

## ZEMİN İSLAH ÇALIŞMALARINDA SİSMİK UYGULAMALAR

### SEISMIC APPLICATIONS IN GROUND IMPROVEMENT STUDIES

Nevzat MENGÜLLÜO LU (Jeodinamik Yerbilimleri- info@jeodinamik.com)  
S.Melike ÖZTÜRK (Çevre ehircilik Bakanlığı ı Mekansal Planlama Müdürlü ü)

**Aralık - 2004**

#### ÖZET

Herhangi bir kuvvet etkisi altında kalarak, yenilme (deformasyon) riski ta ıyan zeminlerde olu abilecek deformasyonları engellemek amacı ile bilindi i üzere çe itli zemin iyile tirme yöntemleri uygulanmaktadır. Yapılan uygulamalar sonrasında zeminin ne kadar iyile tirildi ini , gerçekten zemin deformasyonlarını engelleyecek kadar yeterli düzeyde iyile tirme yapıldı ını belirlemek ço u kez sorun olmaktadır. Yada bu uygulamalar sonrasında ço u kez gerçekten zemin yeterli düzeyde iyile tirilmi mi ? sorusunun cevabı ihmal edilmektedir. Bu soruya cevap vermede uygulanan yöntemlerden en önemlisinin sismik uygulamalar oldu unu görmekteyiz. Bu çalı mada stanbul- Ataköy de kontrolsüz gev ek dolgu ve Tekirda , Lüleburgaz da akıcı kıvamda kil-gev ek kum ar dalanmalı birimlerinde zemin ıslahı öncesi ve sonrasında alınmı olan sismik kırılma ölçüleri yorumlanmı ve ham zemin ile Jet-grouting yöntemi ile iyile tirilmi zemin arasındaki farklar tespit edilmi tir.

Zemin ıslah öncesi ve sonrasında alınan sismik kırılma ölçülerle, zeminin su içeri i , gözeneklili i, sıklılı ı, ta ıma gücü, ayrıca zemin grubu, yerel zemin sınıfının (Ta-Tb) de i imleri oldu u tespit edilmi tir.

Sismik uygulamalar sonrasında elde edilen sonuçlarda zemin yenilmesi riski (Heyelan, sıvıla ma, oturma, plastik Vb. ) ta ıyan zeminler  $V_p/V_s$  oranı 3 ten büyük veya  $V_s$  kayma dalga hızı 350m/s den daha dü ük oldu u birçok ara tırmacı tarafından belirlenmi tir. Tarafımızca yapılan bir çok uygulamada, Sismik yöntem uygulanarak bu iki veri de erinden sadece birinin sonucu elde edilmesi zeminde deformasyon riski oldu unu söylemek kanımızca yeterli de ildir.  $V_p/V_s$  oranı 2,80 den büyük ve kayma dalga hızı 350m/s den daha dü ük olan zeminler, deformasyon riski (Heyelan, sıvıla ma, oturma, plastik Vb. ) ta ıdı ı görü ü tarafımızca a ır basmaktadır. Bu iki veri de erinden sadece birinin elde edilmesi durumunda zemin deformasyon riski sondaj ve laboratuvar verileri ile desteklenmesi önerilir.

## ABSTRACT:

As it is known, various ground improvement techniques are applied to grounds which have high deformation risk for preventing the occurrence of deformations. In most cases, it is a problem to determine the improvement degree whether it is enough for the ground or not at the end of the applications.

In general, the answer of the question, Is the ground improved ?, is neglected. One of the most important methods used in solving these problems is seismic methods. In this study, seismic refraction profiles were interpreted and compared before and after the applications of the jet-grouting techniques in Istanbul-Ataköy and Tekirda - Lüleburgaz.

