

# SIVILASMA ANALİZLERİNİN ARIAS SIDDET KAVRAMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

**Ergin ARIOGLU**  
**Prof.Dr.Müh.**

**Basar ARIOGLU**  
**Y.Müh.**

**Canan GIRGIN**  
**Dr.Müh.**

Yapi Merkezi Holding  
Haci Resit Pasa Sok., Blok F, Çamlica, 34676, İstanbul  
e.mail : [ergin.arioglu@ym.com.tr](mailto:ergin.arioglu@ym.com.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay sistemi için belirlenen gerilme düşümü değeri kullanılarak Arias siddeti= f (gerilme düşümü, depremin moment büyüklüğü, odak uzaklığı) bağıntısı elde edilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak sivilasma olayının belirlenmesine yönelik olarak çeşitli deprem büyüklüğü değerlerine karşı gelen esik Arias siddeti = f (odak uzaklığı) değişimleri çıkarılmıştır. Ayrıca Arias siddeti ile sivilasma analizi 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depremi Adapazarı Tıgçılar mahallesi bazında karşılaştırmalı olarak incelenmiş, yöntemin sivilasma analizi açısından güvenilir sonuçlar verdiği saptanmıştır.

## GİRİŞ

Depremin oluşturduğu tekrarlı yüklerin etkisiyle gevsek, sature -suya doygun durumdaki iri daneli zeminlerin tasıma kapasitelerini kaybederek "sivi" gibi davranış göstermesine geoteknik literatüründe "zemin sivilasması" denilmektedir. Sivilasmada toplam düşey basınç  $S_z \equiv 0$  olmaktadır. Diğer kelimelerle, efektif basıncın  $S_z$  büyüklüğü boşluk basıncına eşittir ( $S_z = u$ ). Sivilasan zemin katmanı (boşluk su basıncı / düşey basınç) oranına bağlı olarak  $10^{-4}$ 'den daha büyük kayma deformasyonuna uğrayarak tasıma kapasitesini çok büyük ölçüde yitirir. Katmanın üzerinde bulunan binalar, temel sistemi, bodrum kati, taşıyıcı sistemin türü, kat sayısı ve sivilasma profilinin kalınlığının fonksiyonu olarak "çökme" ve "tilt" hareketlerine maruz kalır. Örneğin, sivilasma olayının çok şiddetli gözlemlendiği 1964 Niigata-Japonya depreminde betonarme binalar 0-250 cm

oturma,  $(0-8)^\circ$  'lik tilt hareketi yapmıştır. Anılan depremde rapor edilen en fazla bina oturma ve tilt değerleri sırasıyla 250 cm ve yaklaşık  $8^\circ$  'dir. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde ( $M_w=7.4$ ,  $M_s=7.8$ ) fay hattının  $\sim 7$  km kuzeyinde yer alan Adapazarı'nda gözlenen sivilasma olaylarında maksimum bina oturmaları 50-70 cm mertebesinde kalırken tilt hareketinin değişim aralığı ise  $(0-6)^\circ$  'de kalmıştır (Kokusho, 2001). Anılan bölgede sivilasmadan gözlenen bina hareketlerinin ortalama değerlerinin diğer depremlerdeki (Örneğin, 1964 Niigata-Japonya  $M_s= 7.5$ , 1990 Luzon-Filipinler  $M_s= 7.8$ ) ortalama değerlerden küçük olduğu belirlenmiştir (Yasuda, Irisawa ve Kazami, 2001; Yapı Merkezi, 2003). Ayrıca sivilasmadan kaynaklanan çökme ve tilt'e -dönmemiş kalan binaların önemli yapısal hasarlara uğramadan depremi atlattıkları gözlenmiştir. Bu olgu, büyük ölçüde kum ve silt gibi katmanların deprem sırasında gösterdiği büyük sönümlenme (% 15-25) davranışı ile açıklanabilir. Daha açık bir deyişle, bu tür katmanlar binanın "pasif izolatör" görevini üstlenerek can ve mal kaybını çok büyük ölçüde önlemişlerdir (Yapı Merkezi Raporu, 2003).

Zemin sivilasması konusuna pratik mühendislik açısından bakıldığında, aşağıda sıralanan bu konular önem taşımaktadır (Arioglu, Ergin ve arkadaşları, 2000a,b) :

- Deprem üretebilecek aktif fay ile sivilasma potansiyeli taşıyan bölge arasındaki uzaklıkların kestirimi
- Sivilasmaya yol açabilecek yatay yer ivmesinin kritik değerinin belirlenmesi
- Deprem kaynak büyüklükleriyle (magnitüd, enerji, odak derinliği, faylanma türü) sivilasma riski bulunan kum katmanlarına ilişkin geoteknik parametreler (tekrarlı kayma gerilmesi, standart penetrasyon değeri, konik penetrasyon uç direnci) arasındaki ilişkilerin ortaya çıkartılması.

Geoteknik literatüründe sivilasma potansiyelinin belirlenmesinde en yaygın şekilde kullanılan yöntem Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen yöntem olup, zemin katmanının sivilasmaya karşı emniyet katsayısı (Kayma dayanımı / Kayma gerilmesi) şeklinde tanımlanmaktadır. Daha açık anlatımla anılan yöntem "tekrarlı gerilme" kavramına dayanmaktadır. Bu kavramda ise en can alıcı temel büyüklük "yatay kayma gerilmesi"dir ve "maksimum yatay yer ivme değeri" ile ifade edilmektedir. Kayen ve Mitchell (1997) ; Siyahi ve Altaç (2000) ; Arioglu,Ergin, Arioglu ve Girgin (2003) kaynaklarında ise maksimum yatay yer ivme büyüklüğünün kullanımında su sakinlerinin sözkonusu olabileceği ileri sürülmektedir :

- Sivilasma analizinde sadece tek bir veri olarak en büyük yatay yer ivmesi alınmaktadır. Bu deger kuvvetli yer sarsintisinin tüm "frekans içerigini" ve "etkin hareket süresini" gerçekçi şekilde içermemektedir.
- Sivilasmanın yol açtığı "zemin göçmeleri" gerçekte giren enerji düzeyi ile yakından ilintilidir ve tek ivme degeri ile hareketin enerji düzeyi tam olarak açıklanamamaktadır. Kayen ve Mitchell (1997) "maksimum yatay yer ivmesi" yerine "Arias siddeti" ( $I_h$ ) büyüklüğünün kullanılması ile yukarıda kısaca değinilen sakinlerin giderilebileceğini öne sürmüştür.

