normal fay nedeniyle depremlere karşı ciddi sınav verecektir. Aletsel dönemde son yüzyılda gelişen 1933 (Ambraseys, 1988 ; Jackson ve McKenzie, 1988), 1959 ve 1968 (McKenzie, 1972; 1978) 1983, 1994 (27/4), 1989 (19/2) gibi bazı depremlerin merkez üsleri bu bölgeye isabet etmektedir.

Bunun yanında KB-GD gidişli Muğla-Yatağan Fayı sağ yanal hareketle başlar Muğla dolayında normal bileşimli olarak izlenir. Bu fay uzun süreden beri aktif değildir. Son yüzyıl içinde bu bölge için en bilinen deprem 1941 yılında olmuştur.

BÖLGENİN NEOTEKTONİK DÖNEM JEOLOJİSİ

Bu kısımda GB Anadolu'ya allokton kayaçların (Likya napları) yerleşiminden sonraki dönem kast edilmektedir. Bu da Üst Eosen'den sonraki dönemdir. Geç Eosen sonları GB Anadolu'da genel bir regresyonun başladığ dönemdir. Regresyonla birlikte bölgede karasal havzalar gelişmiştir. Bunun jeolojik anlamı ise allokton kayaçların Menderes Masifi'nin üzerinden taşınmasından sonra Batı Anadolu yükselmeye başlaması ve denizel alanlar gerileyerek yerini karasal alanlara bırakmasıdır. Denizel gerileme bazı yersel alanlar hariç günümüze kadar devam etmiştir.

Bölgelin allokton birimlerden oluşan temel üzerine gelen en yaşlı birim Bencik Konglomerası'dır. Bu birim Orta Eosen yaşlı (Şenel, 1997) ofiyolit klastlı ve matriksli karasal konglomeralarla başlar, Üst Lütesiyen- Priaboniyen yaşlı denizel kırıtlılarla biter (Bilgin ve diğ., 1997). Ofiyolitlerin üzerine uyumsuz olarak gelen bu birim olasılıkla ofiyolitlerin üzerinde onlarla birlikte taşınmıştır. Bu birim GB Anadolu'da yersel olarak yüzeylenir. Neotektonik anlamda ilgi alanımız dışındadır.

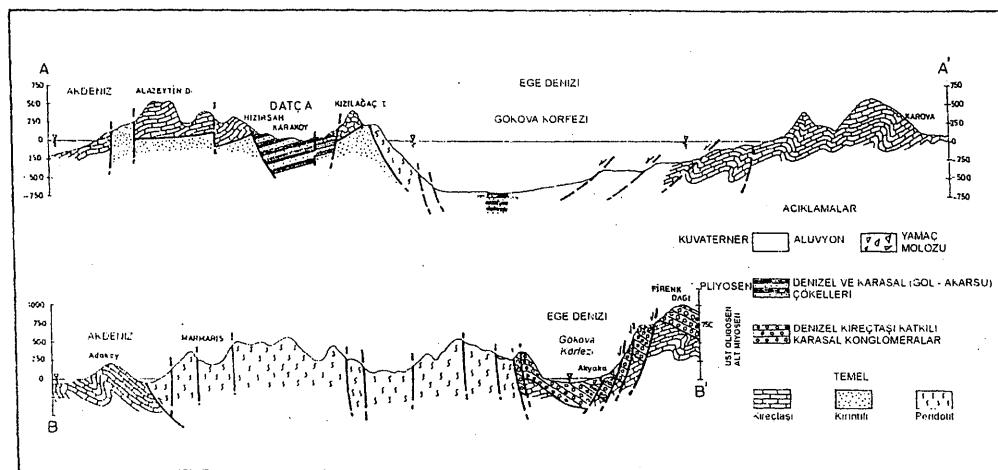
Daha yaygın olarak Gökova ile Tavas (Denizli) arasında GB-KD uzanımı Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı molas çökelleri GB Anadolu'nun sıyrıılma tektoniğinin başlangıcını göstermesi açısından ilginçtir. Bilindiği gibi kabuksal daralmadan genişlemeye geçiş yaşının Tortoniyen'de mi? yoksa Geç Oligosen-Erken Miyosen'de mi? başladığı oldukça tartışmalıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Seyitoğlu ve Scott, 1992; Görür vd., 1995 a ve b). Saha gözlemleri, Akyaka (Muğla) yakınlarında yüzeylenen bu karasal konglomeraların temsil edilen bu birimin temel üzerine yataya yakın tektonik bir dokanakla yerleştiğini göstermektedir. Bu bakımından günümüzde de devam eden genişleme (ya da gerilme) tektoniğinin en güney sınırını oluşturan bu bölgedeki gözlemler neotektonik dönemin Geç Oligosen'e kadar indiğinin güçlü kanıtlarıdır. Çalışma bölgesinde sıyrıılma tektoniğinin varlığı ilk kez tarafımızdan söz edilmektedir. Bu karasal çökellerin tabanındaki tektonik düzleme bakıldığıda sıyrımanın doğrultusu günümüzdeki K-G gerilmeyle oluşmuş D-B konumlu havzalardan farklı olarak yaklaşık D-B'ya yakındır. Duruş bakımından yaklaşık 90 derecelik bu farklılığı açıklamak için GB Anadolu'da hüküm süren saatin tersi yönündeki rotasyonu da dikkate almak gereklidir. Bu yataya yakın normal faylanmayla gelişmiş sıyrımanın bölgedeki