After the ground improvement applications it is determined by using the seismic refraction measurements that there are changes in water content, porosity, density, bearing capacity, local ground class (Ta-Tb). It is proved by the most of the researchers that the sites, having high deformation risks (such as landslides, plastics, liquefaction, etc.), have the values of  $V_p/V_s$  ratio bigger than 3 or shear wave velocity ( $V_s$ ) smaller than 350 m/sn. According to our studies, it is not enough to say there is a low deformation risk only one of these values is supplied by using seismic methods.

Thus, the sites, which have the values both  $V_p/V_s$  ratio bigger than 2.80 and shear wave velocity value ( $V_s$ ) smaller than 350 m/sn, have the high seismic risks can be said.

In the case of only one of these values is obtained, it is advised that the ground deformation risk should be verified by the drillings and the laboratory data.

## GİRİŞ

Uygulamalar iki ayrı alanda gerçekte tirilmi tir. Birinci çalı ma Akıcı kıvamda kil-gev ek kum ardalanmalı birimlerde ve ikinci çalı ma alanı kontrolsüz gev ek dolgu alanlarında gerçekte tirilmi tir. Birinci alan birbirine biti ik toplam üç ayrı parselden, Dolgu alanında gerçekte tirilen ikinci çalı ma ise iki ayrı parselden olu maktadır. Bu alanlarda yapılan sondaj ve sismik ölçülerden elde edilen veriler do rultusunda, birimlerde ta ıma gücü problemi ve oturma riskleri oldu u belirlenmi tir. Zemin ıslahı öncesi ve sonrasında alınmı olan sismik kırılma ölçüleri yorumlanmı ve ham zemin ile Jet-grouting yöntemi ile iyile tirilmi zemin arasındaki farklar tespit edilmi tir. Her iki çalı ma sahasında yapılan Jet Grouting uygulamasında kolon çapları 80 cm, kolon boyları 8.0m, kolon aralıkları 2.0 veya 3.0' er metre uygulanmı tir.

## **METOD**

### **Birinci Çalışma Alanı**

Üç ayrı parselden oluşan birinci alanda her parselde Jet grout uygulaması öncesinde ve sonrasında birer profil olmak üzere toplam 6 profil boyunca sismik kırılma ölçüleri alınmıştır. Birinci ve ikinci parsellerde kolon aralıkları 3.0m, üçüncü parselde 2.0m uygulanmıştır. Kolon boyları 8.0m olarak in a edildi için, Ölçü profili uzunlukları Birinci sahada (S1-S4) 24m, ikinci ve üçüncü sahalarda ise (S2-S5 ; S3-S6 profilleri ) 18.50m uzunluklarda tutulmuştur. S1 ve S4 profillerinde jeofon aralıkları 2.0m, diğer profillerde ise 1,50m , tüm profillerde ise offset uzaklıkları baştan ve sondan 1.0m olarak uygulanmıştır. Birinci Parselde Jet-Grouting uygulaması yapılmadan S1 profili, aynı alanda Jet-Grouting uygulaması yapıldıktan sonra S4 profil ölçüleri alınmıştır.

İkinci parselde Jet-Grouting uygulaması yapılmadan önce S2 profili, aynı alanda Jet-Grouting uygulaması yapıldıktan sonra S5 profilin ölçüleri alınmıştır.

Üçüncü parselde Jet-Grouting uygulaması yapılmadan S3 profili, aynı alanda Jet-Grouting uygulaması yapıldıktan sonra S6 ölçü profili alınmıştır.

Tüm ölçülerde Boyuna dalga çift, enine sismik dalga tek taraflı ölçülmüştür.

