

# Deprem-Yapı-Zemin Etkileşimine Yönelik

İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan  
Jeofizik Çalışmalar



**Günümüzde Zemin Raporlarında**

**Kullanılan Bağıntılar ve**

**Jeolojik-Jeofizik Çalışmalarla**

**İlişkisini Hatırlatma**

# Günümüzde Zemin Raporlarında Kullanılan Genel Bağlıntılar

Zemin Dinamik Elastik Parametreleri	Formüller
Yoğunluk ( $V_p$ )	$\rho = 0.31 \times V_p^{0.25}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
Yoğunluk ( $V_s$ )	$\rho = 0.44 \times V_s^{0.25}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
Poisson	$\sigma = (0,5 * (V_p / V_s)^2 - 1) / ((V_p / V_s)^2 - 1)$
Shear(kayma)	$G_d = (\rho * V_s^2) / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Elastisite(young)	$E_d = G_d * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Taşınma Gücü	$Q_u = \rho * V_p / 100$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Güvenli Taşınma 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 Hakim Periyodu	$T_0 = 4 * \sum h_i / V_{si}$ (s) veya $T_0 = 10 / \sqrt{V_s}$ (s)
Sıkışabilirlik	$M_b = (1 / M_c)$ (cm <sup>2</sup> /kg)
Zemin Büyütmesi	$A = 68 V^{-0.05}$ ( $V < 1100$ m/sn) $= 1.0$ ( $V > 1100$ m/sn)(Midorikawa 1987)

**Bu bağlantılar kullanılarak sonuçlar üretilir**  
**Ancak bu bağlantıların kullanılma amaçları**  
**Jeofizik Mühendislerine açıklanmadan sadece**  
**hesaplanması isteniyor.**

	( $\lambda, G$ )	( $E, G$ )	( $K, \lambda$ )	( $K, G$ )	( $\lambda, \nu$ )	( $G, \nu$ )	( $E, \nu$ )	( $K, \nu$ )	( $K, E$ )	( $M, G$ )
$K =$	$\lambda + \frac{2G}{3}$	$\frac{EG}{3(3G-E)}$			$\frac{\lambda(1+\nu)}{3\nu}$	$\frac{2G(1+\nu)}{3(1-2\nu)}$	$\frac{E}{3(1-2\nu)}$			$M - \frac{4G}{3}$
$E =$	$\frac{G(3\lambda+2G)}{\lambda+G}$		$\frac{9K(K-\lambda)}{3K-\lambda}$	$\frac{9KG}{3K+G}$	$\frac{\lambda(1+\nu)(1-2\nu)}{\nu}$	$2G(1+\nu)$		$3K(1-2\nu)$		$\frac{G(3M-4G)}{M-G}$
$\lambda =$		$\frac{G(E-2G)}{3G-E}$		$K - \frac{2G}{3}$		$\frac{2G\nu}{1-2\nu}$	$\frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$	$\frac{3K\nu}{1+\nu}$	$\frac{3K(3K-E)}{9K-E}$	$M - 2G$
$G =$			$\frac{3(K-\lambda)}{2}$		$\frac{\lambda(1-2\nu)}{2\nu}$		$\frac{E}{2(1+\nu)}$	$\frac{3K(1-2\nu)}{2(1+\nu)}$	$\frac{3KE}{9K-E}$	
$\nu =$	$\frac{\lambda}{2(\lambda+G)}$	$\frac{E}{2G} - 1$	$\frac{\lambda}{3K-\lambda}$	$\frac{3K-2G}{2(3K+G)}$					$\frac{3K-E}{6K}$	$\frac{M-2G}{2M-2G}$
$M =$	$\lambda + 2G$	$\frac{G(4G-E)}{3G-E}$	$3K - 2\lambda$	$K + \frac{4G}{3}$	$\frac{\lambda(1-\nu)}{\nu}$	$\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu}$	$\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$	$\frac{3K(1-\nu)}{1+\nu}$	$\frac{3K(3K+E)}{9K-E}$	

$$V_p = \sqrt{E(1-\nu) / \rho_r(1-2\nu)(1+\nu)}$$

$$V_s = \sqrt{E / 2 \rho_r(1+\nu)}$$

**E:** young modülü

**$\rho_r$ :** özgül ağırlık

**$V_p$ :** P dalgası hızı

**$\nu$ :** poisson oranı

**$V_s$ :** S dalgası hızı

( $\nu=0.25$  için  $V_p= 1.73 V_s$ ,

**$V_r$ :** Rayleigh dalgası

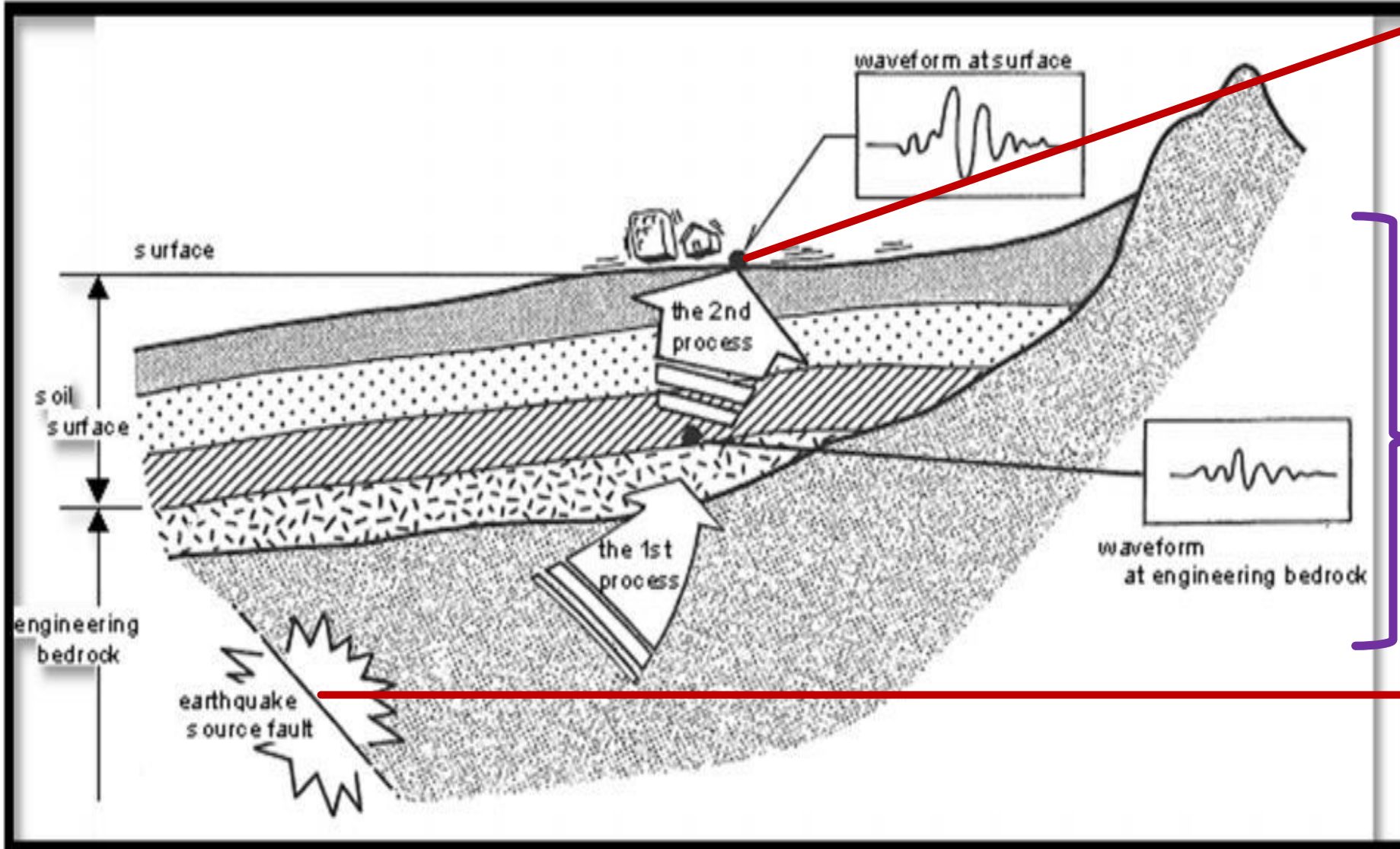
$V_r= 0.9 V_s$ ' dir)



**Deprem-Zemin-Yapı Etkileşiminde**

**Kullanılan Temel Kavramlar**

# Deprem Etkisi Nerde Başlar Nerde Biter



Deprem Etkisinin Bittiği  
Nokta  
(Zemin Yüzeyi)

## Deprem Etkisinde Değişim Yaratacak Ortam

1. Bu ortamın hangi özellikleri bu değişimleri yaratır
2. Bu ortamın kalınlığı ne olmalı
3. Bu ortamın özellikleri zemin yüzeyine nasıl yansıtılır.

Deprem Etkisi Başlama  
Noktası  
(Deprem Kaynağı)

Soru : Depremin Hasar Yapıcı Etkisi Nerde Başlar Nerde Biter?

Yanıt: Depremin Etkisi Depremin kaynağında Başlar ve Zemin Yüzeyinde Biter.

Soru : Depremin Zemin Yüzeyindeki Hasar Yapıcı Etkisi Nasıl Azaltılır?

Yanıt: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Bu Konuları Kapsar.

Soru: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temeli Nedir?

Yanıt: Zemin Yüzeyine Ulaşacak Deprem Etkisini Tahmin Etmek

Zemin Yapı Etkileşimini Gerçeğe Uygun Olarak Tanımlamak

Yapının Geometrisini, Temelini, Rijitliğini, Sönümünü ve Malzeme

Özelliklerini Bu Tahminlere Göre Tasarlamaktır.

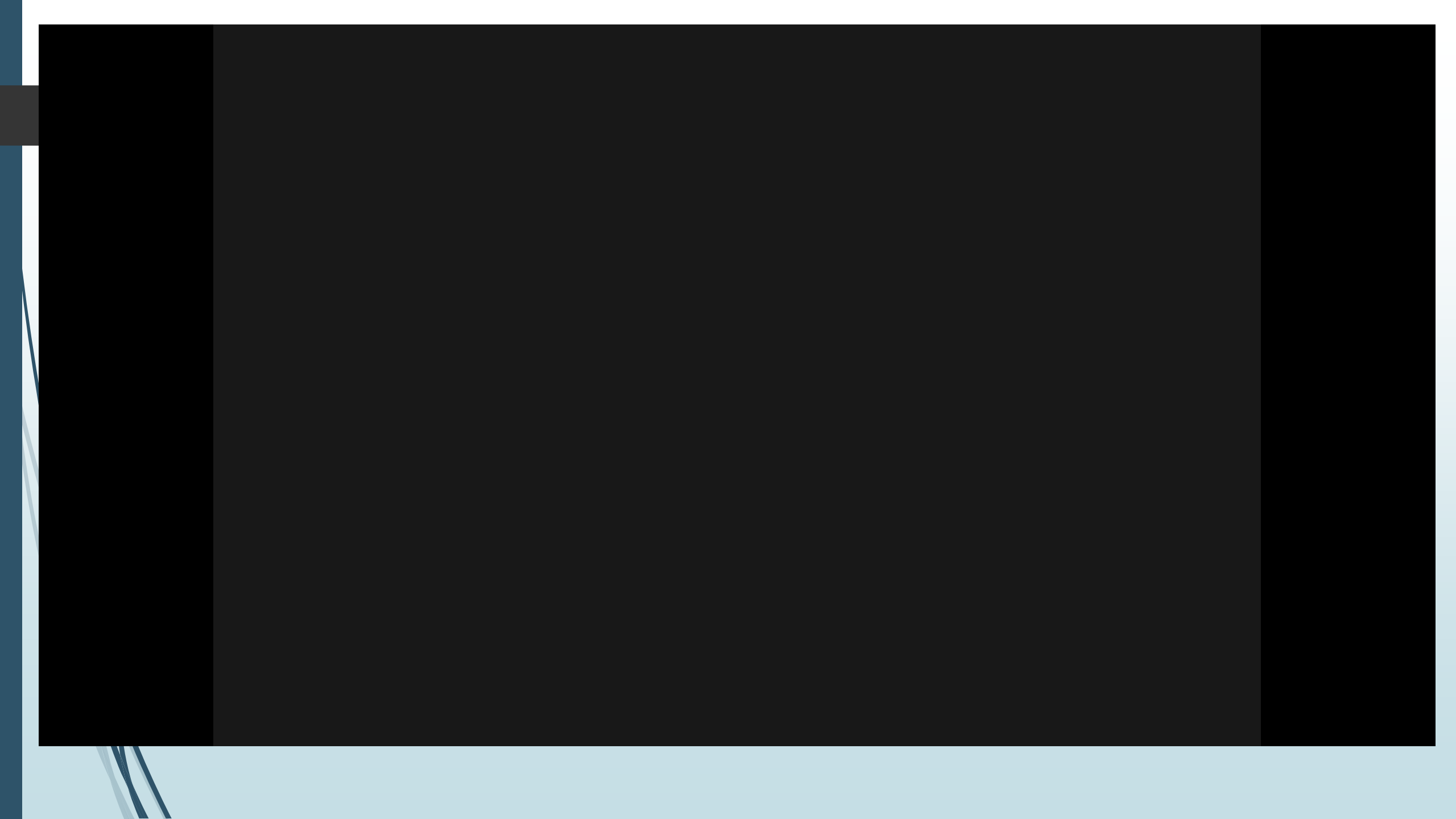


**İnşaat Mühendisliği Bölümünde**

**Verilen**

**Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**

**Dersinin Temel Kavramları**

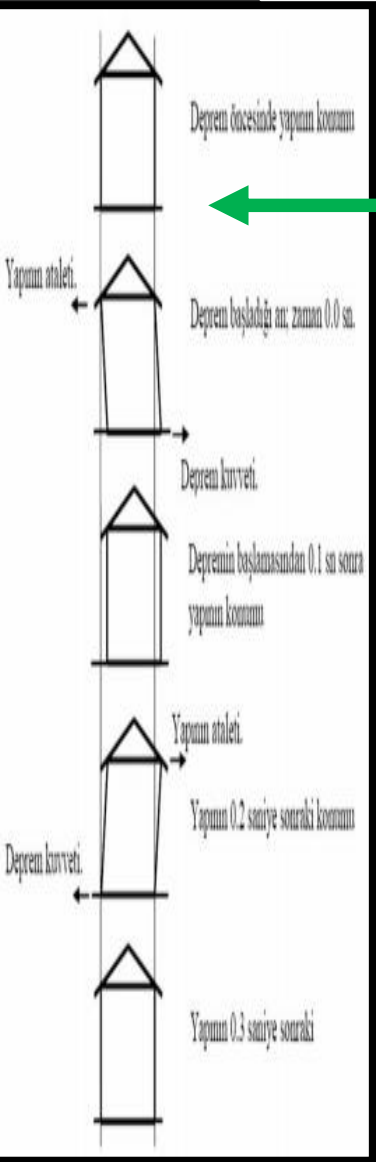




## Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Akış Şeması Ne Olmalı Hatırlatma

- Depreme dayanıklı yapı tanım olarak
  - yapı-zemin ve deprem etkileşimi sonucunda insan yaşamına zarar vermeyecek şekilde ayakta kalabilen yapıdır.
- Bu özelliklerin sağlanması için
  - Deprem sırasında yapıya etki edecek olan dinamik yükün büyüklüğü ve yönü
  - Yapı yapılan noktadaki zeminin tekrarlı dinamik yükleme altındaki gerilme şekil değiştirme özellikleri
  - Yapının özellikleri
- Ayrıntılı tasarlanmak ve tanımlanmak zorunda olmalıdır.

# Yapının Deprem Sırasındaki Davranışı



- Yapı deprem sırasında yanal ve düşey yönde kuvvet etkisinde kalır.
- Düşey kuvvetin yapı kütlesi ile dengelendiği kabul edilir.
- Depreme dayanıklı yapı tasarımında yanal kuvvet dikkate alınır.
- Fizikten bilinen Etki-Tepki kavramı gereği yapı bu etkiye iç kuvvetlerle tepki verir.
- $P(t)$  Deprem sırasında ortaya çıkan yapıyı yer değiştirmeye zorlayan ve zamana bağlı olarak değişen yanal yönlü dış kuvvet =  $m \cdot a(t)$

► Etki tepki Bağıntısı =  $P(t) = m a_y(t) + c V_y(t) + k U_y(t)$  ve  $m a_y(t) + c V_y(t) + k U_y(t) - m a(t) = 0$

►  $[m a_y(t)]$  = Eylemsizlik kuvveti olarak tanımlanır.

►  $c V_y(t)$  = Sönüm kuvveti olarak tanımlanır.

►  $k U_y(t)$  = Yapı iç kuvveti olarak tanımlanır.

►  $m$  = Yapının toplam kütlesi

►  $k$  = Yapının rijitliği =  $m(4\pi^2/T^2)$ .