kuzey ucu Gökova körfezinin kuzeyinde Akyaka dolayında izlenirken güney ucu ise Datça'ya kadar uzanır. Datça yarımadasının kuzey kıyısı boyunca uzanan dağlarda tabanda yüzeylenen ultrabazik kayaçların üzerine karbonat matriksli genellikle kireçtaşlı klastlı konglomeralar gelir. Arada ince bir zon (birkaç metre) halinde görülen listfenitik kayaçlar yukarıda sözü edilen iki birim arasında yataya yakın konumlu tektonik bir sıyrılmış düzlemini işaret eder. Listfenitlerin gelişimi bu tektonizma sonucudur. Yaklaşık 50 kilometrelük bu uzaklık sıyrılmışının genişliğini göstermesi açısından çok önemli bir gözlemdir. Akyaka Formasyonu (Görür vd., 1995) adı verilen bu konglomeralarla onlarla yanal olarak gırık durumlu resifal kireçtaşları da yer alır. Çambeleni Formasyonu (Görür vd., 1995b) adı verilen birim çalışma alanında Akbük ve Çambeleni Sırtı dolayında yüzeylenir.

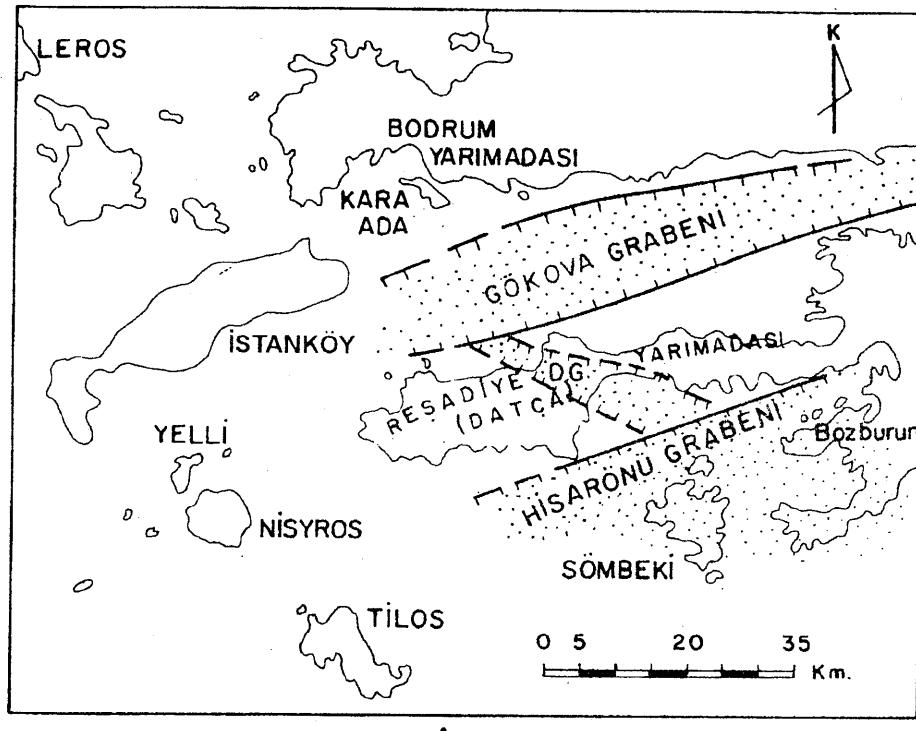
Bu birimlerin üzerine uyumsulukla tüm Batı Anadolu için tipik olan Orta-Üst Miyosen (Orta Astarasiyen-Türolien) yaşlı kömürlü, volkanik katkılı karasal (göl ve akarsu) çökeller (Turgut, Sekköy ve Yatağan tabakaları, Becker-Platen, 1970; Eskihisar Formasyonu, Atalay, 1980; Sekköy ve Yatağan Formasyonları, Hakyemez, 1989) gelir.

Gökova körfezinin en batısında Bodrum dolayında Miyosen tamamıyla magmatiklerle temsil edilir. Buradaki monzonodiyoritler biyotitlere dayalı $Ar40/Ar36$ radyometrik yaşlandırmayla 12.5 ± 0.3 ve 13.4 ± 0.3 milyon yıl yaş verirken volkanitler 11.9 ± 0.3 ile 17.6 ± 1.2 milyon yıl yaş verirler (Pişkin vd. 1983). En azından monzonodiyoritler gerilmeye bağlı olarak incelen kabukta üst mantodan sokulan mağmatik küteler olarak kabul edilebilir.