### **İkinci Çalışma Alanı**

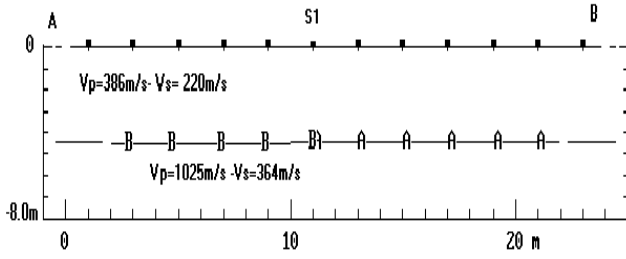
İkinci bir çalışma dolgu birimler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İki ayrı parselden oluşan alanda toplam dört adet sismik ölçü profili alınmıştır. Ölçü profili uzunlukları 24 m. uzunlukta tutulmuştur ; jeofon aralıkları ise 2.0 olarak belirlenmiştir. Offset uzaklığı baştan ve sondan 1.0 m. olarak uygulanmıştır. Boyuna dalga çift, enine sismik dalga tek taraflı ölçülebilmektedir.

### **Birinci Çalışma Alanının Sismik Değerlendirme Sonuçları**

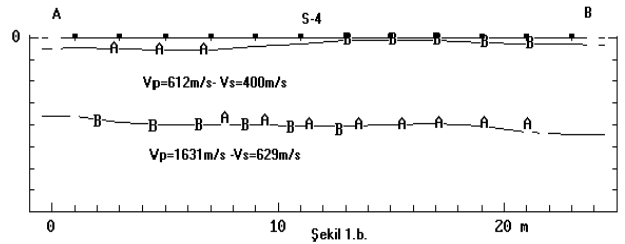
Birinci Parselde İslah edilmemiş 0.0m-4.30m aralarında zeminin sismik hızları  $V_p=386\text{m/s}$  ve  $V_s=220\text{ m/s}$ , Aynı derinliklerde Jet-Grouting uygulama sonrasında  $V_p=612\text{m/s}$ -  $V_s=400\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. Aynı alanda yaklaşık 4.30m derinlikten sonra ise İslah edilmemiş zeminde  $V_p= 1025\text{m/s}$  – $V_s= 364\text{m/s}$ , Jet-Grouting uygulama sonrasında sismik hızlar  $V_p=1631\text{m/s}$  ve  $V_s=629\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. Bu alanda kayma dalgası oranları İslah edilmemiş zeminin yaklaşık 1.81 – 1.94 katıdır. S4 profilinden elde edilen sismik yapı kesitinde gözlenen ve yaklaşık 0,30-0.40m aralarında kalınlık gösteren en üst tabaka , Jet-grouting uygulama sonrasında oluşturulan dolguyu tanımlamaktadır. (Bakınız ekil.1)

İkinci Parselde İslah edilmemiş 1,50m – 2,10m aralarında zeminin sismik hızları  $V_p=248\text{m/s}$  ve  $V_s=160\text{ m/s}$ , Aynı derinliklerde Jet-Grouting uygulama sonrasında  $V_p=431\text{m/s}$ -  $V_s=341\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. Birinci zonda alanda kayma dalgası oranları İslah edilmemiş zeminin yaklaşık 2,12 katıdır. İkinci katmanda İslah edilmemiş zeminde  $V_p= 600\text{m/s}$  – $V_s= 210\text{m/s}$ , Jet-Grouting uygulama sonrasında sismik hızlar  $V_p=1104\text{m/s}$  ve  $V_s=500\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. Üçüncü katmanda İslah edilmemiş zeminde  $V_p= 1500\text{m/s}$  –  $V_s= 250\text{m/s}$ , Jet-Grouting uygulama sonrasında sismik hızlar  $V_p=1934\text{m/s}$  ve  $V_s=545\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. İkinci ve üçüncü katmanlarda kayma dalgası oranları İslah edilmemiş zeminin yaklaşık 2.18 – 2.38 katıdır.(Bakınız ekil 2)

