



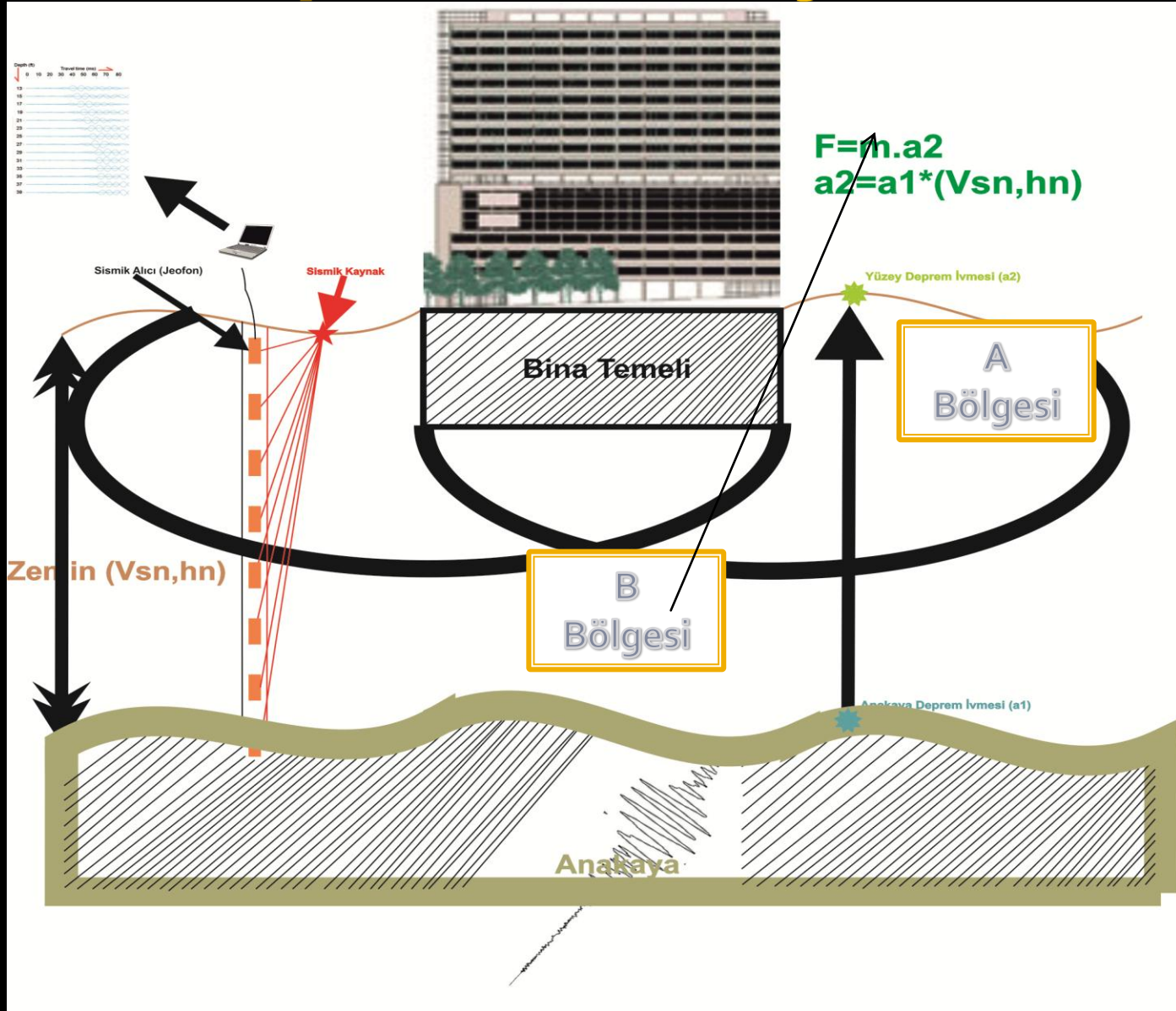
# Zemin-Yapı İlişkisinde Jeofizik Yöntemler

**Doç.Dr. Mustafa AKGÜN**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,  
Kaynaklar Kampüsü, 35160, Buca/İzmir.

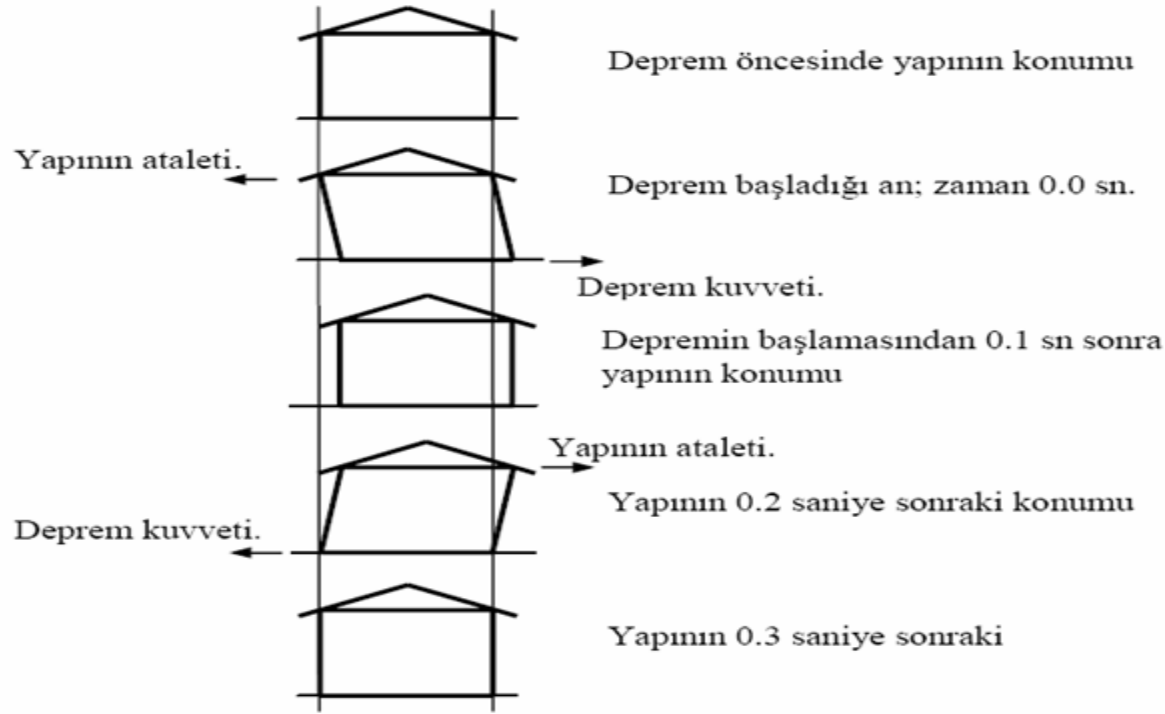
[mustafa.akgun@deu.edu.tr](mailto:mustafa.akgun@deu.edu.tr)

# Yapı-Zemin İlişkisi



# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## Çalışmalarda Göz Önüne Alınacak Temel Özellikler



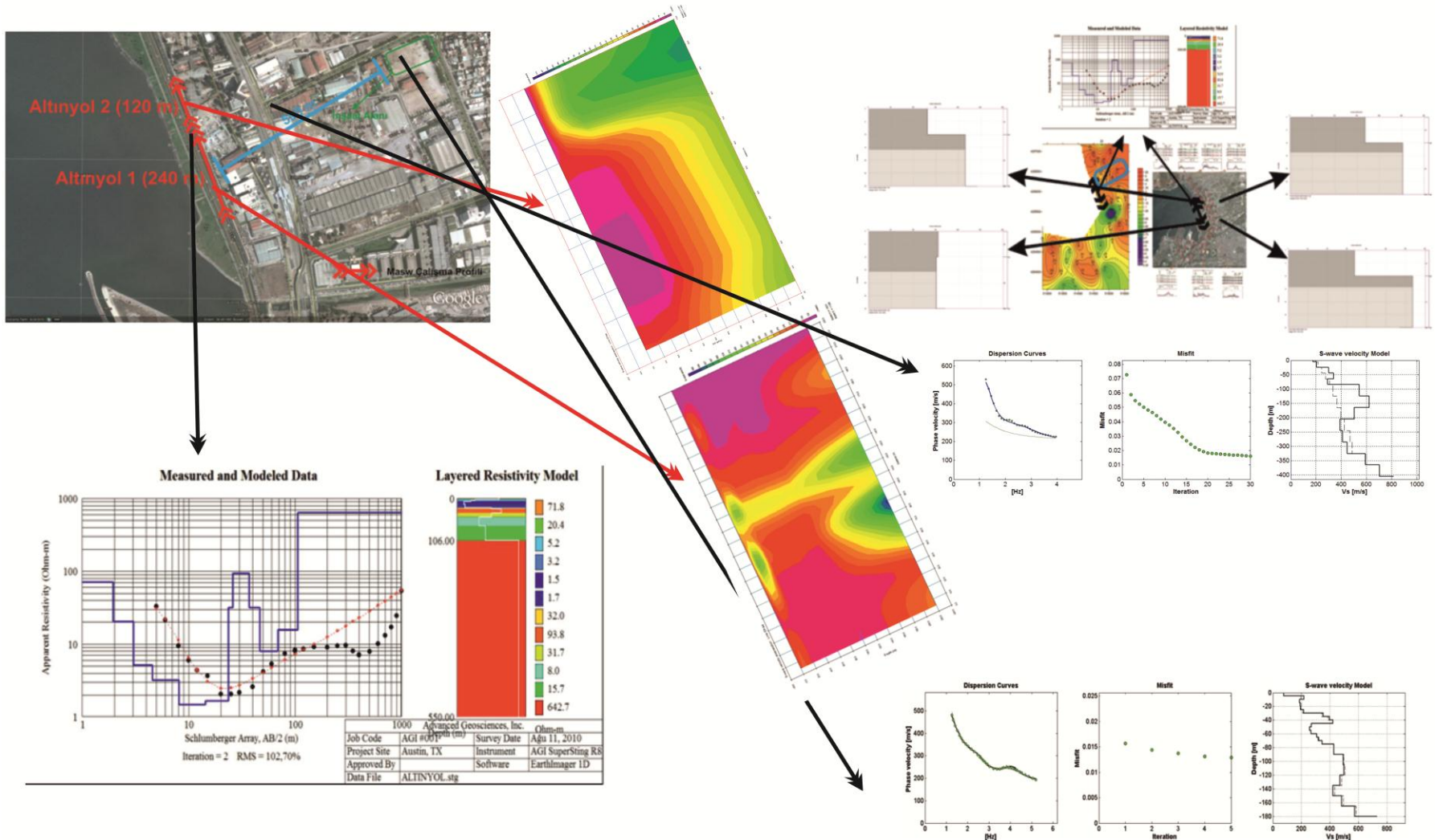
### Sonuc:

Deprem Kuvvetleri: Deprem sırasında yapıyı etki eden yanal ve düşey kuvvetler oluşur.

Düşey kuvvetler: Deprem sırasında yapıya etkiyen düşey kuvvetlerin yapı ağırlığı ile dengelendiği kabul edilir bu yöndeki kuvvetler için yapı tasarım yönünden ek hesaplar yapılmayabilir. Bu düşey yöndeki kuvvetler yapı tasarımında ancak özel durumlarda hesaba katılır.

Yanal Kuvvetler: Deprem kuvvetleri yapıya yatay yönde baskın yük olarak etkidiği için yanal kuvvetler olarak adlandırılır ve toplam yanal deprem kuvvetini saptamak için  $F = m a$  Bağıntısı kullanılır (Newton bağıntısı). Deprem yapıya uyguladığı  $F$  kuvveti ile yapının toplam kütlesi ( $m$ ) ve deprem sırasında oluşan sarsıntının yatay ivmesi  $a$  ( $a$  değeri yer çekim ivmesi  $g$  nin kesri cinsinde ifade edilir ) arasındaki ilişkiyi tanımlar.

# Arazi Uygulama Örnekleri



# A Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

A bölgesi çalışmaları, yapı kütlesi, yapı temeli ve zemin arasındaki ilişkinin kurulması için yapılır. Çoğunlukla bina yüksekliğinin  $1/3$  ü kadar araştırma derinliği hedeflenir.

A bölgesi çalışmaları iki ana başlık altında hedeflenir.