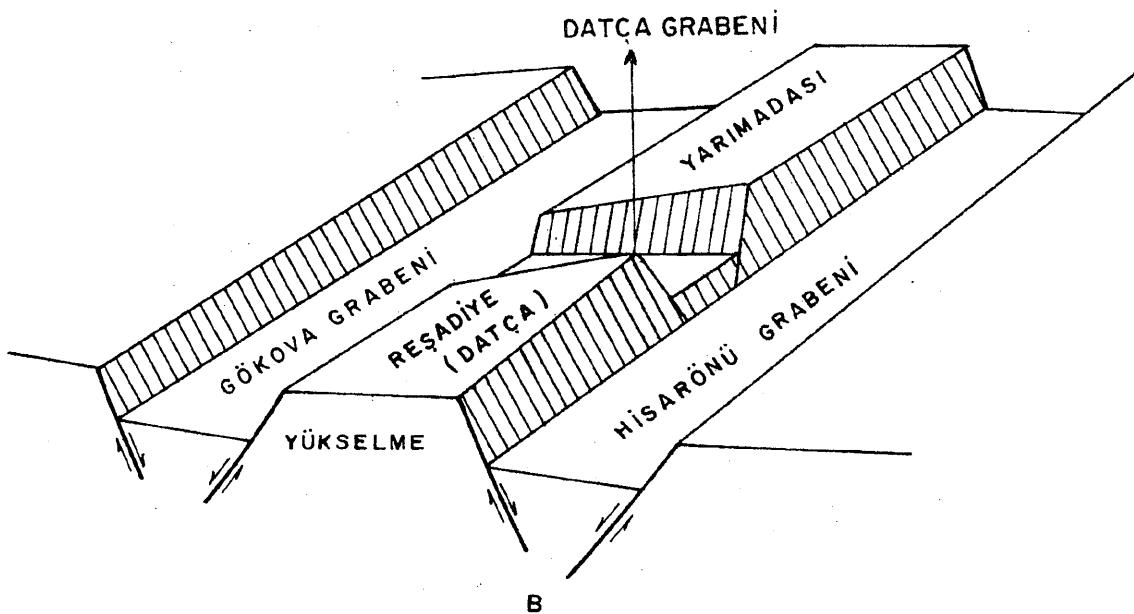
GB Anadolu'nun tek denizel girdili Pliyosen çökelleri Datça yarımadasında ve olası olarak Eşençay vadisinde yüzeylenir (Ersoy, 1991 ve 1997). Her iki alanda Pliyosen çökelleri graben dolgusu durumundadır. Datça yarımadasının tam merkezinde yer alan Datça yarı-grabeni'nin (Ersoy, 1990) Pliyosen dolgusu denizel ve karasal (göl ve akarsu) fasıyeslerle temsil edilir. Yaklaşık 150 metre kalınlığındaki çökeller 12 derecelik bir eğimle kabaca güneşe doğru tilt olmuştur. Pliyosen sonrası yarımadanın tektonik olarak yükselmesine bağlı olarak denizel girdili Pliyosen çökellerinin bulunduğu alan aşınma ortamına dönüştürülmüştür. Güneşe doğru kalınlaşan bu çökellerin devamı İstanköy adasında (Papanikolaou ve Lekkas, 1990) ve Gökova körfezinden alınan sismik yansımaya kesitlerinde (Kurt vd., 1999) de izlenir.



Şekil-2 Güneybatı Anadolu'nun jeolojik yapısını gösterir jeolojik kesitler. AA' kesiti körfezin daha batısından, BB' kesiti ise doğusundan alınmıştır.



A



B

Şekil-3 GB Anadolu'nun ana neotektonik yapılarını gösterir basitleştirilmiş harita ve blok diyagram (Ersoy, 1990)

Datça yarımadası, Pliyosen döneminden sonra genel olarak yükselmiştir. Yarımadanın tam kısmında Kızlan köyü ile Körmen iskelesi arasında grabenin Pliyosen çökelleri günümüzde deniz düzeyinin hayli üzerindedir. Mesudiye köyü, Çeşmeköy, Sındikköy ve

Yarık tepe dolayında yüzeylenen 15m kalınlığındaki asılı akarsu taraçaları da yarımadadaki bögesel yükselmenin önemli kanıtları arasında sayılır. Ayrıca, Emecik köyü güney kıyılarında fay kontrollü kıyasal döküntü akıntılarını temsil eden kum matriksli konglomeralar yer alır. Yaşılandırılması güç olan, fakat sadece kıyıda yüzeylemenmesi nedeniyle olasılı Kuvaterner yaşı birim günümüzde deniz düzeyinden yaklaşık 10 metre kadar yüksekte bulunmaktadır. Emecik köyü yakınında yarımadanın en yüksek dağlarından olan (700m) Kocadağ'ın Gökova bakan kıyılarında yaklaşık 10 m kadar yüksekliğe kadar varan yamaç molosların içinde (yaklaşık 4-5 m.) eski kıyı aşınmalarını gösteren izlere rastlanmıştır (Ersoy, 1990, 91).

