

## D-4) - ESKİ ANTALYA LİMANI ÜZERİ KAYA HEYELANI JEOFİZİK ETÜD RAPORU

### 1.GİRİŞ

#### 1.1. Araştırma Konusu

Eski Antalya Limanı üzerinde bulunan 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargahı, TURBAN turistik tesisleri ve özel mülkiyete ait birkaç binanın yer aldığı sahada (Ek-1) aktif bir kaya heyelanı mevcuttur. Kaya heyelanı ile ilgili jeoteknik araştırma çalışmaları bu raporun ana konusunu kapsamaktadır.

Bu araştırma programıyla ilgili aletsel çalışmalar, Antalya Valiliğinin 17 Ağustos 1983 tarihli yazılı istekleri üzerine, Bakanlığımız Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı bünyesinden Mikrobölgeleme Baş Mühendisi Uğur Kuran, Kaya Zemin Mekaniği Baş Mühendisi Nevzat Büyükköse tarafından 23 Eylül – 3 Kasım 1983 tarihleri arasında tamamlanmıştır.

Etüt sahasında üç ayrı disiplinde araştırma programı bir tek amaç için yani heyelanı önleyici tedbirlerin planlanmasına yardımcı olmak için hazırlanmıştır.

Sismik Kırılma ve Elektriksel Özdirenç yöntemleri birlikte kullanılarak Traverten kütlesi içinde yer alan ezilme zonları ve fay kırıklarının uzanımları belirlenmiştir. Traverten kütlesinin duraylılığını bozan bu zonlar, daha sonra planlanacak enjeksiyon programına yardımcı olabilecek biçimde panel diyagramlar üzerinde gösterilmişlerdir.

Kaya heyelanının hangi kesimlerde daha büyük aktivite gösterdiğini belirlemek amacıyla üç ayrı noktada yatay ve düşey hareketler, uzun bir zaman diliminde hassas ekstensometrelerle belirlenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur.

#### 1.2. Heyelan Olayı ve Sonuçları

Gerek insan yapısı yarmaların gerekse doğal şevlerin zamanla bozulması sonucunda önemli derecede can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Heyelanların doğrudan veya dolaylı ekonomik kayıplarını hesaplamak oldukça zor ve bazen de imkansızdır.

Toprak kaymasının en anlamlı tanımı, 1950 yılında Terzaghi tarafından, “Yamacı oluşturan kaya, toprak veya yapay dolguların yamaç aşağı hareket etmesi” şeklinde yapılmıştır. Heyelan konusu ilk defa 19. asırda büyük kanallar, karayolları ve demiryolları güzergahlarının açılması ile mühendislerin karşısına güç bir sorun olarak çıkmıştır. İlk çalışmalar, Fransa’da A.Colin (1846) tarafından kanal inşaatlarının yapımı sırasında kayma problemlerinin varlığı fark edilince başlatılmış ve kaymaların eğri boyunca oluştuğuna dikkatler çekilmiştir. Heyelan mekanizmasıyla ilgili yayınlarda “Heyelan, yamaç aşağı etkili olan kuvvetin zemini oluşturan malzemenin dayanma direncine eriştiği anda meydana gelmektedir” denmektedir.

#### 1.3. Eski Antalya Limanı Kaya Heyelanına İlişkin Ön Bilgiler

Kaya heyelanı ile ilgili jeofizik etüt programına başlanmadan önce EK-1’de ana hatları belirlenmiş alan aktif fay kırığının 90 cm’yi bulan yatay ve 30-40 cm arasında düşey hareketlerinin yüzeyde izlenmesi üzerine, bu durumda da değişen bir yerdeğiştirmenin ne kadar zaman süresi içerisinde meydana geldiğinin anlaşılması önem kazanmıştır.

Bu nedenle heyelan sahasının üç ayrı noktadan izlenmesi için MAIHAK-MDS - 18b ekstensometresi ölçümleri başlatılmıştır. Heyelan kayma hızının iklim şartlarına göre değişiklik gösterebileceği düşüncesiyle ölçülerin kısa bir zaman aralığında değil, geniş bir zaman dilimi içerisinde alınmasına Antalya Valiliğinde yapılan toplantıda karar verilmiştir.

Aktif fay kırığının ne zaman meydana geldiği konusunda bilgi toplamak amacıyla askeri tesislerde görev almış birçok kişilerle ve yaşlı Antalyalılarla görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelerde çıkan sonuçlara göre; Heyelan, sadece Mart 1982’de dikkati çekecek

boyutta bir hareket göstermeyip geçmiş yıllardan günümüze kadar doğu-batı yönünde aktif fay üzerinde zaman zaman çeşitli derecelere varan hareketlerle izlenmiştir.

### **1.3.1 07.03.1983 tarihli Antalya Merkez PTT Müdürlüğü İnşaat Sahası Etüt Raporu**

Antalya merkezinde inşaatı planlanan Eski PTT Müdürlüğü ilave inşaat sahasının zemin yapısı ve arazi durumunun jeolojik etüdü 07.03.1983 günü Yalçın Yılmaz Atilla Arman ve Ahmet Çeliköz tarafında düzenlenen bir raporda sunulmuştur. Söz konusu raporda; bahçe duvarının güney tarafı denize doğru çöktüğünden kırığın yüzeydeki izi genişlemiş ve duvarın yer değiştirme gösterdiği kaydedilmiştir. Ayrıca planlanan tesislerin oturacağı sahada zemin, yapı ve arazi durumlarının inşaatı başlamadan önce bir heyet tarafından etüt edilmesi istenmiştir. Ancak daha sonra PTT binasının ilave inşaatına, zeminin kötü durumu nedeniyle bilirkişi raporuyla izin verilmemiştir. Sözü edilen kırık EK - 2.3'teki harita üzerinde 1973 yılı konumu itibarıyla gösterilmektedir.