## **1. Eğer Çalışma Alanında Deprem Riski Yok ise :**

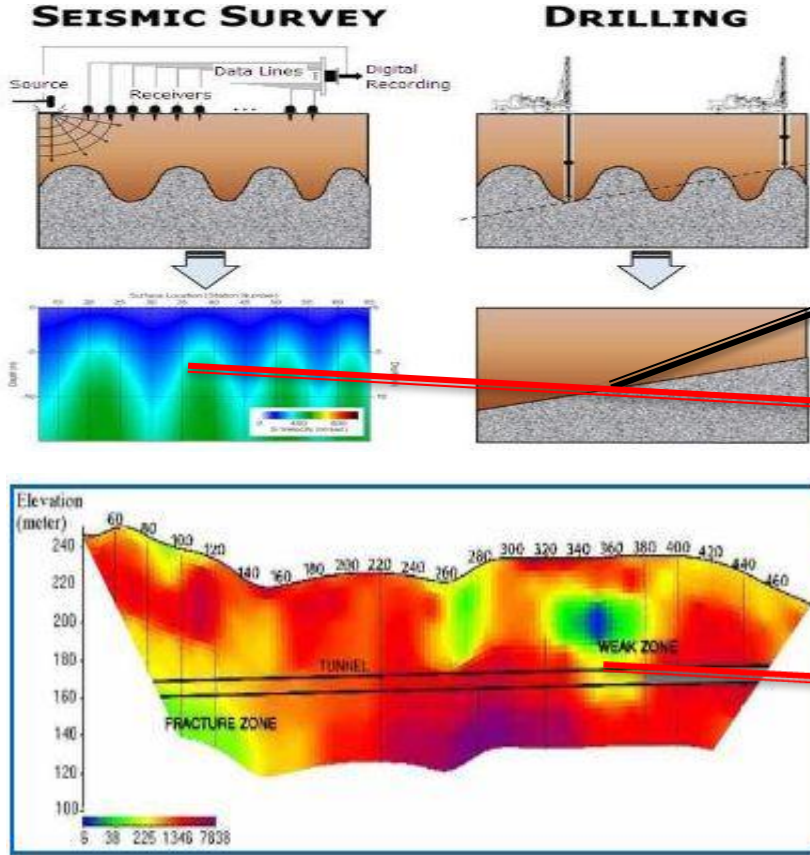
Çalışmalarda, bina yükünün zemin tarafından karşılanması ve uygun bina – temel yapısı için gerekli zemin parametre değerlerinin bulunması hedeflenir

Bu parametreler; zemin tipi, zemin taşıma gücü, emniyet gerilmesi, zemin sökülebilmesi, kesme modülü, yoğunluğu ve vd. gibi parametrelerdir.

Bu parametreleri elde etmek için izlenen yol ise zemin sondajlarının ve açma çukurlarının yapılmasıdır.

# A Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## 1. Çalışma Alanında Deprem Riski Yok İse



zemin sondajları yapılarak bir nokta altındaki zemin özellikleri derinliğe göre incelenir.

Ancak zemin sondajlarını kullanarak, yanal yönde zemin özelliklerini irdelemek istersek iki noktadan bir doğru geçer sonucu geçerli olur.

Ama jeofizik çalışma yaparsak yanal yöndeki zemin özellikleri ayrıntılı saptanmış olacaktır.

Bu şekil de gerçek bir olayı yansıtmaktadır.

Bir tünel açma çalışması sırasında sadece bir hat boyunca belli aralıkla zemin sondajları yapılarak ortamın yanal yönde tanımlanması sert zemin olarak yapılmıştır

Ancak, tünel açılması sırasında beklenmeyen bir şekilde zemin sondajları arasında kalan ve kırıklı bir zeminle karşılaşmış. Sonuçta, tünel açma makinesi de bu nokta da sıkışıp kalmıştır. Daha sonra yapılan jeofizik öz direnç çalışmaları ile aradaki bozulmuş zemin ortaya çıkartılmıştır.

**Sonuç : Deprem tehlikesi olmasa bile zeminin 3 boyutlu ayrıntılı tanımlanması zemin sondajı sonuçları ile denetlenecek jeofizik çalışmalarla düşük bir maliyetle ayrıntılı yapılabilir ve Böylece inşaat temel kazıları sırasında istenmeyen riskler de azaltılmış olacaktır.**

# A Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## 2. Çalışma Alanında Deprem Riski Var İse

- Bir bölgede deprem riski varsa deprem etkileri ile zemin özellikleri arasında aşağıdaki ilişkiler tanımlanır.
- - Deprem şiddetini arttıran fiziksel özellikler:
  - 1. Zemin sıvılaşma potansiyeli,
  - 2. Zemin oturması ve deprem etkisindeki olası değişimleri
  - 3. Deprem şiddet artış katsayısı, (Deprem iki derece yükseltme özelliğine sahip ise 6 şiddetindeki deprem, 8 şiddetinde tepki gösterir)
- - Deprem şiddetini arttıran yapısal özellikler:
  - 1. İnşaat temeli altındaki yanal ve düşey jeolojik yapı farklılıkları,
  - 2. Görünen veya görünmeyen kırık, çatlak ve fayın düşey kesimi,
  - 3. Gevşek kalın alüvyon ortamlar, ince kaya tabakalar,
  - 4. Heyelan durumu varsa heyelan düzlemi,
  - 5. Yer altı boşlukları,
  - 6. Yeryüzünde sismik enerji odaklanması oluşturan eğimli senklinal yapılar,
  - 7.. Sismik dalgalarda ardışık kırılma ve yansımalar oluşturan yer altı yapısal özelliklerine sahip ortamlar,
  - 8. Büyük genlikli yüzey dalgaların meydana gelmesinde sismik enerjiyi saçan sığ derinliklerdeki heterojeniteler.
  - 9. Mekanik rezonans oluşturan tabakalı yapılar.

**Sonuç: Bu koşulda yapı-zemin – deprem ilişkisini kurmak için yukarıdaki zemin özelliklerini tanımlamaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır.**

# A Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## 2. Çalışma Alanında Deprem Riski Var İse

- A bölgesinde yapılacak çalışmalara depremin etkisi katılmak zorundadır. Bu koşulda aşağıdaki parametreler hedeflenir.
- - **Sismik kayma dalgası, (Vs) ve sıkışma dalgası, (Vp),**
- (Zemin Hakim periyodunu, katman sıklığını, elastik parametreleri, katman konumlarını ve zeminin deprem şiddeti arttırma özelliklerini saptamak için)
- - **Zemin ivme spektrum katsayıları (Tb-Ta)**
- (Deprem yükü azaltma katsayısı saptanması için.)
- - **Zemin Hakim Periyodu**
- (Zemin hakim periyodu ile bina öz periyodunun rezonansa girmemesi için.)
- - **Olası bir depremde inşaat zemininde oluşabilecek deprem ivmesi.**
- - **Zemin emniyet gerilmesi.**
- (Zemin deformasyonunu önlemek ve deprem yatay yükünü optimum seviyede tutmak için.)
- - **Yer altı suyu seviyesi.**
- (Deprem şiddetini arttırır, zemin emniyet gerilmesi indirgenmesi ve sıvılaşma potansiyeli irdelemesi için.)
- - **Dinamik Elastik Parametreler. (Kayma ve Elastisite Modülleri, Poisson Oranı)**
- (Zeminin makaslanma, katılık, gözeneklilik, suya doygunluk ve dinamik deformasyona, oturmaya karşı direncinin tespiti için.)
- - **Yerel zemin sınıflaması.**
- (Zemin türü ve ilgili parametrelerin oto kontrolü için.)

**Sonuç : Bu zemin özellikleri jeoloji-jeofizik ve geoteknik ortak çalışmaları ile yeterli duyarlılıkta saptanırsa yapı – zemin - deprem ilişkisi sağlanmış olur.**

**Bu ilişkide zemin sondajlarının önemi büyüktür. Önce jeofizik çalışmalarla zeminin yanal ve düşey yönlü özellikleri saptanmalı daha sonrada bu özellikler zemin sondajları ile denetlenirse sonuçlar en az hata ile tanımlanmış olacaktır.**



# A bölgesinde Yapılacak Jeofizik çalışmalarla Elde Edilecek Zemin Parametreleri

Zemin Dinamik Elastik Parametreleri	Formüller
Yoğunluk	$\rho = 0.44 * V_s^{0.25}$ ( $V_s$ hızına göre) $\rho = 0.31 * V_p^{0.25}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
Poisson	$\sigma = (0.5 * (V_p / V_s)^2 - 1) / ((V_p / V_s)^2 - 1)$
Shear(kayma)	$G_s = (\rho * V_s^2) / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Elastisite(young)	$E_s = G_s * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Taşıma Gücü	$Q_u = \rho * V_p / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Güvenli Taşıma Gücü	$Q_e = \rho * V_s / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Oturma	$S = ((Q_u + Q_e) / E) * h$ (cm)
Sıkışmazlık (Bulk)	$K = M_c = \rho * (V_p^2 - 4/3 * V_s^2) / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Zemin Halkım Periyodu	$T_0 = 4 * \sum h_i / V_{si}$ (s) veya $T_0 = 10 / \sqrt{V_s}$ (s)
Sıkışabilirlik	$M_v = (1 / M_c)$ (cm <sup>2</sup> /kg)
Zemin Büyütmesi	$A = 68V^{0.5}$ ( $V < 1100$ m/sn) $= 1.0$ ( $V > 1100$ m/sn) (Midorikawa 1987)

Yandaki Tablodan da Görüldüğü gibi Zemine ait  $V_p$  ve  $V_s$  hızları elde edilebilirse Jeofizik çalışmalarla zemin dinamik parametrelerine ulaşılmış olacaktır.

Bu parametre değerlerinin 2 ve 3 boyutlu olarak derinlikte değişimi de saptanabilir ve haritalanabilir.

Jeofizik çalışmalarının da zemin sondajları gibi kabul edilebilir.

Jeofizik çalışmalar yapılarak istenilen aralıkta ve derinlikte zemin parametreleri elde edilebilir.

Örnek: Jeofizik çalışmalarla 100 m lik bir hat üzerinde 5 m aralıklarla 60 m derinlikli 20 adet zemin sondajı yapılmış gibi zeminle ilgili sonuçlar alınabilir.

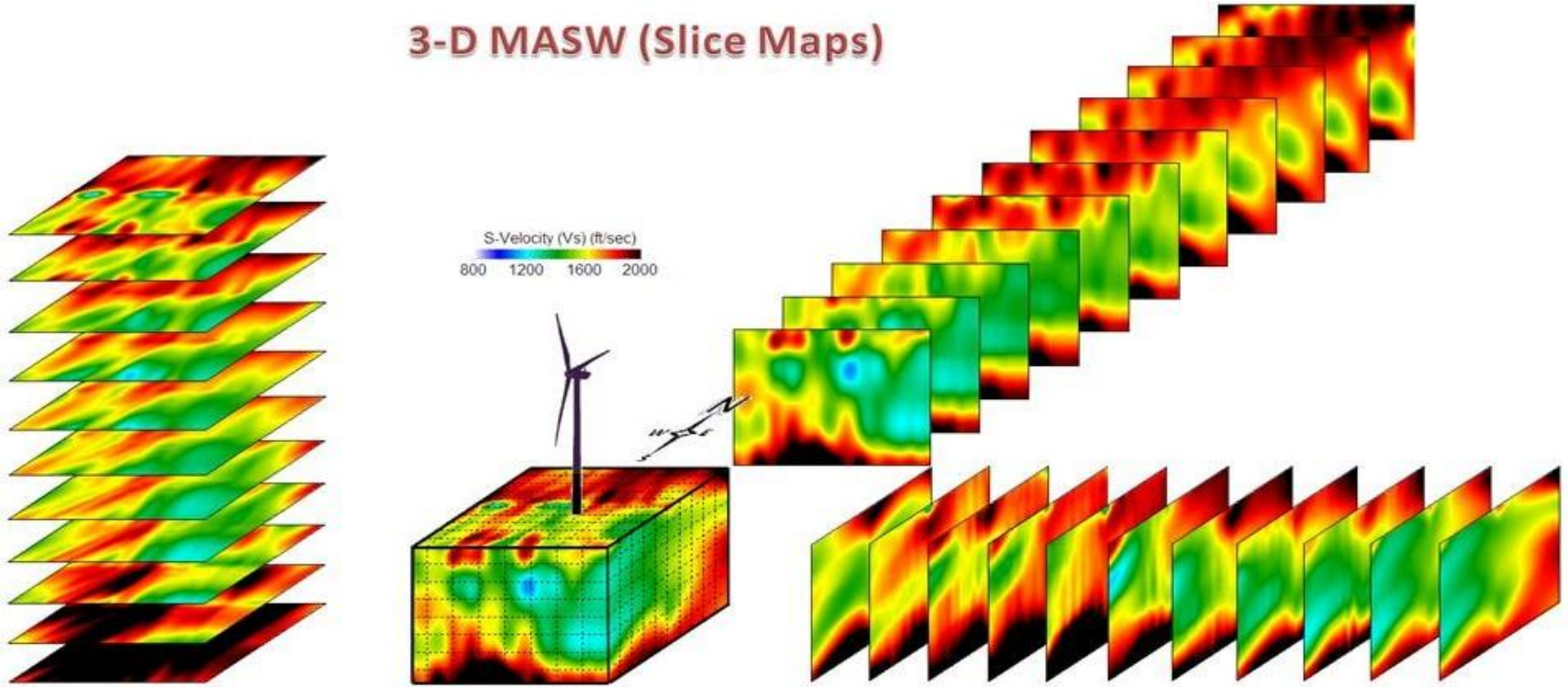
Bu çalışmaların süreside birkaç saati geçmez.