Yarımadanın tektonik kontrollü yükselimine Geç Holosen döneminden de veriler sunabiliriz. Flemming (1978)'e göre, Kuşadası ile Bodrum arası çökme açısından pasif iken Marmaris ile Fethiye arası aktiftir. Kayan (1988), tektonik kontrollü deniz düzeyi değişimlerine Datça güney kıyısında Dalacak limanından örnek vermiştir. Kayan, bu bölgede yıllarca kazı yapan arkeolog Love (1973) un verilerine dayanarak Karya medeniyetine ait ilk yerleşimin MÖ ilk bin yılda Dorlar tarafından Dalacak kıyılara yapıldığını belirtir. Dorlar buraya 4 ayrı liman inşa etmişlerdir. Bu yerleşimin kalıntıları ve buraya akan Azmak deresinin eski kıyı çökelleri deniz düzeyi değişimini göstermesi açısından önemli veriler sunarlar. Araştıracı, son 6000 yıllık kıyı değişimini haritalamıştır. Bu haritaya göre, Geç Holosea'deki (son 6000 yıl) ilk deniz düzeyi günümüzle aynı ya da 50 cm kadar daha yüksekti. Son 3000 yıl ile limanların inşa tarihi olan son 2500 yıllarındaki deniz düzeyleri ise günümüzden yaklaşık 2 metre kadar aşağıda bulunmaktadır.

BÖLGENİN DEPREM ETKİNLİĞİ VE DEPREŞİM DALGALARI

Batı Anadolu'nun güneybatısında etkin fay kuşakları arasında yer alan Gökova fayı ve Aksu bindirmesi önündeki genellikle tektonik kontrollü havzalarda çok sayıda ufak depremlerin ve artçı sarsıntıların tetiklendiği bilinmektedir. Batı Anadolu büyük depremlerinin odak mekanizması çözümleri ve sismik momentleri kullanılarak yapılan bir çalışmada (Eyidoğan, 1988) güneybatı Anadolu'nun yılda 13.5 mm hızla kuzey-güney yönünde açıldığını ve 0.5 mm/yıllık hızla inceldiği bulunmuştur. Güneybatı Anadolu deprem etkinliği yüksek olan genellikle büyüklükleri 5.0 in altında olan depremlerin olduğu bir bölgedir. Bölgede, M.Ö.2100- M.S. 1900 yılları arasında oluşan 70'e yakın depremin 40 kadarı Rodos, Fethiye ve İstanköy Adası civarında yer almaktadır (Soysal ve diğ. 1981). Türkiye'nin güneyinde Helenik-Kıbrıs yay bölgesi içinde yer alan Pliny ve Strabo fayları son yüzyılda birçok yıkıcı depremin etkisinde kalmıştır. Bu iki fayın kuzeyinde Türkiye'nin güneybatısında ve Gökova körfezinde belirgin bir sismik etkinlik vardır. Gökova körfezi boyunca olası bir sismik boşluğun varlığı tartışılmalıdır. 1970'den günümüze dek Gökova bölgesinde büyülükleri $4.0 < M_s < 5.0$ arasında değişen 200 ün üzerinde deprem olmuştur. Güneybatı Anadolu'da aletsel dönemde büyülükleri $M > 5.5$ olan depremler 20'e yakındır. Bunların bazıları hakkında bilgiler Eyidoğan ve diğ., (1991)'de de yararlanılarak aşağıda belirtilmektedir.

18 Mart 1926 Finike Depremi $M_s = 6.8$

Oniki Adalar bölgesinde olan deprem Finike ve Fethiye arasındaki sahil şeridinde ağır hasar yapmıştır. Haziran'a kadar süren artsarsıntılar olmuştur. Sisam, Santorini, Girit ve Konya'da algılanmıştır.

26 Haziran 1926 Rodos – Girit Depremi $M_S = 7.0$

Rodos'ta şiddetle algılanan deprem Meis adasında hasar yapmıştır. Pınar ve Lahn (1952) ye göre dışmerkez Rodos ile Fethiye arasındaki denizaltı çukurluğu olabilir. Ambraseys (1988) e göre depremin iki şoktan oluştuğu belirtilmektedir. Fethiye, Köyceğiz, Marmaris ve Datça'da fazla hasarın olmadığı biliniyor.

23 Nisan 1933 Gökova Körfezi Depremi $M_S = 6.5$

Dışmerkezi Gökova körfezi açıklarında olan bu deprem İstanköy, Datça, Bodrum ve çevre köylerde birçok evin yıkılmasına neden olmuştur (Pınar ve Lahn, 1952; Galanopoulos, 1955).

23 Mayıs 1941 Muğla Depremi $M_S = 5.9$

23 Mayıs günü öncü sarsıntılarla olmuş, ancak büyük hasar yapmamıştır. Oyuklu dağındaki yerleşimlerde ve Gökova'daki evlerde hasar vardır. İl merkezinde toplam 255 ev yıkılmıştır. Deprem Denizli'de de hissedilmiştir. Bu depremin 7 Haziran 1941 tarihinde olmak üzere hasar yapıcı artçıları olmuştur.

13 Aralık 1941 Muğla Depremi $M = 6.0$

Muğla il merkezi ve ilçelerde birçok evde hafif hasar yapmıştır. En çok hasar Yatağan'dadır. Marmaris ve Milas'ta da hasarlar vardır.