►  $c$  = Yapının sönüm katsayısı. =  $2 m \xi(2\pi/T)$

►  $(\xi)$  = Betonun sönüm katsayısı % 5 alınır

►  $a$  = Yer çekim ivmesi

►  $a_y$  = Yapı hareketi ivmesi

►  $U_g$  = Yapı-Zemin ortak hareketine ait yer değiştirme.

►  $U$  = yapının tek başına yapacağı harekete ait yer değiştirme.

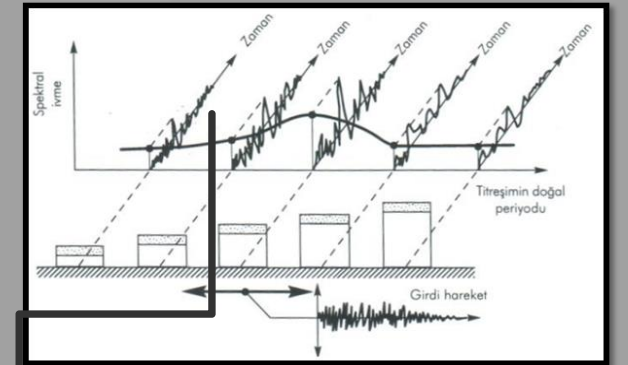
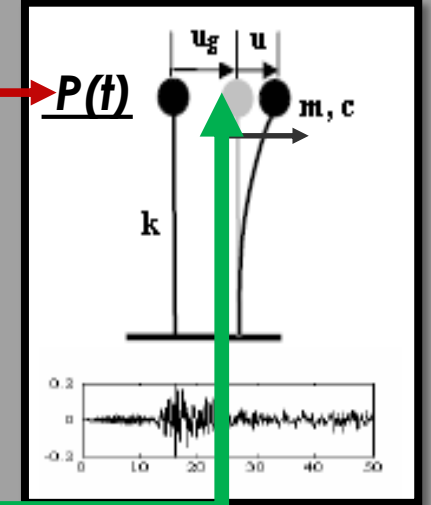
►  $U_y = (U_g + U)$  Yapının toplam yer değiştirmesi

►  $T$  = Periyot (yapı yüksekliği).

► Depreme dayanıklı yapı tasarımında temel denklem budur ve bu denklemin çözümleri üzerinden yapı tasarlanır.

► Bu denklem çözüldükten T periyotuna göre çözümler yapılır.

► Yapının deprem etkisinde yapacağı maksimum toplam yer değiştirme dikkate alınır.



## Yapının Deprem Sırasındaki Davranışı

Sistemin farklı periyot değerleri (yapı yükseklikleri) için (örneğin burada  $T=0.1, 0.5$  Ve  $1$  Sn için çizilmiş) sabit yer ivmesi ( $PGA=0.25g$ ) etkisinde yapacağı zamana bağlı yer değiştirme grafikleri çizilir.

Bu grafikler elde edilirken yapı yüksekliği periyot değerleri ile ilişkilendirilmiştir (Kat başına  $0.1$  sn).

Ayrıca yapı sönüm katsayısı ( $\xi$ ) %5 olarak tanımlanır.

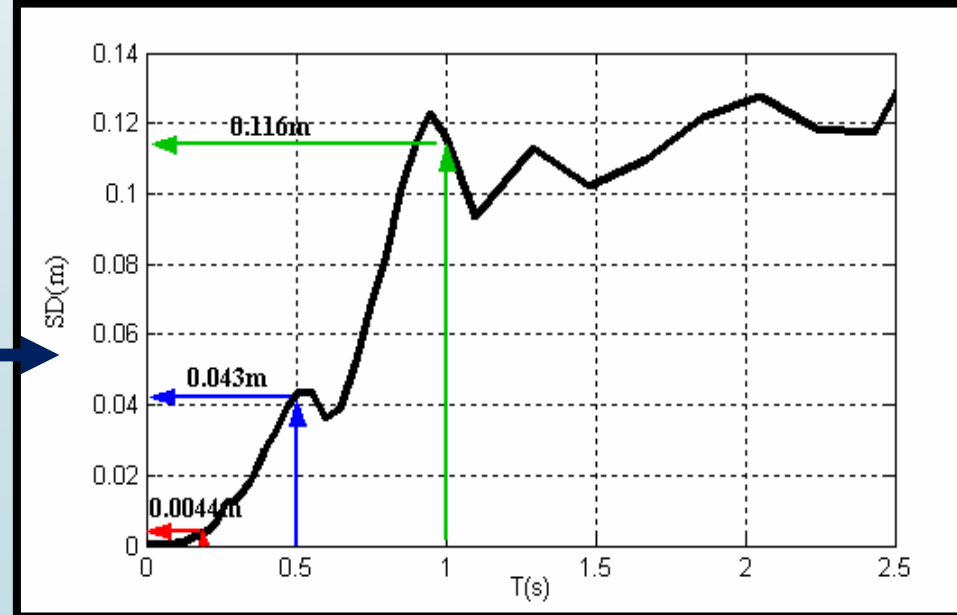
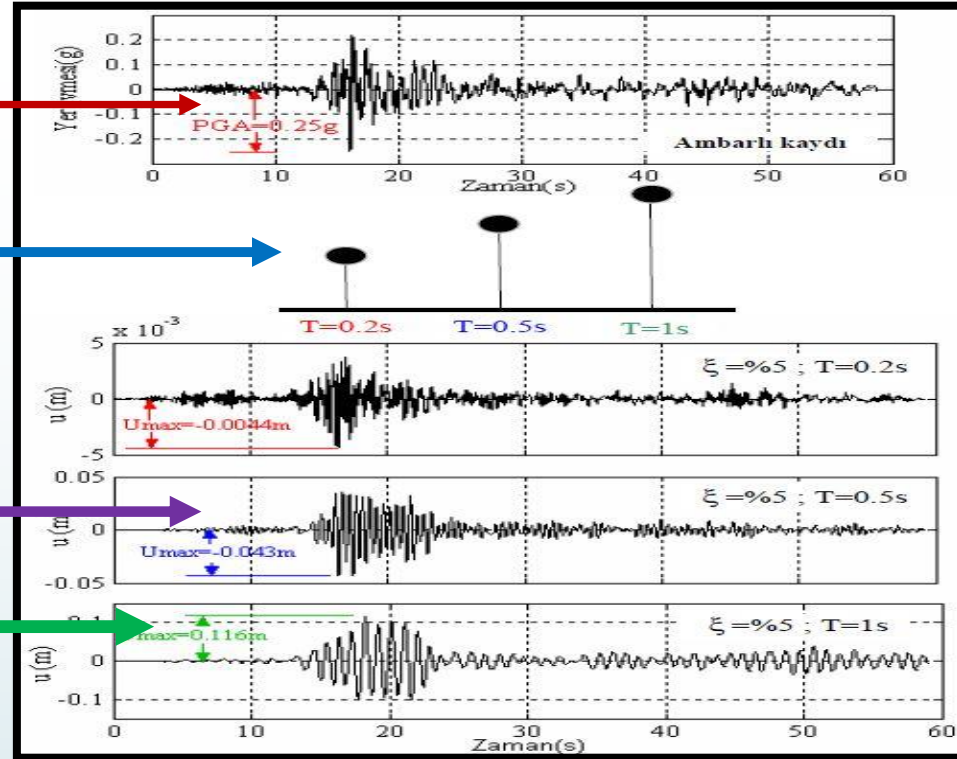
Örnek olarak her bir  $T$  periyot değeri için zamana bağlı olarak yer değiştirme grafikleri ayrı ayrı (3 adet  $T$  değeri için 3 adet  $U(T)$  grafiği) çizilmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli parametre, farklı yüksekliğe sahip yapıların zaman bağılı olarak yapacakları yer değiştirmelerin maksimum değerleri olarak kabul edilir.

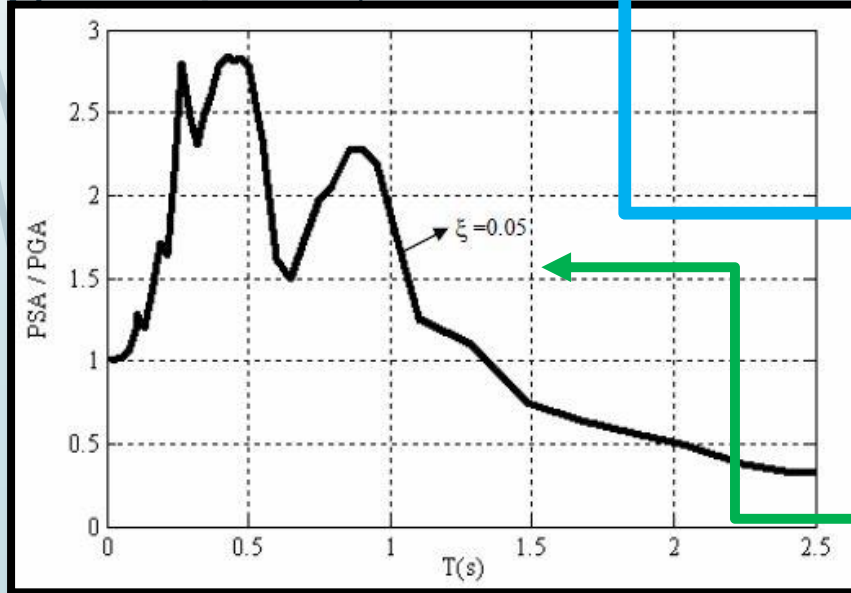
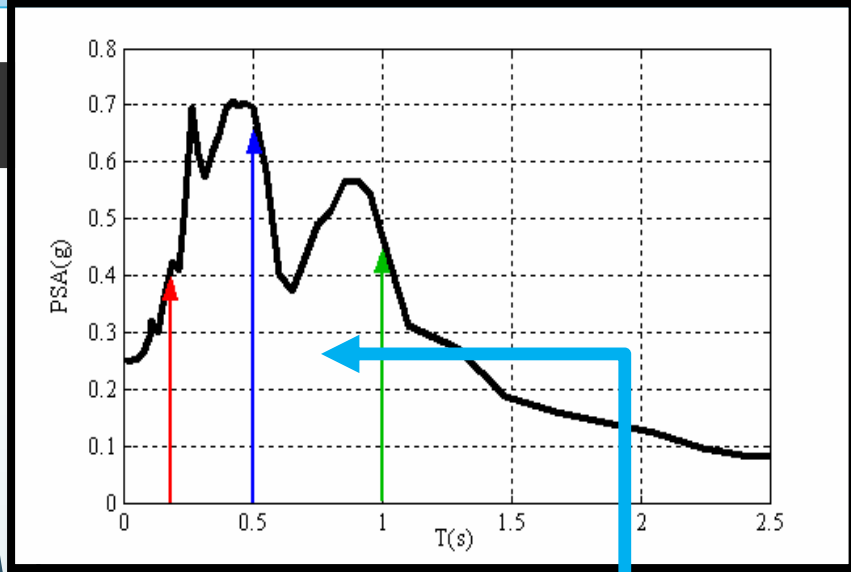
Bu durumda her bir  $T$  değeri için bulunan zaman bağılı  $U(T)$  grafiklerinden maksimum  $U(T)$  değerleri okunur ve

Bu değerler periyoda göre çizilirse hem frekans ortamına geçiş sağlanmış hem de yapı yüksekliği temel alınarak yapıların zamana bağlı yer değiştirmeleri elde edilmiş olur.

Ayrıca bu maksimum  $U$  değerleri  $T$  ye göre çizilirse ( $U_{max}(t)$ ) spektral yer değiştirme ( $SD(T)$ ) grafikleri  $T$  periyota göre elde edilir.



# Yapının Deprem Sırasındaki Davranışı



- Deprem sırasında yapıya etkiyen  $F$  kuvvetinin statik olarak etkideği ve yer etkisinde oluşacak bu kuvvetlerin maksimum değerinin maksimum yer değiştirmeye bağlı olarak değişeceği varsayımı yapıldığında yapı içinde oluşacak olan karşı koyma kuvveti bileşenlerinden olan iç kuvvet
- $F = mw^2(SD)$  Bağıntısı ile tanımlanmış olur.
- Bu bağıntı bize yapının eylemsizlik kuvvetini yapının maksimum yer değiştirmesi ile orantılı olarak tanımlamış olur.
- Newton kanununa göre kütle ve ivme kavramları da dikkate alındığında
- $F = m \cdot a_y = m \cdot \{w^2(SD)\}$  ve
- Yapı hareketinin ivme değeri  $a_y = w^2(SD) = PSA(T)$  olur.
- Tanım olarak  $PSA(T)$  grafikleri ile belirli bir deprem için elde edilmiş yer ivmesi etkisinde kalarak ve farklı periyotlar için hareket edecek tek serbestlik dereceli bir sistemin zorlanmış titreşimine ait maksimum yer değiştirmeleri temel alınarak elden edilen maksimum yer değiştirmelere ait ivme grafiklerini tanımlamaktadır.
- Sonuç olarak  $PSA(T)$  grafikleri çizilirken maksimum yatay ivme değeri (PGA) ile ölçeklenir.
- $PSA/PGA(T)$  grafikleri de PGA değerleri ile normalleştirilmiş sözde ivme spektrumu grafikleri olarak tanımlanır

# Yapının Deprem Sırasındaki Davranışı

- Bu aşamaya kadar tanımlanan parametreleri hatırlayalım;
  - $PGA(t)$  = Pik Yatay Deprem İvmesi. Kayıtlardan maksimum değer olarak okunur
  - $SD(T)$  = Spektral Yer Değiştirme.
  - $PSA(T)$  = Sözde İvme Değeri = Pseudo Spectral Acceleration.  $(SD \cdot w^2)$  bağıntısı ile hesaplanır.
- Bu değerlerin elde edilmesindeki amaç, depreme dayanıklı yapı kavramında kullanılması gereken, elastik deprem tasarım yükünü tanımlamaktır.
- Elastik tasarım deprem yükü hesaplanırken kullanılması gereken bağıntı  $F=PSA \cdot m$  dir.
- Bu durumda PSA değeri elde edilirse elastik deprem tasarım yükü hesaplanabilir.
- Spektrumların, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, tek serbestlik dereceli sistemlerin, o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösterir
- **SONUÇ 1. Bu hesapların yapılabilmesi için doğadan elde edilmesi gereken parametre**
  - $a$  = depremin yatay ivmesi oluyor.
- **Bu Sonuçlardan Hareketle Jeofizik çalışmaların**
  - hem  $a$  parametresinin elde edilmesinde (Deprem kaynağındaki etkinin zemin yüzeyine taşınması aşamalarında sismik empedans oranlarının araştırılması)
  - hem de yapı salınım hareketi ile ilgili olarak kullanılması gerekiyor (Yapı yüksekliği ile salınım periyodu arasındaki ilişkinin irdelenmesi aşamalarında)
  - Sonucu çıkmaktadır.

## Yapının Deprem Sırasındaki Davranışı

- SONUÇ 1. Bu hesapların yapılabilmesi için doğadan elde edilmesi gereken parametre  $a$ = depremin yatay ivmesi oluyor.
- Bu aşamada ivme değeri hem nasıl elde edilecek hem de yapı yapılacak noktanın özelliklerine göre tanımlanmış olması nasıl sağlanacak sorusu karşımıza çıkıyor.
- Farklı magnitüt değerlerine göre depremler göz önüne alınarak  $a$  değerleri elde edilmeli.
- Deprem kuvvetinin yönleri nasıl dikkate alınacak.
- Geleceğe yönelik senaryo depremleri nasıl tasarlacak.
- SONUÇ 2. Yapı-Zemin ortak hareketi modellenirken dikkat edilirse yapının deprem sırasında yapacağı salınım hareketi sırasında zemine yatay konumda olduğu kabul ediliyor.
- Bunun anlamı yapı deprem sırasında hem zeminle hem de tek başına hareket ederken düşey konumunu koruduğu kabul ediliyor.
- Bu varsayımı denetlemek için statik ve dinamik koşullarda yapının düşeyden sapmasını sağlayacak hangi zemin özelliklerinin araştırılması gerekir.
- Jeofizik çalışmalar hangi aşamalarda kullanılacak.

# DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMININ İZLENESİ İLE İLGİLİ TEMEL TANIMLAR VE VARSAYIMLAR

- Zemin yüzeyine ait yanal ve düşey yönlü deprem kuvvetinin hesaplanması çalışmaları yapılır.
- Zemin yüzeyindeki deprem kuvveti zaman ortamında ivme, hız veya yer değiştirme değerlerinin maksimum değeri (PGA, PGV, PGU) olarak tanımlanır.
- **Çalışma 1.** Bu aşamadaki amaç zemin yüzeyine ait bir noktadaki (yapı yapılacak nokta) maksimum PGA, PGV veya PGU değerlerinin zaman ortamında tanımlanmasıdır.
  - Yapılması gereken ilk araştırma konusu çalışma alanının geçmiş deprem üretme veya etkisinde kalma özelliklerinin tanımlanarak geleceğe yönelik en uygun deprem parametre tahminin yapılması olacaktır.
  - Tahmin edilen depremin kaynak enerjisinin modellenmesi ve daha sonrada bu enerjinin, deprem dalgalarının zemin yüzeyine ulaşınca kadar geçeceği tüm ortam özellikleri (jeolojik, jeofizik ve geoteknik özellikler) dikkate alınarak zemin yüzeyine taşınmasıdır.
  - Geçmiş deprem kayıtları kullanılarak yapı yapılacak noktaya gelecekte etki edecek depremin yönü, büyüklüğü ve mekanizması modellenir.
  - Bunun için senaryo depremi kullanılırsa M (magnitüt), D (deprem kaynağına olan yatay uzaklık), H (deprem odak derinliği) ve r (sismik ana kayaya ait) sönüm faktörü kullanılarak sismik ana kaya üst sınırındaki deprem dalgasının genlik-frekans spektrumu hesaplanır ve çizilir.
  - Sismik ana kaya üst sınırından itibaren zemin yüzeyine kadar olan katmanlar arasındaki sismik empedans oranları (P ve S dalgaları ile yoğunluk değerleri gerekli olacak) hesaplanarak her bir katman geçişinde (Sismik dalga hızları ve yoğunlukları farklı olan katmanlar arasındaki sınır) deprem dalgalarındaki genlik artışları ve bu artışların oluşacağı frekans değerleri elde edilir.

# Çalışma 1.

## Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde edilmesinin İzlenesi

c.1. Çalışılacak nokta için müh. Ana kayasına kadar Vs hız değerleri ile tabaka kalınlıkları bulunur.

c.2. Müh. Ana kayasına kadar litoloji tanımlanır.

c.3. Müh. Ana kayası üzerinde kaydedilmiş bir deprem ivme kayıtları bulunur.

c.4. Azalım ilişkileri kullanılarak müh. Ana kayası üzerindeki deprem ivmesi çalışılan noktada zeminin tabanında bulunan müh. Ana kayasına taşınır.

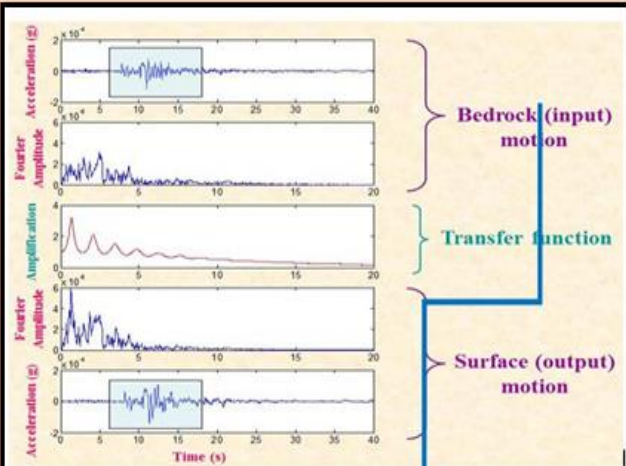
c.5. Lineer sistem kavramı kullanılarak müh. Ana kayasındaki deprem ivmesi zemin yüzeyine taşınır. Bu işlem zaman ortamında evrişim işlemi ile tanımlanır.

Çıktı (t) = Girdi (t) (evrişim) ZTF (t)

Müh. Ana. İvmesi \* zemin profili = zemin yüzeyindeki deprem ivmesi

Bu işlem frekans ortamında çarpma işlemi ile yapılır.

Çıktı (f) = Girdi (f) . ZTF (f).



Bir Boyutlu Zemin Dinamik Tepki Analizi Zaman Ve Frekans Ortamı Giriş Çıkış ve Transfer Fonksiyonları

- Bu işlemler zemin transfer fonksiyonu hesaplamaları ile yapılır. Bu hesaplamalar yapılırken lineer sistem kuramı dikkate alınır.
- Lineer sistem kuramına göre zaman ve frekans ortamında aşağıdaki bağıntılar kullanılır
- (f) ortamında Sismik ana kaya ivmesi (conv.) Zemin Transfer Fonk. = Zemin Yüzeyindeki Deprem ivmesi
- (f) ortamında Sismik ana kaya ivmesi (Çarpım) Zemin Transfer Fonk. = Zemin Yüzeyindeki Deprem ivmesi
- Çarpım işlemi matematiksel kolaylık sağladığı için işlemler önce frekans ortamında yapılır ve
- Daha sonra da Fourier Dönüşüm özellikleri kullanılarak çıkış verisi hem zaman hem de frekans ortamlarında tanımlanmış olur
- Bu çıkış verisi grafiklerinin ya ortalama değerleri ya da pik genlik değerleri, PGA, PGV veya PGL tanımını yapmak için kullanılır
- Maksimum değer zemin yüzeyinde oluşacağı frekans değeri Kramer 1886 tarafında
- $f_0 = VS / 4H$  (Temel frekans) olarak tanımlanmıştır.



# Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde edilmesinin İzlenesi

- Enerjinin korunumu kanunu gereği sismik enerji  $=\{A^2 w^2 \rho V\} / 2$  veya  $E=\{\rho V_s V(t)^2\} / 2$
- Zemin yüzeyine doğru azalan sismik hız ve yoğunluk değerlerine karşılık A genlik değerini artırır.
- A genlik değerindeki artış  $B= \{1 / [(1/a) + (\pi/2)\xi]\}$ .
- Sismik empedans oranı;  $a=(\rho_2 V_2) / (\rho_1 V_1)$  Bağıntısı ile sönüm oranı da  $\xi=(\eta w) / 2G$  bağıntısı ile tanımlanır.
- Sönüm oranı; viskozite değeri ( $\eta$ ) ve açısal hız  $w$  değeri ile doğru orantılı ve  $G=(\rho V^2)$  değeri ile de ters orantılı olarak değişir.
- Çalışma alanının yatay yarı sonsuz homojen izotrop katmanlardan oluştuğu kabul edilir.
- Deprem dalgaları zemin yüzeyine yaklaştıkça yayılım doğrultusu düşey olur (Yoğunluk ve hız azalması sonucu normale yaklaşarak kırılır).
- Enerjinin korunumu gereği  $w=$  açısal frekans değeri deprem dalgasının zemin yüzeyine kadar seyahati boyunca sabit kalır.
- Deprem dalgaları zemin yüzeyine doğru yaklaştıkça, azalan basınç nedeni ile yoğunluk ve sismik dalga hız değerlerinde azalmalar oluşur.
- Hız ve yoğunluk azalması sonucu zemin yüzeyine yaklaştıkça deprem dalgası genlik değerlerinde de büyümeler meydana gelir.
- Zemin yüzeyine yaklaştıkça A genlik değeri B katsayısı ile çarpılır.
- B katsayısını kontrol eden parametreler sismik empedans oranı  $a$  ile  $\xi$  sönüm oran katsayısıdır.
- Bu durumda hız ve yoğunluk değerleri ile sönüm oranı arasında ters orantı vardır.
- Zemin transfer fonksiyonları hesaplanırken derinliğe bağlı olarak elde edilen P, S dalga hızları, kalınlıklar, yoğunluk ve sönüm oranları kullanılır.

# Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde edilmesinin İzlenesi

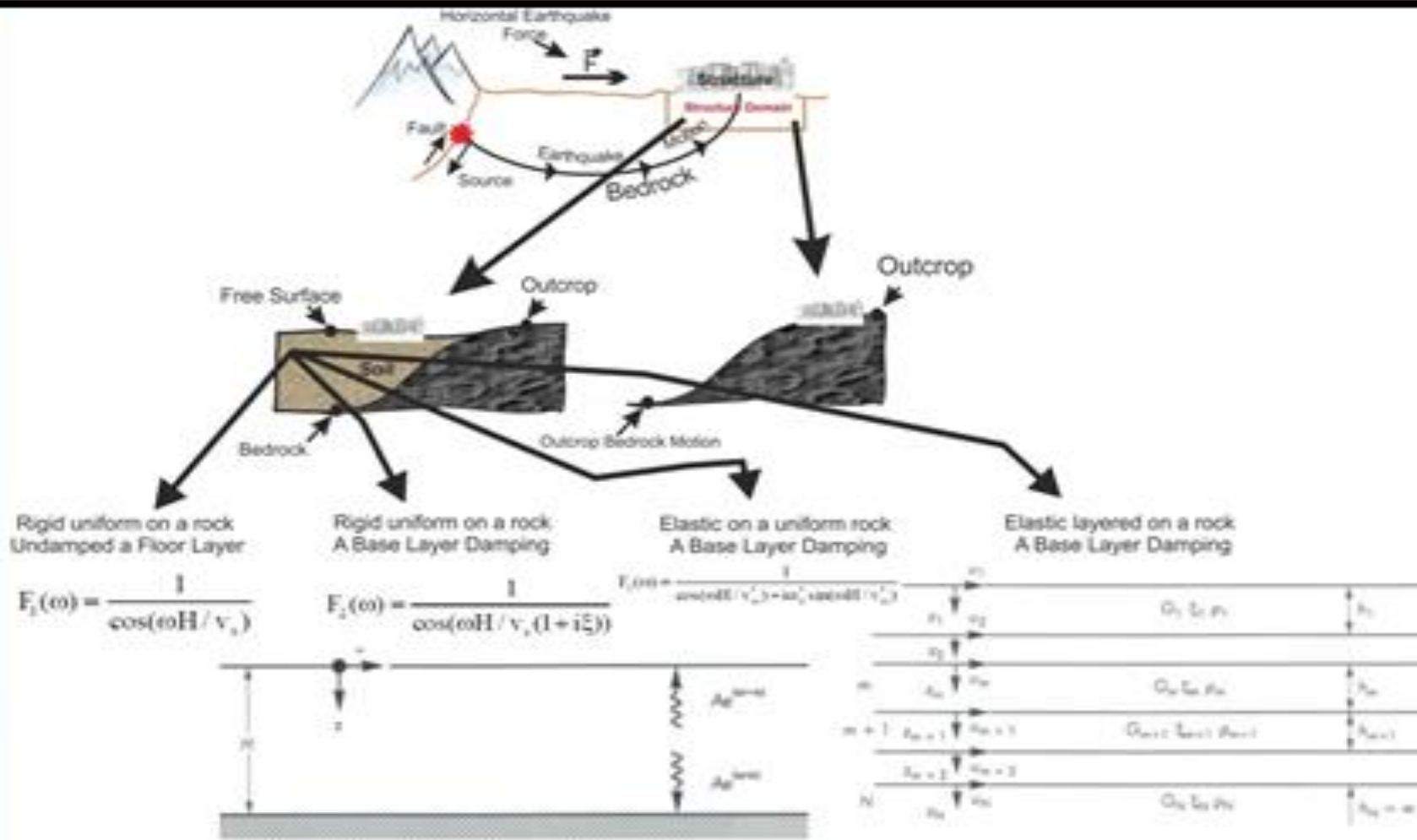


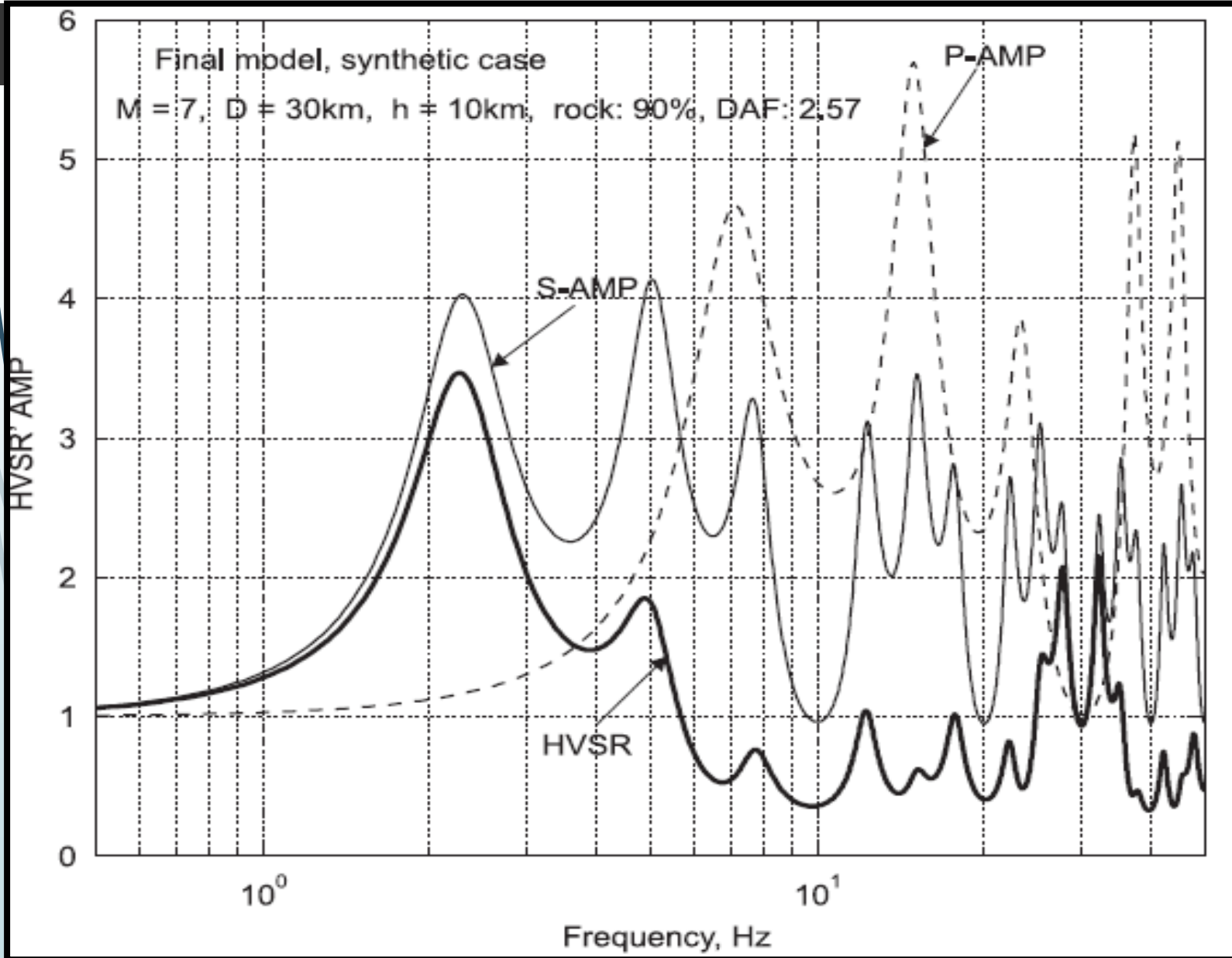
Figure 2. Calculation of ground transfer function.

Farklı ana kaya ve zemin türleri için tanımlanmış kuramsal zemin transfer fonksiyon bağıntıları

Bağıntılar tanımlanırken lineer sistem özellikleri temel alınmıştır.

Zemin tabakalarının ve ana kaya üst yüzünün yatay olduğu kabul edilmiştir.

# Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde edilmesinin İzlenesi



Nakamura kabulleri temel alınmış.

P ve S dalgalarına ait ve ayrı ayrı zemin transfer fonksiyonu hesaplanmış ve frekans ortamında çizilmiştir.

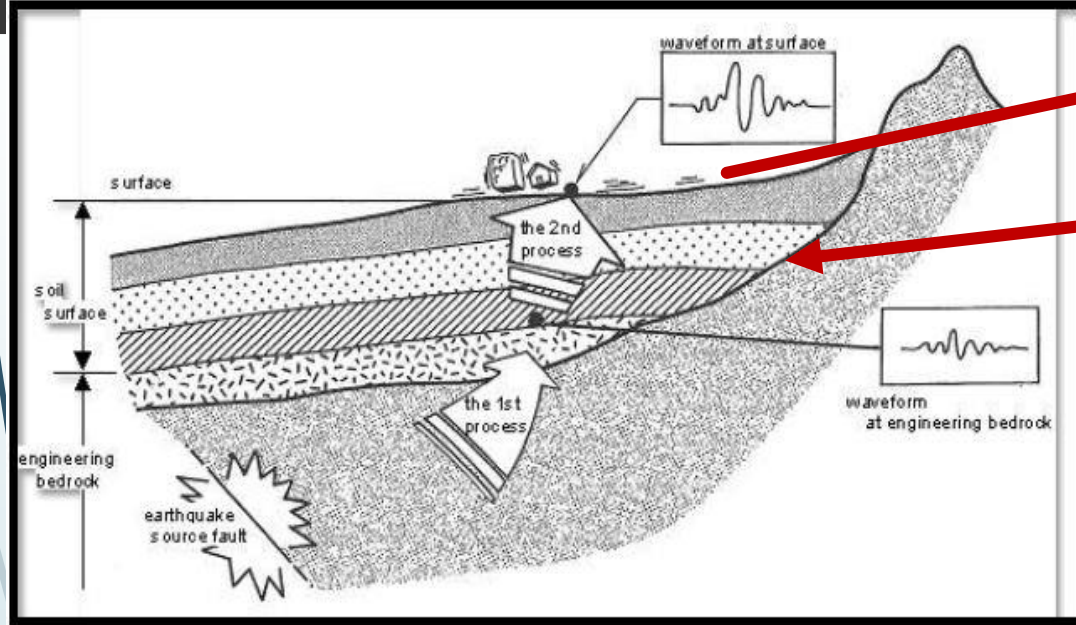
Senaryo depremi ile ana kaya spektrumu hesaplanmış

$HVSR = (Yatay/Düşey)$  için zemin transfer fonk. çizilmiştir.