Bu bildiriye, ilk önce literatürde verilen Arias siddeti  $I_h = f$  (Deprem moment büyüklüğü  $M_w$  - odak uzaklığı  $R$ ) ifadelerinin 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde ölçülen ivme-zaman [ $a_x(t), a_y(t)$ ] kayıtlarından Siyahi ve Altaç (2000) tarafından hesaplanan Arias siddetlerine ( $I_h$ ), Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAF) için hesaplanan "gerilme düşümü  $D_S$ " degeri açısından uyumları ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Daha sonra bu çalışma çerçevesinde KAF sistemi için geliştirilen Arias siddeti  $I_h = f(M_w, R)$  değişiminden hareketle sivilasma olayının belirlenmesine yönelik olarak çeşitli deprem büyüklüğü degerlerine karşı gelen esik Arias siddeti  $I_{hb,1} = f(R)$  değişimleri çıkartılmıştır. Bu ifadelerin sonuçları pratik geoteknik mühendisliği açısından belirli bir ayrıntı ile tartışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise geliştirilen Arias siddeti bağıntısı ile Adapazarı Tığcılar mahallesinde yer alan bir sondajın sivilasma analizi yapılmış, sivilasma emniyet katsayıları Youd, Idriss (1997) ve Chen, Juang (2000) yöntemleri ile belirlenen emniyet katsayıları ile karşılaştırılmıştır.

### **17 AGUSTOS 1999 DOĞU MARMARA DEPREMI İÇİN ARIAS SİDDETI AMPRIK AZALIM İFADELERİNİN ÇIKARTILMASI**

Arias Siddetine ilişkin temel tanımlar yerli mühendislik literatüründe (Siyahi ve Altaç, 2000; Arioğlu, Ergin, Arioğlu ve Girgin, 2003) verildiğinden bu bölümde yer ekonomisi sağlamak üzere sadece Arias siddeti =  $f$ (gerilme düşümü  $D_S$ , deprem büyüklüğü  $M_w$ , odak uzaklığı  $R$ ) değişimi ele alınacaktır.

Wilson (1993), Arias siddetinin ( $I_h$ ) yırtılan fayın gerilme düşümü "DS", depremin moment büyüklüğü " $M_w$ " ve odak uzaklığı " $R$ " büyüklüklerine bağlı olarak

$$\log I_h = \frac{4}{3} \log D_S + M_w - 2 \log R - 6.66 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebileceğini göstermiştir. Bu ifadede  $I_h$  (m/s) ve  $R$  (km)'dir. (1) bağıntısı

$R = \sqrt{L_f^2 + D^2}$  geregince verilen odak derinligi ‘D’ için faya dik uzaklik ‘ $L_f$ ’ cinsinden de yazilabilir.

Dogrultu atimli fay sisteminin gerilme düsümünün ‘DS’ nasıl belirlenecegi ayrıntili şekilde Çizelge 1’de açıklanmıştır.

---

### Çizelge 1 Dogrultu Atimli Fay Mekanizmalarında Statik Gerilme Düsümünün Hesaplanması

---

- Statik Gerilme Düsümü

Diri fay zonu üzerindeki “ortalama kayma gerilmesi”nin deprem sonrası, deprem öncesine göre azalma miktarı “gerilme düsümü”nü tanımlar.

- Kirılan fayın ortalama yatay yerdegistirmesinden gerilme düsümünün hesaplanması

$$DS = m \cdot f_g \cdot \frac{D_{o,y}}{g_f} = \frac{2}{p} m \frac{D_{o,y}}{g_f} \quad (\text{Aki, 1972 ; alintilayan Ruff, 2002}) \quad (2)$$

$$m = 3 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2, 1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$$

$$f_g = \frac{2}{p} = 0.636 ; g_f \gg 15 \text{ km} \gg 1500000 \text{ cm} \quad (\text{Ezen 1981 ; Ruff 2002})$$

$$DS \gg 0.1274 D_{o,y} \text{ (cm) , bar} \quad (3)$$

- Sismik moment cinsinden gerilme düsümünün hesaplanması

$$DS = \frac{2}{p} M_o \frac{1}{L_f \cdot g_f^2} \quad (\text{Aki, 1972 ; alintiyen Ruff , 2002}) \quad (4)$$

Sismik moment

o  $6 \leq M_s \leq 8$  -(KAF) Sistemi için- (Ezen 1981)

$$\log M_o = 1.23 M_s + 17.96 \quad (5)$$

o (Bayrak, 1998, alintiyen Bayrak ve arkadaşları, 2000)

$$\log M_o = 1.23 M_s + 17.94 \quad (6)$$

- Hesaplamalar

o (3) bağıntisini kullanarak,

$D_{o,y} \gg 2.70 \text{ m} \approx 270 \text{ cm}$  (17 Ağustos 1999 Dogu Marmara depreminde Gölcük, Sapanca, Sakarya ve Karadere Fay Segmentlerinde gözlenen yatay yerdegistirmelerin ortalaması, Lettis ve arkadaşları, 2000).

$$DS = 0.1274 \times 270 = 34.4 \text{ bar}$$

o (5) ve (6) bağıntisi hemen hemen üst üste düşmektedir (5) bağıntisini kullanarak,

$$\log M_o = 1.23 \times 7.8 + 17.96 = 27.554 , M_o = 3.58 \times 10^{27} \text{ dyn.cm}$$

$L_f = 200$  km<sup>1</sup> için (Depremde gözlenen ve kestirilen fayın toplam uzunluğu, Gülen ve arkadaşları, 2002) (4) bağıntısından,

$$D_s = \frac{2}{3.14} \cdot 3.58 \times 10^{27} \cdot \frac{1}{200 \times 10^5 (15 \times 10^5)^2} \cdot \frac{1}{10^6} \cdot \frac{1}{10} = 50.6 \text{ bar}$$

o Türkiye ve civarındaki doğrultu atımlı fayların neden olduğu 139 adet depremin (1982-1996) (enerji/sismik moment) kavramından hareketle ortalama gerilme düşümü  $D_s = 39.42$  bar olarak belirlenmiştir (Bayrak ve Yılmaztürk, 1999). Bayrak ve arkadaşları (2000) çalışmasında ise KAF Sistemine ait depremlerin ortalama gerilme düşümünü  $D_s = 45.1$  bar olarak rapor etmektedir.