9 Temmuz 1956 Amorgos, Güney Ege Depremi $M_S = 7.5$

Amorgos adası açıklarında olan bu deprem İzmir, İsparta, Bodrum, Kütahya, Uşak, Muğla, Edirne, Bolu ve Antalya'da hissedilmiştir. İki şoktan oluşan bu depremde birici şok $M_S = 7.5$, ikinci şok $M_S = 7.2$ büyüklüğündedir (Perissoratis and Papadopoulos, 1999). P dalgası ilk hareketlerine göre odak mekanizması çözümü, normal ve doğrultu atımlı bileşenleri eşdeğer ağırlıktadır.

25 Nisan 1957 Fethiye-Rodos Depremi $M_S = 7.1$

Birbirini 7 saat arayla izleyen iki deprem Oniki adada geniş hasara yol açmıştır. 24 Nisan 1957 de olan ilk deprem daha küçük olup geniş bir alanda hissedilmiştir. Deprem; İsparta, Burdur, Aydın, Manisa, Konya, Adana, Balıkesir ve Çanakkale'de hissedilmiştir. Kıbrıs, Lübnan, İsrail ve Mısır'da da algılanmıştır.

Ketin ve Erguvanlı (1957) ya göre depremden en çok hasar gören bölgeler; Fethiye, Marmaris, Köyceğiz, Yatağan, Milas, Denizli-Çameli bölgeleridir. Rodos adasının kuzeydoğu bölümü depremi çok şiddetle hissetmiş ve kale içinde bulunan evlerde oldukça fazla hasar olmuştur.

Altan (1957), saha çalışmasında köy ve kasabaların bulunduğu bölgeleri tektonik açıdan şöyle sınıflamıştır.

1. Fethiye Körfezi ile Rodos adasındaki tektonik çukurluğun kuzeybatı kenarını oluşturan kıyı bölgeleri
2. Fethiye'nin yakın doğusundan geçen kuzeydoğu-güneybatı doğrultusundaki fay hatları ve bunların devamında uzanan Ovacık-Kaya-İncirli-Nif köylerinin bulunduğu kapalı havzalar ile, üzerinde Çameli ilçe merkezinin bulunduğu Karagöl kapalı havzası
3. Gökova körfezi-Köyceğiz tektonik çukurluğu
4. Milas ve Yatağan tektonik havzalarıdır.

24 Nisan 1957 ve 25 Nisan 1957 depremleri, P dalgası ilk hareket yönlerine göre bulunan odak mekanizması çözümlerinde doğrultu atım ve ters atım bileşenleri hemen hemen birbirlerine eşittir.

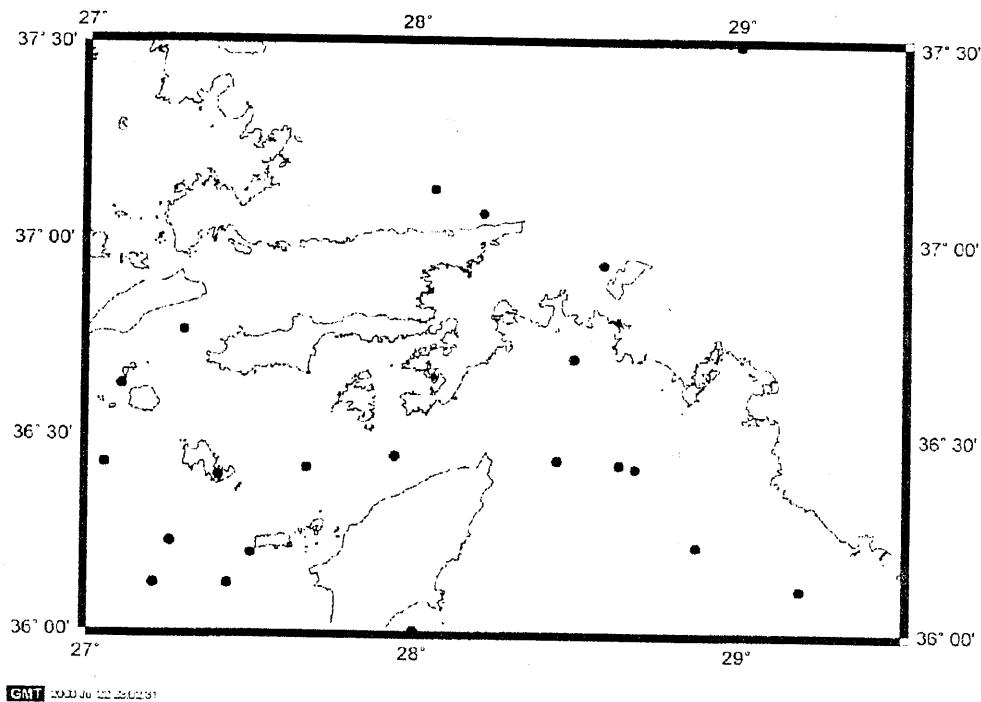
25 Nisan 1959 Köyceğiz (Muğla) Depremi $M_S = 5.7$

Ana şok ve kuvvetli artsarsıntı ile Köyceğiz gölü ve çevresinde önemli hasarlar yapmıştır. P dalgası odak mekanizması çözümlerinde normal faylanma bileşeni etkindir.

