

SİSMİK UYGULAMALARLA ZEMİN YENİLME RİSKLERİNİN İRDELENMESİ

THE STUDY OF GROUND DEFORMATION RISK WITH SEISMIC APPLICATIONS

(MENGÜLLÜOĞLU. Nevzat., ÖZTÜRK S.Melike.)

Jeofizik Müh.

Jeofizik yük. Müh.

Anahtar Kelimeler:

Zemin yenilme riski (Deformasyonu), Heyelan, Sismik elastik parametreler, Sismik Hızlar, SPT N30, Formasyon, Eğim, Katman, Litoloji, Şev stabilite Analizi, Eşik İvme Kriteri, Statik-Dinamik Kuvvetler, Mikrotremor, Zemin Hakim Titreşim Peryodu, Zemin Büyütme Aralığı, Yerel Zemin Sınıfı, ABYYH. Yön, V_p/V_s oranı.

ÖZET

Herhangi bir kuvvet etkisi altında kalarak, yenilme (deformasyon) riski taşıyan zeminlerin irdelenmesinde bilindiği üzere çeşitli yöntemlerle analizler yapılmaktadır. Çoğu yaklaşımlarla yapılan analizlerde her yöntemin artıları ve eksileri bulunmaktadır. Kullanılan bir çok yöntem; tek başına yetersiz kalmakta, çoğu kez mühendisin deneyim ve yorumuna göre karar verilmekte veya yorumlamada belirsizlikler oluşabilmektedir. Bilindiği gibi sismik uygulamalarla elde edilen bir çok verinin yanı sıra zemine ait ; sıklık, gözeneklilik özellikleri, suya doygunluk ve katman kalınlıkları da belirlenmektedir. Zeminin sıklık ve gözeneklilik özellikleri, zemin yenilmesi (Heyelan, sıvılaşma, oturma, plastik Vb.) ile ilgili bilgilerde elde edilmekte, ayrıca hesaplanan dinamik parametrelerin tümü birlikte değerlendirilerek genel bir sonuca ulaşılmaktadır.

Bu çalışma İstanbul, Esenyurt ta benzer litoloji ve morfolojik eğime sahip iki ayrı alanda yapılmıştır. Birinci Çalışma alanında morfolojik eğimi %10-25 olan kısımda heyelanlı bölge ile aynı sahada geri kalan alanda risk belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci çalışma alanında da ise birinci çalışma alanında elde edilen verilerin özellikleri ve bu özelliklere göre morfolojik eğimi %10-25 aralarında değişen zemine ait yenilme riski irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucu zeminlerin yenilme risklerinin; sismik verilerle irdelenmesi ve zemin yenilme risklerinin belirlenmesi için çalışmalarımızın hangi sismik veriler aralığında olması gerektiği, ayrıca hesaplanan dinamik elastisite parametrelerin yorumlanmasının meslektaşlarımızla paylaşılması amaçlanmıştır.

Heyelan geçirmiş veya olası heyelan alanlarında (yenilme riski belirlenen alanlarda); sondaj çalışmalarında yapılan SPT deneylerinden elde edilen N30 değerleri ile, aynı alanda alınan sismik kırılma verilerinin literatürde kabul edilen karşılaştırılmalardan uzak olduğu açıkça görülmüştür.

Bu çalışmada; Sismik uygulamalar sonrasında elde edilen sonuçlara göre litolojik yapıya bağlı olarak zemin yenilmesi gözlenen (Heyelan, oturma, Vb.) zeminlerin V_p/V_s oranlarının 4 ten büyük veya V_s kayma dalga hızının 222m/s den daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Yine bu çalışmalar neticesinde Zemin yenilme riski beklenen alanda ; V_p/V_s oranlarının 4,44-8,85, Shear modüllerinin 568-2381kg/cm², kayma dalga hızlarının 334m/s den daha düşük olduğu görülmüştür. Bu değerler bir önceki çalışma alanında zemin yenilmesi gözlenen alandaki (heyelan geçirmiş) verilerle karşılaştırıldığında yakın değerlerin elde edildiği gözlenmiştir. Bu veriler ışığında; sözü edilen birimlerin yenilme riski taşıdığını açıkça görülmektedir.

ABSTRACT:

As it is known, analysis are made with various methods in studying the grounds which convey the deformation risk under the influence of any force. In the analysis which are made mostly by assumptions, each method has its advantages and disadvantages. Most methods which are applied are not sufficient alone and the decision is made according to the experience and comments of the engineer most of the time and there may exist ambiguity in these comments. As it is known, besides most data obtained by the seismic applications; rigidity, porosity, saturation and the layer thickness of a ground is also determined. The data concerning the rigidity and porosity of the ground, landslide, liquefaction, consolidation, plasticity, etc. is obtained as well, moreover, a general result is achieved by evaluating all of the calculated dynamic parameters.

This study is made on two different areas in İstanbul-Esenyurt which have similar litological and morphological slopes. In the first study area, the risk factor is tried to be determined in the deformed region which has 10-25% morphological slope and in the remaining region. In the second study area the data obtained from two study areas are compared and the landslide risk of the ground having slope in the range 10-25% is examined. As the conclusion of the study, ground deformation is examined with the seismic and dynamic data.

In the landslided areas or in the areas having potential landslide risk; it is understood that the seismic reflection data are intolerably diversing from the N30 data obtained from the SPT experiments done in borehole studies.