Lineer sistem özelliklerine göre ana kaya spektrumu ile zemin transfer spektrumu çarpılarak deprem ivmesi zemin yüzeyine taşınmıştır.

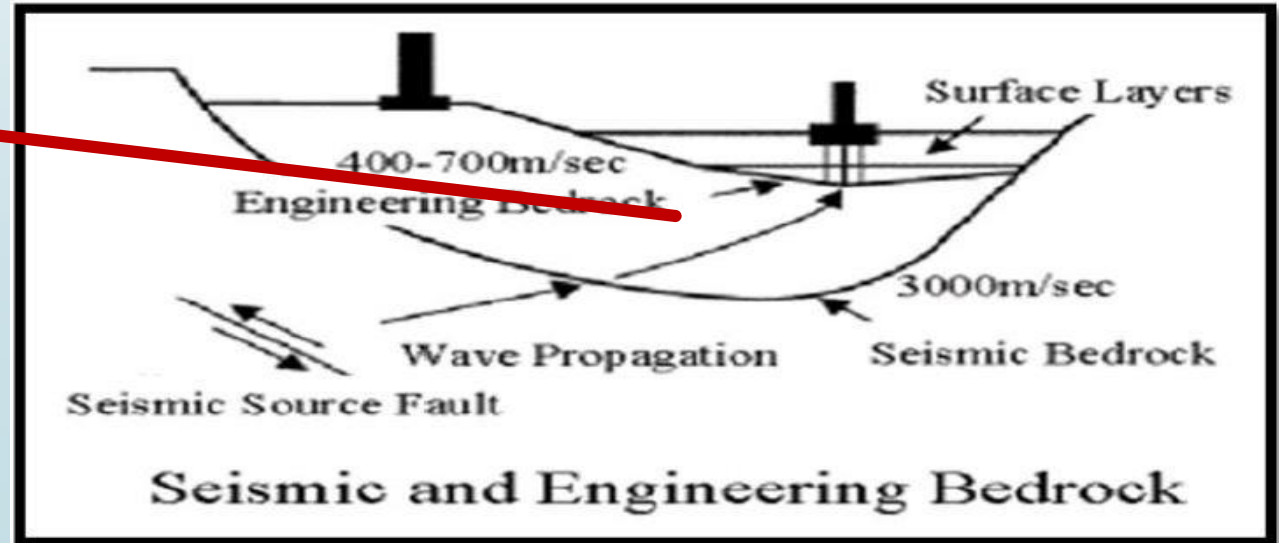
Sonuç olarak zaman ortamında DAF ile tanımlanan ortamın genlik büyütme katsayısı hesaplanmıştır.

## Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde edilmesinin İzlenesi



Bu sınırlardan deprem dalgaları geçerken sismik empedans oranlarına bağlı olarak genlik değişimleri (büyütme olayları) oluşurmu oluşmazmı?

Şekilde Sismik Bedrock 3000 m/sn Engineering Bedrock 700 m/sn ve bugüne kadar yapılan zemin dinamik analizi çalışmalarında bu sınırın etkisi yok kabul ediliyordu? Sınırın sismik empedans oranını düşünürsek bu yaklaşım doğrumu?



# Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde Edilmesinin İzlencesinde Yapılan Kuramsal Varsayımlar

- Yeraltı ortamı zemin dinamik özellikleri yönünden yatay yarı sonsuz homojen izotrop tabakalardan oluşmuş
- Deprem dalgalarının genlik değişimleri (enerji değişimler veya enerjinin korunumu kanunu)  $V_s = 700$  m/sn olan ortamın üzerindeki katmanlardan başlar. Bunun anlamı bu hızdan düşük tabakalara ulaşıncaya kadar sismik enerji değişimi, genlik değişimi oluşmaz.
- Bunun diğer bir anlamı anlamı daha alttaki katmanlar arasında oluşan sismik empedans oranları geçersizdir veya göz ardı edilebilir.
- Lineer sistem kuramı. Girdi(ana kaya ivmesi), transfer fonksiyonu (yatay katmanlara ait sismik hız ve yoğunluklar) ile çıktı (zemin yüzeyindeki ivme) arasında doğrusal ilişki vardır.
- Yapıya sadece yatay deprem yükü etki eder.
- Yapı dinamik etki altında statik konumunu korur. Bunun anlamı zeminde kayma ve göçme oluşmaz.
- Zemin tabakaları arasında düşük yoğunluklu ve düşük hızlı tabakalar yoktur.

## Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvetinin Elde Edilmesinin İzlenesinde Bu Güne Kadar Yapılmış Farklı Araştırmacıların Çalışma Sonuçlarına Ait Özet Bilgiler

Kuvvetli yer hareketleri üzerinde yerel zemin şartlarının etkisi teorik-analitik çözümlerle de araştırıldığında karşımıza çıkan sonuçlar;

- Ana kayadan yeryüzüne yaklaştıkça, zemin ortamlarının yoğunluğu ve kayma dalgası hızı düşer. Ancak arada düşük veya yüksek değer değişimleri oluşabilir.
- Deprem dalgalarının saçılma etkisi ve malzeme sönümü ihmal edilirse, elastik dalga enerjisinin korunumuna göre, sismik dalga genlikleri, genellikle sediment ortamlarda, düşük kütle yoğunluğu ve düşük sismik hızlardan dolayı oldukça büyür.
- Modern deprem yönetmeliklerinde, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak elastik tasarım ivme spektrumlarının oluşturulmasında, yerel zemin koşullarının göz önünde bulundurulması gerekir.
- kuvvetli yer hareketi parametreleri (genlik, frekans, süre) yerel zemin şartlarından etkilenir ve yüzeyde PGA değişimleri oluşturur.
- Bu etkinin sınırlarının zemin tabakalarının malzeme ve geometrik özelliklerine ve deprem dalgasının karakteristiklerine bağlı olarak değişir. Bu değişimlerin ölçeği yatay ve düşey yönlerde bazen metre bazen yüz metre bazen de km. ölçeğinde olabilir.

Deprem şiddetini arttıran fiziksel özellikler:

- Zemin sıvılaşma potansiyeli,
- Zemin oturması,
- Deprem şiddet artış katsayısı, (Deprem iki derece yükseltme özelliğine sahip ise 6 şiddetindeki deprem, 8 şiddetinde tepki gösterir)

Deprem şiddetini arttıran yapısal özellikler:

- İnşaat temeli altındaki jeolojik yapı farklılıkları,
- Görünen veya görünmeyen kırık, çatlak ve fayın düşey kesimi,
- Gevşek kalın alüvyon ortamlar, ince kaya tabakalar,
- Heyelan durumu varsa heyelan düzlemi,
- Yer altı boşlukları,
- Yeryüzünde sismik enerji odaklanması oluşturan eğimli senklinal yapılar,
- Sismik dalgalarda ardışık kırılma ve yansımalar oluşturan yer altı yapısal özelliklerine sahip ortamlar,
- Büyük genlikli yüzey dalgaların meydana gelmesinde sismik enerjiyi saçan sığ derinliklerdeki heterojeniteler.
- Mekanik rezonans oluşturan tabakalı yapılar

**Bu aşamada kendimize sormamız gereken soru**  
**zemin büyütme analizleri yapılırken zemin yüzeyine ait olası**  
**yanal deprem pik ivmesi (PGA) değeri kuramsal olarak**  
**hesaplanırken kaç metre derinlik hedef alınmalı ?**

**1. Sismik-Mühendislik Ana Kaya sınırımı?**

**2. Mühendislik Ana Kayası-Zemin sınırımı?**

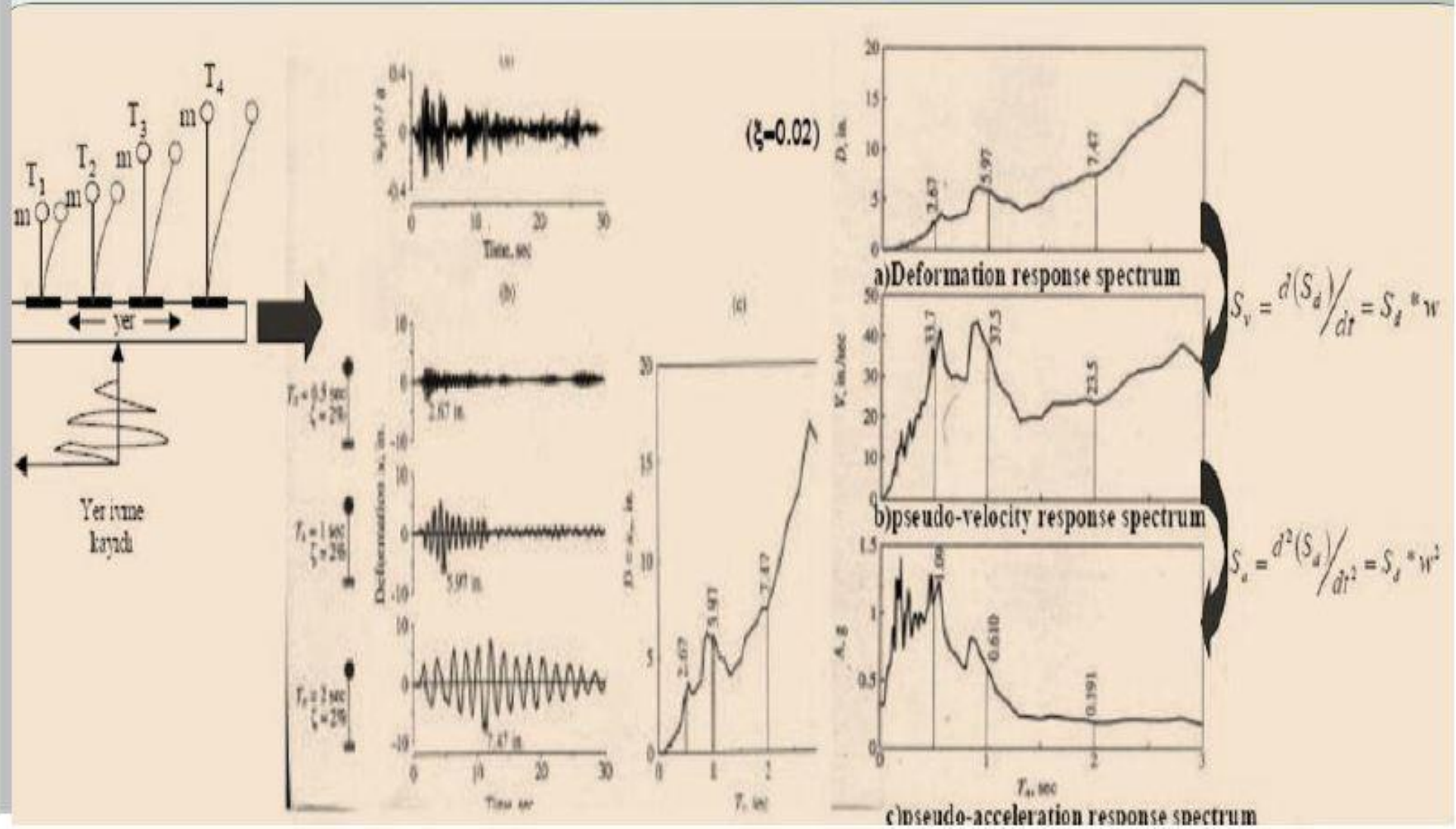
**3. 30 m. Derinlikmi?**

**4. Yoksa Sismik Empedans değişimlerini göz önüne alınmalı?**

**5. Genlik-frekans değişim eğrileri nasıl hesaplanmalı**

**6. Zeminin tüm özellikleri P ve S dalga hızları ile yoğunluk**  
**değişimlerine bağımlı olduğunu unutmamalı.**

**Tepki Spektrumu :** Değişik yapıları temsil eden Tek Serbestlik Dereceli (TSD) ve farklı periyota sahip fakat eşit kütleyle sahip yapıların aynı depremin bir bileşenine (X, Y, Z) karşı gösterdikleri tepkilerin maksimumlarından elde edilen grafik tepki spektrumu olarak tanımlanır.





## Çalışma 2

### Zeminin dinamik hareketi sırasında yapının statik konumunu etkileyecek olan olayların araştırılması (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı)

- **Depremler veya dalga yükleri gibi tekrarlı yüklemeler altında zemin davranışının incelenmesinde, zeminin dinamik özellikleri araştırılır**
- **•Zeminlerin drenajsız durumda tekrarlı yükler altında davranışında oluşabilecek olaylar**
  - **mukavemet kayıpları**
  - **kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma olayları**
  - **kohezyonlu zeminlerde ise aşırı deformasyonlar ve göçme durumları oluşabilir.**

**Bu olayların hepsi, deprem-zemin-yapı etkileşimi deprem olmadan önce araştırılması gereken konulardır.**

## Çalışma 2 : Zeminin dinamik hareketi sırasında yapının statik konumunu etkileyecek olan olayların araştırılması (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı)

► Tekrarlı yükler altındaki zemin davranışı araştırılır

Bunun için Gerilme-Şekil değiştirme özelliklerine bağlı olarak

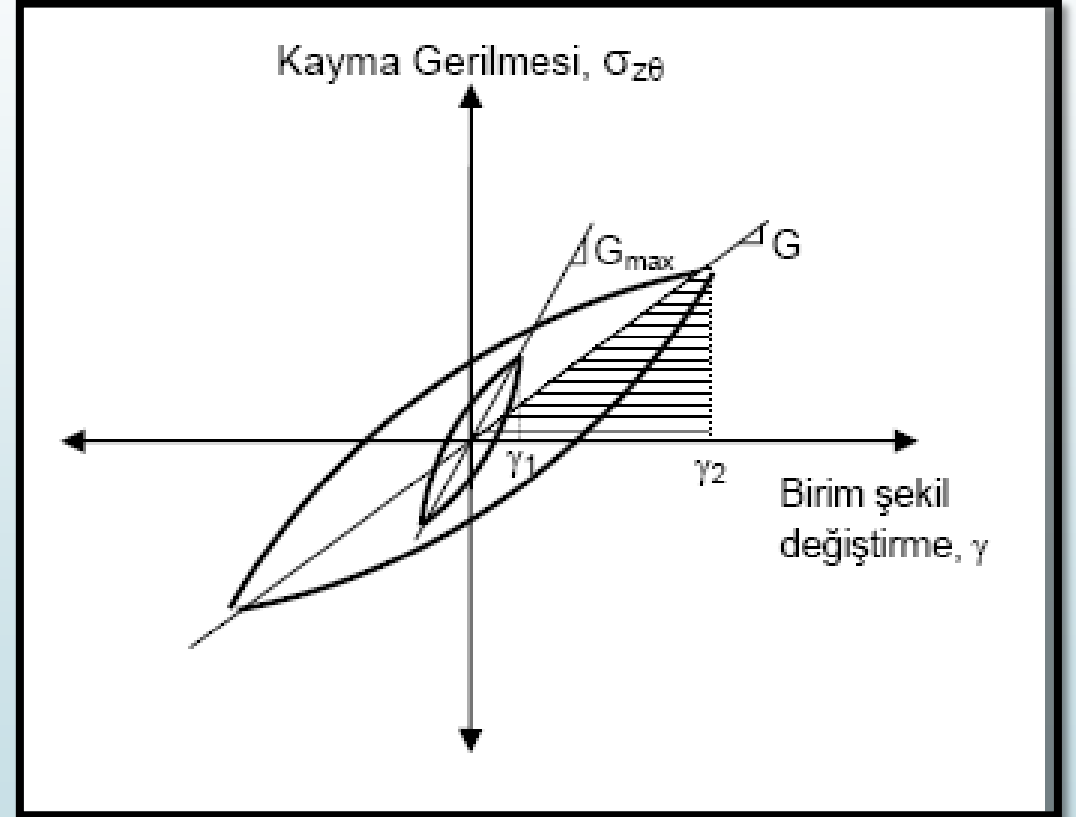
a. dinamik kayma modülü hesaplanır

b. sönüm oranı değerlerinin birim şekil değiştirme miktarlarına bağlı olarak bulunması