Çalışma maliyeti de zemin sondajlarına göre çok düşük olur.

# A Bölgesi Çalışmaları

## 3 Boyutlu Sonuçlar

3-D MASW (Slice Maps)



# A Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## 2. Çalışma Alanında Deprem Riski Var İse

### Bina Temeli-Zemin İlişkisinin Kurulmasında Kullanılabilecek Jeofizik Yöntemler

-Kuyu İçi Sismik Çalışmalar (down-hole, up-hole ve cross-hole): Bu çalışmalar ile zeminin  $V_p$  ve  $V_s$  hız- derinlik değişimleri elde edilir.

-Mikrotremor çalışmaları: Zemin hakim titreşim periyodu elde edilir.

-Mikrogravite çalışması: Zeminin yanal ve düşey yönlü yoğunluk değişimini verir.

-Spatial Auto-correlation Method (SPAC) Çalışması: Zeminin düşey yönde  $V_s$ -derinlik değişimleri elde edilir.

-Sismik Kırılma çalışmaları: Zemine ait yanal düşey yönlü  $V_p$  ,  $V_s$  hız dağılımları bulunur.

-Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Çalışması: Zemine ait yanal ve düşey yönlü  $V_s$ -Derinlik değişimleri elde edilir.

-Sismik Yansıma çalışması : Zeminin yanal ve düşey yönlü sismik hız derinlik değişimleri elde edilir.

-Özdirenç Yöntemi Çalışması: Zeminin yanal ve düşey yönlü özdirenç değişimleri elde edilir ve bu değerler haritalanarak ortamın sağlamlığı, gevşekliği ve korozyonu hakkında bilgi sağlanmış olur.

**Sonuç : Bu Jeofizik çalışmalar günümüzde başarılı sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlerin birlikte kullanılması ile de zemin özelliklerinin yanal ve düşey yöndeki değişimleri en az hata ile tanımlanmış olur.**

# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## B bölgesi önemi nedir sorusuna cevap

- Yirminci yüzyılın başında Japonya 'da inşaat mühendisi bir öğretim üyesi "depremlerde yatay yükler oluşuyor. Biz binalarımızı belirli bir yatay yüke dayanacak şekilde hesaplayalım" diye derse başlıyor. Böylece yeni görüşe bağlı olarak yatay yük yapı ağırlığının yüzde 10'u olarak hesaplanarak kullanılmaya başlıyor.
- 1923'de Japonya'da büyük bir deprem oluyor ve ağırlığının yüzde 10'una karşı koyabilecek şekilde hesaplanmış yapıların depremde iyi davrandığını görüyoruz.
- Ancak, deprem hareketi sırasında, gelen ivmenin yapının ağırlığının yüzde kaç olduğunu deprem olmadan önce nasıl bulunur sorusu karşımıza çıkıyor.
- Bu bağlamda, ilk defa 1932'de Amerika'da bu konuyla ilgili ölçümler yapılıyor.
- O zaman bir de "acaba yer hareketini değişik periyotta ve sönüm oranına sahip yapılara uygularsak, bu yapılarda oluşan maksimum yükler, ötelenmeler ne kadar olur" diye spektrum kavramı geliştiriyorlar ve sonuçta çok daha fazla şeyler oluyor.
- Maksimum yer ivmesi bina ağırlığının yüzde 30'u iken, bunu belli periyotta ve sönümde binalara uyguladığımız zaman üç dört kat büyümüş olduğunu saptanıyor..
- Peki, "binalarımız depreme karşı nasıl duruyor? Biz bina ağırlığının yüzde 10'u gibi bir yatay yüke göre tasarlıyoruz ama gerçekte o depremde yapıya gelen yük bunun beş katı oluyor" diyorlar ve "bu yaptığımız hesaplar elastiki ama bina biraz çatladıktan sonra nitelikleri değişecek, sönümü artacak, periyodu değişecek.
- Bina depremin enerjisini kalıcı deformasyonlar, biraz çatlayarak tüketecek ve böyle karşılayacak" sonucuna ulaşıyorlar. Bu durumu da süneklik kavramıyla açıklıyorlar.
- Sonra 70'lerde San Ferdano depremi oluyor ve sünek yapılmış bir hastane binasının, o kadar çok sünek ki, kolonları zemin katta bir metre kalıcı öteleme yapıyor ve bina kullanılmaz derecede hasar görüyor. "çok süneklik iyi bir şey değil, sünekliği biraz kısıtlamalıyız" diyorlar ve perde duvarlı yapılar ortaya çıkıyor.

**Sonuç: Deprem nasıl durağan bir olay değilse depreme karşı dayanıklı yapı tasarımındaki Gelişmelerde durağan olamaz ve diğer birim dalları ile ilişkisi kurulmalıdır.**

# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

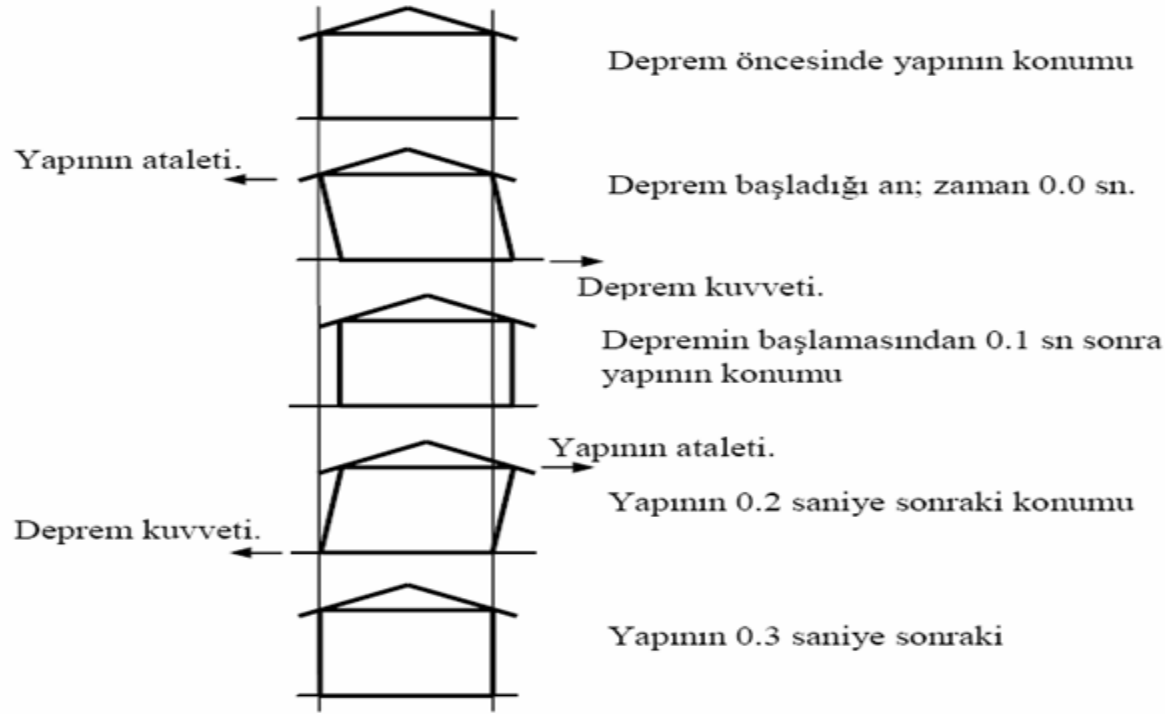
- B bölgesinde yapılacak jeoloji-jeofizik-geoteknik çalışmalar deprem riski olan bölgelerde büyük önem taşır.
- Çünkü deprem dalgasının yapı yapılacak noktadaki yanal yönde oluşturacağı etkiler önemlidir.
- Bina deprem sırasında, bu etki ile hareket edecektir.
- Bu durumda yapının kütlelerini tasarlarken sadece zemin taşıma gücü ile değil aynı zamanda depremin yapıya uygulayacağı kuvvet ile de ilişkisinin de kurulması gerekir.
- Bu kuvvet basitçe  $F = m \cdot a$  bağıntısı ile tanımlanır.
- Denklemdaki F kuvveti depreme bağlı olan kuvvet
- Denklemdaki m ise yapının toplam kütlelerini
- Denklemdaki a katsayısı ise yer çekim oranı cinsinden deprem ivmesini tanımlar.

**Sonuç:** *B bölgesinde yapılacak araştırmalarda, deprem dalgasının ana kayadan çıkıp zemin yüzeyine ulaşması süresince değişen özelliklerinin araştırılması, söz konusu yapıların depreme dayanıklı tasarımında büyük önem taşımaktadır.*

**En önemli konumuz ise; ana kaya ile zemin yüzeyi arasında depremin şiddeti, yayılma hızı, süresi, yatay ivmesi gibi parametrelerinde değişimler olabileceğinin unutulmamasıdır.**

# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## Çalışmalarda Göz Önüne Alınacak Temel Özellikler



### Sonuc:

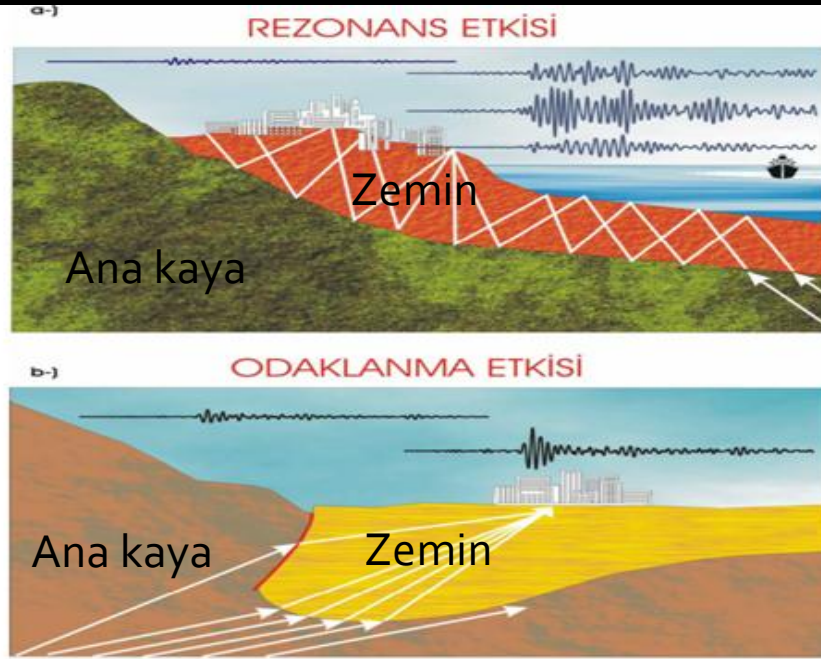
Deprem Kuvvetleri: Deprem sırasında yapıyı etki eden yanal ve düşey kuvvetler oluşur.

Düşey kuvvetler: Deprem sırasında yapıya etkiyen düşey kuvvetlerin yapı ağırlığı ile dengelendiği kabul edilir bu yöndeki kuvvetler için yapı tasarım yönünden ek hesaplar yapılmayabilir. Bu düşey yöndeki kuvvetler yapı tasarımında ancak özel durumlarda hesaba katılır.

Yanal Kuvvetler: Deprem kuvvetleri yapıya yatay yönde baskın yük olarak etkidiği için yanal kuvvetler olarak adlandırılır ve toplam yanal deprem kuvvetini saptamak için  $F = m a$  Bağıntısı kullanılır (Newton bağıntısı). Deprem yapıya uyguladığı  $F$  kuvveti ile yapının toplam kütlesi ( $m$ ) ve deprem sırasında oluşan sarsıntının yatay ivmesi  $a$  ( $a$  değeri yer çekim ivmesi  $g$  nin kesri cinsinde ifade edilir ) arasındaki ilişkiyi tanımlar.

# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

## Çalışmalarda Göz Önüne Alınacak Temel Özellikler



Bir bölgede oluşabilecek deprem hareketini tanımlayan temel özellikleri;

\*) tektonik yapı, \*) kırılma mekanizması ve \*) odak derinliği gibi deprem kaynak özelliklerinin yanında jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarına da bağlıdır.

Ayrıca, yerel zemin koşulları, deprem sırasında, deprem hareketinin bazı özelliklerini değiştirirken aynı zamanda kendi özelliklerinin bazıları da değişebilmektedir. Diğer bir deyişle, yerel zemin özellikleri kuvvetli yer hareketinin

\*) genlik, \*) frekans içeriği ve \*) süresi gibi

Özelliklerini önemli derecede etkileyebileceği gibi deprem dalgaları da ürettikleri tekrarlı şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak

\*) geçtikleri tabakaların özelliklerini değiştirebilmektedir

Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakalarından geçerken genliklerinde meydana gelen artış **zemin büyütmesi** olarak ifade edilmektedir. Zemin büyütmesini etkileyen temel kavramlar;

\*) ana kaya derinliği, ana kayanın üst yüzey morfolojik özellikleri, ana kaya ile zemin arasındaki ara yüzeyin özellikleri

\*) Ana kaya üzerindeki zemin tabakalarının -) kalınlığı, -) cinsleri, -) özellikleri, -) yatay doğrultudaki süreksizliği -) topoğrafi özellikler gibi Yerel zemin ve bölgesel özelliklerdir

**Sonuç: B bölgesinde yapılacak çalışmaların hedefi yukarıda tanımlanan özelliklerin araştırılması olmak zorundadır.**

**Bu amaçla zemin sondajları ve jeofizik çalışmalar yapılması gerekir.**

# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ?

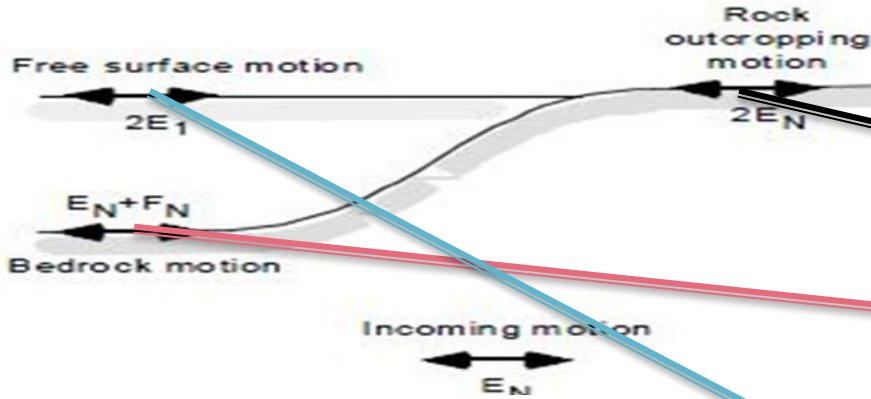
## Çalışmalar Nasıl Yapılır.

- B bölgesinde çalışmalarda temel hedef yapı yapılacak noktadaki depremin maksimum yatay kuvvet bileşenine (PGA, PSA vd. gibi parametrelere) ulaşmaktır.
- Bu amaçla çalışmalar planlanırken 2 yol izlenir.
- 1. yol. yapı yapılacak noktaya deprem istasyonu kurmak ve en az 1 yıl süre ile veri toplamak Bu yolun her zaman uygulanması zordur. Maliyeti de yüksek olur.
- 2. yol Yapı yapılacak noktaya ilgili olarak geçmiş deprem verileri, tektonik özellikler ve jeolojik veriler gibi kendine has parametreler kullanılarak tasarım deprem çalışmaları ve yapı yapılacak noktaya yakın ve ana kaya üzerinde kurulu deprem istasyon verilerinin belli varsayımlarla yapı yapılacak noktaya taşıma işlemi yapılması gerekir (pro Shake ve EERA programlarının kullanılması gibi)
- Bu işlem uygun parametrelerin kullanımı ve varsayımların denetlenmesi sonucu başarılı sonuçlar verir ve uygulaması daha kolaydır.

**Sonuç: B bölgesi çalışmalarında çoğunlukla 2. yol izlenir. Ancak tasarım depremi parametre Seçimi ve deprem verisi taşıma işlemindeki varsayımların iyi denetlenmesi gerekir.**



# B Bölgesi Çalışmaları Nelerdir ? Çalışmalar Nasıl Yapılır.



Layer	Coordinate	Properties	Thickness
1	$z_1$	$G_1, \rho_1$	$h_1$
2	$z_2$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$m$	$z_m$	$G_m, \rho_m$	$h_m$
$m-1$	$z_{m+1}$	$G_{m+1}, \rho_{m+1}$	$h_{m+1}$
$m-2$	$z_{m+2}$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N$	$z_N$	$G_N, \rho_N$	$h_N = \infty$

Figure 6. One-dimensional layered soil deposit system (after Schnabel et al., 1972).

- Deprem taşıma işlemindeki varsayımlar
1. Yapı yapılacak noktanın altındaki ana kaya üzerinde kurulu deprem istasyonu
  2. Bu istasyondaki veri o yöreye uygun elde edilen azalım ilişkileri fonksiyonları kullanılarak yapı yapılacak noktanın altındaki ana kaya zemin ara yüzeyine taşınacak.
  3. Son aşamada yine yapı yapılacak nokta ile ana kaya arasındaki zemini yatay yarı sonsuz homojen katmanlar kabul ederek ve katmanların Vs hız değerleri ile kalınlık değerleri kullanılarak deprem verisi yapı yapılacak noktaya taşınacak.

**Sonuç:** Bu varsayımların geçerli olabilmesi için Vs hız değerleri, katman kalınlıkları, ana kaya tanımı, ana kaya derinliği ve azalım ilişkileri gibi tanımların kuralına uygun yapılması gerekir.

# B bölgesi ile ilgili hatırlatma

## Nehrp (ABD) yönetmeliği

- NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program); Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılacak olan yeni binalar ve diğer yapıların depreme dayanıklı tasarım ve inşaatı için uyulması gereken koşulları belirleyen ve BSSC (Building Seismic Safety Council) tarafından FEMA (Federal Emergency Management Agency) için hazırlanmış bir yönetmeliktir. Bu yönetmelikte ortamın  $V_s$  hızına göre sınıflamaları ve spektral ivme katsayısı hesapları yapılır.
- Ancak; aşağıdaki tablolardan da görüleceği gibi, E ve F zemin sınıfları için tasarım davranış spektrumlarının oluşturulması için bu katsayılar verilmemekte ve sahaya özel dinamik davranış analizinin yapılması önerilmektedir (BSSC-Building Seismic Safety Council (2001), "NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition, Part I: Provisions F.
- Ayrıca, bu yönetmeliğe göre zemin sınıfı tanımları, zemin profilinin ilk 30 m'lik derinliği için geçerli olmaktadır. 30 m daha derin çalışmalarda dikkat edilmeli

Zemin Sınıfı	Zemin Özellikleri
A	Kayma dalgası hızı $V_s > 1500$ m/s olan sert kayalar
B	Kayma dalgası hızı $760$ m/s $< V_s \leq 1500$ m/s olan kayalar
C	Çok sert zeminler ile kayma dalgası hızı $360$ m/s $< V_s \leq 760$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $N > 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $S_u > 100$ kPa olan yumuşak kayalar.
D	Kayma dalgası hızı $180$ m/sn $< V_s \leq 360$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $15 < N \leq 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $50$ kPa $< S_u \leq 100$ kPa olan katı zeminler.
E	Kayma dalgası hızı $V_s < 180$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $N < 15$ drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 50$ kPa olan veya 3 m'den kalın yumuşak kil tabakası bulunduran zemin profilleri. Yumuşak kil Plastisite indeksi $PI > 20$ , su muhtevası $w \geq \%40$ ve drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 25$ kPa olan zeminler olarak tanımlanır.
F	Saha araştırma ve değerlendirmeleri gerektiren zeminler 1. Sismik yükler altında çökme veya Potansiyel göçme riskine sahip zeminler (Sıvılaşabilir zeminler, yüksek hassasiyetli killer, göçebilir zayıf bağlayıcılı zeminler vs.) 2. Turbalar ve/veya yüksek oranda organik killer ( $H > 3$ m olan turba veya yüksek oranda organik killer $H =$ zemin tabakası kalınlığı) 3. Çok yüksek plastisiteli killer ( $H > 8$ m ve plastisite indeksi $PI > 75$ ) 4. Çok kalın yumuşak/orta katı kil tabakaları ( $H > 36$ m)

Öngörülen maksimum deprem için kısa periyotlarda spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak  $F_a$  değerleri

Zemin Sınıfı	Kısa periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivmeleri				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	a
F	a	a	a	a	a

**Sonuç: Ülkemizde de yaygın olarak Nehrp yönetmeliği kullanılmaktadır.**

**Ancak kullanırken dikkat edilmesi gereken konu  $V_s$  hızlarının hesaplanma derinliğidir.**

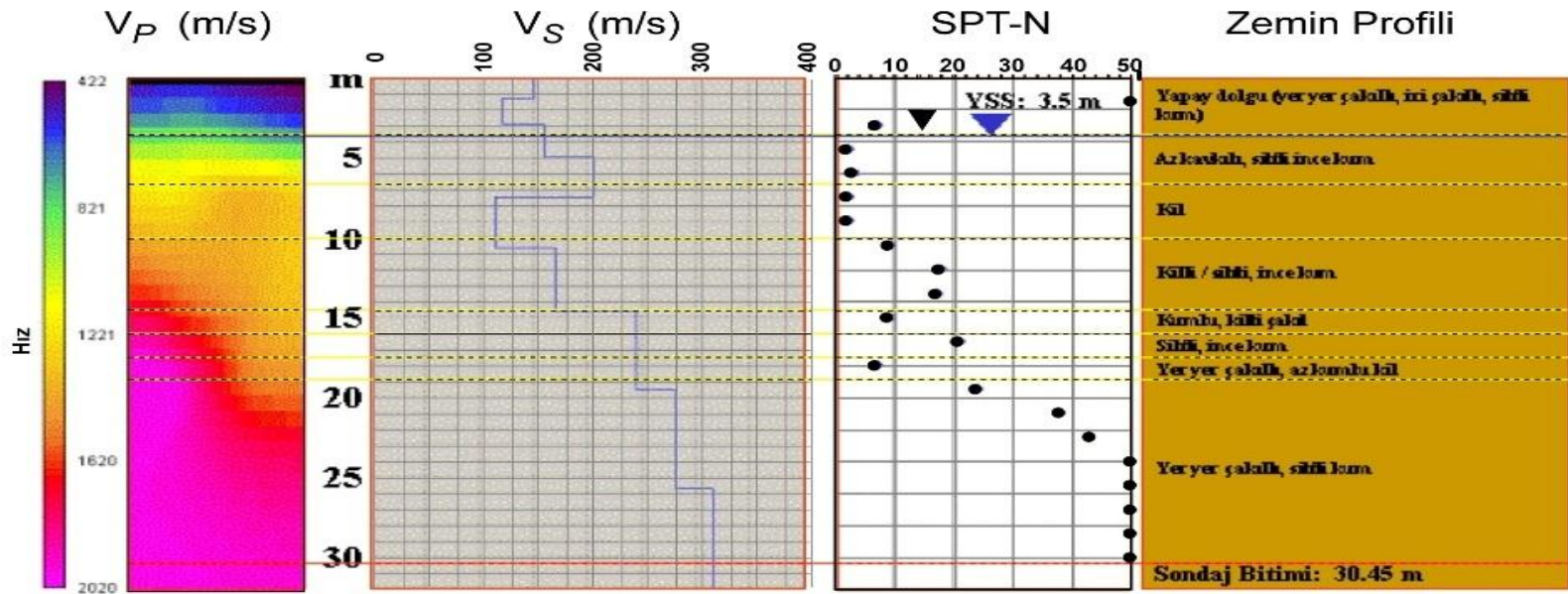
# B bölgesi ile ilgili hatırlatma

## Vs (30) nedir ?

- Vs (30) hızının anlamı ana kaya 30 m de başlıyor.
- 30 m nin altındaki Vs hızı ortalama 750 m/sn kabul ediliyor.
- Yukarıdaki kabullerin denetiminde, zemin tepki spektrumları Vs(30) hız değerlerine göre seçilen zemin tipine göre tablolardan bulunuyor.
- Bu işlemin sakıncası ne olabilir.
- Ana kayanın 30 m den daha derinde olmasıdır.