In this study, according to the results achieved by seismic applications, it is observed that the grounds which have undergone deformation depending on the litological structure have V_p/V_s ratio greater than 4 or the shear wave velocity V_s smaller than 222 m/s.

In this study again, in the area which ground deformation is expected, it is observed that V_p/V_s ratio is between 4,44-8,85, shear modules between 568-2381 kg/cm², and the shear wave velocity is smaller than 334 m/s. These values are approximate to the values obtained from the area in which deformation is observed. In the light of this data, it is obviously seen that the layers mentioned so far have deformation risks.

GİRİŞ

Uygulamalar iki ayrı alanda gerçekleştirilmiştir. Birinci çalışma alanımızda (Şekil-1.1); arazinin kısmen eğimli olduğu ve Heyelan geçirmiş olduğunu söyleyebiliriz. Birinci çalışma alanında arazide 10 profil boyunca sismik kırılma, 4 adet mikrotremor ölçüleri bunun yanı sıra 15 noktada mekanik sondaj yapılmıştır. İkinci çalışma alanımız(Şekil-2.1) ise yine kısmen eğimli ama henüz heyalan geçirmemiş bir sahaya aittir. Bu alanda ise 10 noktada mekanik sondaj ve 6 profil boyunca sismik kırılma ölçüleri alınmıştır. Her iki alanda elde edilen sondaj ve lab. verileri ile sismik veriler karşılaştırılmıştır.

TEORİ VE YÖNTEM

Birinci Çalışma Alanı

Heyelan geçirmiş alanda yapılan mekanik sondajlarla elde edilen SPT N30 değerleri bir veri (4) dışında 8-27 aralığında elde edilmiştir.

Tüm alanda ise 7.95m derinliklere kadar SPT N30 değerleri 5-27 olarak bulunmuş. Bu derinliklerde yapılan 225 adet SPT testinde elde edilen N30 değerinden 27 tanesi 5-11 aralığında; geri kalanları ise 12-27 aralığında tespit edilmiştir .Başka bir deyişle 7.95 m derinliklere kadar ortamın yaygın SPT N30 değerlerinin bir kaç tanesi dışında 12-27 arasında

olduğunu göstermektedir. Yaklaşık 10,50- 13.0 m değişen derinliklerden sonra N30 değerleri 32 – refü aralarında değişen değerler elde edilmiştir. Sondajlar esnasında üst seviyelerde yaklaşık 10,50 –13.0m derinliklere kadar gözlenen killi bileşenler çoğunlukla dağılğan , fissürlü olup üst seviyeler daha çok ayrık nitelikli birimler özelliklerinde olduğu görülmüştür. Alanda gözlenen zemin hareketleri yarı dairesel – düzlemsel kayma –akma türündedir. Hareket eden birimlerin kalınlıkları ve yayılımları değişkenlik göstermekte ve kalınlıkları 2.50m –8.50m aralarında olduğu gözlenmiştir. Alanın temel zeminini oluşturan N30 değerleri refü olan çok sert kil birimleri olası potansiyel kayma yüzeyini oluşturduğu düşünülmekte ve bu birimlerin eğimi, sondaj gözlemlerine göre çizilen zemin kesitlerini incelendiğimizde max. 16° civarında olduğu görülmüştür.13.0m derinliklerdeki birimlerin sismik analizleri yapılmadığından emin olunmamakla birlikte olası potansiyel kayma yüzeyi olarak düşünülmüştür.

Sismik ölçülerde, her profilde, boyuna dalga çift, enine sismik dalga tek taraflı ölçülmüştür. Ölçülen profillerin nüfuz derinlikleri max. 8.0 m dir. Ölçümlerde 12 kanallı Geometrics – Seis marka sismik cihazı kullanılmıştır. Değerlendirmelerde SİP programı kullanılmıştır. Profil uzunlukları 18,50-24m aralarında tutulmuş, jeofon aralıkları açılım boylarına bağlı olarak 1.50-2.0m, Ofsetler ise bir metre uygulanmıştır.(Şekil-1.1, Şekil -1.2)

Sismik kırılma uygulamalarında üst seviyelerde elde edilen ve kalınlıkları 2,50-7,50m aralarında değişen ve Boyuna dalga hızları 148- 669m/s, Kayma dalga hızları 72-182m/s aralarındaki hız değerlerin oldukça ayrık ve örselenmiş zemin türüne, Vp dalga hızları 1000 – 1022m/s birimlerin hareket etmiş killi seviyelere ait olduğu söylenebilir. S7 profilinde ise hareket etmiş sert killi birimlerin Vp=1431m/s- Vs=157m/s sismik hız değerleri ile temsil edildiği, Vs hızının düşük oluşunun kilin lamine ve fissürlü özellikte olmasına bağlı olduğu söylenilebilir. Elde edilen 1333-2052m/s Vp dalga hızlı killi birimlerin su içeriğinin nispeten yüksek, ayrıca konsolide özellikte olduğunu, bu birimlerin düşük kayma dalga hızları ve yüksek Vp/Vs değerlerine bağlı olarak killi birimlerin lamine veya fissürlü olabileceği söylenilebilir. Tüm alanda Vs kayma dalga hızları tüm profillerde 74- 222 m/s, 7.95m derinliklere kadar SPT N30 değerleri 5-27, Üç eksenli deneyden elde edilen İçsel sürtünme açıları ise 3.5-8.0° aralarında elde edilmiştir.

Heyelan gözlenen, morfolojik eğimin %10-%25 olduğu alanda ölçülen S7-S8-S9-S10 profillerinde III. sismik katmanlarda Vp/Vs oranları 6.0-10.09; Poisson oranları 0.485-0.49 değerini vermektedir.