### **1.3.2 02.03.1983 tarih ve 2/184 sayılı Vilayet Makamının isteği üzerine oluşturulan Jeolojik Heyet Raporu**

Jeolojik etüt raporunda kaya heyelanına neden olan mevcut kırık 1/1000 ölçekli harita üzerine yerleştirilmiştir. Ayrıca bu raporda 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı binası ile PTT arasında endişe verici bir hareket tespit edilmiştir. 1982 yılı yazında hareketler nedeniyle 25-30 ton ağırlığında bir kayanın Un Fabrikasının arkasına düştüğü belirtilmektedir.

### **1.3.3 16.03.1974 tarihli Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Fen Heyeti Raporu**

Etüt sahamızın 75 m. kuzeybatısında yer alan Antalya Özel İdare İşhanı inşaat sahası zemininde bazı boşluklara rastlanmıştır. (foto1,2) Antalya Valiliğinin yazılı isteği üzerine bu araştırma (08-11).03.1974 tarihleri arasında Jeofizikçi Uğur Yüksel, Koray Öncel ve Ahmet Gençoğlu tarafından yapılmıştır. Ancak hazırlanan bu jeofizik etüt raporunda; inşaat sahasında temel hafriyatları yapılması nedeniyle çalışma alanının daralması ve çalışma koşullarının kısıtlanmasından ayrıntılı olarak jeofizik uygulamaların yapılamadığı ve uygun yerlerde tek nokta elektrik sondajlarıyla sonuca gidilmeye çalışıldığı belirtilmektedir.

Ancak böylesine önemli bir yapının temelinde sınırlı bir jeofizik verilerin yanı sıra en az dört adet mekanik sondaj yapılması sahanın daha iyi tanınmasına imkan verebilecekti. Diğer taraftan, zeminlerin çimentolaşması derecesiyle yakından ilişkili olan sismik hız, bu sahada karstik boşluklar çimento ile doldurulmadan ve doldurulduktan sonra belirlenebilseydi zemindeki iyileştirmenin başarısına iyi bir gösterge olabilirdi.

## **2. İNCELEME ALANI VE GENEL JEOLJİ**

Etüt sahamız Antalya kentinde üzerine yerleştiği "Traverten" olarak bilinen ve yatay yönde olduğu kadar düşey yönde de istiflenmede önemli litolojik değişimler gösterebilen bir jeolojik birim içerisinde yer almaktadır. Karasal bir oluşumu gösteren travertenlerin deniz kotu altında en az 90 metreye kadar devam etmesi, Akdenizin traverten oluşumunu takiben yükseldiğinin belirtisidir. (Temelsu-1972). Traverten yaşı Pliosen ile Kuvaterner olarak belirlenmektedir. Yüzölçümü 650 km<sup>2</sup> olarak belirlenen traverten arazisi belirli bir şekilde ayrılmış üç seviye halindedir(Ref-6). Son çalışmalara göre, travertenin kalınlığı 300 metreye kadar varmaktadır.

Traverten Ref(5 ve 6)'ya göre dört ayrı sınıfa ayrılarak incelenmiştir.

- Sıkı dokulu Masif
- Süngerimsi Masif
- Bitki boşluklu (foto-3)
- Kil bantlı ve killi traverten (foto-4)

Ayrıca etüt sahamızın batısında yer alan Atatürk parkı İnşaat sahsında yapılan jeolojik etütlerde (Ref-5); Traverten ile ilgili dikkate değer verilerin elde edilmesine olanak sağlanmıştır.

Etüt sahamızın halihazırda önemli bir kesiminin yerleşim sahası içerisinde bulunması nedeniyle (PTT binası, 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargah binası v.s. gibi) bu bölgenin çok yakınında, Atatürk Parkından elde edilen jeolojik veriler, bizleri bu noktada daha etkin tedbirler almaya zorlamaktadır.

Bu araştırmalarda, traverten içindeki boşlukların çökmesi sonucu oluşmuş gravite fayları (A ve B fayları) kesitler üzerinde Doğu-Batı yönünde gelişim göstermişlerdir. Bu faylar yer yer dike yakın ve yer yer 70-80° kuzeye eğimlidir. A fayı büyük mağaranın kuzey duvarını oluştururken B fayı güneyinden geçer ve 70° eğim gösterir. Tüm bu alandaki boşluklar dolin ağzından bu fayın eğimi düzleminde güneye doğru gelişmiştir. Fay düzlemleri boyunca breşleşmeye de rastlandığı kaydedilmektedir (Ref. 5)

Etüt sahamızda Atatürk Parkından elde edilen verilere benzer şekilde Doğu-Batı yönünde gelişmiş bir fay kırığı görülmektedir (Ek-1)

Bu fay PTT binası ile Askeri Tesisler arasında 90-135 cm değerlerini bulan yatay hareketler gösterirken 30-40 cm düşey hareketler (Ç1- Ç2) noktasından (Ek-1) batıya doğru sürekli olarak izlenebilmiştir (Foto 5-6). Bu fay Foto 4'de görüldüğü gibi Askeri Tesislerin batısında ani olarak kuzeye doğru bir sıçrama (off-set) göstermiş ve bundan sonraki bölümü mevcut Askeri Tesislerin temelinden geçerek, bu tesislerin terasında, giriş katında, güney cephesindeki odalarda ve bodrum katında yapısal hasarlar meydana getirecek şekilde devam ederek PTT binası önünden ve daha sonra jeofizik verilerle belirlenen Ek-1'de ATU (4-6) noktalarına doğru uzanım göstermiştir. Mevcut aktif fay kırığı üzerinde sık aralıklarla yapılan işlemlerle eğim ve doğrultular belirlenmiş, fayın üzerinde bu değerler sistematik olarak Ek-1'de sunulmuştur. Ancak PTT binasının önu beton kaplama ve civarının bahçelerle çevrili olması nedeniyle bu kırığın PTT binasının doğusundaki eğim ve doğrultusu hakkında yeterli bilgi elde edilememiştir. Ek-1'de Ç1 ve Ç2 olarak belirlenen sahalar arasında 20 cm'yi aşan düşey hareketler izlenmiştir. Ölçülen doğrultu değerlerinden kırığın heyelan sahası üzerinde ve ters bir gelişim gösterdiği kolaylıkla izlenebilmektedir.