# Arazi Uygulama Örnekleri

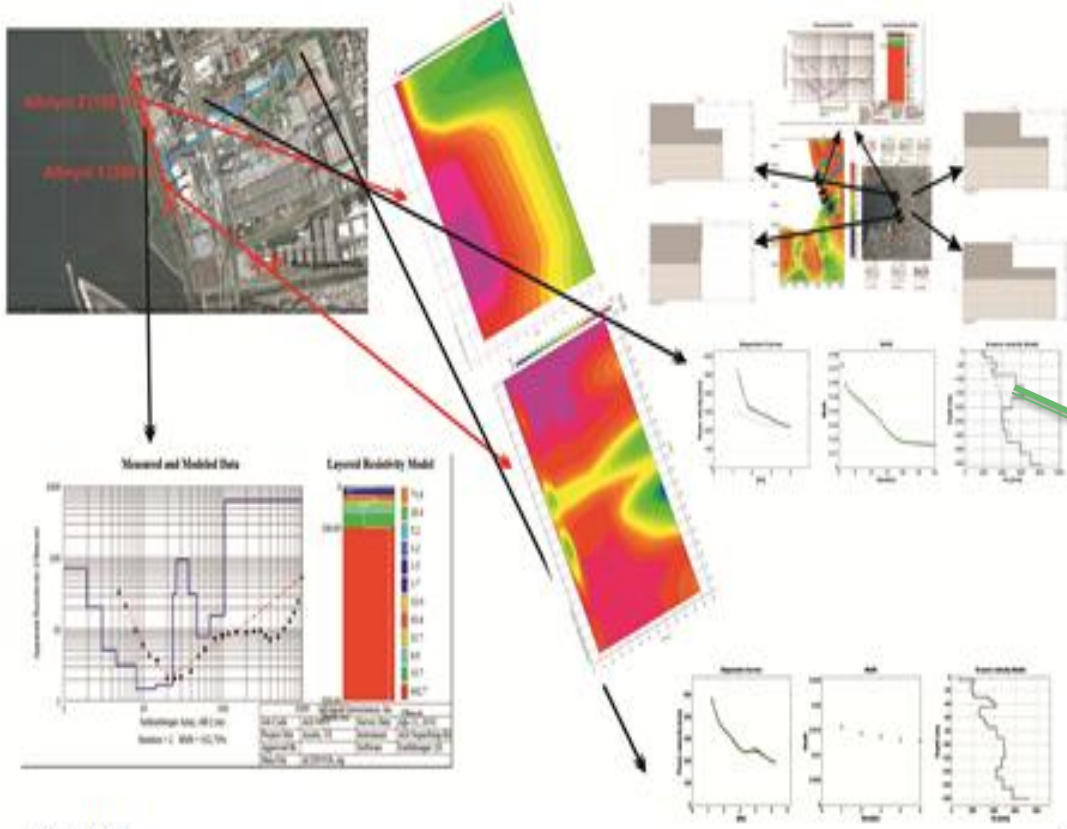
ODTÜ-1007 Projesi örnek ivme-ölçer istasyonu (BYN, İzmir Bayındırlık İl Müd.'lüğü) KÜNYE bilgisi  
Sismik hız ( $V_p$ ,  $V_s$ ), Jeoteknik Sondaj (SPT-N), Yeraltı Litoloji (+ Mikrotremor + Elektrik + varsa GP)



**Sonuç:** Yukarıdaki şekilde  $V_s$  (30) değeri hesaplanır ve zemin tepki spektrumuna karar vermek için bu değer temel alınmış olur. Hesaplamalarda yapılan kabuller yaklaşık 25 m den sonra ana kaya vardır ve 30 m derinlikten sonra da  $V_s$  hız değeri 750 m/sn alınmalıdır.

**Bu durumda kendimize ne sormamız gerekir bu varsayımlar ne kadar doğru olacak ve Jeofizik çalışmalarla bu varsayım denetlenebilir mi.**

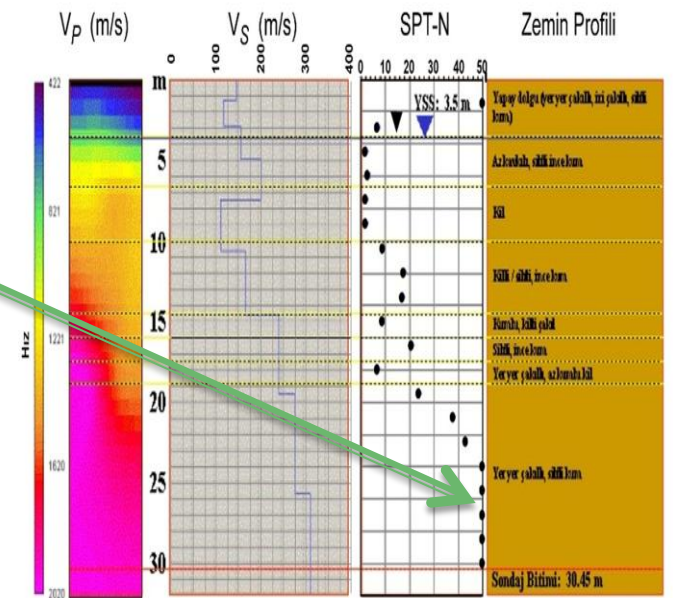
# Arazi Uygulama Örnekleri



05.03.2012

35

ODTÜ-1007 Projesi örnek ivme-ölçer istasyonu (BYN, İzmir Bayındırlık İl Müd. lüğü) KÜNYE bilgi Sismik hız ( $V_p$ ,  $V_s$ ), Jeoteknik Sondaj (SPT-N), Yeraltı Litoloji (+ Mikrotremor + Elektrik + varsa GP



Bu bölgede yapılan ayrıntılı jeofizik çalışmalar sonucunda, zemin tepki spektrumu hesabı için 30 m. derinliğin yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü ana kaya ortalama 350 m derinlikte  $V_s$  hız değerlerinin e bu derinliğe kadar hesaplanması gerekir.

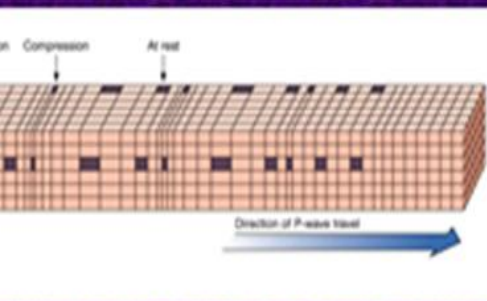
06.03.2012

21

# A ve B Bölgesinde Yapılan Çalışmalarda Jeofiziğin yeri nedir ?

## P Dalgaları

Boyuna , sıkışma ve birincil dalgalar , Tanecik hareketi yayılım doğrultusundadır. Enerji kaynağından çıkan bir puls elastik ortam içerisinde küresel olarak yayılırken titreşim yapan karaktere sahiptir. Periyodu 1sn'den az olan dalgalardır. Uzak mesafelere de ulaşabilirler



$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}}$$
$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \left(1 + \frac{2\sigma^2}{1 - \sigma - 2\sigma^2}\right)} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{(1 - 2\sigma)(1 + 2\sigma)}}$$

P dalgası hızı bağıntıları

Jeofizik Çalışmalarda Amaç Nedir.

1. Zemin dinamik parametrelerine bulmak
2. Bunun için yer içi ile ilgili olan ve ölçülebilir parametreler kullanmak.

Yandaki şekilde P dalgası ve bağıntısını ele alırsak zemin dinamik parametreleri bu bağıntıların içinde var.

Uygun aletlerle P dalgası yayılım özellikleri ölçülebilir ve uygun matematiksel bağıntılar kullanılırsa gerekli dinamik zemin parametreleri elde edilmiş olur.

# Vp (Primary Wave) Nedir?

$$V_p = \left( \frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Burada; K Bulk (sıkışmazlık) Modülü

$\rho$  = Yoğunluk

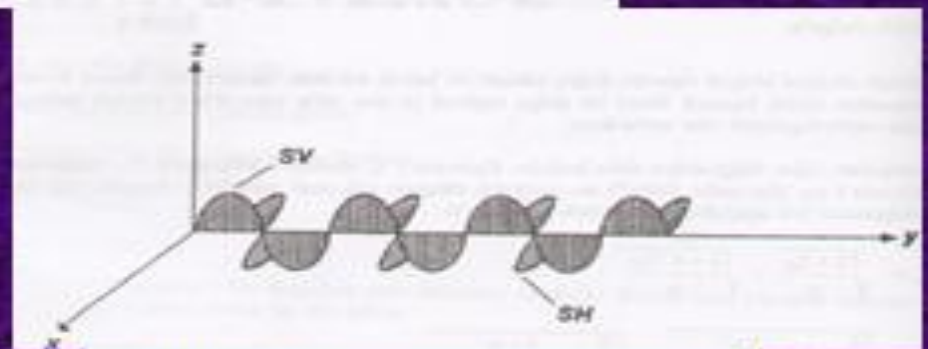
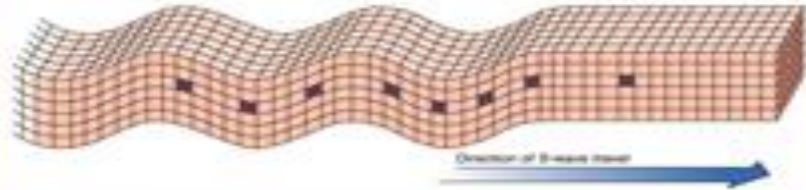
$\mu$  = Kesme modülü (Rijitide modülü) cismin katılığının ölçüsüdür.

Vp dalga denkleminde anlaşılabileceği üzere yoğunluk ( $\rho$ ) arttıkça  $V_p$  hızı azalır. Fakat yer içine doğru inildikçe yoğunluk artmasına rağmen  $V_p$  hızı artış gösterir, bunun nedeni K ve  $\mu$ 'nin yoğunluktan daha hızlı artış göstermesidir.

# A ve B Bölgesinde Yapılan Çalışmalarda Jeofiziğin yeri nedir ?

## S Dalgaları

Enine, makaslama ve ikincil dalgalar , Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik doğrultuda ve birbirlerine paraleldir. Böyle dalgalara taneciklerin hareket ettiği doğrultuda polarize olmuş dalgalar denir.



S dalga hızı bağıntıları

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

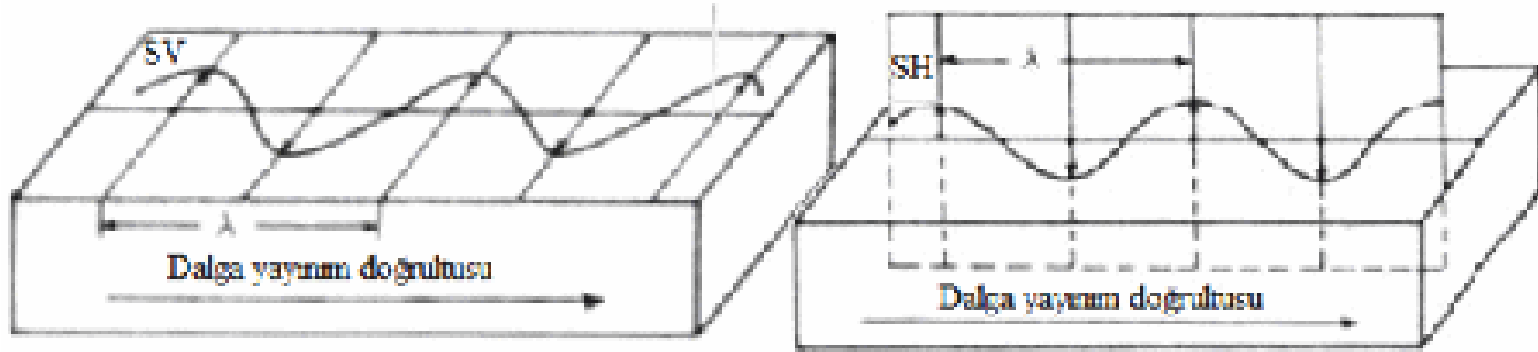
Sıvılarda  $\mu=0$  olduğundan S Dalgası yayılmaz

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

SV (düşey) ve SH (yatay) bileşen



# Vs (Shear Wave) Nedir?



$$V_S = \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Sıvılarda kesme (rijidite) modülü  $\mu$  sıfır olduğundan; S dalga denkleminde görüldüğü üzere S dalgaları sıvı içerisinde yayılamazlar. Bu önemli özellik yer içinin yapısının belirlenmesinde önemli rol oynar.