Aynı formasyon ve litolojik özelliklere sahip, morfolojik eğimleri düz olan alanlara ait II.ve III. sismik katmanlarda ölçülen birimlerde ise Vp/Vs oranları 2.27-11.03 aralığında elde edilmiştir. III. sismik katmanda elde edilen 1022-1586 boyuna dalga hızlarına göre, bu birimler taşıma gücü ve kayma mukavemeti açısından oldukça zayıf zemin özelliklerini gösterdiği, killi bileşenlerin su içeriğinin yüksek ve fissürlü yapıda olduğunu tanımlamaktadır.

Bu veriler ışığında morfolojik eğimi düz olan kısımlarda ve heyelanlı alanda yapılan çalışmalar sonucunda birbirine çok yakın verilerin elde edilmesi, düz alanlarda eğimin 6° den fazla olması durumunda heyelan olabileceğini göstermektedir.

Düz bir topografya ya sahip kısımlarda elde edilen verilere göre mutlaka zemin deformasyon riskleri bulunmakta, morfolojik ve litolojik özelliklere göre bu birimlerde yükleme sırasında zemin yenilmesi olabileceği, aşırı oturmalar şeklinde riskleri olduğu açıkça görülmektedir.

Alanda elde edilen düşük P değerinin üst seviyelerde yeralan birimlerin su ihtiva etmediği, ayrıca killi birimlerin su içeriğinin düşük oluşunu tanımlamaktadır. Yüzeydeki bu verilerin değerlendirilmelerinde daha çok Vs kayma dalga hızı göz önünde bulundurulmalıdır.

Heyelan geçirmiş zeminde III. sismik katmandaki boyuna dalga hızların (V_p) 1333m/s den büyük oluşu birimlerin SPT N30 değerleri ile, düşey sıkılıkları iyi ve kıvamlılıklarının çok katı- sert kıvamda kil olarak tanımlanan litolojiye uygun olduğu, ancak SPT ve labaratuar değerlerin şev analizlerinde tek başına yetersiz olduğu görülmektedir.

Yağışlı dönemlerde kapiler (yüzeyaltı) su doygunluğu nedeni ile ve eğime bağlı olarak yüzey- yüzey altı sularından kaynaklanan kütle hareketlerinde gözlemlenen kritik eğim şev açısı 6^0 dir. Heyelanlı zeminde İçsel sürtünme açılarının $5-8^0$, serbest basınç değerlerinin (q_u)= 0.98-1.43; kg/cm² ; üç eksenli basınç deneylerinden (C_u) min 0.72kg/cm² aralığında elde edilmiştir.

Dinamik kuvvet (Deprem) etkisi olmadan Heyelan gelişimi olan, yeraltısuyu içermeyen birimlerde, max. eğime ve elde edilen minimum içsel sürtünme açısına bağlı olarak; dinamik yükler ihmal edilerek yapılan şev analizlerinde GS katsayısı 2.50 den daha büyük bulunmuştur

Genel bir değerlendirme yapılması gerekirse V_p/V_s oranlarının çoğunlukla 4 ten daha büyük ve poisson oranlarının çoğunlukla 0.41-0.494 aralarında olması birimlerin yenilme riski taşıdığını açıkça ifade etmektedir. Ayrıca killi birimlerinin su içeriğinin yüksek ve plastik özelliklerde olabileceğini tanımlamaktadır. Ayrıca aynı derinliklerde farklı hız ve farklı young modülü değerlerinin elde edilmesi yer yer farklı oturmaların olabileceğini ifade etmektedir. Young modülü değerlerin 2786 kg/cm² den daha düşük oluşu, çok zayıf- zayıf değerler aralığında ve birimlere aşırı yükleme halinde şekil değişiminin olabileceğini ifade etmektedir. Shear Modülü kesme direnci olarak tanımlanır. Yani deprem anında zeminin olası deformasyonunun en belirgin ölçüsüdür. Shear modülü değerlerin 937kg/cm²den daha düşük oluşu, deprem anında birimler çok zayıf düzeyde esneme direnci göstereceğini, başka bir ifade ile deprem esnasında veya hemen sonrasında heyelan olabileceğini tanımlamaktadır.

Bu veriler doğrultusunda sismik ölçülerle belirlenen birimlerin temel zemin olarak nitelendirilecek kriterleri taşımadığı açıkça ifade edilebilir.

Alanda litolojik ve eğim özelliklerine bağlı olarak bu veriler doğrultusunda beklenen deformasyonlar daha çok aşırı oturma ve kayma riskleridir. Bu çalışmada amaçlanan zemin deformasyonlarının irdelenmesi olduğundan ölçü profil uzunlukları uzun tutulmamış ,kayma yüzeyi tespit edilmemiştir.

Sondaj verileri ve yapılan gözlemlerle alanda gelişen ve olası kayma yüzeyinin max. 10.50-13.0m kalınlıklar aralarında olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanını oluşturan birimlerin zemin büyütme aralığı (T_1-T_2) başka bir ifade ile yerel zemin sınıfının tespiti ve “ T_a ”, “ T_b ” spektrum karakteristik periyotların belirlenmesi, proje sahasını etkileyecek olası bir deprem esnasında zeminde neden olacağı yer hareketlerinin zaman ve frekans ortamında tanımlanmasında ve diğer jeolojik, jeoteknik bulgulara katkı sağlamak amacı ile dört adet microtremor ölçüsü alınmıştır.