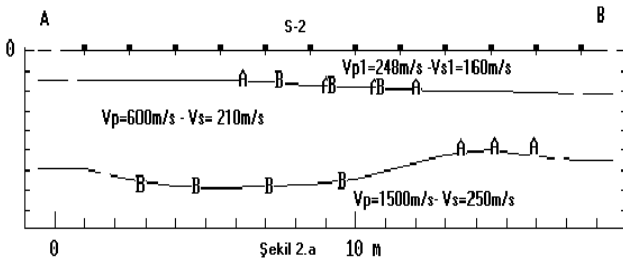
Üçüncü Parselde 0.0m- 4.0m derinliklerde ıslah edilmemiş zeminin sismik hızları  $V_p=600\text{m/s}$  ve  $V_s=115\text{ m/s}$ , Aynı derinliklerde Jet-Grouting uygulama sonrasında  $V_p=636\text{m/s}$ -  $V_s=435\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. Üçüncü katmanda ıslah edilmemiş zeminde  $V_p=1545\text{m/s}$  - $V_s=214\text{m/s}$ , Jet-Grouting uygulama sonrasında sismik hızlar  $V_p=1102\text{m/s}$  ve  $V_s=516\text{m/s}$  olarak tespit edilmiştir. kayma dalgası oranları ıslah edilmemiş zeminin yaklaşık 2.41-3.68 katıdır. Üçüncü katmanda  $V_p$  hızında düşmesi zeminin ıslah sonrasında nispeten su muhtevasının azalmasından kaynaklanmaktadır. Üçüncü sahada oran artışının Jet-Grouting kolon aralıklarının daha sık olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. S3 ölçü profilinden elde edilen yer altı yapı kesiti incelendiğinde ikinci ve üçüncü katmanlardaki kayma dalga hızları birbirine çok yakın olduğundan ikinci zon olarak tanımlanmıştır. ıslah sonrasında alınan ölçüdeki derinleştirme sonrasında aynı zon içinde olduğu gözlemlenmiştir. (Bakınız ekil.3)



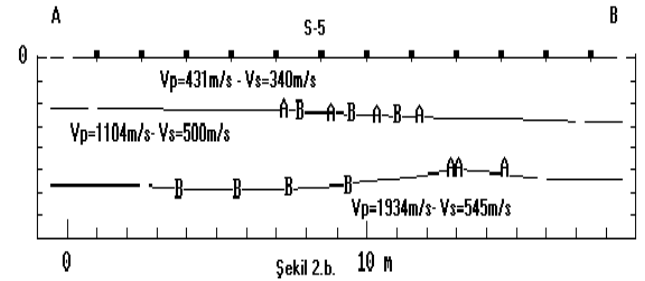
Şekil 1.a



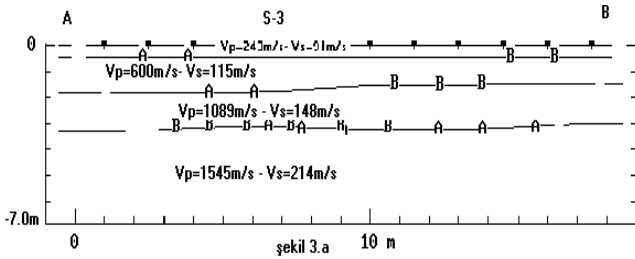
Şekil 1.b.



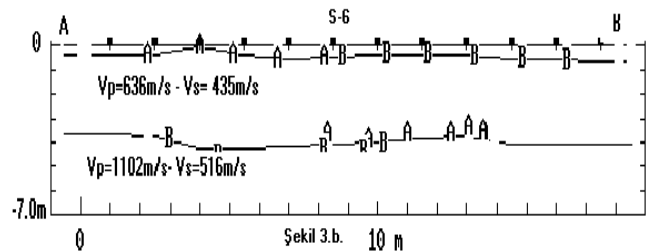
Şekil 2.a



Şekil 2.b.



Şekil 3.a



Şekil 3.b.

## **Birinci Çalışma Alanındaki Birimlerin Dinamik Parametre Değerlerinin Değerlendirilmesi**

Sismik hızlara ba lı olarak hesaplanan dinamik parametre de erleri genel olarak de erlendirildi inde Jet-Grouting uygulama sonrasında de erlerde artı oldu u gözlenmi tir.