Mukavemet kayıplarının araştırılmasına yönelik özellikleri olarak da

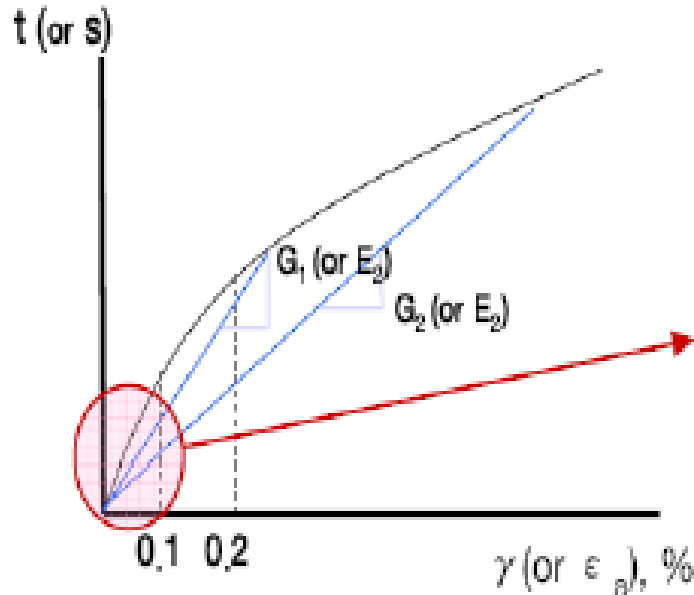
• göçmeye veya büyük şekil değiştirmelere neden olan kayma gerilmesi genliği

• çevrim sayıları

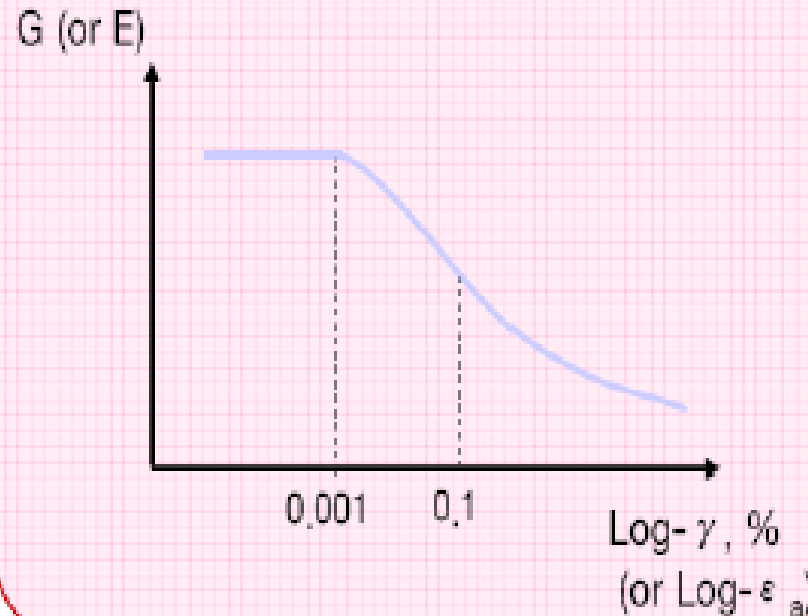


# Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi

Stress-Strain Relationship



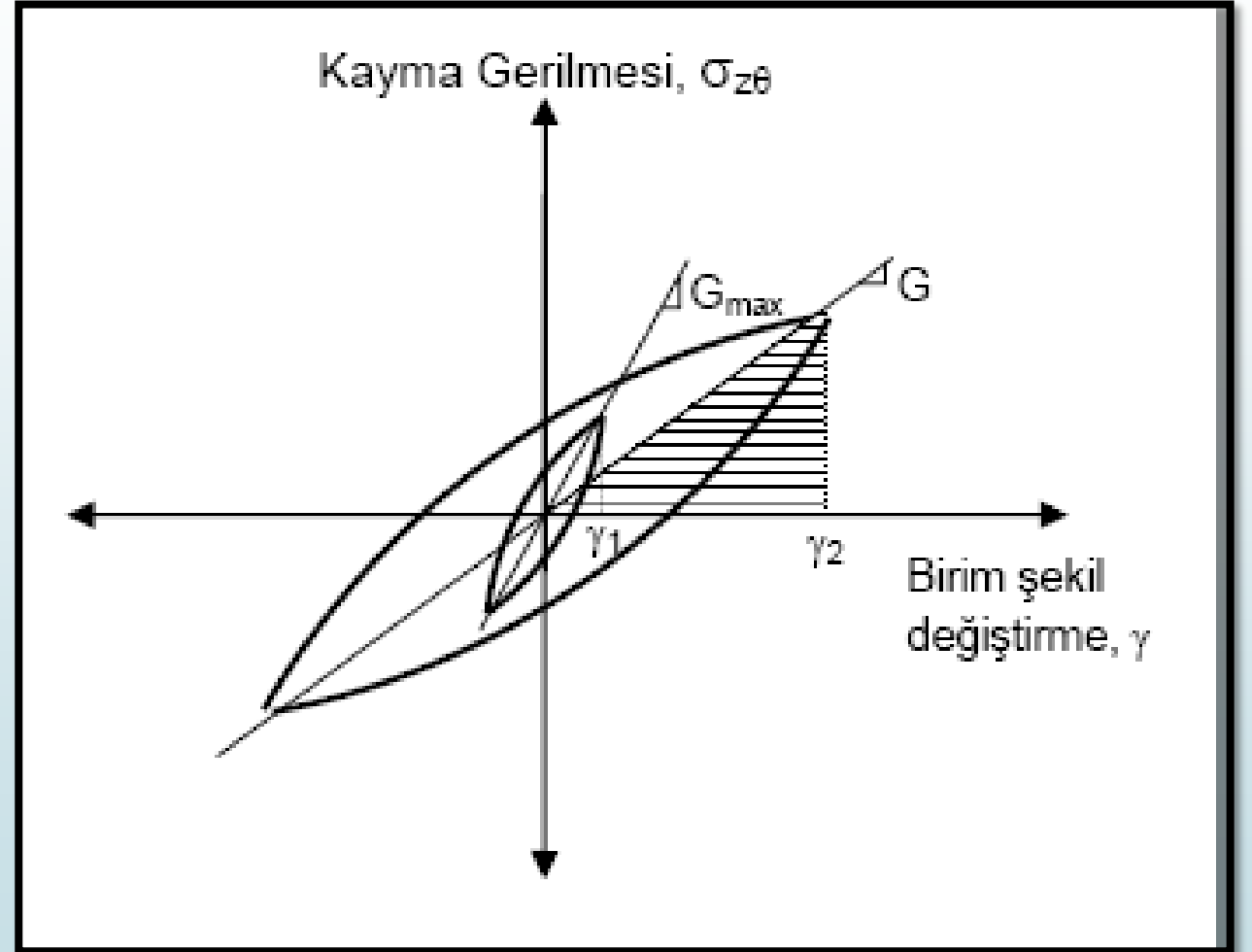
Modulus-Strain Relationship



- Zeminlerin dinamik davranış özellikleri, zeminde oluşan deformasyonların mertebesi ile ilişkilidir.
- Elastik ve elasto-plastik davranış koşullarındaki şekil değiştirme seviyelerinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme özellikleri ön plana çıkmaktadır.
- Daha büyük şekil değiştirme seviyelerinde ise uygulanan yük altında zemindeki mukavemet kayıpları ve plastik şekil değiştirme özellikleri önem kazanmaktadır.

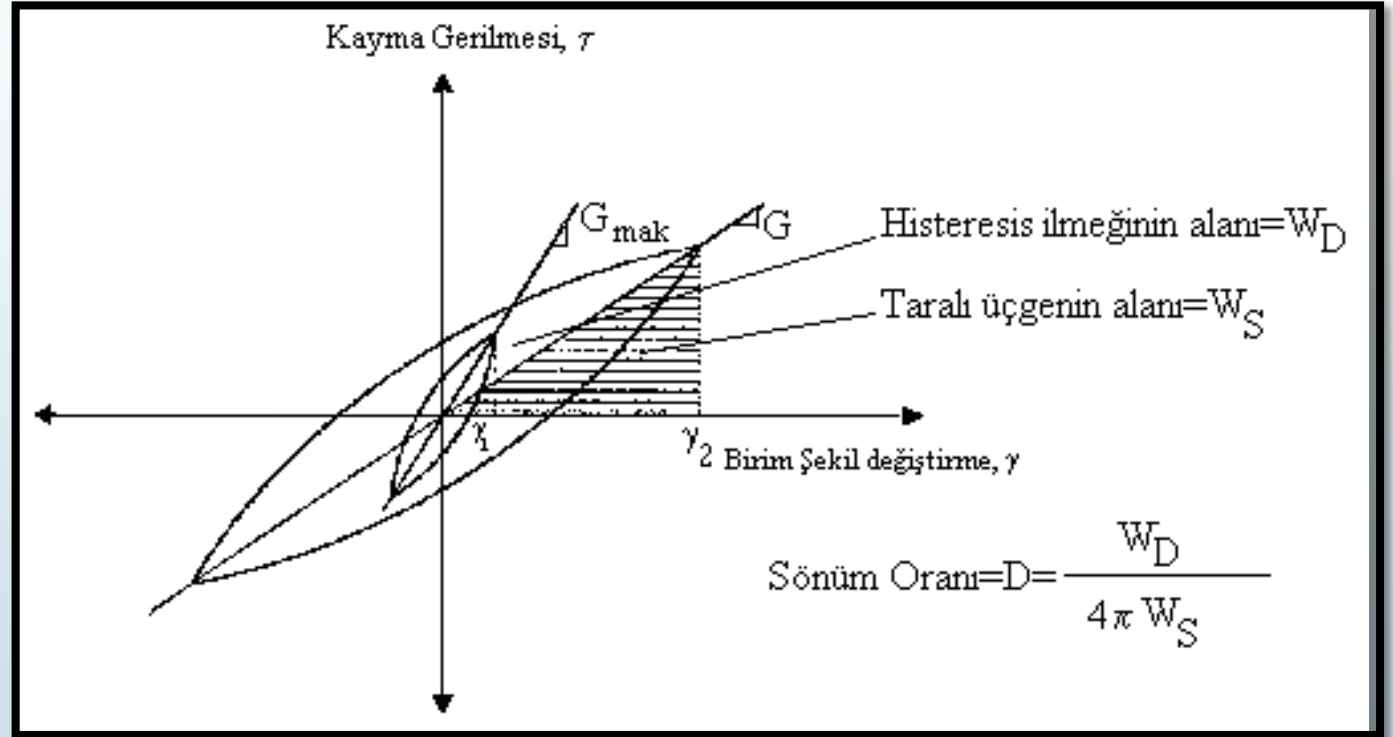
# (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) Dinamik kayma modülü

- Dinamik kayma modülü
- Histerezis ilmiklerinin uç noktalarından geçen doğrunun eğimi kayma modülü olarak tanımlanır.
- •Kayma modülü şekil değiştirme düzeyine göre değişken değerler alır.
- •Dinamik kayma oranı birim deformasyon düzeyi arttıkça azalmakta, doğrusal olmayan bir davranış sergilemektedir



## (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) Sönüm oranı

- Plastik şekil değiştirmelerin varlığı sürtünme gibi nedenlerle enerji kayıpları oluşur.
- Her bir çevrim sonunda bir miktar enerji sönümlenir ve bu değişim sönümlenme oranı olarak tanımlanır.
- Sönümlenme oranı histerezis ilmiği alanının histerezis ilmiğinin uç noktalarını birleştiren doğrunun altında kalan üçgenin alanına oranı olarak tanımlanır.
- Zemin sönüm özelliklerini bilinmesi ile zeminlerde dalga yayılımı, deprem yükleri karşısında zemin davranışı gibi dinamik problemlerin çözümü açısından önem taşımaktadır.

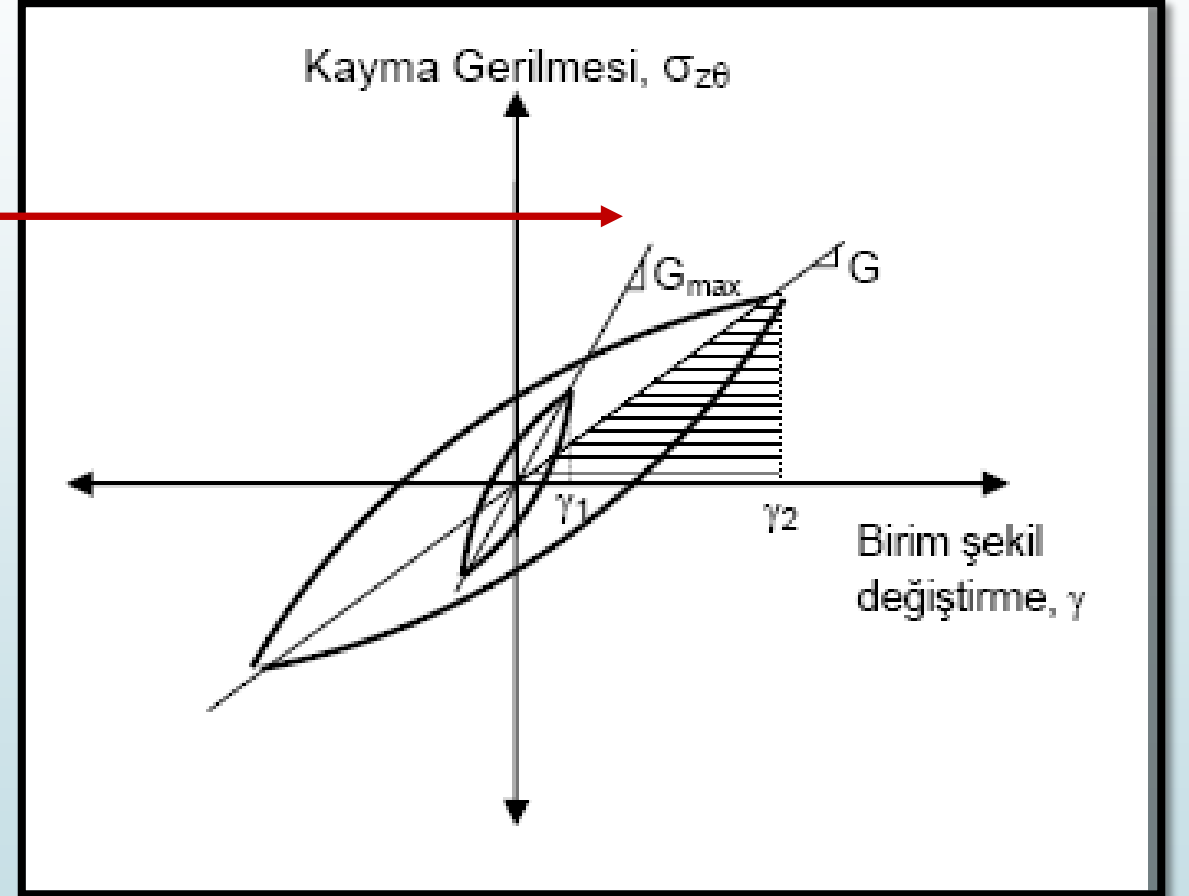


## (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) G<sub>max</sub> Değerinin Bulunması 1. yol

- G<sub>max</sub> Değeri yoğunluk ve Sismik dalga Hızlarına Göre Hesaplanır.
- Arazide yapılan jeofizik ölçümlerden, kayma dalgası yayılma hızı (Vs) belirlenebilmektedir.
- Buradan düşük genlikli kayma modülü

$$G_{\max} = \rho V_s^2$$

- İbağıntısı ile hesaplanır.
- Burada bizi ingilendiren tanım düşük genlikli değişimler için bu bağıntının kullanılabileceğidir.