Kullanılan yaklaşımlara ait sonuçların aritmetik ortalaması alındığında, statik gerilme düşümünün değeri  $D_s = 42.3$  bar elde edilmektedir.

(Sismik moment :  $M_o = A_f \cdot D_{o,y} \cdot m$ )

(Toplam enerji :  $E = \bar{S} \cdot D_{o,y} = \frac{\bar{S} \cdot M_o}{m}$ )

Notasyonlar :

$f_g$  = Faya ait geometrik faktör

$L_f$  = Fayın uzunluğu

$g_f$  = Fayın genişliği

$A_f$  = Yirtilen fayın alanı

$D_{o,y}$  = Fayın ortalama yatay yerdeğiştirme miktarı, yanal atımı

$M_o$  = Sismik moment

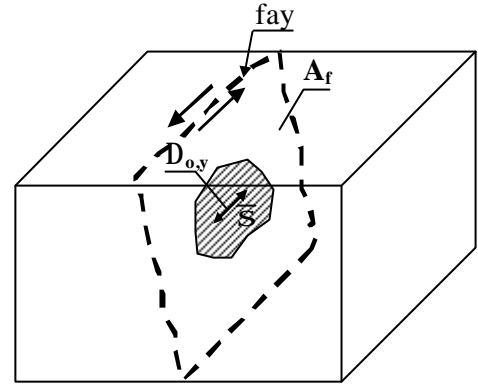
$M_s$  = Depremin yüzey dalgası cinsinden büyüklüğü

$M_w$  = Depremin moment büyüklüğü

$m$  = Kayma rijitliği

$\bar{S}$  = Deprem boyunca fay düzleminde etki eden ortalama kayma gerilmesi

$D_s$  = Gerilme düşümü



KAF Sistemi için hesaplanan ortalama statik gerilme düşümü büyüklüğü  $D_s = 42.3$  bar (Bkz Çizelge 1) dikkate alındığında (1) ifadesi,

$$\log I_h = M_w - 2 \log R - 4.49 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. (7) bağıntısı (1) bağıntısı ile birlikte deprem büyüklüğü  $M_w = 7.4$  ve odak derinliği  $D = 17$  km için Şekil 1'de incelenmiştir [(1) bağıntısı, kabul edilen gerilme

<sup>1</sup> Fay uzunluğunun tahkiki aşağıda yapılmıştır :

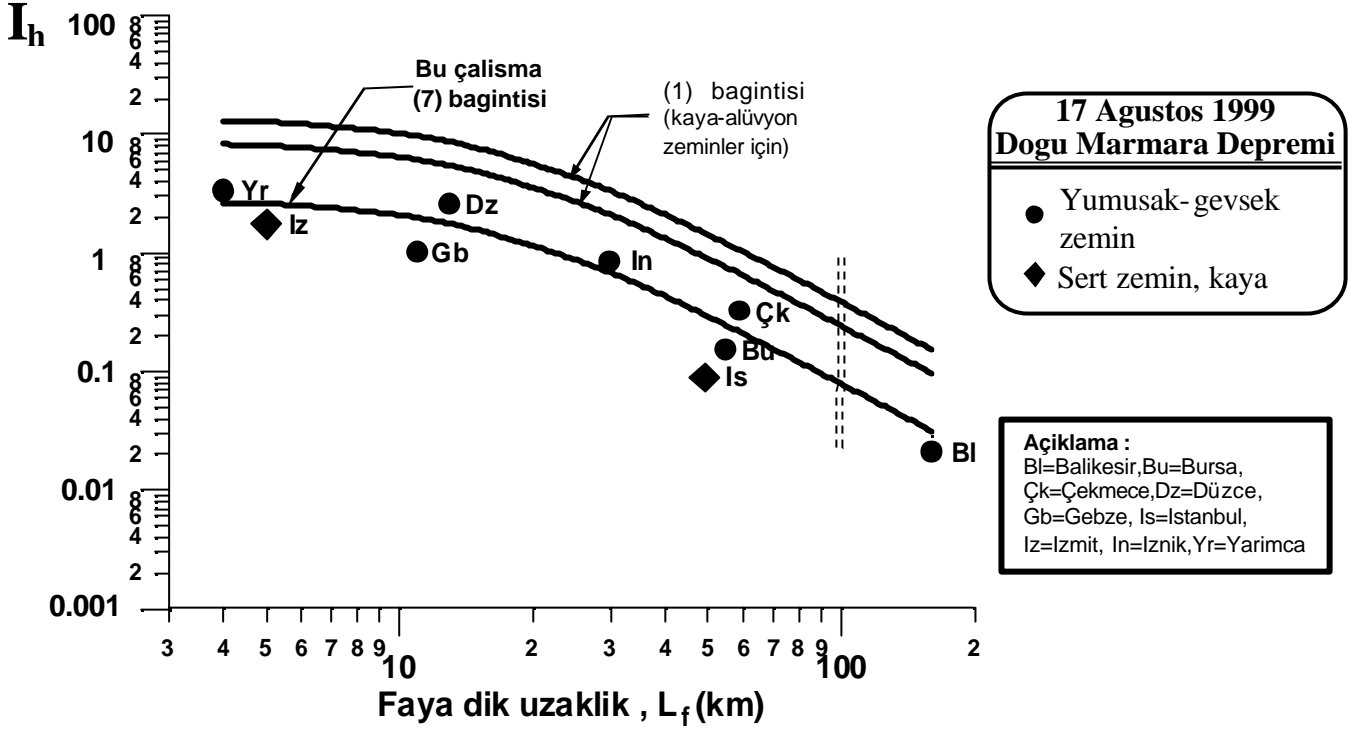
$$\log A_f = 0.58 M_s - 1.05 ; 6.8 < M_s \leq 8 \text{ (Kuzey Anadolu Fay -KAF- Sistemi için)}$$

Yirtilen fayın alanı :  $A_f = g_f \cdot L_f = 15 \cdot L_f$  , km<sup>2</sup>

$3.474 = \log (15 L_f) \text{ ® } L_f \gg 200 \text{ km}$  olarak hesaplanır. Kirılan fayın uzunluğu " $L_f$ " diğer bir ampirik bağıntı (Ambraseys ve arkadaşları, 2002) ile tahkik edilmiştir.