23 Mayıs 1961 Rodos – Marmaris Depremi $M_S = 6.3$

Marmaris kıyıları açıklarında olan deprem Marmaris ve Rodos arasında geniş alanlara yayılan hasar oluşturmuş, yüzlerce ev yıkılmıştır. P dalgası odak mekanizması çözümlerinde ters faylanma bileşeni etkindir.

M.Ö. 1410 ± 100 - M.S. 1999 yılları arasında yapılan araştırmada Güneybatı Anadolu'da oluşan bazı depremlerin depreşim dalgası yarattıkları belirlenmiştir. Bunların 15 civarında olduğu söylenebilir ve sırasıyla M.Ö.222, M.S. 68, 142, 554, 1481, 1609, 1741, 04.1851, 05.1851, 1855, 1856, 1856, 1926, 1948, 1956 tarihlerinde oluşan depreşim dalgaları olarak adlandırılabilir (Altınok and Ersoy, 2000). Bu dalgaların büyük çoğunluğu Rodos ve Fethiye kıyılarında etkili olmuştur. Ege denizi ve yakın çevresinde M.Ö.1410- M.S. 1968 yılları arasında olmuş depreşim dalgalarının yoğunlaştiği yerlerin; Korint körfezi, Sakız adası ve yakın çevresi, Marmara denizi, Girit ve Rodos adaları ve çevresi olduğu belirlenmiştir (Altınok ve Ersoy, 1997). Nisan 1609 da Rodos adasında etkili olan depremle oluşan depreşim dalgalarıyla 10000 kişi hayatını kaybetmiştir (Ambraseys and Finkel, 1995). Şubat 1855 de Kaş civarında oluşan depremde depreşim dalgaları olmuş ve deniz seviyesi yükselmiştir (Calvi, 1941; Kur'an and Yalçın, 1993). 9 Temmuz 1956 da Güney Ege'de depremle oluşan depreşim dalgaları Amorgos baseninde 20'm lik yüksekliğe erişmiştir (Perissoratis and Papadopoulos, 1999). Thera (Santorini) volkanının M.Ö.1600-1300 tarihleri arasındaki patlaması ile oluşan depreşim dalgası izleri Girit, Didim ve Fethiye'de yapılan hendek çalışmaları ile saptanmıştır (Minoura vd., 2000). Dalaman'da yapılan hendek çalışmalarında, organik malzeme üzerindeki yaş tayinlerinde, en alt katmanın M.S. 1499 ± 20 , ortada bulunan katmanın M.S. 1601 ± 20 yıllarına ve üst katmanın yakın bir döneme ait olduğu saptanmıştır. Yapılan model çalışmada, Thera volkanının patlaması ile oluşan Minos dönemi depreşim dalgalarının Girit kıyılarına 20 dakikada, Fethiye'ye ise 90 dakika içinde ulaştığı belirlenmiştir (Yalçın vd., 2000).



Şekil-4 1900 sonrası $M > 5.5$ olan depremlerin dış merkez dağılımları.
(Veriler B.U. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsüne aittir)

REFERENCES

ALTAN, S. (1957), 1957, 24 ve 25 Nisan tarihlerinde Fethiye ve çevresinde olan depremler ve depremlerde hasar gören köy ve kasabaların inkişaf sahalarının jeolojik durumları hakkında rapor, Nafia Vekaleti, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, Ankara (yayınlanmamış rapor).

ALTINOK, Y. AND ERSOY, Ş. (1997), Tsunamis in the Aegean Sea and near surroundings, *Proceedings of the International Earth Science Colloquium on The Aegean Region*, IESCA-1995, Eds: O.Pişkin, M.Ergün, M.Y.Savaşçın, G.Tarcan, Vol.1, 215-227, İzmir.

ALTINOK, Y. AND ERSOY, Ş. (2000), Tsunamis observed on and near the Turkish coast, Natural Hazards Vol. 21, No.2-3, *Kluwer Academic Publishers* .vol.21 N. 2-3.

AMBRASEYS, N.N. (1981), On the long term seismicity of Hellenic Arc. *Boll. Geof. Teor. Appl.* XXIII 355-361.

AMBRASEYS, N.N. (1988), Engineering Seismology, *Jour. Earthq. Eng.& Struc.Dyn.*, 17/1-105.

AMBRASEYS, N.N., FINKEL, C. (1995), The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas. A Historical Review, 1500-1800, *Eren Yayıncılık*, İstanbul.

ATALAY, Z. (1980), Muğla-Yatağan ve yakın dolayının karasal Neojeni'nin stratigrafi araştırması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bültene* 23, 93-99.