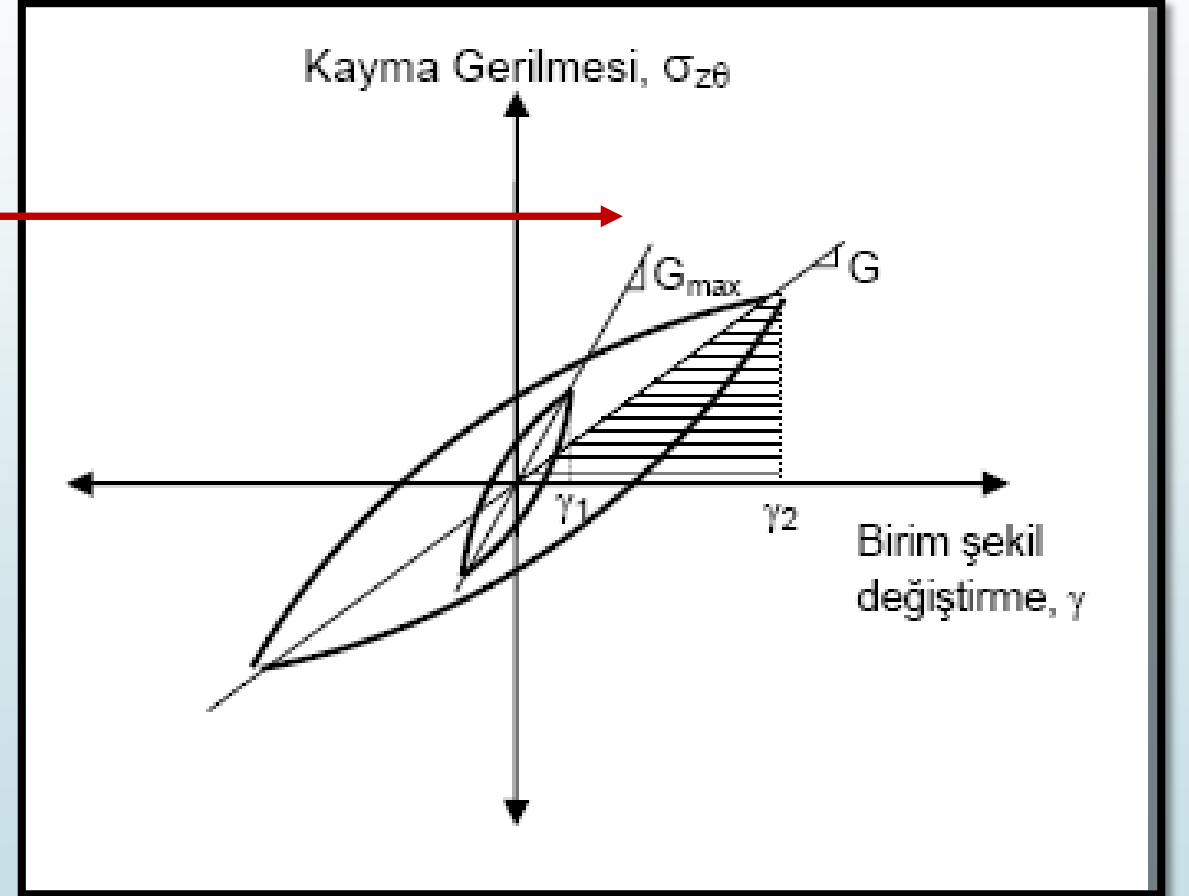


## (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) G<sub>max</sub> Değerinin Bulunması 2. yol

- G<sub>max</sub> hesaplanmasında kullanılan diğer bir bağıntıda

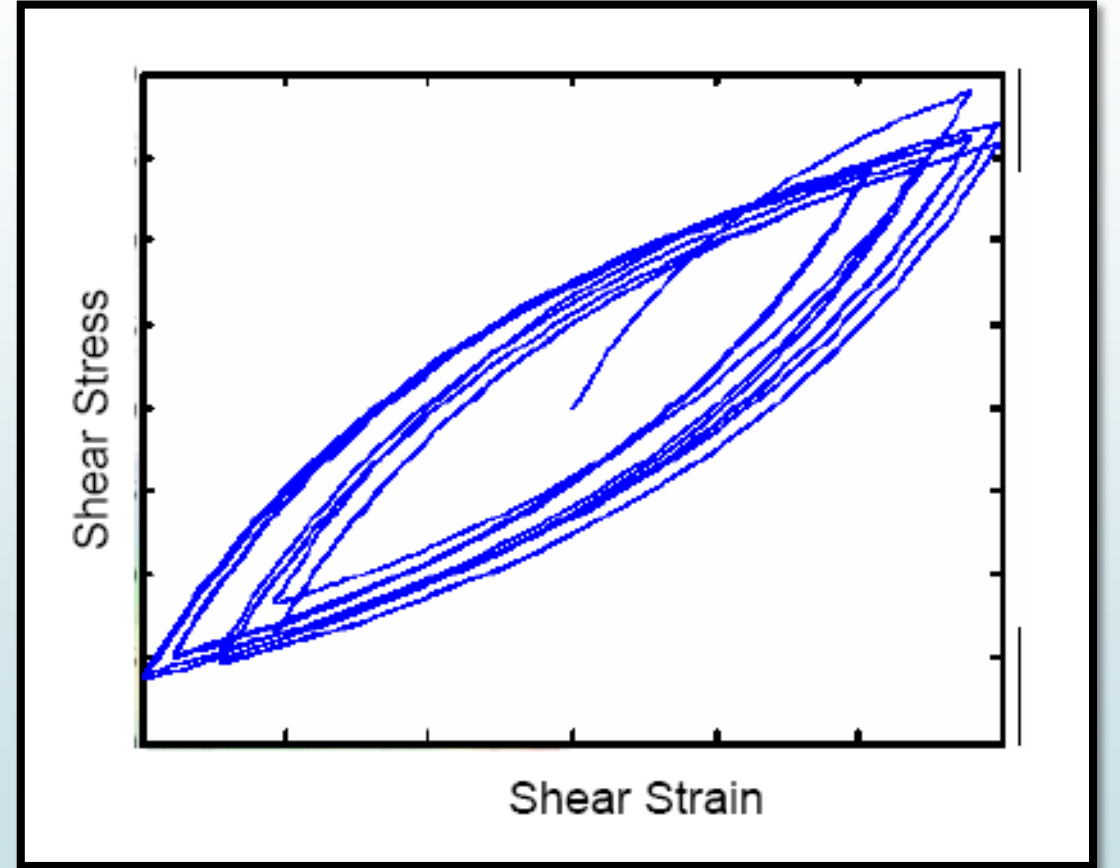
$$G_{\max} = \frac{V_s^2 \cdot \gamma_t}{g}$$

- G<sub>max</sub> : küçük şekil değiştirmede kullanılan
- ( $\gamma_c < 1.0 \times 10^{-4} \%$ ) dinamik kayma modülü
- V<sub>s</sub> : Kayma dalgası hızı
- $\gamma_t$  : Zeminin toplam birim hacim ağırlığı
- g : yerçekimi ivmesi



## (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Özellikleri

- Gerilme-şekil değişirme karakteristiği;
  - dinamik kayma modülü ve sönüm oranı parametrelerinin birim deformasyon düzeyi ile değişimi üzerinden incelenir.
- Deformasyon kontrollü deneylerde çevrim sayısı arttıkça (deformasyon düzeyi sabit) kayma gerilmesi genliklerinin azalması histerez ilmiklerinin küçülmesine ve yatıklaşmasına neden olmaktadır.
- Gerilme-şekil değişirme özellikleri olan dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerleri her bir çevrim sonunda (histerez ilmiği üzerinden) bulunur.





## (Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı) Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Özelliklerine Göre Karar Verilmesi

- Şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığını ifade edebilmek için teorik olarak yaklaşık 10 üzeri (-5)'den küçük olması gerektiği kabul edilmektedir.
  - Bu şekil değiştirme seviyelerinde ve elastik sınırlar içerisinde dinamik kayma modülünün maksimum değerinde ve sabit olduğu kabul edilebilir.
- Şekil değiştirme seviyesinin yaklaşık olarak 10 üzeri (-3) civarında olması durumunda zeminin davranışları elasto-plastik bir hal alır ve dinamik kayma modülü şekil değiştirmeler arttıkça azalır.
  - Aynı zamanda bu şekil değiştirme seviyelerinde dinamik yüklemelerle birlikte enerji sönümlenmesi de başlar ve zeminin bu özelliği sönüm oranı ile ifade edilir.
- Kayma şekil değiştirmelerinin 10 üzeri (-2) den büyük olması durumunda zemin özellikleri şekil değiştirmeler arttıkça değişmeye ve kalıcı şekil değiştirmeler oluşmaya başlar.
  - Bu şekil değiştirme seviyesinden sonra dinamik kayma modülü ve sönüm oranı yükleme çevrimleri ile değişmeye devam eder.

# Bu Aşamada Karşımıza Çıkan Sonuçlar

## 1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yapıldı ve Tasarım Deprem Kuvveti Bulundu

### a. Kullanılan parametreler

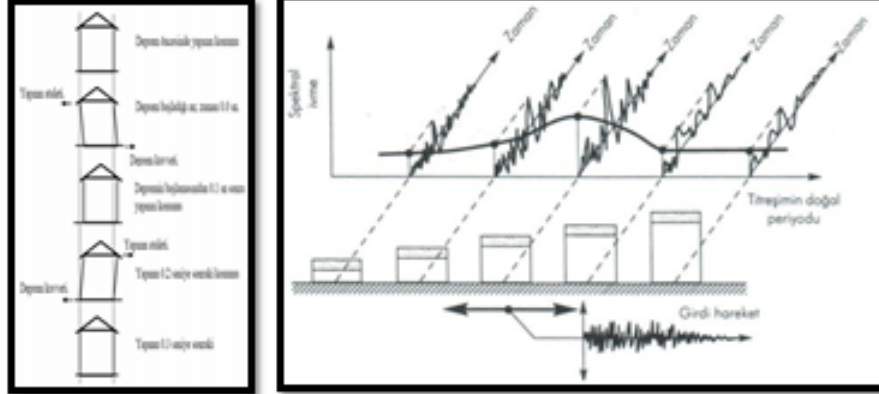
a.1. zemine ait olanlar deprem yüzey ivmesi

a.2. Yapıya ait olanlar rijitliği, sönümü kütlesi ve yüksekliği,

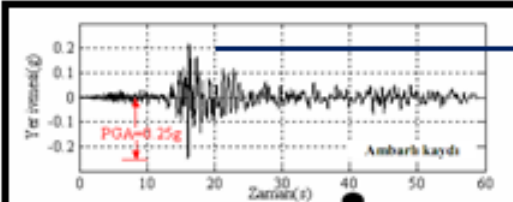
## 2. Zemin Dinamik Etkiler Altında Araştırıldı ve zemin Elastik Özelliklerine Karar Verildi.

b. Bu araştırmalarda kullanılan parametreler ise sadece zeminle ilgili olarak sismik dalga hızları ve yoğunluk değerleridir.

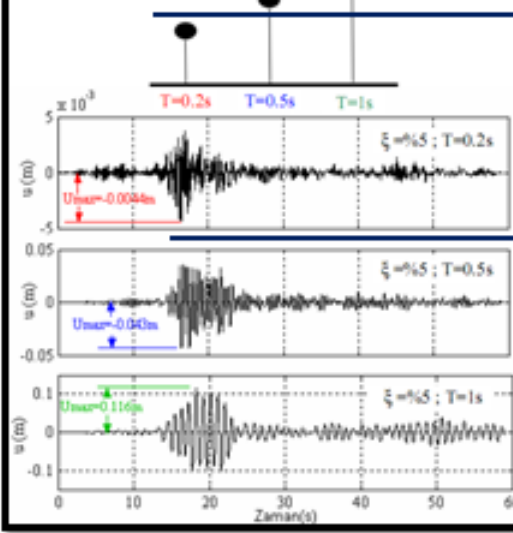
# PGA Hesabı



**Kocaeli 1999 depremi Ambarlı KYH kaydı için hesaplanmış ve PGA değerleri ile normalize edilmiş Sözde İvme Davranış Spektrumu.**



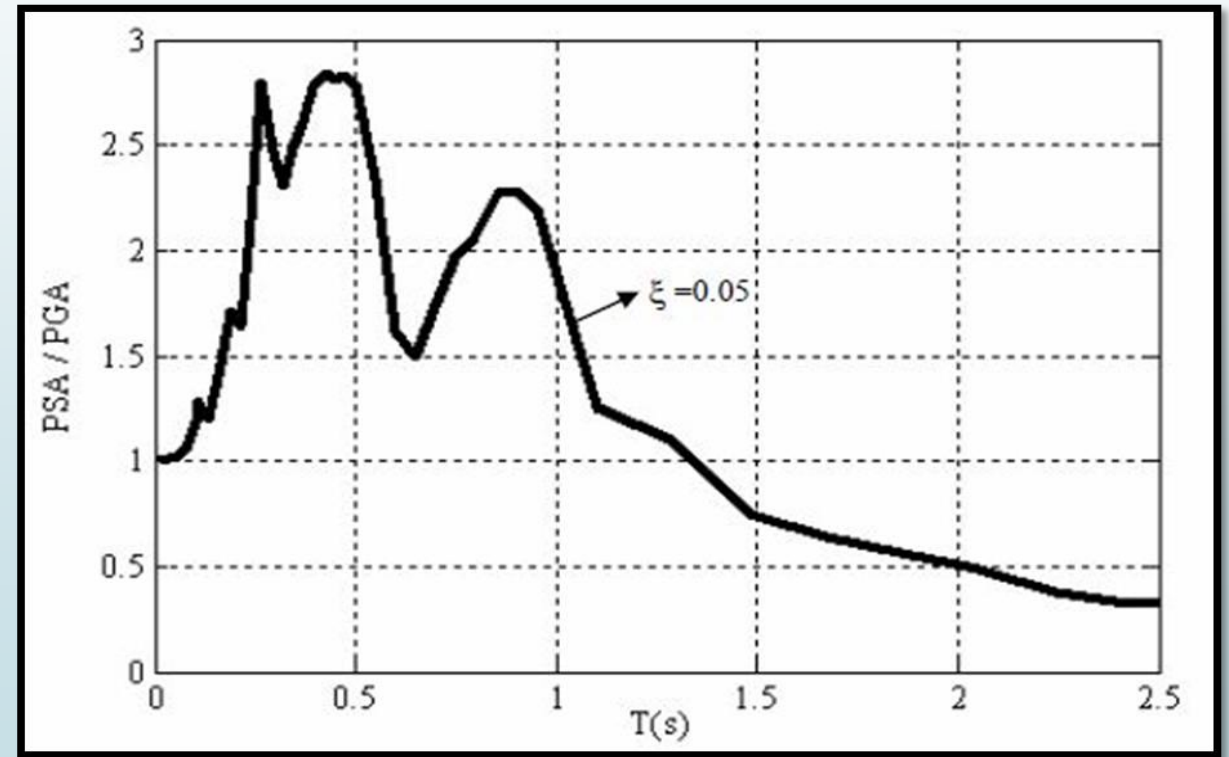
Gerçek deprem kayıtlarından elde edilen PGA değeri. Zemin yüzeyinde bu deprem kuvvetinin oluşacağı kabul edilmiş. Çoğu zaman yapı yapılan noktaya ait olmayan ve başka yerde kayıt edilmiş depremin PGA değeri kullanılır.



Yapı yüksekliği ile periyot değerleri ilişkilendirilmiş ve farklı yükseklikte yapılar kabul edilir.

Sabit bir sönüm oranı (%5) için her bir periyot değeri için tek serbestlik dereceli sistem bağıntısının çözümleri yapıp zaman ortamında yapı yer değiştirme genlik-zaman grafikleri tanımlanır.

Bu genlik - zaman grafiklerinden maksimum yer değiştirme genlik değerleri ( $U_{max}$ ) değerleri elde edilir.

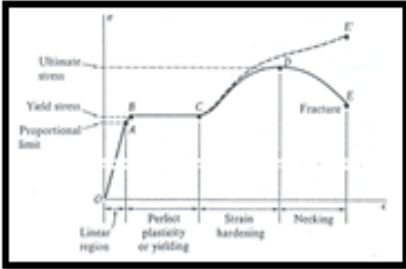
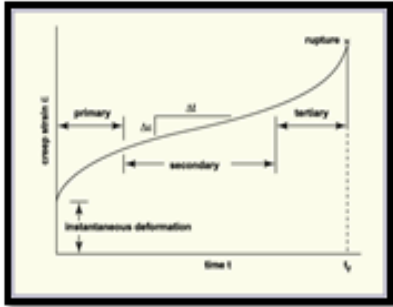
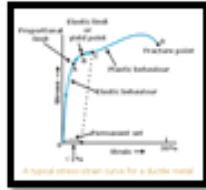


# Gerilme - Deformasyon

Stres,  $\sigma$  kesit alanına uygulanan  $F$  kuvvetinin oranında ve birim alana düşen kuvvet olarak ifade edilir.  
Strain ise, stress nedeniyle cisimde oluşan deformasyonlardır.



- $F$ , kuvveti  $x$  yer değiştirmesine neden olur.
- Böylece stress ile kuvvet ve strain ile açıklanır.



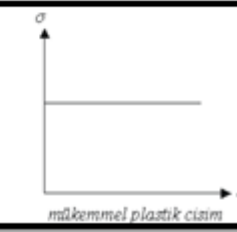
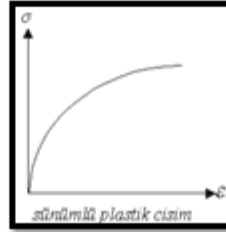
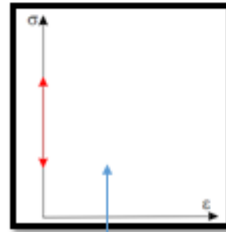
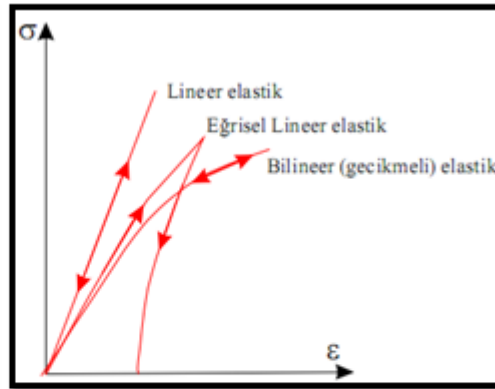
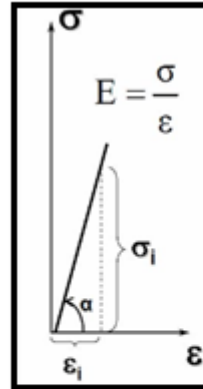
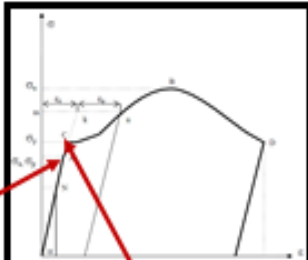
**Hooke Kanunu**

Bir yay çekildiğinde, yer değiştirmeye orantılı olan bir gerilme kuvveti vardır.