Nakamura yöntemi olarak bilinen bu yöntemde, bir noktada üç bileşen gürültü kaydı yapılmıştır. Bu ölçüm tekniğinde spektral oran iki yatay ve bir düşey bileşen kullanılarak hesaplanmıştır. (Şekil-1.3)

Mikrotremör ölçümlerinde zeminin salınım aralıkları T_a değeri 0.20 -0.25sn.aralarında ; T_b değerleri ise 0.73-0.87sn. , Zemin hakim periyotlar (T_0) 0.40-0.54sn aralarında elde edilmiştir. Mikrotremor ölçü sonuçlarına göre mevcut Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğin zemin sınıflamasına göre yerel zemin sınıfı Z4 aralığında (T_a :0.20sn- T_b :0.90sn) olduğu açıkça görülmektedir.(Şekil-1.3)

Elde edilen bu verilerin sismik ölçülerle uyumlu olduğu, ancak yapılan sondajlarda 10-12.0m derinliklerden sonra killi bileşenlerde elde edilen 31-Refü aralarındaki SPT N30 değerleri ile uyumlu olmadığını görmekteyiz. Mevcut Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki

Yönetmeliğin; zemin sınıflamasına göre yerel zemin sınıfının tespiti öngörülen SPT N30 değerleri göz önüne alındığında ise yerel zemin sınıfı Z2 (Ta:0.15sn-Tb:0.40sn) olarak tanımlanacaktır. Max. Kalınlıkları 13.0m olan heyelan yapmış ve deformasyon riski taşıyan birimlerin Z2 olarak sınıflandırılması son derece tutarsız olacaktır. Aynı zamanda bu verilere göre zemin büyütme riski ihmal edilecektir. Burdan yola çıkarak sadece SPT N30 verileri ile yerel zemin sınıfının tespitlerinde hata olabileceği açıkça görülmektedir.

İkinci Çalışma Alanı

Zemin yenilmesi gözlenmeyen alandır. Bu inceleme sahası eğim aşağı kısımda düz morfolojiye sahip dere yatağı alanı ile eğim yukarı kısım ise %10-25 arasında yaklaşık doğuya doğru morfolojik eğime sahip kısımdan oluşmaktadır. Alan jeolojik olarak iki ayrı formasyondan oluşmaktadır. Dere düzlüğünün üst seviyelerinde kil-kum-çakıl malzemesinden oluşan kalınlıkları 4.50-7.50m aralarında değişen alüvyonal, alt seviyelerinde gürpınar formasyonu ile eğim yukarı kısımda ise gürpınar formasyonuna ait birimlerden oluşmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarla zemin yenilme riski irdelenmiştir.

(Şekil-2.1.-Şekil-2.2.)

Sismik ölçülerde, her profilde, boyuna dalga çift, enine sismik dalga tek taraflı ölçülmüştür.

Ölçülen profillerin nüfuz derinlikleri max. 8.0 m dir.

12 kanallı Geometrics – Seis marka sismik cihazı kullanılmıştır. Profil uzunlukları 24m tutulmuş, jeofon aralıkları 2.0m, Ofsetler ise bir metre uygulanmıştır.

Alüvyonal birimlerde; SPT N30 değerleri çoğunlukla 14-33, Kayma dalga hızları max. 174-203m/s $V_p=1214-966\text{m/s}$ aralığında hesaplanmıştır. Yapılan laboratuvar testlerinde ise alüvyonal kumlu kil seviyelerinde $q_u=1,42\text{kg/cm}^2$ elde edilmiştir. Alüvyonal birimlerin altında gözlenen Gürpınar formasyonuna ait birimlerde SPT N30 değeri 22-refü; Kayma dalga hızları 400-483m/s; V_{pd} dalga hızı ise $=1870-2000\text{m/s}$ ölçülmüştür.

Eğimli kısımdaki Gürpınar formasyonuna ait birimlerde ise S_k-6 da 9.0m derinliklere kadar SPT N30 değerleri 5-13; bu kısımda $V_p=2000\text{m/s}$ - $V_s=314\text{m/s}$, S_k-5 te 6.50-10m derinliklerinde SPT N30 değeri 22-24, diğer sondaj noktalarında ise biraz farklılığın dışında 32-Refü aralarındadır. Bu kısımlarda 4.0m ile 8.0m den daha büyük aralarındaki değişen kalınlıklarda $V_s= 213- 333\text{m/s}$, $V_p=1000- 2034\text{m/s}$ aralarında elde edilmiştir. S3 profilinde yaklaşık 5.0mden sonra ise $V_p=1600\text{m/s}$ - $V_s=455\text{m/s}$ elde edilmiştir. (Şekil-2.2)

Eğim yukarı kısımda gözlenen Gürpınar formasyonun 4-8.0m kalınlıklar aralarında değişen birimlerde S1 Profili civarında 7.50m derinliklerde q_u değeri 1.97 kg/cm^2 , S2 civarında 3.50m de 0.62 kg/cm^2 , S6 civarında 7.50m derinliklerde 1.17kg/cm^2 değerleri elde edilmiştir.