Bu durumda Shear modülü de erleri zemin ıslahı sonrasında 2.76-2.94 ; Young Modülü 3.34-3.46 kat aralarında arttı ı görülmü tür. Ayrıca Vp/Vs oranlarında azalmalar oldu u görülmü tür. Young modülün artı ı zeminin daha rijit hale geldi i, Shaer modülün artı ı ise , zeminin makaslama kuvvetlerine kar ı direncinin, dahada arttı ı, Vp/Vs oranlarının azalması, zemindeki su içeri inde ve gözeneklili inde azalma oldu u anlamına gelmektedir.

İkinci sahada Shear modülü birinci Zonda 4.62 ; ikinci zonda 6,0; üçüncü Zonda 4,97 – Young Modülü 1. Zonda 2.73 ; ikinci zonda 5.75 ; üçüncü zonda ; 4.87 kat arttı ı gözlenmi tir. Vp/Vs oranı birinci zonda 1.55 iken 1,26' ya , ikinci zonda 2,85 ten 2,20 ye , üçüncü zonda 6 dan 3,54 oranlarına kadar azalma gözlenmi tir.

Kolon aralıkları 2.0m olarak uygulanan Üçüncü parselde Shear modülü 2. Zonda 8.22-14,41 ; 3. zonda 5,54 – Young Modülü 2. Zonda 5.83-10.30 ; üçüncü zonda ; 5.05 kat arttı ı gözlenmi tir. Kıyaslamalar zemin ıslahı öncesi ve sonrasında aynı derinlikler gözönüne alınarak yapılmı tir. Vp/Vs oranı ikinci zonda 5,21-7,35 iken 1,26' ya , üçüncü zonda 7,21 den 3,54 oranlarına kadar azalma gözlenmi tir. Yo unluk (Tabii birim hacim a ırlık) hesaplamalarında  $1,6+(0,2*0,001*Vp(m/s))$  formülü kullanılmı tir. Telford ve di . (1976 ) Genel olarak yo unluklarda üçüncü parseldeki 3. zon dı ında 0,37 –1,21 aralı ında artı lar gözlenmi tir. Ayrıca poisson oranlarında azalma oldu u görülmü tür.

## **İkinci Çalışma Alanının Sismik Değerlendirme Sonuçları**

Birinci parsel de dolgu birimlerin sismik hızları  $Vp=332$  m/s ve  $Vs=200$  m/s olarak tespit edilmi tir. Jet-Grouting uygulamasından sonra dolgunun sismik hızları  $Vp=714$  m/s ve  $Vs=449$  m/s olarak tespit edilmi tir.

İkinci parsel de dolgu birimlerin sismik hızları  $Vp= 465$ m/s-  $Vs= 211$ m/s olarak elde edilmi tir. Jet-Grouting uygulama sonrasında dolgunun sismik hızları  $Vp=603$  m/s ve  $Vs=327$  m/s olarak tespit edilmi tir.

Kayma dalgası hızı oranına bakılacak olursa; birinci parsel de ıslah edilmi dolgu biriminin kayma dalgası hızı, ıslah edilmemi dolgu alanının ortalama kayma dalgası hızının yakla ık 2.5 katıdır. Bu oran ikinci parselde ise yakla ık 1.3' tür. Bu farklı oran de i iminin elde edilmesi birinci parselde Jet- grouting in aa'sında kolon aralıkları 2.0m, ikinci parselde ise 3.0m olarak uygulanmı tir.