$\log L_f = -4.09 + 0.82 M_s$  ,  $M_s = 7.8 \text{ ® } L_f = 202 \text{ km}$ . Görüldüğü gibi birbirinden farklı yaklaşımların sonuçları, arazi gözlem ve kestirimleri ile üst üste düşmektedir.

düşümü  $D_s = 100$  bar için Mitchell ve Kayen (1997) kaynagında kaya ve alüvyon zemin tipleri için yeniden ifade edilmiştir]. Bu çalışmanın (7) bagintisinin 17 Agustos 1999 Dogu Marmara depremine ait ivme-zaman kayitlarından hesaplanan Arias Siddetleri (Siyahi ve Altaç, 2000) ile uyumu keza Çizelge 2’de incelenmiştir.



Sekil 1 17 Agustos 1999 Dogu Marmara depremi kayitlarından hesaplanan ( $I_{h,h}$ )’in , (1) ve (7) nolu regresyon bagintisinden kestirilen Arias siddeti ( $I_{h,k}$ ) ile faya dik uzaklık ( $L_f$ ) açısından degisimi

Çizelge 2 (7) nolu regresyon bagintisi ile kestirilen ( $I_{h,k}$ ) degerlerinin, 17 Agustos 1999 deprem kayitlarından hesaplanan ( $I_{h,h}$ ) degerlerine kiyasla sapma miktarlari

Büyüklikler	Yumusak-gevsek zemin							Sert zemin-kaya	
	Yr*	Gb	Dz	In	Bu	Çk	Bl	Iz	Is
$L_f$	4	11	13	30	55	59	160	5	49
$I_{h,h}$	3.32	0.992	2.543	0.847	0.153	0.319	0.021	1.761	0.089
$I_{h,k}$	2.665	1.983	1.775	0.684	0.245	0.216	0.031	2.589	0.302
$D = \frac{I_{h,h} - I_{h,k}}{I_{h,h}} \times 100$	19.7	-100	30.2	19.2	-60	32.2	-47.6	47	239

$L_f$  = Faya dik uzaklik , km , D = Sapma, % , Iz= İstasyon coğrafi ismi -Bkz Sekil 1 .

$I_{h,h}$  = İvme-zaman kayitlarından hesaplanan Arias siddeti , m/sn

$I_{h,k}$  = Hesaplanan ortalama gerilme düşümü ( $\Delta\sigma = 42.3$  bar)’ne göre (7) bagintisinden kestirilen Arias siddeti , m/sn

\* Yarımca hariç diğer tüm veriler Siyahi ve Altaç (2000) kaynagından alınmıştır, Yarımca Sezen, ve arkadaşlari (2000) kaynagina aittir.

Sekil 1 ve Çizelge 2 birlikte yakından incelendiginde su pratik sonuçlar ön plana çıkmaktadır :

- Wilson'un gerilme düsümü için  $D_s = 100$  bar kabulüne göre (1) bagintisindan hareketle Kayen ve Mitchell, (1997)'da kaya ve alüvyon zeminler için elde ettigi Arias siddeti bagintilari, 17 Agustos 1999 Dogu Marmara depremine ait ivme-zaman kayitlarindan hesaplanan Arias siddetleri'nden çok uzak düsmektedir (sapma % 150-850). Bu ise sivilasma analizinde emniyet katsayilarinin "gerçek disi sekilde küçük bulunmasına" yol açacaktır.
- Bu çalismanin (7) bagintisi ile kestirilen Arias siddetleri ( $I_{h,k}$ ), ivme-zaman kayitlarindan hesaplanan Arias siddetleri ( $I_{h,h}$ ) ile iyi sayilabilecek bir uyum içindedir.