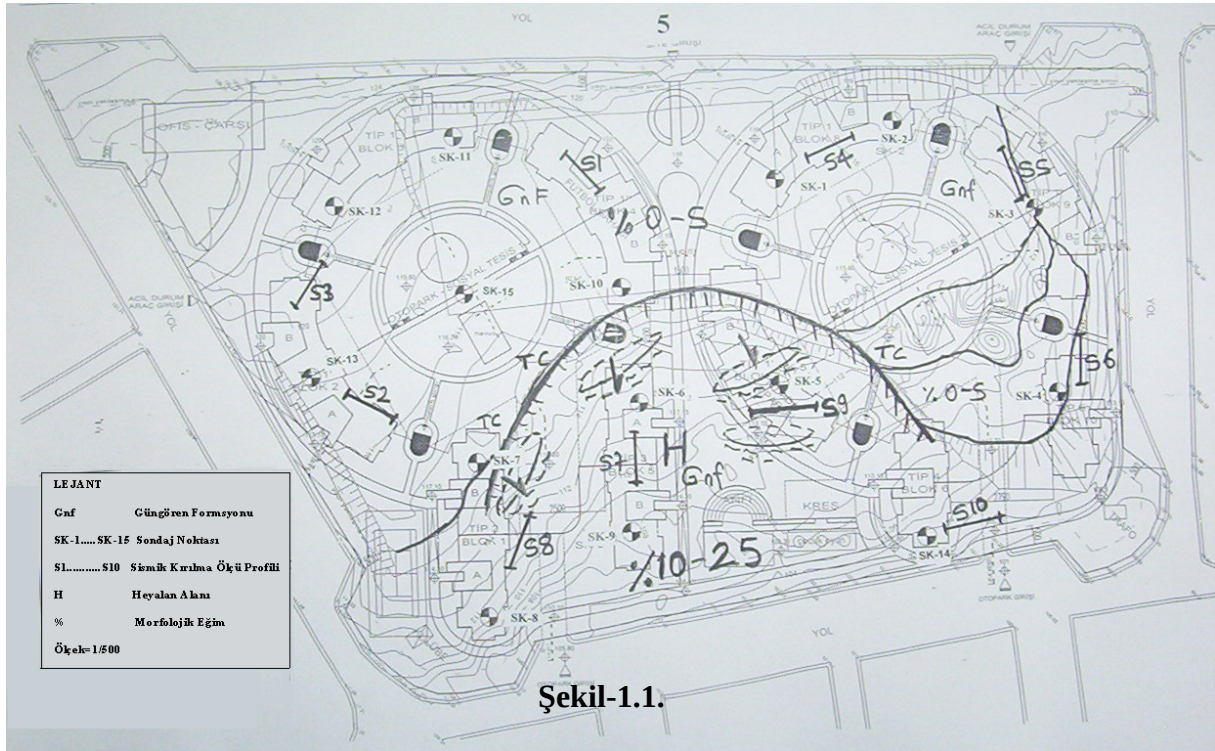
Yapılan laboratuvar testlerinde Alüvyonal ve Güngören formasyonuna birimlerde elde edilen SPT N30 değerlerinin kayma dalga hızı ile karşılaştıklarında literatürde kabul edilen karşılaştırılmalardan uzak olduğu görülmektedir.

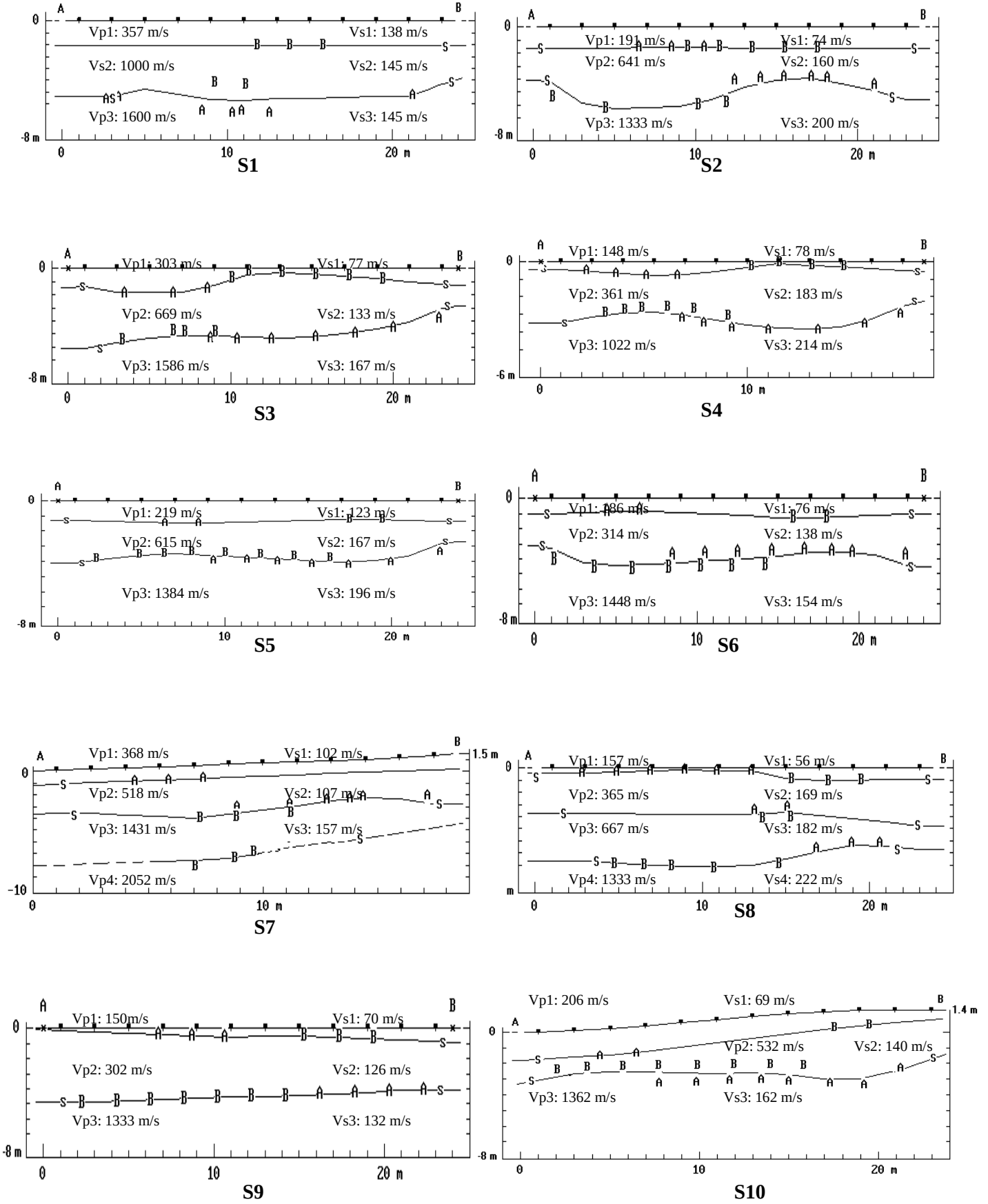
Ancak birimlerde elde edilen 174-203m/s kayma dalga hızları ve V_p/V_s oranları 6.97-6.66 değerleri gözönüne alındığında zemin yenilme riskinin olduğu açıkça görülmektedir. Sıvılaşma analizinde kullanılan Eşik ivme kriterinde 4.0m derinlik 0.40g değerine bağlı olarak hesaplanan emniyet faktörü(F_a) yaklaşık 0.2 dir.