- BARKA, A., ALTUNEL, E., ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö. VE KUŞÇU, İ. (1996), Güneybatı Anadolu'nun Aktif faylarının ve Kireçtaşı Fay Şeylerinin incelenmesi. *Ulusal Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı*, Workshop-1 8-9 Şubat, 1996.
- BECKER-PLATEN, J.D. (1970), Lithostratigraphische untersuchungen im Kanozoikum Südwest-Anatoliens (Türkei). *Beihefte zum geologische Jahrbuch* 97, 244s.
- BİLGİN, Z. R., METİN, Y., ÇÖREFKİCİOĞLU, E., BILGIÇ, T. VE ŞAN, Ö. (1997), Bozburun-Marmaris-Köyceğiz-Dalaman (Muğla) dolayının jeolojisi. *MTA Rap* 10008, Ankara (yayınlanmamış).
- CALVI, S. (1941), Erdbebenkatalog der Türkei und Einiger Benachbarten Gebiete, No 276. *MTA Enstitüsü*, Ankara (yayınlanmamış rapor).
- ECEVİTOĞLU, B., DEMİRBAĞ, E., ULUĞ, A. VE ÖZEL, E. (1996), Preliminary Interpretation of Shallow marine seismic data from the gulf of Gökova. *National Marine Geological and Geophysical Programme*. Workshop-1.8-9 February TÜBİTAK-UNIVERSITIES-MTA, 1996. 87-94.
- ERSOY, Ş. (1990), Stratigraphy and tectonics of the Reşadiye (=Datça) peninsula, SW Türkiye. *Inter. Earth Sci. Cong. on Aegean Regions (IESCA-1990)*. 1-6 October, Proceedings, Vol.-I, tectonic section, 116-128.
- ERSOY, Ş. (1991), Datça (Muğla) yarımadasının stratigrafisi ve tektoniği. *Geol. Soc. Of Turkey Bull.* 34, 1-14.
- ERSOY, Ş. (1997), Graben formation in the collisional belts: An example from SW Anatolia, 'Eşençay Graben'. *Inter. Earth Sci. Cong. on Aegean Regions (IESCA-1995)*. Proceedings, In: Ö. Pişkin, M. Ergün, M.Y. Savaşçın & G. Tarcan (eds.) 9-14 October, Güllük 95-111.
- EYİDOĞAN, H. (1988) Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes, *Tectonophysics*, 148, 83-92.
- EYİDOĞAN, H., GÜÇLÜ, U., UTKU, Z., DEĞIRMENÇİ, E. (1991), Türkiye Büyük Depremleri Makro-sismik Rehberi (1900-1988), *İTÜ Maden Fak., Jeofizik Müh. Bl.*, İstanbul.
- FLEMMING, N.C. (1978), Holocene eustatic and tectonic factors in the relative vertical displacement of the Aegean Coast. Implications for models of crustal consumption. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 289, 1362: 405-458.
- GALANOPoulos, A. (1955), Seismiki geographia tis Hellados. *Annales Geologiques Pays Helleniques* G, 83-121.
- GÖRÜR, N., SAKINÇ, M., BARKA, A., AKKÖK, R. AND ERSOY, Ş. (1995a), Miocene to Pliocene palaeogeographic evolution of Turkey and its surroundings. *Jour. of Human Evolution* 27.
- GÖRÜR, N., ŞENGÖR, A.M.C., SAKINÇ, TÜYSÜZ, O., AKKÖK, R., YİĞİTBAS, E., OKTAY, F.Y., BARKA, A., SARICA, N. ECEVİTOĞLU, B., DEMİRBAĞ, E., ERSOY, Ş., ALGAN, O. GÜNEYSU, C., AND AYKOL, A.(1995b), Rift formation in Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of Aegean Sea. *Geol. Mag.* 132, (6), 637-650.
- HAKYEMEZ, Y. (1989), Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki Senozoyik yaşılı, çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi. *MTA Dergisi*, 109, 9-21.
- JACKSON, J.A. AND MCKENZIE, D. (1988), Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 77, 185-264.
- KAYAN, İ., (1988), Late Holocene Sea-Level Changes on the Western Anatolian Coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 68, 205-218.

KETİN, İ. VE ERGUUVANLI, K., (1957), Fethiye zelzelesinin makrosismik etüdü hakkında rapor, *İTÜ Yerbilimleri ve Yeraltı Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi Sismoloji ve sismotektonik Alt Birimi Arşivi* (yayınlanmamış rapor).

KURAN, U. AND YALÇINER, A.C., (1993), Crack propogations earthquakes and tsunamis in the vicinity of Anatolia, in S.Tinti (Ed)5th International Tsunami Symposium, 1991, *Tsunamis in the World, Khwer Academic Publishers*, 159-175.

KURT, H., DEMİRBAĞ, E. AND KUŞÇU, İ. (1999), Investigation of the submarine active tectonism in the Gulf of Gökova, southwest Anatolia-southeast Aegean Sea, by multichannel seismic reflection data. *Tectonophysics* 305, 4, 477-496.

LOVE, I.C. (1973), A brief summary of excavation at Knidos 1967-1973. In: E. Akurgal (editor), *Proc. 10th Int. Cong. Classical Archeol.*, 1973, 2.*Türk Tarih Kurumu*, Ankara.

MCKENZIE, D. (1972), Active tectonics of the of the Mediterranean region. *Geophy. Jour. of the Royal Astron. Soc.*, 30, 109-185.