### **3. AKTİF FAY NEDENİYLE 3.ER EĞİTİM TUGAY KOMUTANLIĞI KARARGAH BİNASI İÇİNDEKİ YAPISAL HASARLAR**

Ek (4-5)'den açıkça görülebileceği gibi gerek giriş katının güney tarafı gerekse bodrumda aktif fayın zamanla gösterdiği hareketler sonucu yatay ve düşey deformasyonlar izlenmektedir.

Bodrum kat ve girişte izlenen kırıkların konum ve eğilimleri ile yatay ve düşey ötelenmeleri mm olarak Ekim-1983 tarihi itibariyle Ek (4-5)'deki şekiller üzerinde görülmektedir.

Ancak bodrum katının hemen üstündeki giriş katındaki odada (1 nolu oda) hiçbir kırık izlenmez iken 4 nolu odadan batıya doğru gidildikçe gerek büyüklük gerekse düşey hareketler açısından oldukça önemli kırıklar tespit edilmiştir. 8 nolu odada izlenen yatay hareket 4 nolu odadakinden yaklaşık 2 kat daha fazla değerlerde olmaktadır. Ayrıca 7 nolu odanın önünde 1.5 cm düşey hareketin izlenmesi zeminde oldukça yüksek dereceli hareketlerin belirtisidir. Bu noktadan batıya doğru gidildiğinde düşey hareketler Ç1-Ç2 noktasında (Ek-1) 20cm'yi bulmaktadır.

Aktif fayın varlığı, şüphesiz ki PTT binası önünde 1973 yılında açılan hafriyat sırasında belirlenmiştir. 1973 yılı durumu itibariyle bu fay Ek-3'te A bloğunu denize doğru itmiş ve kırık izi genişleyerek bahçe duvarı yer değiştirmiştir.

Ancak yapılan beton kaplama bugün PTT binası önünün 1973 yılı izlerini kapatmış görülebilir. Bu aktif fayın hareketleri daha sonra ekstensometrelerle üç ayrı noktada belirlenmiş ve özellikle EXY-2 noktasında (Ek-1) çok büyük derecede gelişmiş ve yılda ortalama 4 cm gibi değerler kaydedilmiştir.

#### 4. YÖRENİN TARİHSEL DEPREM DURUMU

Antik adıyla Likya ( Lykien) yani Antalya, bir zamanların çok fazla nüfuslu ve son derece gelişmiş şehirleriyle donatılmış bir yarımadadır. Bu yarımadadaki harabeler, muazzam bir geçmişin bugünkü tek tanığıdır (Ref 1). Bütün bu çevrenin şehirleri korkunç sarsıntılarla harap olmuştur. Buradaki depremlerle ilgili ayrıntılı bilgi olmamakla birlikte Ref 1-2'den şu bilgiler toplanmıştır.

Referans 2'de Antalya ile birlikte Manavgat ve Alanya'yı M.S. 417 yılında etkinliği altına alan yıkıcı bir depremden söz edilmektedir. Referans 1'de Antalya 1858 ve 1963 yıllarındaki depremden etkilenmiştir.

Antalya'nın harita mesafesi 70 km batısındaki eski adı Makri olan Fethiye'nin 1851 yılında geçirdiği sarsıntılarda iki dağ arasında kalan bir köyün ezilerek yok olduğu kaydedilmektedir. 11 Nisan 1855 günü olan depremde ise Fethiye (Marki) civarında çatlaklar ve tepeler meydana gelmiştir

Aslında Fethiye sakin bir olmayıp a zamanlardan günümüze kadar birçok sarsıntı geçirmiş ve bazı günlerde beş, altı hatta sekiz sarsıntıya maruz kalmıştır. Aynı referanslarda bu bölgede Sinbanus ve Levisay arasındaki bir dağdan kalın dumanların çıktığından ve iki dağın çöktüğünden söz edilmektedir.

Yine Antalya'nın çok yakınında olan Meis adasında meydana gelen sarsıntı (1864) dağlarda çatlamlar getirmiştir.

#### 5. ANTALYA LİMANI ÜZERİNDE “KAYA HEYELANI” JEOFİZİK ÇALIŞMALARI

Antalya liman üzeri kaya heyelanı ile ilgili jeofizik çalışmalar, karşılıklı atışlarla gerçekleştirilen sismik kırılma çalışmaları ve düşey elektrik sondajlarını içermektedir. Çalışmalar yoğun yerleşim sahalarının dışında topoğrafik şartların el verdiği ölçüde belirlenen profiller boyunca yoğunlaştırılmıştır. Bu jeofizik araştırma programından amaç, heyelanın aktif olarak geliştiği sahaların yüzeyden derinlere doğru ve yatay olarak traverten içinde izlenebilecek litolojik değişmelerin ortaya konmasıdır.

Bu nedenle uygulana sismik çalışma programıyla aşağıdaki dinamik parametreler bulunmuştur. Bu parametreler sırasıyla P dalga hızı, S dalga hızı, dinamik Poisson oranı, Kayma ve Shear Modülü, dinamik Elastisite Modülü, P ve S dalga sönüm katsayılarıdır (Ek-7). Sismik çalışmaların bu sahada uygulanmasından diğer bir amaç, özel süreksizlik gösteren seviyelerin tanınması ve tabaka kalınlıklarının saptanmasıdır. Diğer taraftan S dalga hızının belirlenmesi ve S dalga varışlarının gecikmeye uğraması gibi olayların incelenmesi heyelanın yamaç aşağı etkili kuvvetlerinin belirlenmesine ve fayların aktif olduğu bölgelerin saptanmasına yardımcı olmaktadır.

##### 5.1. Düşey Elektrik Sondajları

Elektrik özdirenç çalışmalarının bu projeye uygulanmasının nedeni, Ek 7'de görülen kesit üzerinde topoğrafik şartların elverdiği ölçüde penetrasyon sağlanarak derinlerde yer alan travertenin boşluk ve ezilme zonlarının belirlenmesine yardımcı olmaktır. ATU-1 ve ATU-9 arasındaki her 15 m aralıklarla seçilen 9 noktada Wenner elektrot dizilimiyle ölçüler alınmıştır.