Alüvyonal birimlerde yapılan elek analizi testlerinde tane boyutuna bağlı olarak sınıflaşılabilecek zemin özelliklerini göstermemektedir

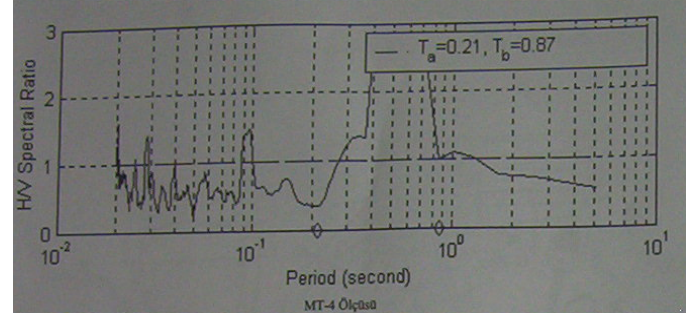
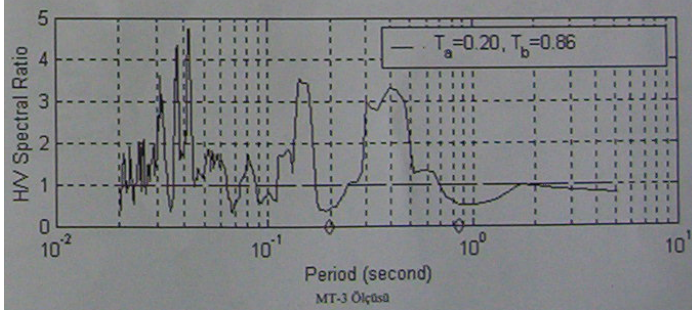
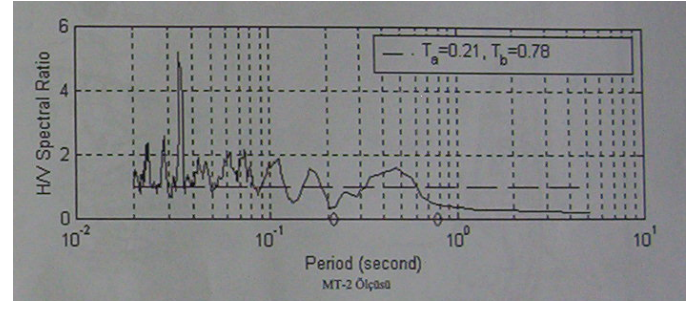
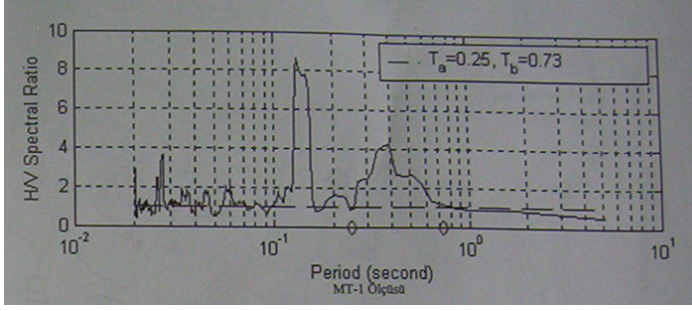
Ancak Fa değerinin 1 den daha düşük oluşu, düz alanlarda; birimlerin tane boyutuna ve özelliklerine bağlı olarak zemin yumuşaması veya plastik deformasyon, eğimli alanda ise; heyelan riskinin olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Burada dikkat edilecek nokta, eşik ivme kriteri Vb dinamik yöntem hesaplamalarının bize sadece sınıflaşma olarak değil genel olarak zemin yenilmesi hakkında da bilgi verdiğidir.