MCKENZIE, D. (1978), Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophy. Jour. of the Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254.

MINOURA, K., IMAMURA, F., KURAN, U., NAKAMURA, T., PAPADOPoulos, G., TAKAHASI, T. AND YALÇINER, A.C., (2000), Discovery of Minoan tsunami deposits, *Geology*, 28, 59-62.

PAPANIKOLAOU, D. AND LEKKAS, E. (1990), Miocene tectonism in Kos, Dodekanase islands. *Proceedings of the International Earth Science Colloquium on The Aegean Region*, IESCA-1990. Abstracts 179-180 İzmir.

PATON, S. (1992), Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey. *Jour. of Geol. Soc. London*, 149, 1031-1044.

PERISSORATIS, C. AND PAPADOPoulos, G., (1999), Sediment instability and slumping in the southern Aegean Sea and the case history of the 1956 tsunami, *Marine Geology*, 161, 287-305.

PINAR, N. VE LAHN, E. (1952) Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu, T.C. Bayındırılık Bakanlığı, *Yapı ve İmar İşleri Reisliği*, Ankara, 36, No.6.

PİŞKİN, Ö., DELALOYE, M. AND FONTIGNIE, D. (1983), Données pétrochimiques et géochronologiques sur le magmatisme de péninsule de Bodrum sud-ouest de la Turquie. *Eclogae geol. Helv.* 76/2, 309-315

SEYİTOĞLU, G. AND SCOTT, B. (1992), Late Senozoic volcanic evolution of the northeastern Aegean region. *Jour. of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.

SIEBERG, A. (1932), Erdbebengeographie, in *Handbuch der Geophysik*, edited by B. Gutenberg, Band 4, Bornträger, Berlin, 527-1005.

SOYSAL, H., SIPAHIOĞLU, S., KOLÇAK, D., ALTINOK, Y. (1981), Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100-MS 1900) *Tubitak*, TBAG proje No.341, İstanbul.

SÖNMEZ, O. (1988), KNİDOS, Mavide Uyuyan Güzel. *Ege Yayımları*, 430s.

ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö. VE KUŞÇU, İ.(1992), Türkiye Diri fay Haritası. MTA Matbaası. Ankara

ŞENEL, M. (1997), Türkiye Jeoloji Haritaları No 1, Marmaris paftası (1/250 000), *MTA Jeolojik Etiği Dairesi*, Ankara, 11s.

ŞENGÖR A.M.C. AND YILMAZ, Y. (1981), Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.

UNDERHILL, J.R. (1987), Triassic evaporites and Plio-Quaternary diapirism in western Greece, *Geological Society of America Bulletin*, 98, 515-527.

YALÇINER, A.C., KURAN, U., MINOURA, K., IMAMURA, F., TAKAHASHI, T. AND PAPADOPoulos, G. (2000), Ege kıyılarda depreşim dalgası (tsunami) izleri, *Bati Anadolu Depremselligi Sempozyumu*, 24-27 Mayıs 2000, İzmir, 256-265.

YILMAZ, Y., GENÇ, Ş.C., GÜRER, F., BOZCU, M., YILMAZ, K., KARACIK, Z., ALTINKAYNAK, Ş. VE ELMAS, E. (2000), When did the western Anatolian begin to develop?. Tectonics and Magmatism in Turkey and the surrounding Area. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 173, 353-384.

ABSTRACT

The Oligo-Miocene-Quaternary stratigraphy and structure of the SW Taurides document two-phases of crustal extension, basin formation and associated sedimentation, a history similar to W Anatolian extensional province.

The study area lies between the Menderes Massif to the north and the Beydağları autochthon to the south and comprises a complex basement (i.e. the Lycian Nappes) and the overlying Late Oligocene to Quaternary sediments. Detailed studies of these sediments carried out over 10 years in the area should shed light on the recent debate on the age of extension of W Anatolia.

The Late Oligocene?-Early Miocene sediments overlie the basement over a low angle detachment surface and are represented by conglomerates of fan-delta origin. Kinematic indicators on the detachment surface suggest top to the south shear. Zones of intense listfenitisation of serpentinite mark the detachment surface in the southern areas. No serpentinite clast is present in the overlying conglomerates there. In the northern areas, the Upper Oligocene ? - Lower Miocene conglomerates structurally overlie the basement, which is represented by marbles. Well-marked stretching lineation along the boundary trends north-south and dips to the north with low angles.

The low angle detachment surface is cut by high angle extensional faults of Pliocene-Quaternary age in the study area. These faults created half graben structures in the Gökova region. The Gökova Bay is an active graben at present, bounded by horst blocks both to the N and S. Several E-W trending, parallel, high angle normal fault blocks to the north of the Gökova Bay can be observed. These faults cut the Oligocene-Miocene sedimentary sequence and are overlain depositionally by alluvial fans of Quaternary age. The Oligocene-Miocene sedimentary sequence were tilted northward within the fault blocks. The south margin of the Gökova graben is marked by north dipping fault blocks, along which the Oligocene?-Miocene limestone conglomerates were rotated southward.