## Sonuçlar

Zemin ıslah öncesindeki birimlerin zemin grubu ıslah sonrasında de i mektedir. Ayrıca kolon aralıkları ve boylarına ba lı olarak zemin dinamik parametreleri, ta ıma gücü ve zemin titre im periyodunun de i ebilece ini görmekteyiz. Ba ka bir ifade ile kolon aralıkları ne kadar sık ise sismik hızlarda o oranda artı gözlenmektedir. Sismik hızlardaki artı oranı ve poisson,  $V_p/V_s$  oranının dü üklü ü , birimlerin su içeri inde, gözeneklilik ve porozitesinde azalma oldu unu, young modülündeki artı ise zeminin rijitidesinde artı oldu unu ifade etmektedir. Di er bir ifade ile zeminin sıklılı nın arttı nı ifade etmektedir.

Bu tür alanlarda parsel bazı yapılan zemin etütlerle elde edilen zemin dinamik parametrelerinin Jet-grouting uygulaması yapıldı ı halde, uygulama öncesinde saptanan yapı deprem tahkiklerinde kullanılan Zemin spektrum periyotları ( $T_a - T_b$ ) ve zemin titre im periyodun kullanılması yanlı olacaktır.

Zemin ıslahı sonrasında alınacak sismik ölçülerle , zeminin ta ıma gücündeki artı oranı ve ta ıma gücü , ayrıca yapı temellerin dizayn edilece i birimlerin zemin grubu ve yerel zemin sınıfının saptanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra zemin büyütme aralı nın ba ka bir ifade ile Yerel zemin sınıfın ( $T_1-T_2$ ) ve zemin titre im periyodun saptanması için ayrıca mikrotremor ölçülerinin alınması uygun olacaktır. En önemli nokta ise ıslah öncesinde alınacak sismik ölçülerle , saptanacak sismik dalga hızları ve dinamik parametre de erlerine ba lı olarak jet grouting uygulama öncesinde, projelendirilme safhasında kolon boyları ve aralıkları hakkında fikir edinebilir. Bunun yanı sıra enjeksiyon yöntemi ile ıslah edilen zeminin sıklılı ve yeterlili i ile ilgili bilgi edinilebilir. Heyelanlı sahada ve Heyelan riski ta ıyan zeminlerde Jet grouting uygulama sonrasında, zeminin stabilizesinin sa lanıp, sa lanamadı ı hakkında net sonuç elde edilebilece ini görmekteyiz.

Sismik uygulamalar sonrasında elde edilen sonuçlarda zemin yenilmesi riski (Heyelan, sıvıla ma, oturma, plastik Vb. ) ta ımayan zeminlerin  $V_p/V_s$  oranı 2,80 den küçük ve  $V_s$  kayma dalga hızı 350m/s den daha büyük olması gerekti i görü ündeyiz.  $V_p/V_s$  oranı 2,80 den büyük ve kayma dalga hızının 350m/s den daha dü ük olan zeminlerde deformasyon (yenilme) riski ara tırılmalıdır. Ayrıca bu çalı madan çıkan sonuçlardan bir tanesi de poisson oranının dü ük olması zeminin her zaman sıkı ve poisson oranının 0.30 dan büyük de er elde edilmesi zeminin gev ek oldu u anlamına gelmemektedir. Bir zeminin gev eklik veya sıklılı nı belirlemek poisson oranı de erinin yanında kayma dalga hız ve young (Elastisite) modülü de erleri dikkate alınarak birlikte de erlendirilmelidir. Sonuç olarak zeminin fiziksel özelliklerini ve mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile sismik uygulamalarla elde edilen parametre de erlerin tümü birlikte de erlendirilerek zemin hakkında yorumlar getirilmelidir. Bir tek parametreye ba lı olarak kesin bir ifade kullanmak yetersiz kalmaktadır.

Burada önemli olan kayma dalga hızların ve dinamik parametrelerin artı oranlarından çok, elde edilen bu de erlerin yeterli düzeyde olup olmadı ıdır.

Zemin ıslah sonrasında kayma dalga hızlarındaki artı oranının yanı sıra , zeminin elastisite dinamik parametrelerin artı oranı ve de erlerin uygun olup olmadı ı irdelenmesi gerekmektedir.