P dalgası ile S dalgası arasındaki hız ilişkisi basit şekliyle  $0 \leq V_s \leq \%70 V_p$  dir.

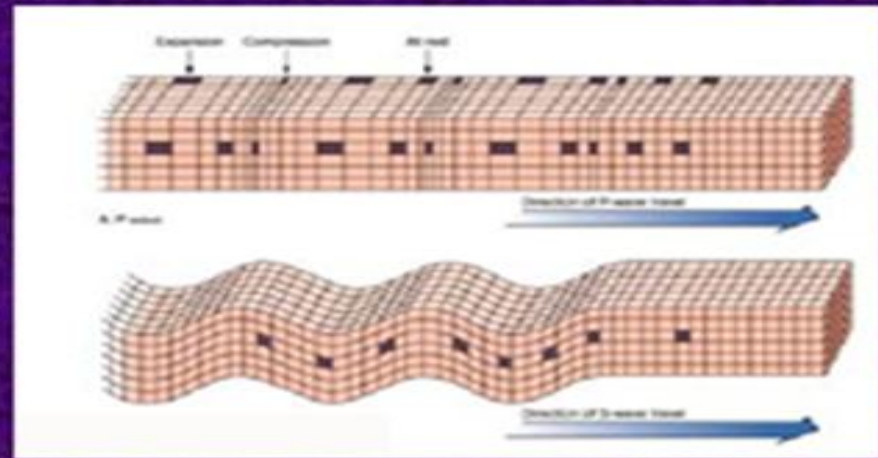
# A ve B Bölgesinde Yapılan Çalışmalarda Jeofiziğin yeri nedir ?

P ve S - Dalga hızlarının Elastik parametrelerle ilişkisi

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$E = \frac{V_p^2 \rho(1-2\sigma)(1+\sigma)}{1-\sigma}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{k}{\mu} + 4/3} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{1/2-\sigma}}$$



$$V_s = 0.6 V_p$$

# A ve B Bölgesinde Yapılan Çalışmalarda Jeofiziğin yeri nedir ? (Zemin Parametreleri ile Jeofizik Parametreler Arasındaki İlişki)

Tablo 1.Poisson Oranı-Zemin Türü İlişkisi

Poisson oranı	Zemin türü
0.00-0.25	gözeneksiz zeminleri,
0.25-0.35	orta dereceli gözenekli zeminleri,
0.35-0.50	gözenekli zeminleri

Tablo 2.Kayma Modülü-Zemin Türü İlişkisi

Kayma Modülü (G)	Zemin Türü
0-600	gevşek zeminleri,
600-3000	orta sağlam zeminleri,
3000-10000	çok sağlam zeminleri

Tablo 3.Elastisite Modülü-Zemin Türü İlişkisi

E	Zemin türü
0-2000	gevşek zeminler
2000-10000	orta gevşek zeminler
10000-30000	sağlam zeminler
30000<	çok sağlam zeminler

Tablo 4. Zemin Sökülebilirlik Derecesi

P Dalga Hızı (m/s)	Sökülebilirlik Derecesi	
	No	Tanım
350-670	1-3	Çok Kolay
670-1000	3-4	Kolay
1000-1700	4-6	Orta
1700-2300	6-8	Zor
2300-2700	8-9	Çok Zor
2700-3000	9-10	Aşırı Zor

Tablo 5. Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları

Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları	$V_s$ (m/sn)	$(T_A-T_B)$ SN	$V_P/V_S$	$G_s$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_a$ kg/cm <sup>2</sup>	$q_s$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Z1</b> çok sıkı-sert	>700	0.10-0.30	1.5-2	>10000	>3000	100-10
<b>Z2</b> Sıkı-katı	400-700	0.15-0.4	2-2.5	3000-10000	10000-30000	3-10
<b>Z3</b> Orta sıkı-bozuşmuş	200-400	0.15-0.60	2.5-3	600-3000	2000-10000	1-3
<b>Z4</b> Gevşek-yumuşak	<200	0.2-0.90	3-10	<600	<1700	<1

# A ve B Bölgesinde Yapılan Çalışmalarda Jeofiziğin yeri nedir ? (Zemin Parametreleri ile Jeofizik Parametreler Arasındaki İlişki)

Zemin Dinamik Elastik Parametreleri	Formüller
<b>Yoğunluk</b>	$\rho = 0.44 * V_s^{0.25}$ ( $V_s$ hızına göre) $\rho = 0.31 * V_p^{0.25}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
<b>Poisson</b>	$\sigma = (0.5 * (V_p / V_s)^2 - 1) / ((V_p / V_s)^2 - 1)$
<b>Shear(kayma)</b>	$G_d = (\rho * V_s^2) / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Elastisite(young)</b>	$E_d = G_d * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Taşıma Gücü</b>	$Q_u = \rho * V_p / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Güvenli Taşıma Gücü</b>	$Q_e = \rho * V_s / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Oturma</b>	$S = ((Q_u + Q_e) / E) * h$ (cm)
<b>Sıkışmazlık (Bulk)</b>	$K = M_c = \rho * (V_p^2 - 4/3 * V_s^2) / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Zemin Hakim Periyodu</b>	$T_0 = 4 * \sum h_i / V_{si}$ (s) veya $T_0 = 10 / \sqrt{V_s}$ (s)
<b>Sıkışabilirlik</b>	$M_v = (1 / M_c)$ (cm <sup>2</sup> /kg)
<b>Zemin Büyütmesi</b>	$A = 68V_s^{-0.5}$ ( $V < 1100$ m/sn) $= 1.0$ ( $V > 1100$ m/sn) (Midorikawa 1987)

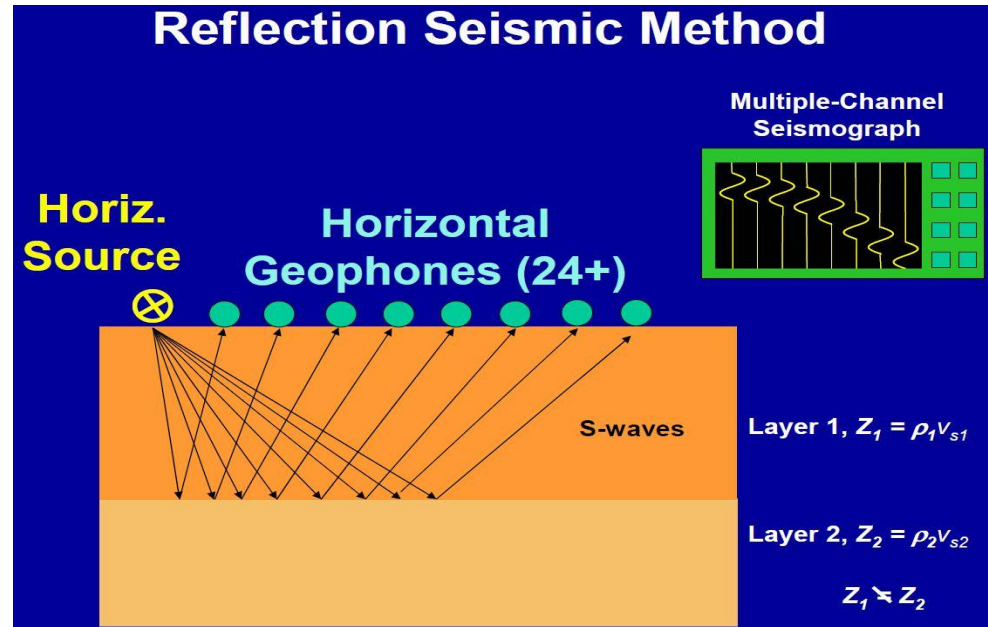
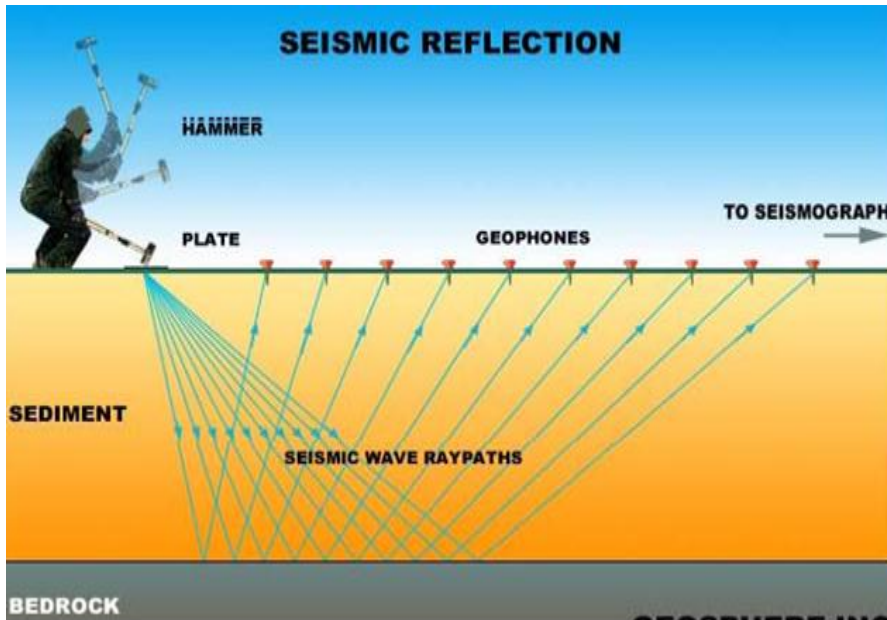
Tablo 7. Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85-100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30-50	65-85	—	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil..	16-32	—	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10-30	35-65	—	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8-16	—	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil....	< 8	—	< 100	< 200

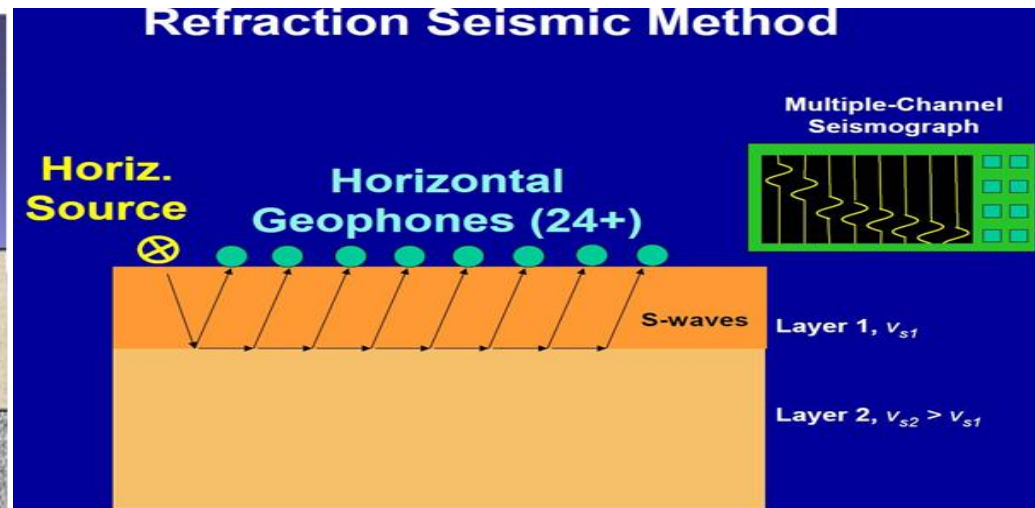
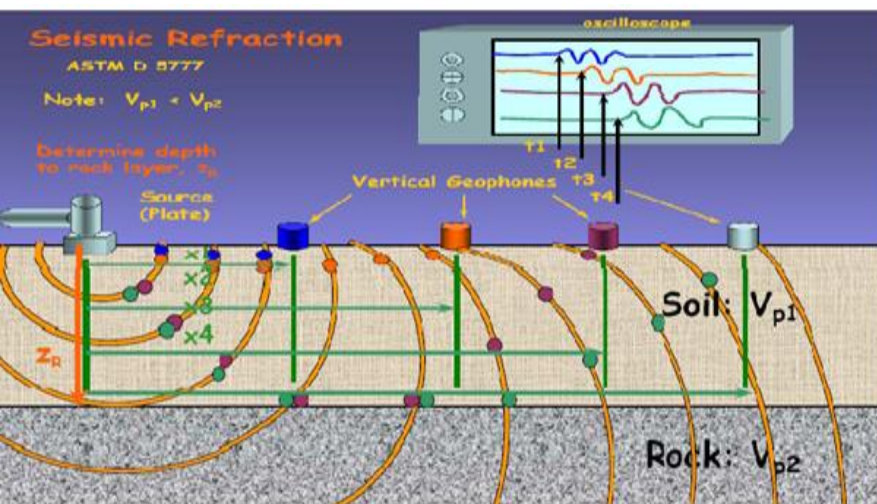
# Bina Temeli-Zemin İlişkisinde Jeofizik Yöntemlerle Elde Edilebilecek Parametreler