Görünür özdirenç değerleri

formülüyle hesaplanmıştır.

$$\rho_a = 2\pi a (\Delta V / I)$$

Elektrot aralığı a'nın her değerine karşılık gelen bu değerler log-log kayıtları üzerinde gösterilmiştir (Ek 10). Bu çalışmalar sonunda derinlerde yer alan traverten kütlesi içinde ezilme zonları ve bozuşma göstererek özellikle travertenin düşey olarak çökmesine neden olan zayıf zonlar, düşey kolonlar halinde (taranmış kesimler) Ek 7'de tespit edilmiştir. Özdirenç ölçümleri ABEM A.C. Terrameter aletiyle yapılmıştır.

## **5.2. Sismik Kırılma Çalışmaları**

Antalya Liman üzeri kaya heyelanı ile ilgili olarak karşılıklı atışlarla tamamlanan bir sismik kırılma çalışması programlanmıştır. Uygun profil boyunca (1-9) noktaları 15 m aralıklarla belirlenen ölçü noktalarında P ve S dalgalarının zaman-mesafe diyagramları çizilerek tabaka kalınlıkları ve bunları karakterize eden dinamik parametreler saptanmıştır. Elde edilen veriler düşey kolonlar boyunca rezistivite verileriyle birlikte karşılaştırılarak Ek 7'de sunulmuştur. Jeofizik çalışmalar, PTT bahçesinin doğusundaki alanda ve çay bahçesinde, yüzeyde görülen mevcut kırığın devamını yakalamak için yoğunlaştırılmış ve jeofizikle bulunan muhtemel fay kesik çizgiler halinde Ek 7'de işaretlenmiştir. Bu çalışmalarda ölçülen sismik S dalgaları, şev duraylılığını projelendirmede önemli bir parametre olan Kayma Modülü hesaplamalarında kullanılmıştır.

Araştırmalarda 6 kanallı "Engineering Seismograph" kullanılarak profiller boyunca P ve S dalgaları ölçülmüştür. Ayrıca 12 kanallı ABEM SX-12 sismik kırılma cihazı da P dalgasının belirlenmesi amacıyla çeşitli yönlerde açılımlar yapılarak kullanılmıştır.

### **5.2.1. Enerji Kaynağının Yaratılması**

Heyelan sahasında enerji kaynağının yaratılmasında 50 kg ağırlığında konik biçimde ve yere gömülen çelikten yapılmış kütle üzerine, yaklaşık 2-2.5 m yükseklikten düşürülen 50 kg ağırlığında yarı küre biçiminde bir ağırlıktan yararlanılmıştır. Travertenin çok poroz ve çatlaklı olması nedeniyle yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle bazen ağırlık artırılması ve bazen de ağırlığın daha yükseğe çıkarılması sağlanarak enerji seviyesinin artırılmasına çalışılmıştır. Gündüz civardan önemli ölçüde gürültü geldiğinde çalışmalara daha çok gece ağırlık verilmiştir.

Heyelan sahasının hemen civarında yerleşim sahaslarının bulunması ve sahanın kritik durumda bulunması nedeniyle sismik kırılma çalışmalarında dinamit kullanılmamasından kaçınılmıştır. Zaman-mesafe eğrilerinin çizilmesini takiben tabaka kalınlıkları "intercept-zaman" formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu tabakalar Ek 7'de görüldüğü biçimde düşey kolonlar halinde belirlenmiştir.

## **5.3. Alınan Sonuçlar ve Yorumlar**

Jeofizik çalışmalardan ana amaç daha öncede ifade edildiği gibi kaya heyelanının aktif olduğu alan içerisinde hakim durumda olan traverten kütlesindeki ezilme, bozuşma ve fay zonlarının belirlenmesi olmaktadır. Bu zonların belirlenmesi ve sonuçta uygun kesitler üzerinde gösterilmesi, daha sonra mühendislik önlemlerinin (çimento enjeksiyonu, blonlama v.s.) yoğunlaştırılması gerekli kesimlerin ortaya konmasına olanak sağlayabilecektir.

Etüt sahasında üç ayrı disiplinde araştırma, bir tek amaç için yani heyelanı önleyici tedbirlerin planlamasına yardımcı olmak için yapılmıştır. Şimdi bunların sonuçlarını sırasıyla açıklayalım.

- a) Özdirenç çalışmaların yorumlanması izleyen Ek 7'de düşey kolonlar üzerinde koyu ve açık renkli seviyeler belirlenmiştir. Koyu renkli düşey kolonlar (yanlarında yüzeyden itibaren derinlikleri metre olarak belirlenmiştir) daha önce ifade edildiği gibi ezilme ve boşluk içeren seviyelerdir. Özellikle ATU-9,8,7,6 nolu ölçü noktalarında (Ek 11) 14 metreden itibaren hakim durumda görülen bu seviyeler oldukça fazla derinliklere kadar etkinliklerini sürdürmektedirler (Ref 7). 5 nolu ölçü noktasında itibaren ezilme zonlarındaki derinliklerde ve beyaz olarak belirlenen kolonlarda ise "Masif" olarak tarif edilebilen seviyeler mevcuttur. Koyu renkle belirlenen bu seviyeler, daha sonra

ekstensometrelerin sonuçlarının açıklandığı bölümde görüleceği gibi, travertenin özellikle düşey olarak sıkışmasına olanak veren seviyeleri oluşturmaktadır. Yağmur sularının yüzeyden derinlere doğru düşey hareketleri sırasında şekilde görülen koyu renkli kolonların bulunduğu seviyelerde erime ve bozuşma olaylarının hızlanacağı göz önünde bulundurulursa düşey hareketlerin bölgesel çöküntülerle birlikte yatay hareketleri de hızlandırabileceği düşünülmelidir.