## ARIAS SIDDETININ PRATİK MÜHENDISLIK AÇISINDAN UYGULAMALARI

### Arias Siddeti Ile Deprem Büyüklüğü Odak Uzakligi Degisimlerinin Çikartilmasi

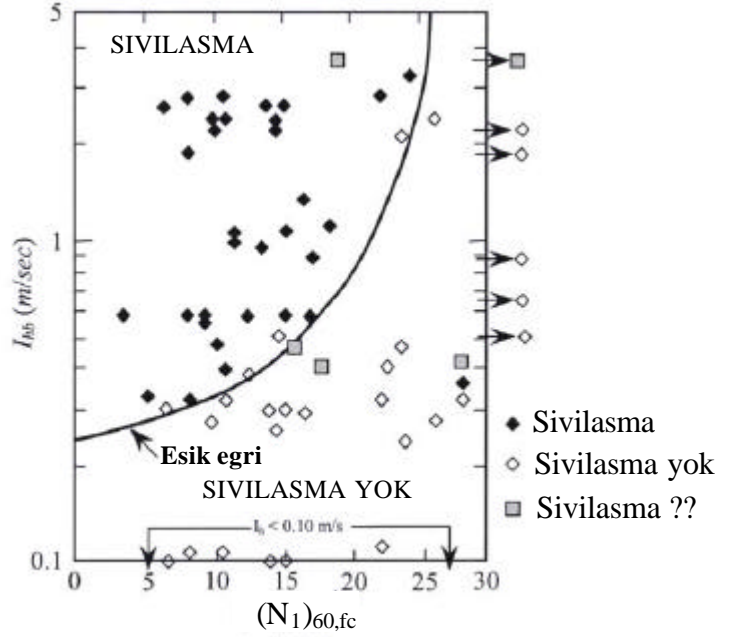
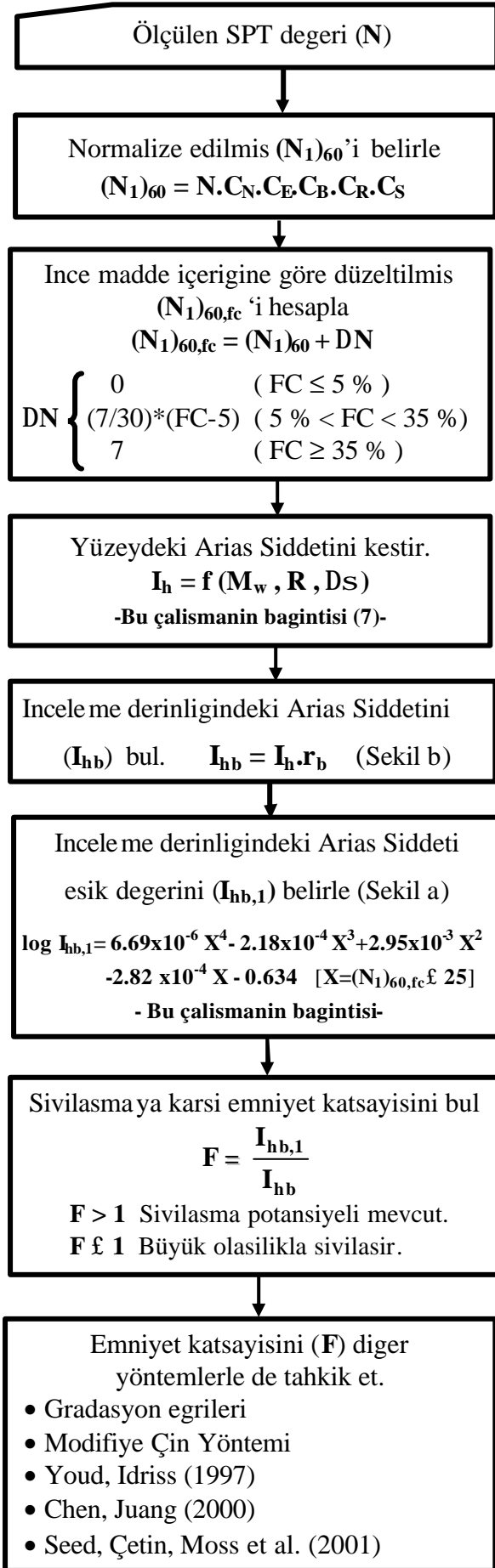
Arias siddeti ile sivilasma analizinde (Kayen ve Mitchell, 1997) izlenecek adimlar akis diyagrami formatinda Sekil 2'de belirtilmistir. Yer ekonomisi saglamak açisindan burada sivilasma analizinin ayrintilarina deginilmeyecektir. Bu bölümde, sivilasmaya karsi

emniyet katsayisinin  $F = \frac{I_{hb,1}}{I_{hb}} \circ 1$  kritik degeri için esik Arias siddeti  $I_{hb,1}$ 'nin farkli

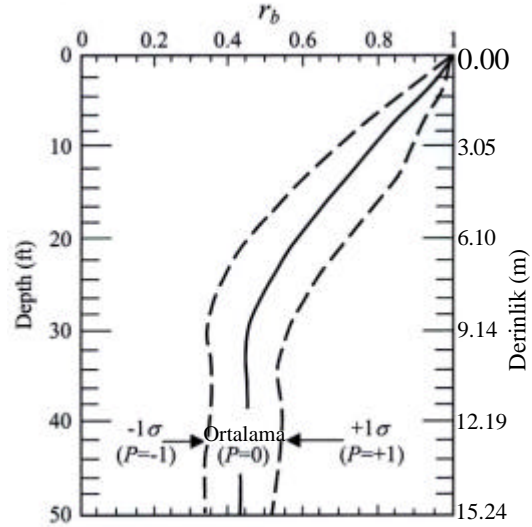
degerlerine karsi gelen temsili zemin kosullarinda, depremin moment büyüklüğünün  $M_w$  odak uzakligi  $R$  ile degisimi incelenecektir (Sekil 3). Analizde  $I_{hb} = I_h \cdot r_b$ ,  $r_b = 0.5$ ,  $r_b$ =derinlige bagli düzeltme katsayisi kabul edilmistir ve  $I_h$ 'nin hesabinda ise bu çalismada gelistirilen (7) bagintisi esas alınmistir. Sekil yakindan incelendiginde asagidaki sonuçlar üretilmektedir :

- Odak uzakligi arttikça ayni bir esik deger ( $I_{hb,1}$ ) için sivilasmaya neden olacak depremin kritik moment büyüklüğü artmaktadır. Örnegin,  $I_{hb,1} = 0.3$  durumuna karsi gelen çok gevsek bir zemin türü için  $R=10$  km odak uzakligindaki bir yerlesim merkezinde  $M_w \cong 6.3$  büyüklüğündeki bir deprem sivilasmaya neden olurken, odak uzakligi  $R= 30$  km'ye çiktiginda ancak  $M_w \cong 7.3$  büyüklüğündeki bir deprem sivilasmaya neden olabilmektedir. Daha siki granüler çökellerde, örnegin,  $I_{hb,1} = 3$  ise  $R= 10$  km mesafedeki yerlesim merkezinde ancak  $M_w \cong 7.3$  ise sivilasma sözkonusudur. Daha uzak odak uzakliklarinda ise sivilasma riskinin pratik olarak ortadan kalktigi söylenebilir. Ayni odak uzakligi için depremin büyüklüğü arttikça sivilasmanin esik degeri daha yüksek degerler almaktadır, diger bir deyişle depremin büyüklüğündeki artis sivilasmanin olusmaması için daha kohezif zemin kosullarini (siltli kumlar, killi kumlar, silt-kil karisimleri) gerektirmektedir.