Aynı şekilde eğimleri %10-25 aralarında değişen kısımda elde edilen sismik hız değerlerine bağlı olarak genel bir değerlendirme yapılması gerekirse S1, S2, S6 ile S3 ün I ve II. katmanlarında (Şekil-2.2) Vp/Vs oranlarının 4.44-8.85, shear modüllerin, 568-2381kg/cm², kayma dalga hızlarının 334m/s den daha düşük olarak elde edilen seviyelerde, bir önceki çalışma alanında zemin yenilmesi gözlenen alanda elde edilen verilere yakın değerler elde edilmiştir. Zemin yenilme olayı gerçekleşen veriler ile karşılaştıklarında, birimlerin yenilme riski taşıdığını açıkça ifade etmektedir. Bu verilere bağlı olarak şev duraylılığı yönünden zayıf, aşırı statik ve dinamik kuvvetler etkisi ile birimlerde oturma ve kayma şeklinde yenilme riski olabileceği S4-S5 ve S3 profilleri boyunca ise III. katmana ait Vp/Vs oranlarının 3.51- 4.0 değerleri göz önünde bulundurularak ve Young modülü değerlerin 10132-14443kg/cm² aralarında oluşu aşırı yükleme ile taşıma gücü yetersizliğine bağlı olarak (düşey gerilme altında) şekil değişimi olabileceği düşünülmektedir.

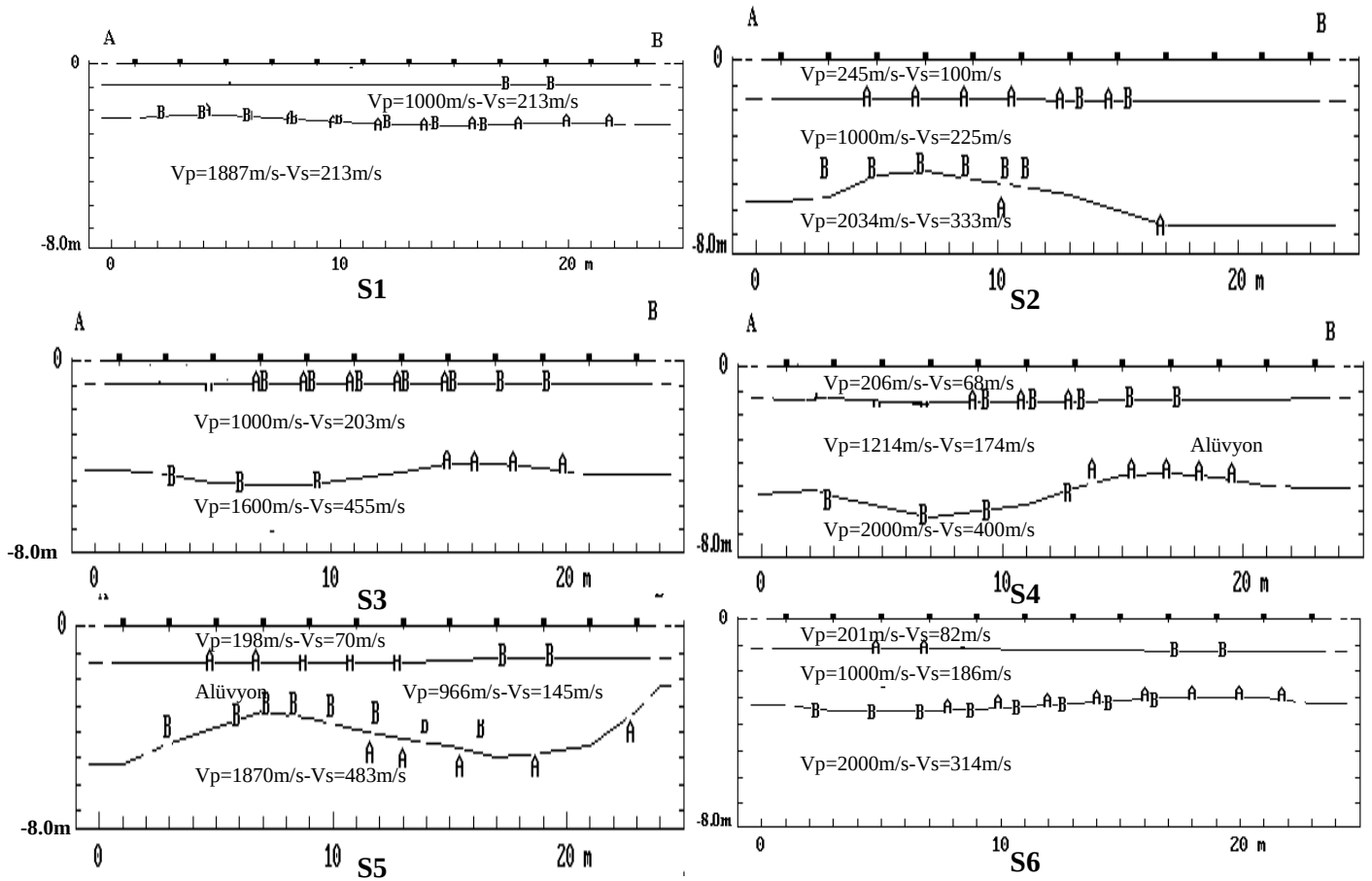




Şekil-1.2.



Şekil-1.3.



SONUÇLAR (ve TARTIŞMA)

Bu çalışmada her iki alanda 25 adet mekanik sondaj ve 16 adet sismik profil, 4 adet mikrotremor ölçü verilerinden yararlanılmıştır.