- Vp,Vs Hızları
- Zemin Taşıma Gücü
- Dinamik Zemin Emniyet Gerilmesi
- Düşey Yatak Katsayısı
- İçsel Sürtünme Açısının Depremle Değişimi
- Zemin Sıvılaşma Riski
- Vp/Vs Oranı ile Güvenlik Faktörü
- Poisson Oranı
- Kayma Modülü
- Kesme Modülü
- Yoğunluk
- Bulk Modülü
- Zemin Sökülebilirlik Derecesi

# Vp ve Vs Hızına Hangi Jeofizik Yöntemlerle Ulaşılır?

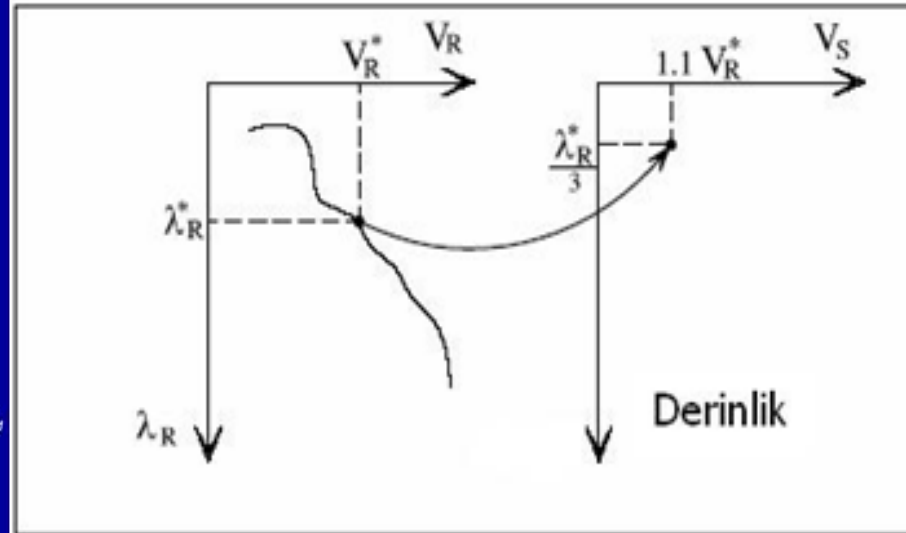
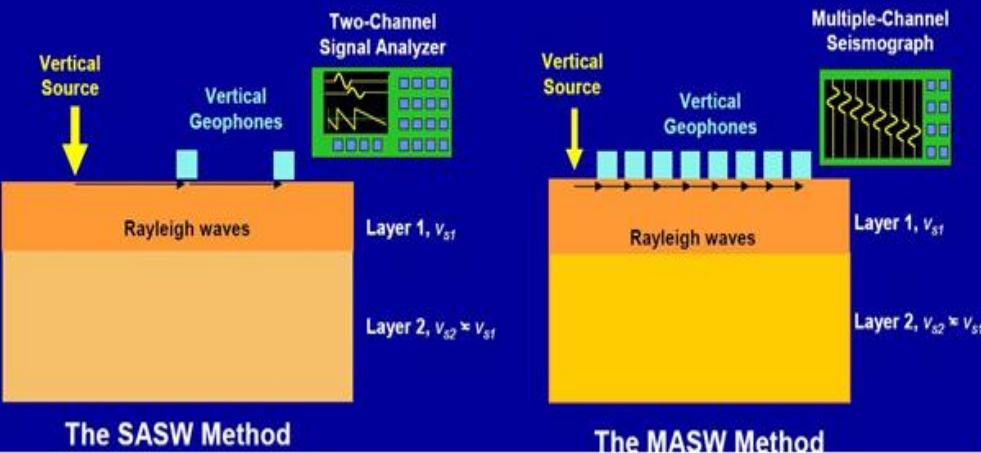


# Vp ve Vs Hızına Hangi Jeofizik Yöntemlerle Ulaşılır?



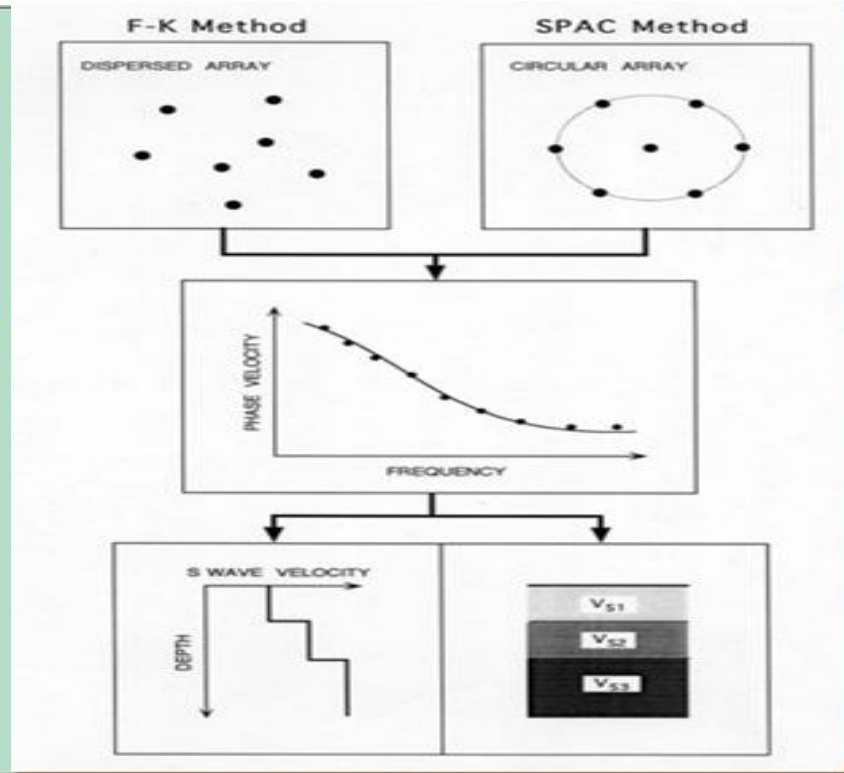
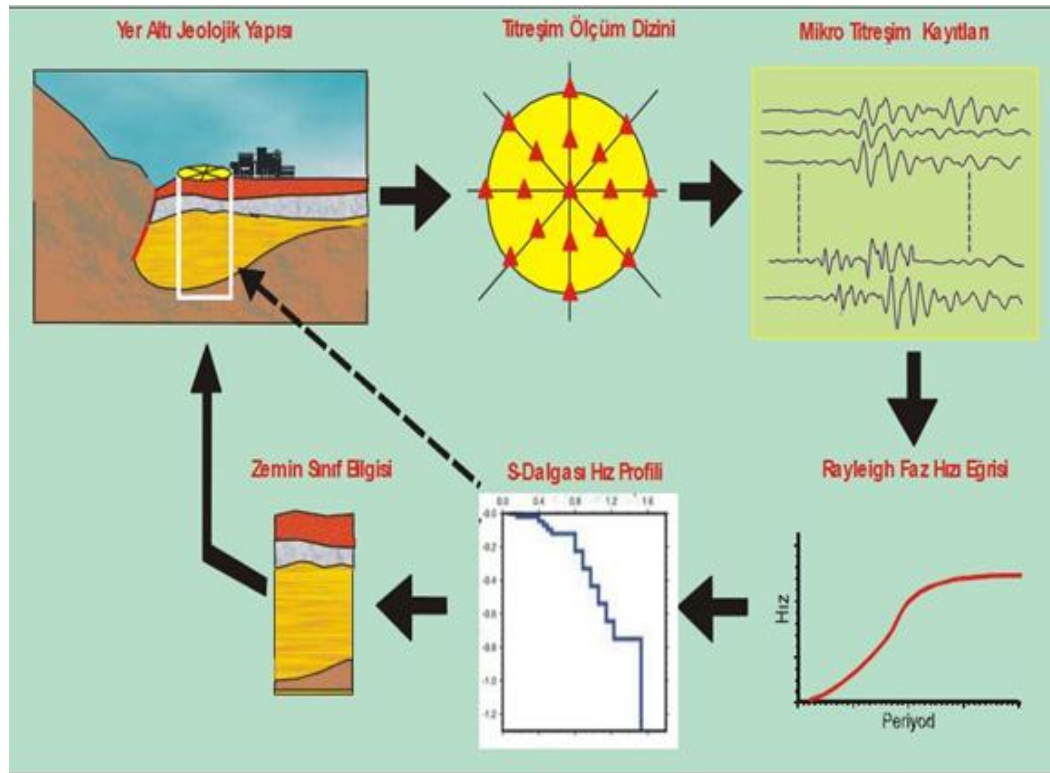
# Vp ve Vs Hızına Hangi Jeofizik Yöntemlerle Ulaşılır?

## Surface Wave Methods

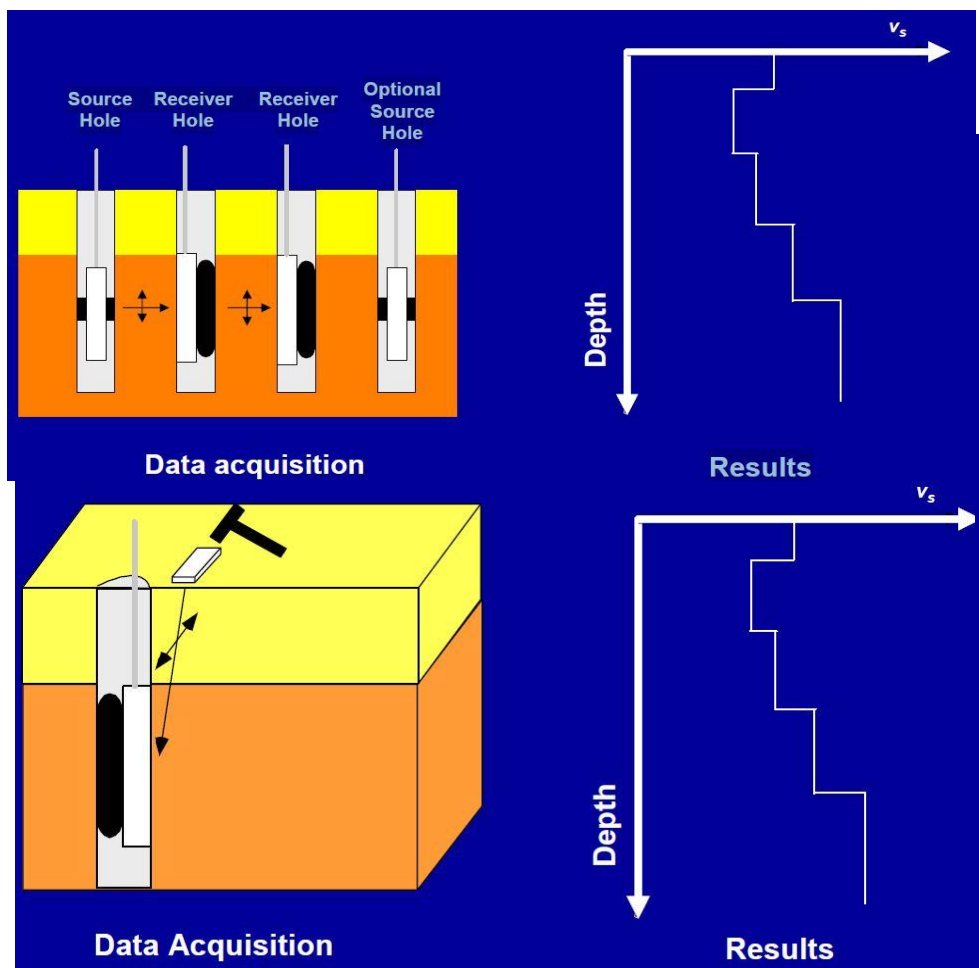




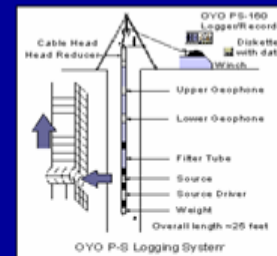
# Vp ve Vs Hızına Hangi Jeofizik Yöntemlerle Ulaşılır?