Sekil 2 Arias yöntemi ile sivilasma analizinde esas alınacak akis semasi



Sekil (a)  $I_{hb} - (N_1)_{60,fc}$  degisimi (Kayen, Mitchell, 1997)

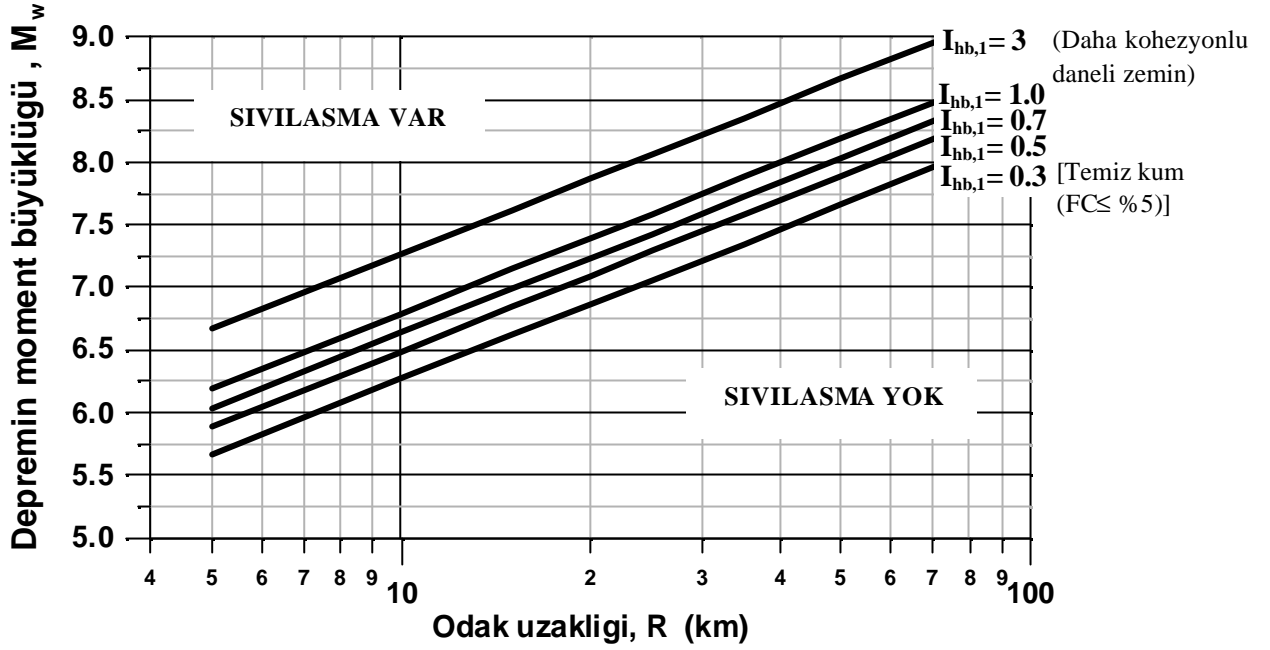


Sekil (b)  $r_b$  katsayisinin derinlikle degisimi (Kayen, Mitchell, 1997)

**Açıklamalar :**

- $M_w$  = Depremin moment büyüklüğü
- $R$  = Inceleme alanı ile odak noktası arasındaki uzaklık, km
- $DS$  = Gerilme düşümü, bar
- $FC$  = Ince madde içeriği, %
- $C_N, C_E, C_B, C_R, C_S$  = SPT testi düzeltme katsayıları
- $(N_1)_{60,fc}$  = Normalize edilmiş ve ince madde içeriğine göre düzeltilmiş SPT degeri
- $DN$  = Incelenen derinlikteki ince madde içeriği (75  $\mu$ m' luk elekten geçen dane yüzdesi, %) 'ne göre SPT degerinde yapılan düzeltme büyüklüğü
- $I_h$  = Yüzeydeki Arias siddeti, m/sn
- $r_b$  = Derinlige bagli düzeltme katsayisi
- $I_{hb}$  = Inceleme derinligindeki Arias siddeti, m/sn
- $I_{hb,1}$  = Inceleme derinligindeki esik Arias siddeti, m/sn
- $F$  = Sivilasmaya karsi emniyet katsayisi





Sekil 3 Kuzey Anadolu Fay Sistemine göre hesaplanan gerilme düşümü  $D_S=42.3$  bar için çıkartılan Moment büyüklüğü= f (Inceleme derinliğindeki Arias siddeti esik degeri- zemin türü-odak uzakligi) degisimleri [Derinlige bagli düzeltme katsayisi  $r_b= 0.5$  kabul edilmistir, FC = Ince madde içeriği ( $<75 \mu m$ )]

### Adapazari Tigcilar Mahallesinin Sivilasma Degerlendirmesi

Bu bölümde sivilasma olgusunun yaygin olarak gözlemlendiği mahallelerden biri olan Tigcilar'daki sivilasma analizi üç farklı yöntem ile incelenecektir. Sivilasma analizinde kullanılan ham veriler ([http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/phase2/line3/line3\\_spt\\_logs/spt\\_3\\_03.pdf](http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/phase2/line3/line3_spt_logs/spt_3_03.pdf)) kaynagından elde edilmistir. Anılan veriler bu çalışmada yapılan bazı hesaplamaların sonuçları ile birlikte Çizelge 3'de sunulmustur. Sivilasma analizi Youd, Idriss (1997) ve Chen, Juang (2000) yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak yapılmaktadır. Arias siddeti ( $I_h$ )'nin hesabında KAF'a ait bu çalışmanın (7) bağıntısı temel alınmış, Arifiye kırığına dik uzaklık  $L_f @ 7$  km, odak derinliği  $D= 17$  km için ( $R=\sqrt{L_f^2 + D^2}$ )  $R= 18.4$  km olarak hesaplanmıştır. Tigcilar mahallesindeki sözkonusu sondaja ait SPT test sonuçlarından hesaplanan normalize edilmiş ( $N_1$ )<sub>60</sub> ve ince madde içeriğine göre düzeltilmiş ( $N_1$ )<sub>60,fc</sub> degerleri ve üç farklı yöntemle göre hesaplanan sivilasmaya karşı emniyet katsayılarının (F) derinlik boyunca değisimleri topluca Sekil 4'de çizilmiştir. Sekil 4'den izlendiği gibi, sivilasmanın sözkonusu olduğu çok gevsek-gevsek granüler zemin koşullarında Arias yöntemi ile sivilasma analizi Youd, Idriss (1997) ve Chen, Juang (2000) ile benzer sonuçlar üretmektedir. ( $N_1$ )<sub>60,fc</sub>  $> \sim 20$  olduğunda üç yöntem de farklı sonuçlar vermekle birlikte sivilasmaya karşı emniyet katsayısı  $F < 1$  kalmaktadır. Bu da her üç yöntemin de "Tigcilar

mahallesindeki sivilasma olgusu”nu açıklayabildiğini göstermektedir.  $(N_1)_{60,fc} > 20'$  den itibaren oluşan firkilasmanın temel nedeni ise bu düzeyden itibaren Sivilasma Dinamik Kayma Gerilmesi Oranı (CSR) ile normalize edilmiş  $(N_1)_{60}$  ve düzeltilmiş SPT değeri  $(N_1)_{60,fc}$  arasındaki asimptotik değişimin önerilen sınır eğrileri ile tanımlanma farklılığından kaynaklanmaktadır.