- b) Görünür özdirenç düşey haritalama yöntemi; PTT ve Büyük otel bahçelerinde seçilen profil üzerinde 11 adet DES noktasında Wenner diziliminde ölçüler alınmış ve (a) elektrot açılımına karşılık gelen görünür özdirenç değerleri kullanılarak düşey görünür özdirenç haritası hazırlanmıştır. Bu haritada ATU-6 ile ATU-5 elektrik sondaj noktaları arasında, traverten içinde düşey yönde oluşmuş etkin bir fayın varlığı jeofizik süreksizlik olarak ortaya konulmuştur (ek 8).
- c) Kombine Wenner Özdirenç Yöntemi; Bu yöntemde kullanılan dizilimin şematik gösterilişi Ek 9a'da verilmiştir. Burada akım elektrotları AB, potansiyel elektrotları MN olarak gösterilmiştir. 3. akım elektroda C, AB'nin orta noktasında çıkılan dik üzerinde ve sonsuzdur. O'nun yönü fay zonuna veya fayın doğrultusuna paraleldir. Ölçümler  $a=10$  m,  $a=15$  m,  $a=20$  m için ACMN ve BCMN şeklinde yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen görünür özdirenç değerleri düşey ekseninde olacak şekilde grafiklendirilmiştir. (Ek9b, 9c, 9d), kurama göre  $\rho_a$  AC ile  $\rho_a$  BC grafiklerinin kesişme yerleri süreksizlikleri vermektedir. ATU-5 ile ATU-6 arasında düşey rezistivite haritasında belirlenen fay zonu  $a=5$  m,  $a=10$  m  $a=15$  m,  $a=20$  m için hazırlanan grafiklerle de belirlenmiştir.
- d) Sismik kırılma çalışmalarının sonuçları da benzer şekilde düşey kolonların üzerinde derinliğin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Sismik P ve S dalga hızlarından hesaplanan Poisson oranı, Dinamik Elastisite Modülü ( $\text{kg/cm}^2$ ) yüzeyde derinlere doğru belirlenmiştir. Sismik hız yönünden etüt sahasında üç ayrı hız zonu belirlenmiştir. Bunlar yüzeyden derinlere doğru şöyledir:
  1. En üst yüzeyde kalınlığı 0,70 – 1,24 m arasında değişen oldukça düşük elastik modüllerle karakterize edilen bir seviye görülmüştür. P dalgası hızının 145-333 m/s, S dalga hızının ise 41-80 m/s arasında geliştiği bu ilk seviye bozuşmuş havalanma zonu olarak tarif edilmektedir.
  2. İkinci seviye oldukça yüksek elastik modüller ile karakterize edilmiştir. S dalga hızları 745-1051 m/s arasında olup P dalga hızları 726-1905 m/s arasında değişim göstermektedir. Elastik modüller ve sismik hızlar ATU-1'de en yüksek değerlere erişmekte olup bu nokta için,  $E_d=72117 \text{ kg/cm}^2$   $G=28149 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur. Sismik hız ve modül değerleri doğruya doğru gidildikçe % 50 oranında azalan değerler göstermektedir. Sismik hız değerlerinin çimentolaşma derecesiyle doğrudan ilgili olduğu hatırlanırsa traverten kütlelerinin çimentolaşma derecesinin yatay olarak batıda doğruya doğru % 50 oranında azalan değerler göstermektedir. Bu azalmanın nedeni, daha sonrada açıklanacağı gibi kırık sistemlerinin özellikle ATU-4 ile ATU-6 arasında önemli ölçüde artmasına bağlanabilir çimentolaşmada bu azalım, sismik hız değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.
  3. Yüksek hız seviyesinin altında bazen daha düşük hızlarla karakterize edilen ve bazen de daha yüksek hız ve modül değeri verebilen traverten seviyeleri belirlenmiştir. Bunlar Ek 7'de belirlendikleri derinliklerde Kayma ve Elastik modüllerle birlikte gösterilmişlerdir.
- e) Sismik çalışmaların sonunda elde edilebilecek diğer bir veri, sismik dalga varışlarında izlenen gecikmelerdir. Genellikle elastik dalgalar, homojen ve sağlam bir ortamda varış

zamanlarında herhangi bir gecikme göstermezler. Fakat temel kayada düşey kırıklar ve bu kırıklar arasına kil dolgular varsa, bu taktirde elastik dalga, kırıkları aşarak ve içerisindeki kil dolgulardan geçerek alıcılara ulaştığında oldukça gecikmiş olacaktırlar. Elastik dalgaların bu özelliği genellikle yüzeye yakın seviyelerde izlenen önemli sismik bir olaydır (Ref 8).

Ek 6'da ATU-1 ve ATU-9 arasında karşılıklı atışlarla gerçekleştirilen S dalgalarına ait zaman-mesafe eğrileri görülmektedir. Burada düşey ekseninde S dalga varışları ( $\dots * 10^{-2}$ ) olarak belirlenirken, yatay ekseninde ölçü noktaları gösterilmektedir. ATU-1 ve ATU-2'den doğuya doğru yapılan sismik atışlarda dikkate değer zaman gecikmeleri gözükmez iken ATU-7 ve ATU-8'den batıya doğru atışlardan, ATU- 6 noktası civarı zaman gecikmelerinin ısrarlı bir şekilde görülmektedir. Aynı şekilde ATU-3'den doğuya doğru yapılan atışta da benzer gecikmeler yine ısrarlı bir tarzda kendini göstermektedir. S dalga varışlarındaki bu zaman gecikmeleri kesik çizgilerle işaretlenmiş olup düşük hız zonlarının varlığının etkin belirtileridir.

Ek 7'de düşey kolonların üzerinde özdirenç ve sismik sonuçların işlendiği bir panel diyagram görülmektedir. Bu panel diyagramda düşey diyagramların sol tarafında sismik veriler, sağ tarafında özdirenç sonuçları işlenmiştir. Bu panel diyagram üzerine ayrıca PTT binası önünde 1973 yılında kazı çalışmaları sırasında belirlenen iki fay kırığı kesik çizgilerle işlenip, fay kırığının ATU-1 ve ATU-9 profili üzerindeki uzanımında noktalı kesik çizgi halinde belirtilmiştir.