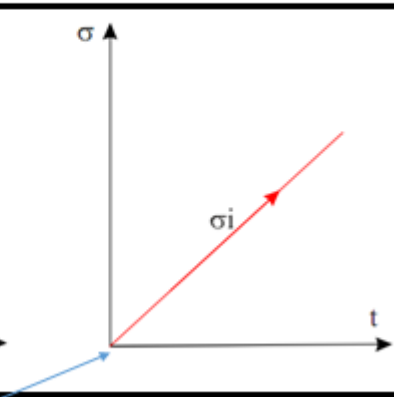
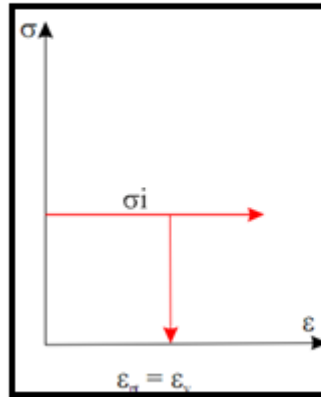
$$F = -kx$$

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x}$$

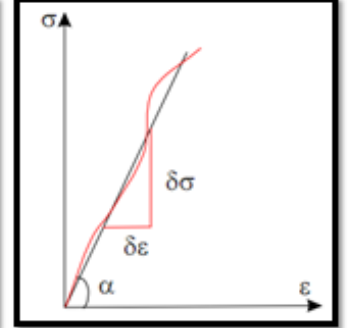
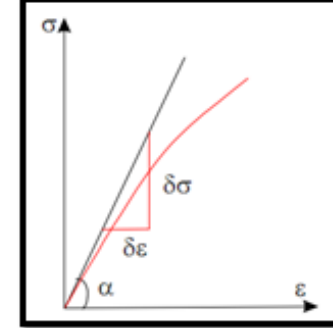
Yay sabiti (k), yayın elastikliğinin ölçüsüdür.



Rijit cisim

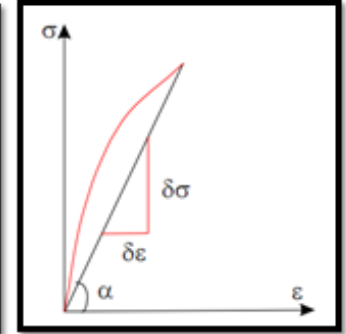
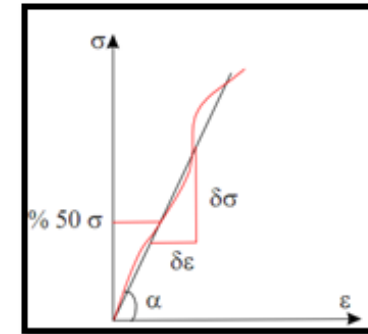


Viskoz davranış



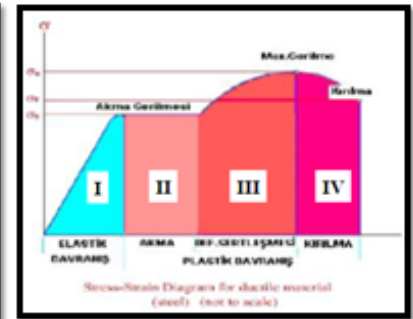
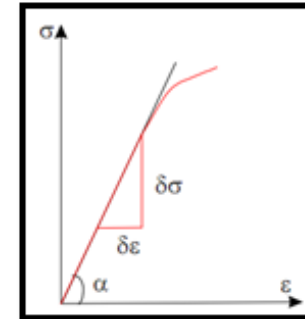
Başlangıç Elastisite Modülü

Ortalama Elastisite Modülü



Tanjant elastisite modülü

Sekant Elastisite Modülü



Gerilme Deformasyonu

Davranış Gerilim-Deformasyon Tanımları

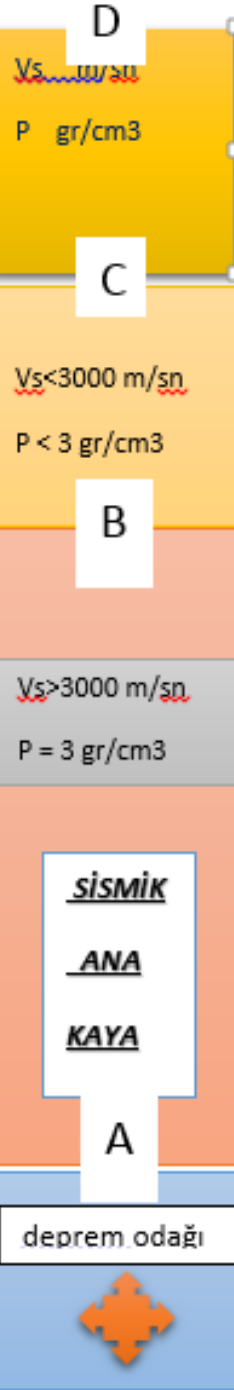
# Kuramsal Sonuçlar

## Zemin Yüzeyine Ait Deprem Kuvvet Hesabı

- Sismik enerji ve enerjinin korunumu kavramına göre (Kramer, 1996, s.309) zemin yüzeyine doğru yaklaştıkça azalan P ve S dalga hızlarına karşılık sismik enerjinin genliği artar.
  - $E = \{A^2 \omega^2 \rho V\} / 2$
- Enerji genliğindeki değişimleri kontrol eden katsayı sismik empedans ve sönüm oranına bağımlı olarak tanımlanır.
  - $B = \{1 / [(1/\alpha) + (\pi/2)\xi]\}$ .
  - $\alpha$  (Sismik empedans) =  $(\rho_2 V_2) / (\rho_1 V_1)$  ve  $\xi$  (Sönüm) =  $(\eta W) / 2G$  (vizkozite değeri  $(\eta)$  ve açısal hız  $W$  değeri ile doğru orantılı  $G = \rho V^2$ )
- B katsayısı ortamın zemin yüzeyindeki deprem etkisini büyütme katsayısı olarak tanımlanabilir.
- Bu katsayı, depremin zemin yüzeyine ulaşarak binaya etkiyecek kuvvet büyüklüğünü etkiler.
- Bu katsayı katmanlar arasındaki sismik empedans (hız ve yoğunluk) farkı ile katmanların sönüm oranına (viskozite, açısal hız ve elastite modülü) bağlı olarak değişir.
- Bu durumda zemin yüzeyindeki deprem kuvvetini bulmak için yapı yapılacak noktanın altındaki sismik empedans değişimlerini ve bu değişimlerin hangi derinliğe kadar etkili olduğunu araştırma zorundayız.

# Kuramsal Sonuçlar Zemin Dinamik Analizi

- Çalışma noktasına ait zemin yüzeyi deprem kuvveti bulunur.
- Bu kuvvet etkisiyle yapı yükü de dikkate alınarak zemin içindeki gerilme deformasyon değişimleri araştırılır.
- Bunun için dinamik kayma modülü ile sönüm oranı değerleri ve bunların birim Şekil değiştirmeye bağlı olarak değişimleri hesaplanarak gerilme-deformasyon histerisis eğrileri çizilir.
- 2.Mukavemet zellikleri olarak da göçmeye veya büyük Şekil değiştirmelere neden olan kayma gerilmesi genliği ve çevrim sayıları dikkate alınır.
- Şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kalması için 10-5'den küçük olması gerektiği kabul edilir.
- Şekil değiştirme seviyesinin yaklaşık olarak 10-3 civarında olması durumunda zeminin davranışları elasto-plastik bir hal alır ve dinamik kayma modülü Şekil değiştirmeler arttıkça azalır.
- Kayma Şekil değiştirmelerinin 10-2 den büyük olması durumunda zemin zellikleri Şekil değiştirmeler arttıkça değişmeye ve kalıcı Şekil değiştirmeler oluşmaya başlar.



### C-D Noktası Arasında Oluşan Olaylar

1. Sismik dalga zemin yüzeyine ulaştığı zaman dalga enerjisinin aynı kaldığı kabul edilirse genlik değeri büyümüş olarak zemin yüzeyine ulaşmış olur.

### B-C Noktaları Arasında Oluşan Olaylar

1. Enerjinin korunumu kanunu kabul edilir.
2. Ortamda sönüm yoksa aynı enerji ile dalga C noktasına ulaşır.
3. C Noktasına geldiğinde sismik empedans katsayısı devreye girer.

### A-B Noktası Arasında Oluşan Olaylar

1. Sismik ana kaya içinde deprem dalga hareketi senaryo depremi parametreleri ile kontrol edilir. M magnitütl sahip dalga D uzaklığından ve H derinliğinden harekete başlayarak sismik ana kaya içinde r sönüm oranı ile hareket eder.
2. Deprem dalgası bu hareketi sırasında enerjinin korunumu gereği hareket eder. Enerji  $E = (A^2 w^2 \rho V) / 2$  bağıntısı ile tanımlanır. Bağıntıda A=genlik, W= açısal frekans,  $\rho$ =yoğunluk, V=dalga hızı olarak tanımlanır.
3. Prey dalgası B noktasındaki sınıra geldiğinde değişen yoğunluk ve sismik hız değerlerine bağlı kalarak A genliğini değiştirmek zorunda kalır.

A noktası için Senaryo Deprem Parametreleri Kullanılarak Deprem kaynağı Tanımlanır. (M, D, H, r) parametreleri ile  $A_b(f)$  hesaplanır (ana kaya genlik-frekans spektrumu) [Trifunac (1993) and Lee and Trifunac (1995)] ve random sinyal kuramı gereği  $P_{GAb} = \text{rms}\{A_b(f)\}$  hesaplanır (McGuire and Hanks, 1980).

*İzmir İli*

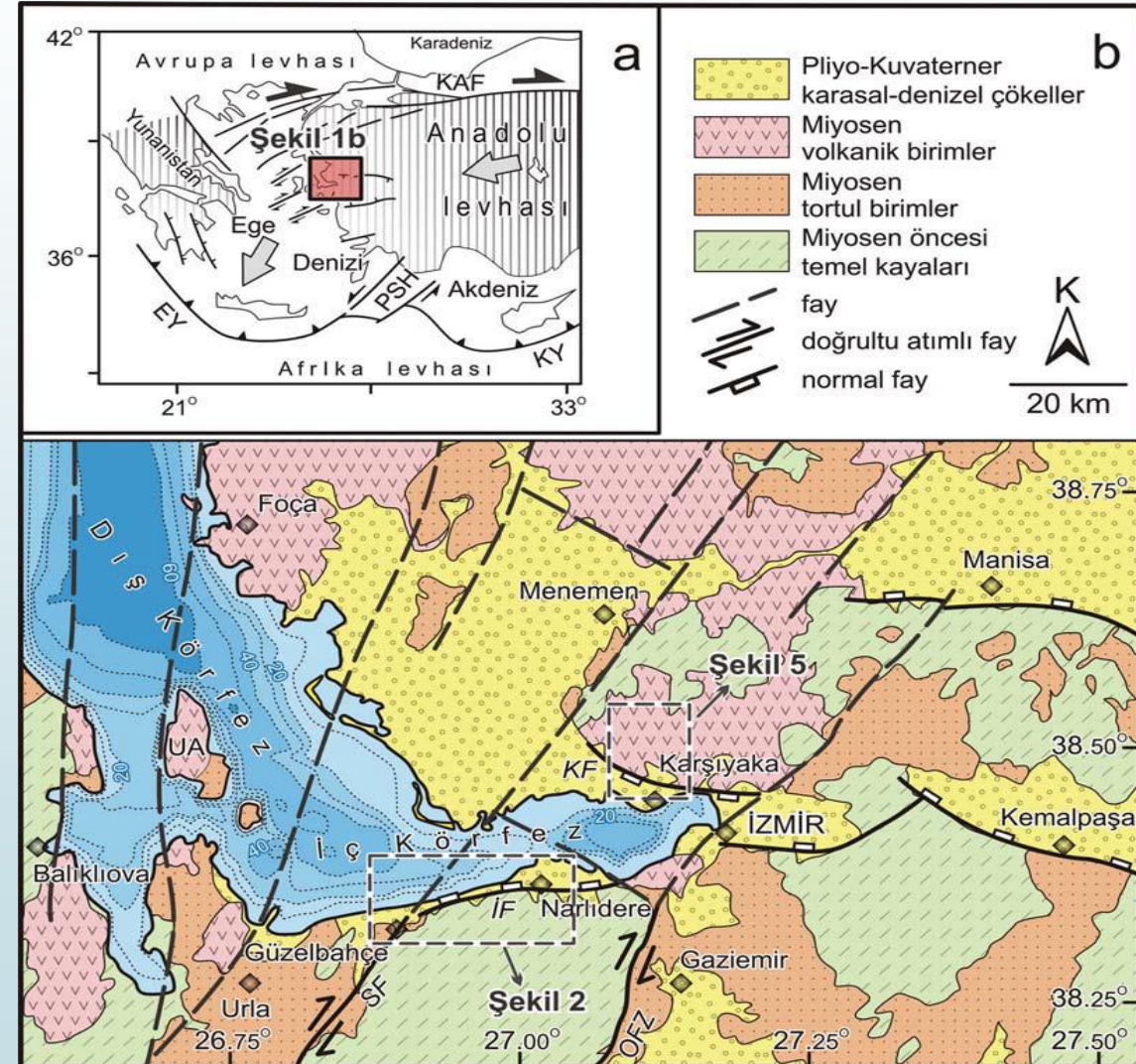
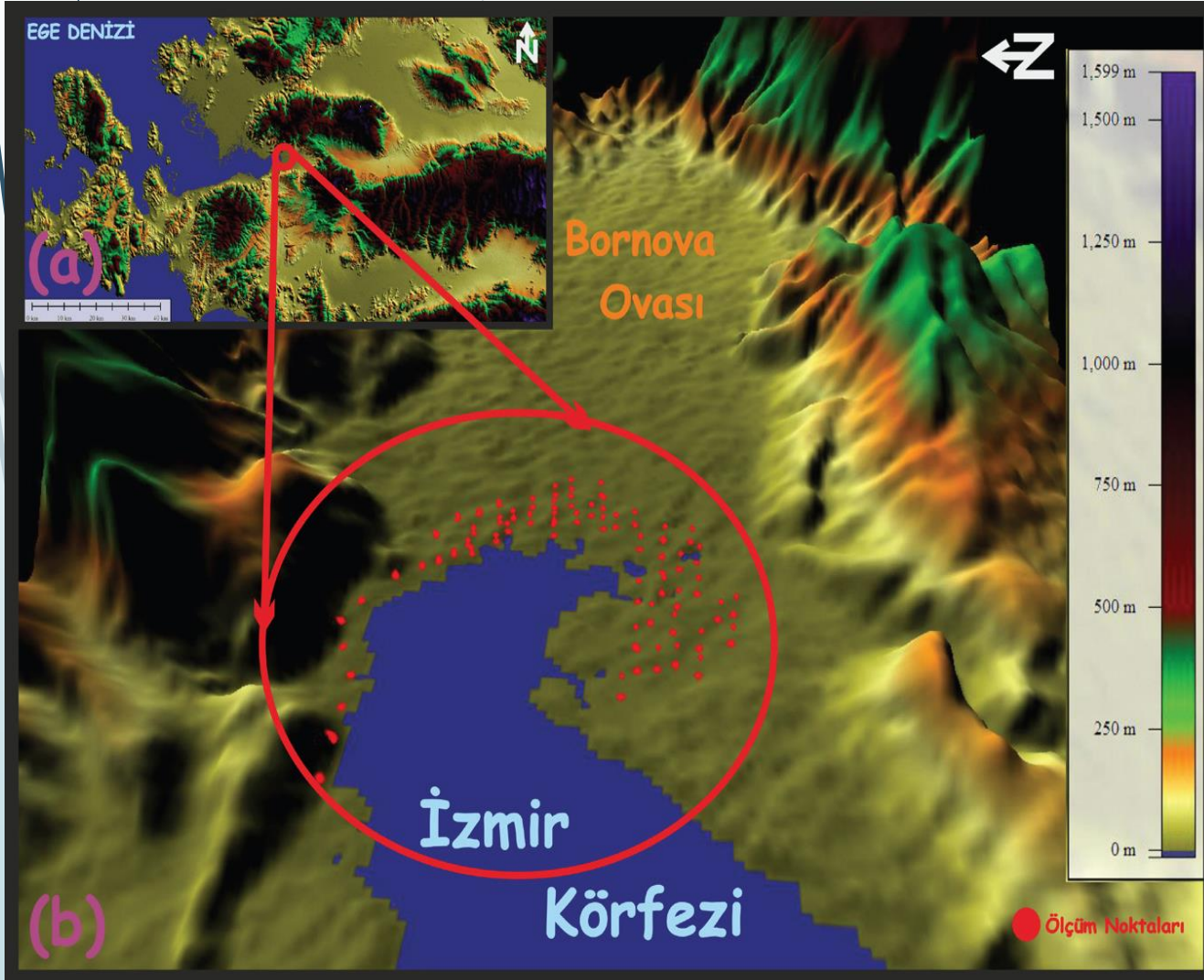
*Yeni Kent Merkezin Yerleşim Alanında*