- Arias yöntemi ile elde edilen derinlik boyunca sivilasmaya karşı emniyet katsayısının değişimi Chen, Juang (2000) yöntemi <sup>2</sup> ile sivilasma olasılığı açısından irdelendiğinde, 5.15-7.35 m aralığı hariç tüm derinliklerde “sivilasma olasılığı çok yüksek” ( $0.85 \leq P_L$ ) bölgeye düşmektedir. 5.15-7.35 m ise “sivilasma olasılığı yüksek bölge”nin alt sınırında yer almaktadır.

Çizelge 3 Adapazari Tıgıcalar Mahallesi'nde (Temmuz 2000)'de yapılan sondaj sonuçlarının <sup>(x)</sup> toplu değerlendirilmesi

Aralık	Derinlik	Sınıfı	Tanım	N	w <sub>n</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>p</sub> %	% -FC- ( < 75 mm)	% ( < 2 mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>10</sub> (mm)	Ort. C <sub>N</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60,fc</sub>
0.70-2.30	1.45	ML	ML : İnce kumlu gri silt	3	33	29	-	84	19	0.023	< 2 µm	1.63	3.66	10.66
2.30-4.60	2.25	ML	Silt ve Kum : Değişken ince kum içerikli kahverengi killi silt	7	31, 31	- , 25	-	91, 69	48, 12	0.022	< 2 µm	1.60	8.39	15.39
	3.15	ML/CL		4	45, 31	42, 31	15, -	97, 83	27, 17	0.009	< 2 µm	1.57	4.70	11.70
	4.35	ML/cl		5	39, 34	31, -	-	83, 99	28, 36	0.019	< 1 µm	1.53	6.13	13.13
4.60-5.50	5.15	ML/SM	Siltli Kum : Gri kumlu silt ve siltli kum	12	27, 23	28, -	-	54, 35	15, -	0.065	< 2 µm	1.42	14.52	21.52
5.50-7.80	6.05	ML	Killi Silt : Gri killi silt	13	33	38, 30	10, -	98, 99	20, 26	0.015	< 1 µm	1.38	15.22	22.22
	7.35	ML		11	37, 30	37, 32	-	95, 96	20, 10	0.020	< 1 µm	1.28	13.42	20.42
7.80-9.45	8.05	CH	Kil : Gri, kati siltli kil	5	40	53	27	99	47	0.002	< 1 µm	1.43	6.82	13.82
	9.35	ML/CL		7	38	43	15	100	34	0.008	< 1 µm	1.36	9.07	16.07

Açıklamalar :

$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$  ,  $(N_1)_{60,fc} = (N_1)_{60} + DN$  [Kayen, Mitchell (1997), Bkz. Sekil 2] , N= Standart penetrasyon sayısı, w<sub>n</sub>= Su içeriği, % , I<sub>L</sub>= Likit limit, I<sub>p</sub>= Plastisite indisi , FC = İnce madde yüzdesi (< 75 µm)

$(N_1)_{60}$  = Düzeltilmiş ve normalize edilmiş standart penetrasyon değeri,

$(N_1)_{60,fc}$  = İnce madde içeriğine (FC, %) göre düzeltilmiş ve normalize edilmiş standart penetrasyon sayısı,

C<sub>N</sub> , C<sub>E</sub> , C<sub>B</sub> , C<sub>R</sub> , C<sub>S</sub> = Düzeltme faktörleri (Ayrıntılı bilgi için Bkz. Arioglu ve arkadaşları, 2000b)

$$C_N = \text{Düsey efektif basınç düzeltme faktörü [Liao, Whitman (1986) } C_N = \frac{1}{\left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right)^{0.5}} \text{ £ 1.7 ; Seed, De Alba (1986) } C_N = \frac{3.0}{(2 + s\phi)} \text{ ;}$$

$$\text{Tokimatsu ve Yoshimi (1983) } C_N = \frac{1.7}{(0.7 + s\phi)} \text{ ; NCEER Workshop (1997) } C_N = \frac{2.2}{\left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right)^{0.5}} \text{ £ 1.7 bağintılarının aritmetik}$$

ortalaması (Ort. C<sub>N</sub>) alınmıştır]

C<sub>S</sub> = Standartlara uymayan numune alıcısı düzeltme faktörü (C<sub>S</sub>= 1 alınmıştır),