Bu iki fay kırığının ATU-4 ile ATU-6 arasına rastladığı dikkati çekmektedir. Ek 6'da görülen ve ATU-4 ve ATU-5 arasına rastlayan 'S dalga hızı gecikmeleri' bu fay kırıklarına rastlamaktadır. Ancak Ek 6'da yaklaşık yüzeyde 30 m.lik bir alanda (ATU-4, ATU-5, ATU-6 noktaları arası) izlenen gecikmeler PTT binası önünde belirtilen iki kırığa ilave olarak 3. bir kırığın var olduğunu ortaya koymuş durumdadır. Heyelan sahasının tek bir kırıktan ziyade en az 3 aktif fay kırığının etkinliği altında olduğu anlaşılmaktadır. 3. kırığın PTT binası önünde 1973 yılında belirlenen iki kırığa paralel adeta soğan zarı gibi kuzeye doğru gelişebileceği düşünülmektedir. Bunlardan sadece Ek 7'de belirlenen 1 nolu kırığın iki noktada, yatay bir noktada düşey yönde deformasyon miktarları zamanın bir fonksiyonu olarak ekstensometre ölçüleriyle belirlenmiştir. Bu ekstensometre sonuçlarına daha sonra değinilecektir.

## **6. HEYELAN SAHASINDA DEFORMASYON-ZAMAN OLAYI**

### **6.1. Kullanılan Yöntem ve Teknik**

Ref 4 raporunda, heyelanın aktif olduğunun gözlenmesini takiben kayma miktarlarını belirlemek amacıyla Ek 7'de görülen doğu-batı yönünde gelişim gösteren aktif fay kırığının çeşitli kısımlarda alçı deneyleri yapılarak belirli zamanlardaki hareket miktarlarının saptandığı görülmektedir. Ancak bu araştırmalar kısa bir süre içinde yaklaşık değer vermek amacını taşıdığından etüt sahası için üç adet MAIHAK deformasyon ölçer yerleştirilmiş ve milimetrenin binde biri hassasiyette deformasyon miktarları ölçülebilmştir. Ekstensometre kullanarak üç ayrı noktada ölçü alınmasının nedeni, deformasyon hızının aktif fay kırığının hangi kesiminde ne ölçüde değiştiğini ortaya koymaktır.

Saha gözlemlerinde belirlenen önemli bir olay, kaya heyelanının etkili olduğu yörede yatay olduğu kadar düşey hareketlerinde büyük derecede olduğudur.

### **6.2. Elde Edilen Sonuçların Yorumu**

- a) Ek 11'de en üst diyagram Ek 1'deki EXY-1 olarak belirlenen noktadaki yatay ekstensometreye ait deformasyonun zamanla değişimini göstermektedir. Grafikten görüleceği gibi deformasyon olayı zamanla doğrusal olarak değişmemektedir. 4 Kasım 1983 - 9 Şubat 1984 tarihleri arasında yaklaşık günde 2.84 mm kadar yatay

yönde açılma gözlenmektedir. Hesaplanan deformasyon hızı bu süre içerisinde  $1.17 \cdot 10^{-3}$  mm/saat olarak belirlenmiştir.

b) Ek 11'de ortada gösterilen deformasyon-zaman diyagramı Ek-1'de ve EXd-1 olarak gösterilen düşey ekstensometreye aittir. Buradan kolaylıkla görülebileceği gibi aynı süre içerisinde düşey hareket miktarı 0.95 mm olarak belirlenmiştir. Deformasyon hızı 3.95 mm/saat olarak hesaplanmıştır. Düşey hareket miktarı yatay hareketten yaklaşık 3 kez daha az seyretmektedir.

c) Ek 11'de altta EXY-2 olarak gösterilen yatay ekstensometre (yolun hemen altına yerleştirilmiştir) 5 Aralık 1983 – 9 Şubat 1984 tarihleri arasında oldukça yüksek değerlere ulaşan deformasyon hız değerleri vermektedir. Bu zaman aralığında  $3.39 \cdot 10^{-4}$  mm/saat değerinde elde edilen bu deformasyon hızı, diğer yatay ekstensometre değerinin yaklaşık üç katıdır. Ek 1'de EXY-2 diye belirlenen noktada yaklaşık yılda 2.97 cm yamaç aşağı bir hareket beklenmektedir.

30 Aralık 1983 tarihinde sonra düşey ekstensometrede kayda değer açılmalar görülmemektedir. Fakat yatay-1 EXY-1 ekstensometresinde 26 Ocak 1984 tarihinden itibaren dikkate değer şekilde deformasyon hızı tespit edilmiş olup bu değer  $3.45 \cdot 10^{-3}$  mm/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer daha önce EXY-2 için aralık ayı içinde kaydedilmiş deformasyon hızı düzeyindedir.