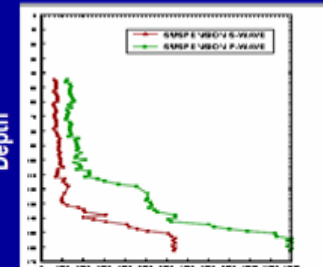
# Vp ve Vs Hızına Hangi Jeofizik Yöntemlerle Ulaşılır?



## PS Suspension Logger



Data acquisition

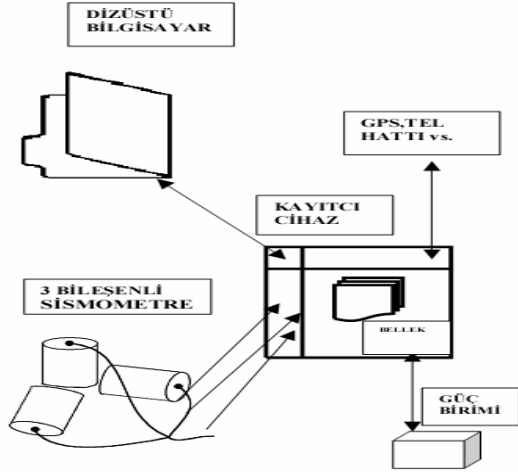


Results

Points to consider:

- Provides highly-resolved data
- Operates in uncased fluid-filled borehole

# Yerin Doğal Titreşim Periyodu Nasıl Bulunur ? Mikrotremor Çalışması



Yüzey tabakalarının dinamik parametrelerinin belirlenmesinde mikrotremor çalışmaları dünyada bilinen ve en çok kullanılan yöntemler olmuşlardır.

Mikrotremor yöntemi ile hızlı ölçü alınması, düşük maliyetli olması, uygulama kolaylığı ve hızlı çözümlenebilmesi açısından avantajlara sahiptir.

Ayrıca bu yöntemle zemin hakim titreşim periyodunun doğrudan elde edilir

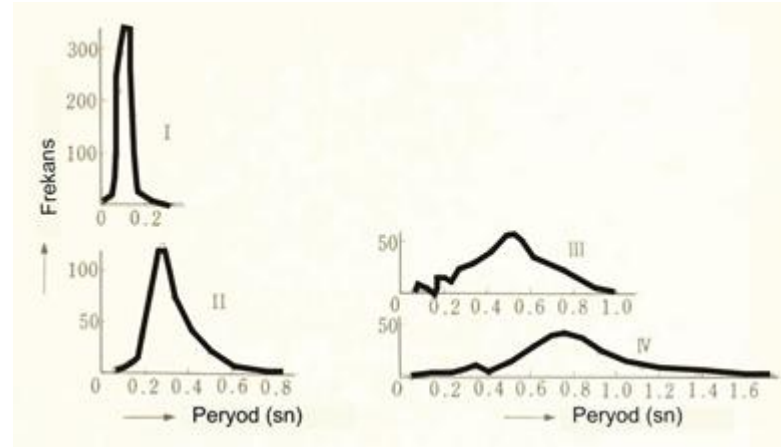
Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde yerin doğal gürültüsünü oluşturur.

Farklı yer koşullarına ait yerin doğal gürültüsü de farklı olacaktır.

Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir.

Böylece, yerin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir.

Bu durumda yerin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir.



mikrotremor kayıtlarının frekans-periyod eğrileri (Kanai, 1983).

# İçsel Sürtünme Açısının Vs Hızı (Depremle ) Değişimi

Deprem Bölgelerinde sıvılaştırılabilir kumlu kaba siltli zeminlerde, deprem öncesi belirlenen taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesi deprem sırasında %50 - %70 oranında düşmektedir.

Bunun nedeni, sarsıntıya bağlı olarak zeminlerin içsel sürtünme açısı değerlerinin hızla düşmesidir.

Bu düşme aşağıdaki formül yardımıyla ya SPT- N<sub>30</sub> değeri ya da kesme dalgası hızı (V<sub>s</sub>) değeri kullanılarak hesaplanabilir;

$$K_d = \frac{2}{3} \times \frac{a_{\max}}{g}$$

$$\phi' = \phi - (1.33 - 0.116V_s^3 \times 10^{-6}).ArcTan(K_d)$$

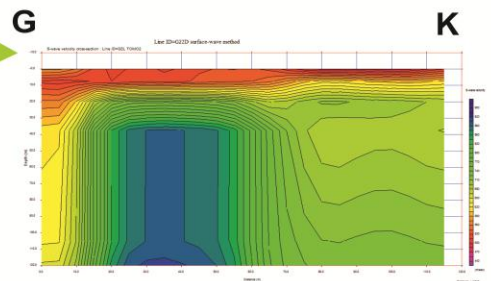
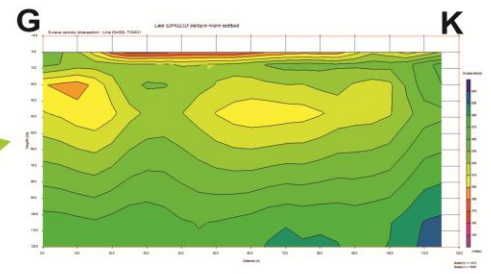
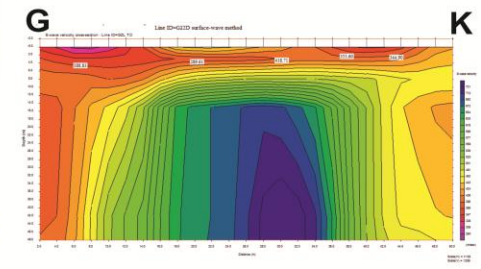
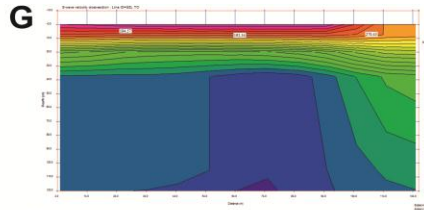
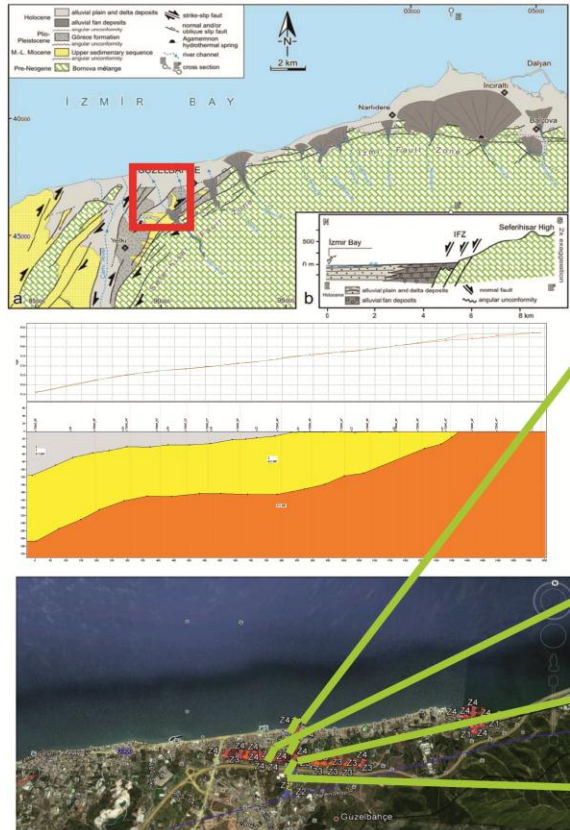
$\phi'$  : Deprem sırasında içsel sürtünme açısı ,  $\phi$  : Deprem öncesinde sıvılaştırılabilir zeminin içsel sürtünme açısı

SPT-N<sub>30</sub>' : Düzeltilmiş SPT değeri K<sub>d</sub>: Sarsım katsayısı (boyutsuz), g: Yerçekimi ivmesi (980 cm/sn<sup>2</sup>)

a<sub>max</sub>: incelenecek alanda depremin yaratacağı en büyük ivme değeri.

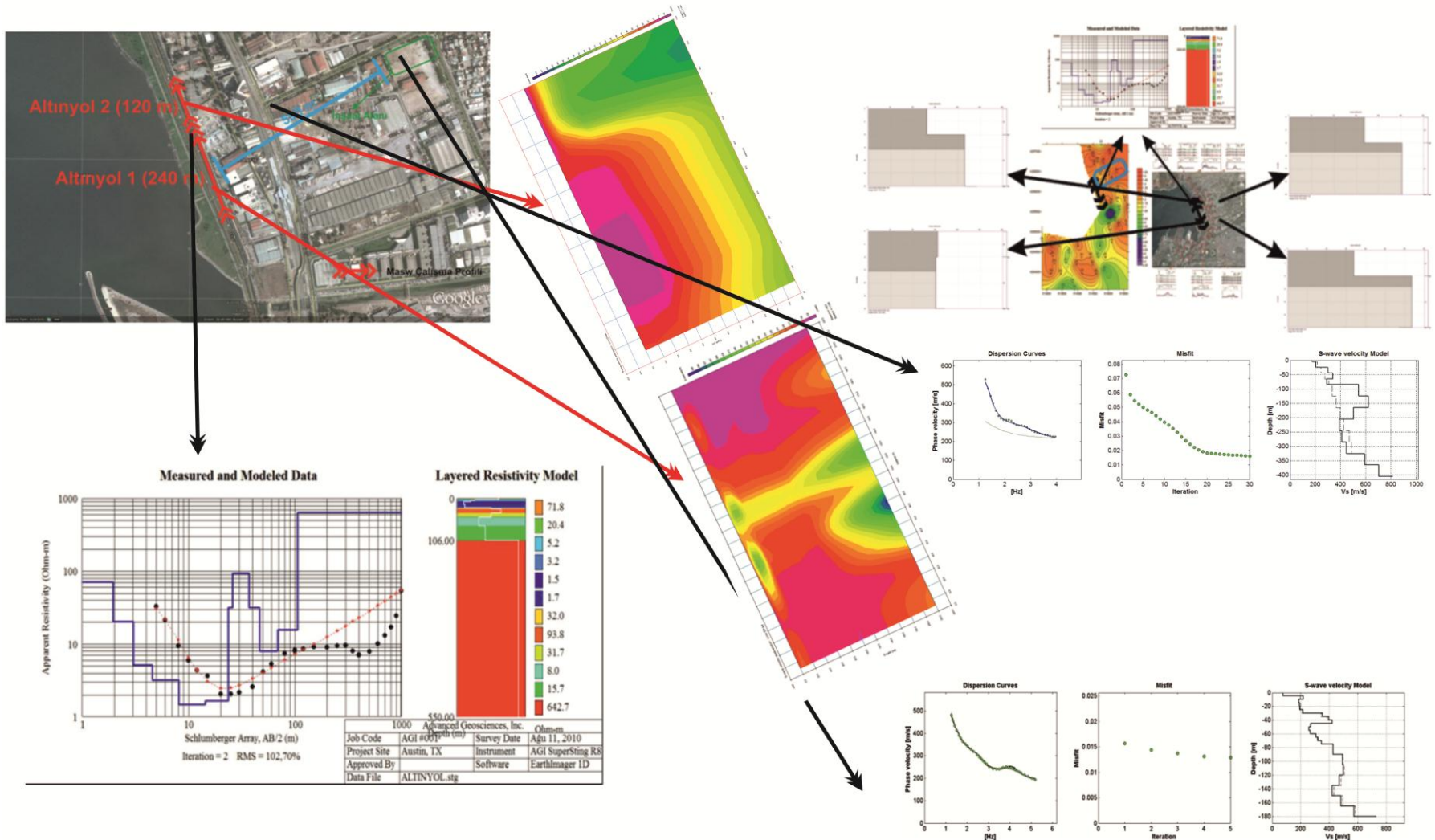
Sarsıntı sırasında, temelin güvenle taşıyacağı düşey yük azalacağından,  $\phi'$  durumu göz önüne alınmaz ise; temelde oluşacak gömülme sonucu üst yapıda eğilme

# Arazi Uygulama Örnekleri



**24.02.2012**  
**Masw Tomografi**  
**24 ch**  
**4,5 Hz Geophone**  
**3 Stack**  
**2 sn Record Time**  
**0,125 ms Sample**  
**25 Shot Point**  
**5 m Bin Size**

# Arazi Uygulama Örnekleri



# Teşekkürler...