Literatürde Vs kayma dalga hız değerlerine karşılık gelen SPT N30 değerleri tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonrasında elde edilen kayma dalga hız değerleri ile kabul edilen SPT N30 değerler karşılaştırılarak SPT N30 değerlerinin sadece kayma dalga hızına bağlı olarak değişmediği görülmüştür. Kayma dalga, Boyuna dalga hızların ve Vp/Vs oranlarına bağlı olarak değiştiği, Birbirine yakın kayma dalga hızlarında, boyuna dalga hızı arttıkça SPT N30 değerlerinde artış olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle çakıl seviyelerinde ve ince lamine, fissürlü sert killerde SPT N30 değerlerin yüksek, Kayma dalga hızların oldukça düşük olduğu bu çalışmada gözlenmiştir. Çakıllarda ve sert killerde elde edilen Vp/Vs oranları farklı olabileceği göz önünde bulundurularak bu konunun ayrı bir araştırma konusu olabileceği açıkça görülmektedir. Düşey sıklığın ve kayma dirençlerinin birbirleri ile her zaman doğru orantılı olmadığı sert zeminlerin kayma dirençleri düşük olabileceği düşünülmelidir.

Mevcut Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe göre karşılaştırmalı N30 değerleri ile yerel zemin sınıfın tespitlerinde yanımlar olabileceği birinci çalışma alanında elde edilen SPT N30 verilerine göre yerel zemin sınıfı Z2 (Ta:0.15-Tb:0.40sn) olarak belirtilmekte, ancak alanda alınan sismik ve sondaj gözlemlerine göre D zemin gruplarının yerel olarak 10m den kalın olduğu görülmekle birlikte mikrotremor verilerine göre ilgili yönetmeliği sınıflamasında Z4 (Ta:0.20-Tb:0.90Sn) aralığında değerlendirilmesi gerektiği açıkça görülmüştür.

Heyelanlı veya heyelan riski olan alanlarda ve deformasyon riski devam eden alanda sondaj, laboratuvar verileri ile eğime bağlı olarak yapılan şev analizlerinde Güvenlik katsayısının 2.5 değerinden daha büyük elde edildiği, Zemin yenilme irdelenmesinin sadece sondaj ve laboratuvar verileri ile yapıldığında yanımlar olabileceği açıkça görülmektedir.

Zemin yenilme riskinin irdelenmesinin sadece sismik uygulamalarla belirlenebileceği, ancak zemin yenilme türünün laboratuvar verileri ile birlikte tespit edilebileceği açıkça görülmüştür.

Birinci çalışma alanında morfolojik eğimin %10-%25 aralarında olan ve heyelan gözlenen kısımda ölçülen S7-S8-S9-S10 profillerinde III. sismik katmanlarda kayma dalga hızları 132-222m/s, Vp/Vs oranları 6.0–10.09 Poisson oranları 0.485–0.49 değerini vermiştir.

Birinci çalışma alanında morfolojik eğimi düz olan kısımlarda ve heyelanlı alanda yapılan çalışmalar sonucunda birbirine çok yakın verilerin elde edilmesi, düz alanlarda eğimin 6^0 dan fazla olması durumunda heyelan olabileceğini göstermektedir..

Düz bir topoğrafya ya sahip kısımlarda çalışma alanında elde edilen verilere göre mutlaka zemin deformasyon riskleri bulunmakta, morfolojik ve litolojik özelliklere göre bu birimlerde statik yükleme sırasında zemin yenilmesi olabileceği, aşırı oturmalar şeklinde riskleri olabileceği veya deprem esnasında sismik kuvvetlerle oluşacak sıkışma ve çekme kuvvetlerin etkisi ile bu birimlerin tane boyutuna bağlı olarak taşıma gücü kaybı, ani oturma veya zemin yumuşaması vb. zemin sorunlarının çıkabileceği değerlendirmelerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Aynı genel eğime sahip (%10-25) ikinci çalışma alanında ise V_p/V_s oranlarının 4.44-8.85 , shear modüllerinin 568-2381kg/cm², kayma dalga hızlarının 334m/s den daha düşük elde edildiği seviyelerde, deformasyon oluşmuş zemine yakın değerler olduğu görülmektedir. Burdan hareketle zeminde statik veya dinamik kuvvetler etkisi altında yenilmeler olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır..

Bu çalışmada genel olarak V_p/V_s değerinin 4 ten büyük, Kayma dalga hızlarının 350m/s den düşük elde edilen alanlarda, zemin yenilme riski olabileceği açıkça görülmektedir. V_p/V_s değerinin 2.80-4 aralarında ve kayma dalga hızların 350m/s den daha düşük değerlerde zemin yenilme riski ayrıntılı irdelenmelidir. Sonuç olarak zemin yenilme riskinin irdelenmesinde V_p/V_s oranlarının, V_s kayma dalga hızlarının, Shear mod. ve young (Elastisite) modülü değerlerinin dikkate alınarak birlikte değerlendirilmesi gerektiğidir.

Sonuç olarak zeminin fiziksel özelliklerini ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile sismik uygulamalarla elde edilen sismik elastik parametre değerlerin tümü birlikte değerlendirilerek zemin hakkında değerlendirmeler yapılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada jeofizik ölçülerin alınmasında yardımcı olan Jeofizik Müh. Can KIZILAY'A, Sondaj çalışmaların takibini yapan Jeoloji Müh. M. Ali MERT ' e Teşekkür Ederiz.