EXY-2 için kaydedilen toplam deformasyon miktarı ise 6.54 mm'dir. 30 Aralıktan sonra deformasyon hızında iyice artma görülmüş ve bu hız 3.61 mm/saat değerine erişmiştir. Kaya heyelanı ile ilgili daha önce yapılmış bir çalışmada (Ref 9) yapılar üzerinde önemli çatlakların geliştiği, zeminden gece gürültüleri duyulabileceği durumlar için deformasyon hızı değerleri belirlenmiştir. İzmir-Yeşildere (Agglomera) ile ilgili kaya heyelanı için bulunan deformasyon hızı değerleri  $66-124 \cdot 10^{-3}$  mm/saat olarak hesaplanmış olup, bu değerler Antalya kaya heyelanı değerlerinden yaklaşık 18-34 misli daha büyük mertebede olmaktadır. Ancak burada unutulmaması gereken konu heyelan olayının ortalama olarak biriken kalıcı deformasyonların yol açtığı bir kırılma olayıdır ve ne zaman meydana geleceğini kestirmek bugünkü teknolojiyle oldukça güçtür. Ancak eğri üzerinde deformasyon hızının artması, plastik deformasyon miktarının kısa zaman aralığında anormal büyümesi heyelanın yaklaşmakta olduğunun belirtileridir. Heyelanın ne zaman olacağını belirlemek için MDS-18b gibi hassas ekstensometre okumalarının her 5 dakikada bir ve yıllarca kaydedilmesi gereklidir. Ancak bu araştırmamızda haftada bir alınan okumalarla kabaca bir deformasyon hızı belirlemek mümkün olabilmektedir. Elastik ve plastik bileşenlerin belirlenmesi (Ref 9) deformasyon hızının artma miktarları her 5 dakikada bir alına ölçülerle ancak mümkün görünmektedir. Yeni geliştirilen bazı ekstensometre kayma hızının artması sırasında alarmlara verebilecek donatılara sahiptir ve bu önemli tesislerin üstüne bu tip bir cihazın takılması son derece yararlı ve gerekli görülmektedir. Bu cihaz yazıcı tip olabileceği gibi deformasyonu zaman göre çizen kaydedici (recorder) şeklinde de olabilir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen jeofizik veriler, heyelan sahasının esas yapısını oluşturan traverten kütlesinin yatay olduğu ölçüde düşey olarak ta önemli bozuşma ve zayıflama zonları içerdiğini ortaya koymuştur. Bu bozuşma ve ezilme zonlarının varlığı nedeniyle ki Ek 7'de 1 nolu fay önemli yatay ve düşey hareketler göstererek üzerinde yer alan mühendislik yapılarında yapısal hasar meydana getirmiştir (Ek 4-5).

Ekstensometre ölçümlerinde açıkça görüldüğü gibi travertenin içerdiği aktif fay kırıklarının zamanla yamaç aşağı hareketleri hızlandırdığı görülmektedir. 3 ayrı yöntem beraberce uygulanarak travertenin dinamik, elektrik özellikleri ve zamana bağlı (creep) tipi hareketleri belirlenmiştir. Bu bilgilerin ışığında heyelanın durdurulması ve gerek kaya

düşmesiyle olsun gerekse fay kırığının genişlemesi sonunda olsun yapısal hasarları en aza indirmek amacıyla aşağıdaki önerilerin yapılması gerekmektedir.

1. Ek 7'de siyah olarak belirlenen sütunlar, bozuşmanın ve fay kırıklarının etkinliklerini artırdıkları seviyeler olarak düşünülmelidir. Bu seviyeler önce basınçlı sularla yıkanarak kilden arındırılmalı, sonra basınçlı hava püskürtülerek kurutulmalıdır. Daha sonra açık çatlak sistemleri yüzeyden betonla kapatılarak çimento enjeksiyonu, bu bölgedeki travertenlerin özelliğine göre hazırlanmış bir program dahilinde uygulanmalıdır. Enjeksiyonla sağlamlaştırılan zeminin içsel sürtünme artırılmış olacağından, duraylılıkta böylece sağlanmış olacaktır.
2. Enjeksiyon programının uygulanmasından sonra zeminde ne ölçüde bir iyileşmenin meydana geldiğinin belirlenmesi için kritik kesimlerde dar jeofon aralıklarıyla sismik kırılma (S dalgası dahil) ve elektrik yöntemleri uygulanmalıdır. Özellikle önemli özdirenç düşüşlerinin belirlendiği seviyelerde yeni değerlerin ne ölçüde değişme gösterdikleri izlenmelidir.
3. Ekstensometre çalışmaları sadece bu araştırma programı sırasında değil, enjeksiyon ve blonlamaların tamamlanmasının ardından sürdürülmeli, böylece heyelan sahasında kaymanın ne ölçüde azaltılmış olduğunun saptanmasına çalışılmalıdır. Ekstensometre çalışmaları, heyelanın önlenmesi konusunda yapılan tüm mühendislik yaklaşımlarının başarı derecesini ortaya koyması açısından büyük önem taşımaktadır.
4. Mevcut şevlerin dış etkenlerden ve genellikle yüzey sularından korunması gerekmektedir. Bu nedenle şev yüzeyleri, titizlikle bitki örtüsü ve düşmekte olan kayalardan temizlenerek "çelik hasırlar" sağlam kayaya blonlanmalı ve üzeri püskürtme betonla kapatılmalıdır. Kaya içinden gelen sızıntı sular, yer yer yatay sondajlarla açılmış deliklere yerleştirilen delikli borularla boşaltılmalı ve böylece gözenek suyu ve çatlak suyu basıncının artması önlenmelidir.
5. Aktif fay ve buna paralel olarak geliştikleri belirlenen kırık sistemleri (Ek 7) PTT binası ve 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargah binasını doğrudan etkisi altında tutmaktadır. Bu nedenle kısa vadede bu binalarda oturmak büyük bir sorun yaratmamakla birlikte uzun vadede 59. sokak ile Atatürk Heykeli arasında kalan bölgede yeni inşaatların yapılmasına ve mevcut binaların genişletilmesine gerekli önlemler alınmadan izin verilmemesi, bu hareketli bölgeye yük getirilmemesi faydalı görülmektedir.
6. Uygulamasında öncelik taşıyan önlemler ise şöyle sıralanabilir:
  - a) Burada, Orduevi önünden geçen caddeden itibaren, yeraltına akıtılan yağmur suları denize yüzeyden açık beton kanallarla taşınmalıdır.
  - b) Büyük Otel, çay bahçeleri, belediye tuvaleti, PTT binası ve 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargah binası ve iskele yolu altındaki binanın pis suları su sızdırmaz fosseptik içinde toplanmalıdır.