*Yapılan Çalışmalardan*

*Örnekler*



# İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler



# Izmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler



## ÇALIŞMA ALANI

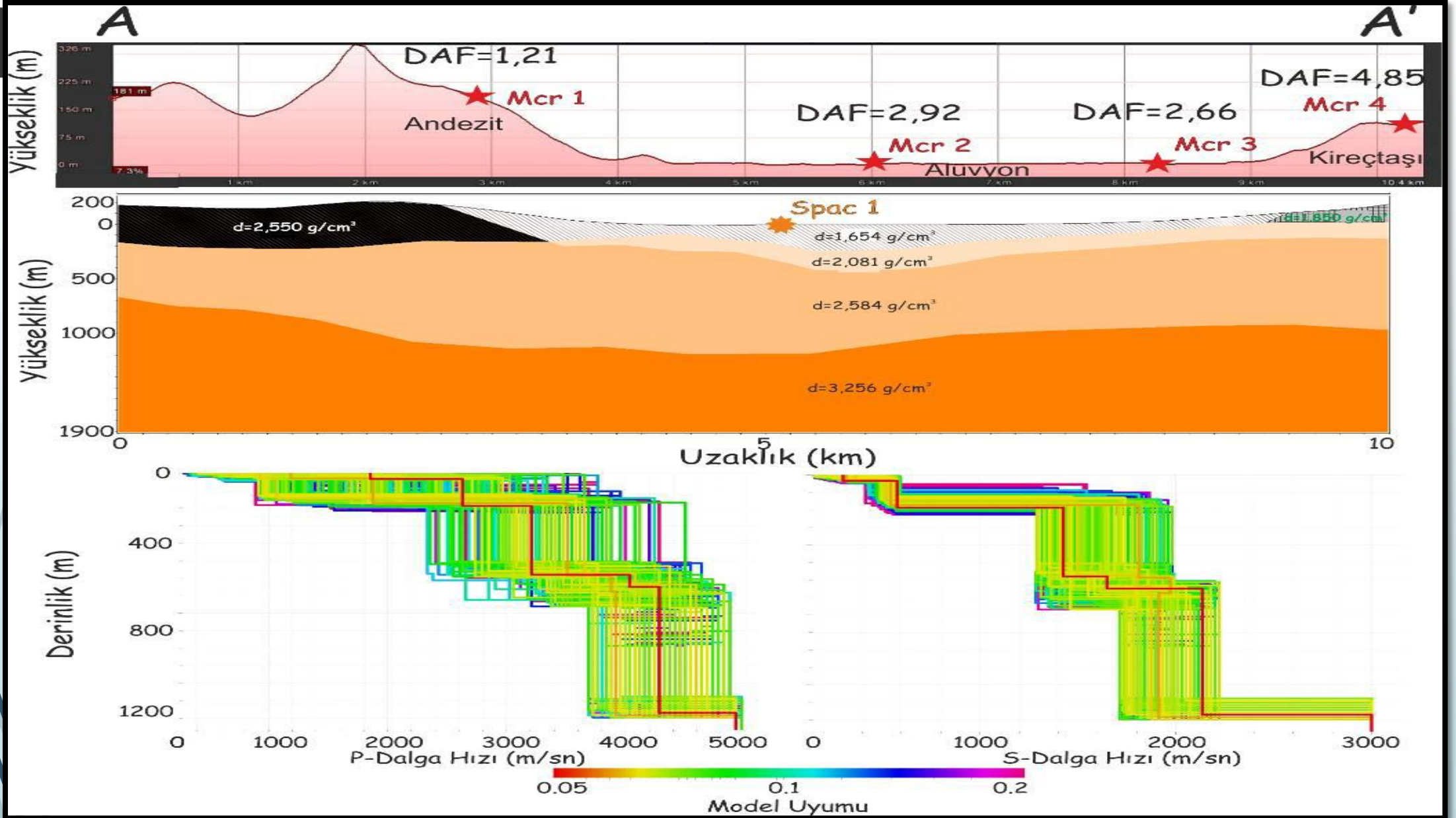
20 THE 20<sup>TH</sup> INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONGRESS & EXHIBITION OF TURKEY  
26-27 November 2013 - Fıstık Lisesi Salonu, Antalya



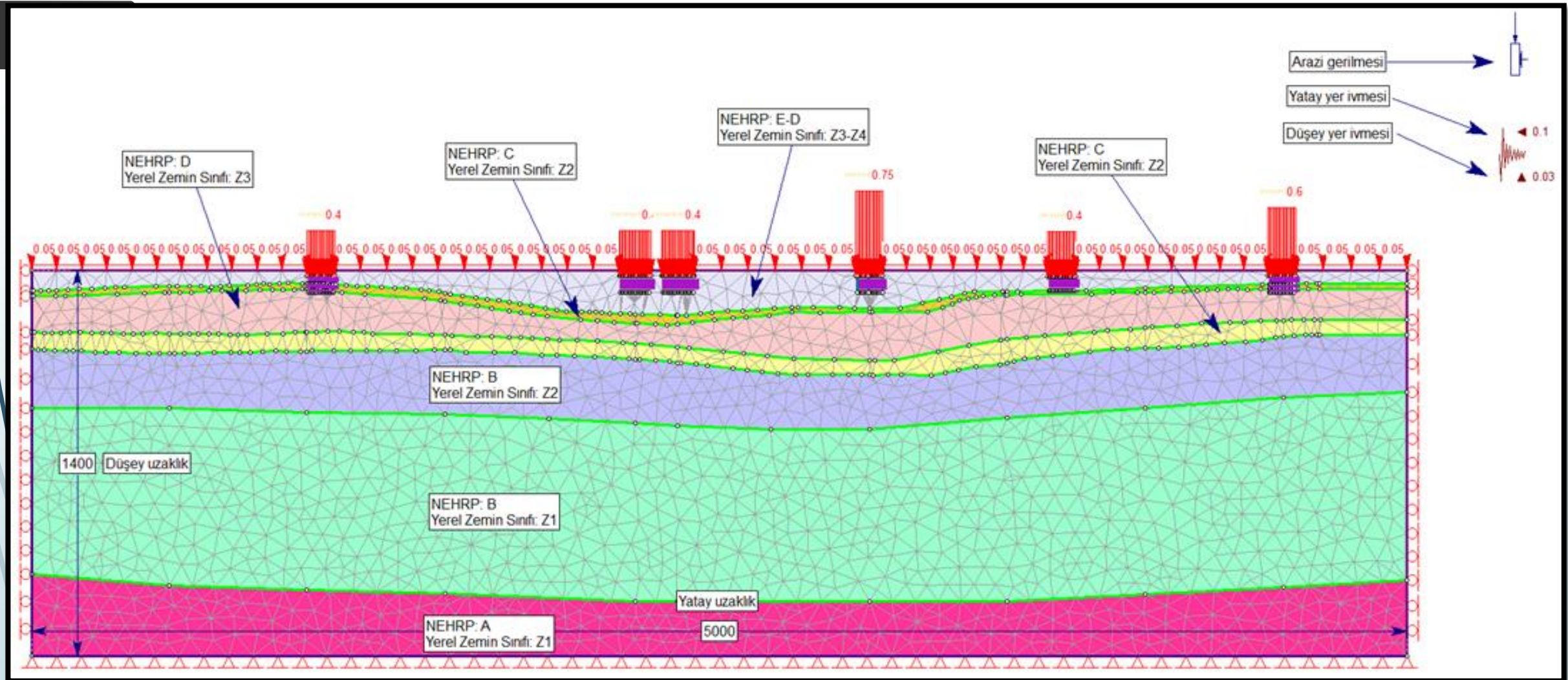
# İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler



# Izmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler



# İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler



## *İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler* *Giriş Parametreleri*

Çizelge 1. Sismik hızların ampirik bağıntılarda kullanılması ile bulunan dinamik zemin parametreleri indeks ve mekanik özellikler

	$V_S$ (m/sn)		$V_P$ (m/sn)		$E$ (MPa)		$G$ (MPa)		$\nu$	$C$ (MPa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	
	<u>min</u>	<u>max</u>	<u>min</u>	<u>Max</u>	<u>min</u>	<u>max</u>	<u>min</u>	<u>max</u>				<u>min</u>	<u>max</u>
1	150	250	260	430	86	272	35	109		0.025	30	1.54	1.74
2	400	500	690	865	782	1300	315	520		0.15	35	1.97	2.08
3	250	300	430	520	270	412	109	165		0.10	35	1.74	1.83
4	500	600	865	1040	1290	1953	520	782	0.25	0.17	35	2.08	2.17
5	800	1000	1385	1730	3714	6175	1498	2470		4	36	2.34	2.47
6	1200	1300	2080	2250	9249	11154	3730	4462		8	36	2.59	2.64
7	3000	4000	5190	6920	72540	140000	29250	56000		15	40	3.25	3.50

1- Soil 1; 2- Soil 2; 3- Soil 3; 4- Soil 4; 5- Bedrock 1; 6- Bedrock 2; 7- Bedrock 3



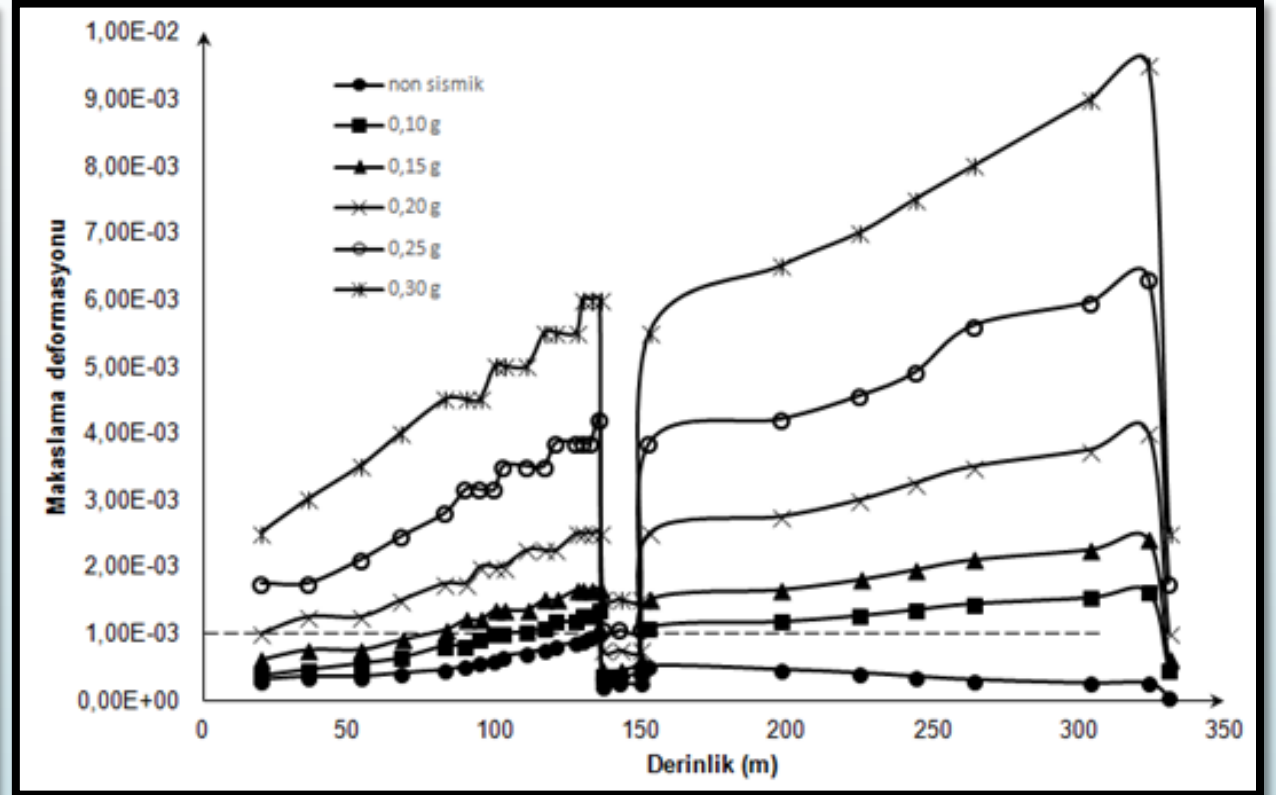
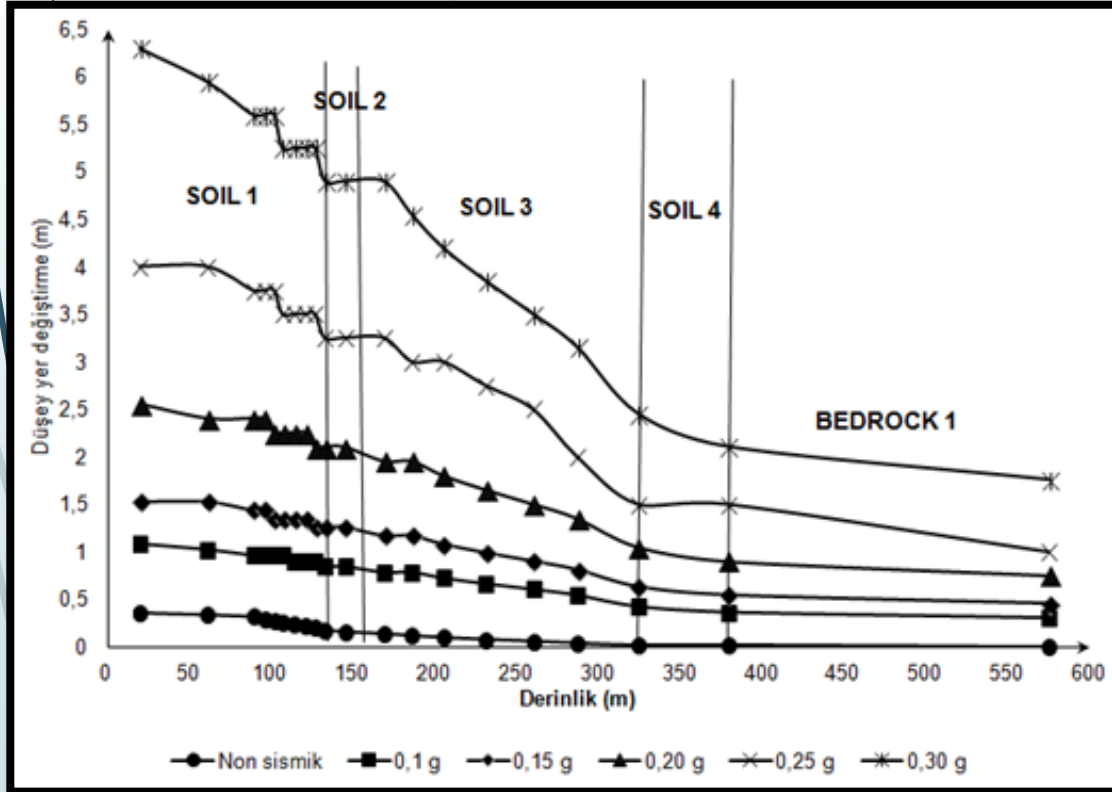






# İzmir Yeni Kent Merkezinde Yapılan Çalışmalardan Örnekler

## Düşey Yer Değiştirme ve Makaslama Deformasyonunun Derinlikle Değişimi



# S o n u ç

- İzmir Metropol alanı genelinde, sismik empedans oran değişimleri 1000-1200 m. derinlikten itibaren başlamaktadır.
- Statik ve dinamik koşullarda yapılan mühendislik hesaplamaları sonucunda elde edilen yanıl ve düşey yönlü deformasyon değişimleri irdelendiğinde bu değişimlerin tabakaların;
  - Kalınlığından
  - Tabakalar arasındaki ara yüzeylerin eğiminden
  - P ve S dalga hızı ile
  - Yoğunluk değerlerindeki değişimlerinden
- Ve dinamik yüklerin
  - Büyükülüğünden
  - Etki yönünden
- etkilendiği saptanmıştır.