Antalya'da jeofizik etütlerin devam ettiği sürece daha önce (20 Mayıs 1983) teknik heyet tarafından hazırlanan raporda öngörülen sahalarda ilave gözlemler yapılmıştır. Sonuçta 59.sokak ile Kadınyarı arasındaki ve denize bakan üç apartman ve köşedeki tek katlı bina ile Kadınyarı Deresinin Hükümet Caddesine kadar olan doğu kenarındaki binaların zeminlerinde herhangi bir çatlak veya önemli deformasyon izlenmemiştir. Ayrıca binaların içinde de ileride tehlike doğurabilecek önemli bir gelişme kaydedilmemiştir.

Ancak yer yer falez kenarından denize doğru lağım sularının meydana getirdiği ıslaklıklar gözlenmiştir. Bilindiği gibi su ile doymuş zeminler gerek dinamik gerekse statik yükler altında mukavemetlerini kaybedebilmektedir.

Yörenin bir deprem bölgesi olduğu akıldan tutulduğunda özellikle zayıflamış zeminlerin sığ odaklı ve yakın mesafede meydana gelecek depremden daha çok etkilenebileceği gerçeği unutulmamalıdır.,

Bu nedenle yukarıda adı geçen sahalardaki mevcut binaların lağım sularının deniz seviyesine sondajlarla ulaşarak akıtılması gerekmektedir. Bu konuda Antalya Belediyesinin bina sahiplerine önerecekleri tavsiyeler göz önüne alınmalıdır.

## REFERANSLAR

- 1- *Weismantel Otto (1891), Batı anadolu Yersarsıntularının Tarihi Devirlerdeki Durumu, MTA Derleme No:1595 (Tercüme, 1965 yılında yapılmıştır.)*
- 2- *Calvi, Wilhelm S. (1941). Türkiye ve Komşu Ülkelerinin Deprem Katoloğu, MTA Ref – 276.*
- 3- *Yalçın, Yılmaz; Arman Atilla; Çeliköz Ahmet (1973). Antalya Merkez PTT Müdürlüğü İnşaat Sahası Etüd Raporu.*
- 4- *Şahin, Nihat; Coşkun, Nihat; Oral, Oral; Budik, Abdullah; Kutluer, Orhan; İyiler, Hasan (1983). Jeolojik Heyet Raporu.*
- 5- *Şahin, Nihat (1983), Antalya İli Atatürk Parkı İnşaat Sahası jeolojik Ön Etüdü (Antalya Belediyesi-Çevre Sağlığı Müdürlüğü).*
- 6- *Temelsu (1972). Düden Hidroelektrik Santrali Jeolojik Raporu.*
- 7- *Kuran, Uğur (1979). Kaya Mekanığı ile Jeofizik Yöntemler Arasındaki önemli İlişkiler ve Bunların Işığında Temel Kaya içinde Yeralan Fay Zonlarının Yüzeyden Wenner Sondajlarıyla Bulunması. Jeofizik Cilt VIII No:3, Aralık.*
- 8- *Watkins, Joel, S. Ve Diğerleri (1965) “ Investigation of Institu Physiacal Properties of Surtaca and Subsurface Site Materials by Engineering Geophysical Techniques NASA-T-25091 (6).*
- 9- *Kuran, Uğur (1979). İzmir Yeşildere Heyelan Sahasında Kuvvet-Deformasyon Olayı ve Deformasyon Hızının Ekstensometrelerle Saptanması (Türkiye Jeoloji Mühendisliği Kongresi Bülteni).*
- 10- *Cheng, Yu Wen (1980). Location of Near Surface Fault in Geothermal Prospect by the “Combined Head-on Resitivity Profiling Method Proceedings of THE NEW ZEALAND GEOTHERMAL WORKSHOP.*

## EKLER

- Ek 1** : Eski Antalya Liman üstü kaya heyelan sahasının çalışma alanı haritası
- Ek 2** : Antalya eski PTT binası önünde belirlenen kırıkların 1973 yılı durumun gösteren Kroki (1973)
- Ek 3** : Antalya eski PTT binası önünde belirlenen kırık sistemlerinin 1973 yılı durumun gösteren Blok Diyagram
- Ek 4** : 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargah Binası bodrum katında heyelan sonucu oluşan kırık sistemlerinin görünümü
- Ek 5** : 3. Er Eğitim Tugay Komutanlığı Karargah Binası giriş katında görülen kırıkların teras ve odalardaki uzanımları
- Ek 6** : 1-9 Nolu Sismik Profil Boyunca S dalgasının varışına ait zaman-mesafe diyagramı
- Ek 7** : Eski Antalya Liman üstü kaya heyelanı sahasında elde edilen jeolojik ve Jeofizik verilerin Panel Diyagramı
- Ek 8** : Eski Antalya Liman üstü kaya heyelanı sahasında düşey görünür özdirenç haritası
- Ek 9** : a=5 m, a=10 m, a=15 m, a=20 m ölçü aralıkları için Kombine – Wenner Özdirenç Sonuçları
- Ek 10** : Eski Antalya Liman üstü kaya heyelanı sahasında ATU (7-8) ölçü noktalarındaki ezilme zonlarında görülen önemli rezistivite düşüşleri
- Ek 11** : Eski Antalya Liman üstü kaya heyelanı sahasında 2 Yatay 1 Düşey yöndeki Deformasyon Zaman Olayı

## FOTOĞRAFLAR

- Fotoğraf 1** : Antalya Özel İdare İşhanı Temel Hafriyatından görünüş
- Fotoğraf 2** : Antalya Özel İdare İşhanı Temel Hafriyatından görünüş
- Fotoğraf 3** : Travertenin gözenekli yapısını belirten bir fotoğraf (Antalya Orduevi Bahçesi)
- Fotoğraf 4** : Traverten seviyeleri arasındaki killeşmeleri gösteren bir fotoğraf (Antalya Limanı Yakınındaki özel bir inşaatın temel hafriyatından alınmıştır.
- Fotoğraf 5** : Ek 1'de Ç<sub>1</sub>-Ç<sub>2</sub> olarak tanımlanması ve Exd-1 ekstensometresinin yerleştirildiği açıklık
- Fotoğraf 6** : Tugay Karargahının bahçe duvarı ve PTT ile Tugay Karargahı arasından geçen yol üzerinde gözlenen çatlaklar