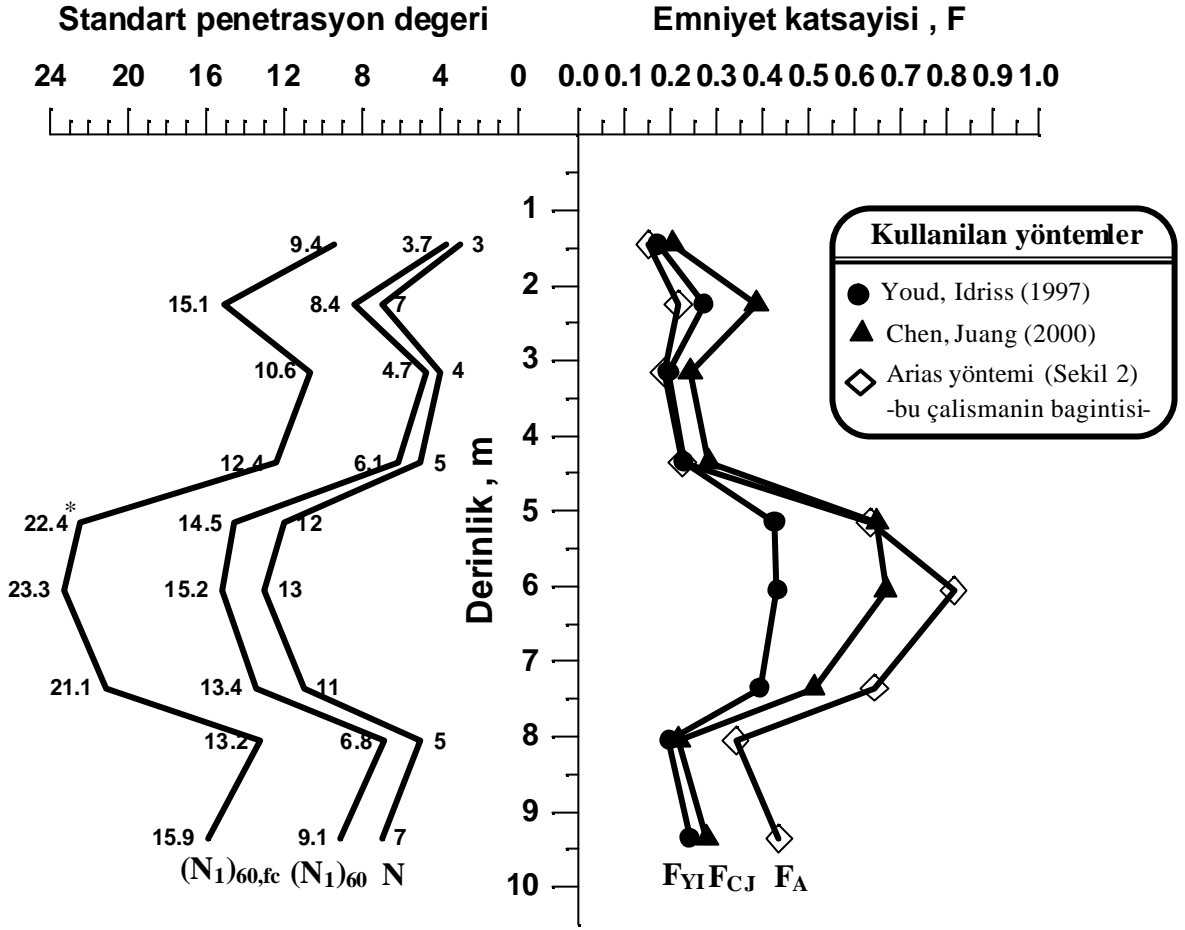
C<sub>E</sub> = Enerji düzeltme faktörü (SPT % 60 enerji düzeyinde gerçekleşmiştir, C<sub>E</sub>=1 alınmaktadır),

C<sub>B</sub> = Sondaj borusu çapı düzeltme faktörü (C<sub>B</sub>= 1 alınmıştır) ,

C<sub>R</sub> = Sondaj borusu uzunluğu düzeltme faktörü (< 3 m C<sub>R</sub>= 0.75, 3-4 m C<sub>R</sub>= 0.8 , 4-6 m C<sub>R</sub>= 0.85 , 6-10 m C<sub>R</sub>= 0.95)

<sup>(x)</sup> Kaynak : [http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/phase2/line3/line3\\_spt\\_logs/spt\\_3\\_03.pdf](http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/phase2/line3/line3_spt_logs/spt_3_03.pdf) 'deki ham verilerden yararlanılmıştır.

<sup>2</sup> Chen ve Juang (2000) yöntemine göre sivilasma olasılığı  $P_L = 1 / [ 1 + F / 0.77 ]^{3.25}$  olup, Juang et al (2003)'e göre  $P_L < 0.15$  ise sivilasma olasılığı çok az,  $0.15 \leq P_L < 0.35$  ise sivilasma olasılığı az,  $0.35 \leq P_L < 0.65$  ise sivilasma ve sivilasmama olasılığı eşit,  $0.65 \leq P_L < 0.85$  ise sivilasma olasılığı yüksek,  $P_L \geq 0.85$  ise sivilasma olasılığı çok yüksektir.



Sekil 4 Tigcilar mahallesindeki bir lokasyonda ölçülen SPT sonuçları (N), normalize edilmiş (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> ve ince madde içeriğine göre düzeltilmiş (N<sub>1</sub>)<sub>60,fc</sub> degerleri ve sivilasmaya karsi emniyet katsayılarınınin Youd,Idriss (1997) (F<sub>YI</sub>), Chen,Juang (2000) (F<sub>CJ</sub>) ve Arias yöntemine göre (F<sub>A</sub>)] derinlikle değisimi [\*Örneklenen (N<sub>1</sub>)<sub>60,fc</sub> degerleri Youd, Idriss (1997) yöntemine göre elde edilmiş degerlerdir].

## SONUÇLAR

Bu çalışmada ulasilan belli basli sonuçlar şöyle sıralanabilir :

- Kuzey Anadolu Fay sistemine ait ortalama gerilme düşümü 'D<sub>s</sub> = 42.3 bar" (Çizelge 1) dikkate alınarak, 17 Agustos 1999 Dogu Marmara Depremi odak derinligi Δ= 17 km için Arias siddeti = f (deprem moment büyüklüğü, faya dik uzaklık) değisimi gelistirilmistir [(7) bağıntısı]. Bu değisimin anilan depremin ivme-zaman kayitlarından Siyahi ve Altaç (2000) tarafından hesaplanan Arias siddetlerine uyumunun Δ=+%30 ve -% 47 araliginda kaldigi -bazi istisnalar hariç- burada ifade edilebilir (Sekil 1, Çizelge 2). Oysa ki Kayen, Mitchell (1997) kaynakinda rapor edilen bağıntinin sonuçlari (Sekil 1) aktüel Arias siddeti değerlerinden ortalama % 150-850 araliginda çok büyük bir sapma göstermektedir.

- Pratik mühendislik amaçlarına yönelik olarak Kuzey Anadolu Fay Sistemi için hesaplanan gerilme düşümüne ( $\sigma_s = 42.3$  bar) karşı gelen deprem moment büyüklüğü = f (kritik odak uzaklığı,-emniyet katsayısı  $F < 1$ -, esik Arias siddeti) değişimleri elde edilmiştir (Şekil 3). Odak uzaklığı arttıkça, diğer kelimelerle kaynak ile incelenen yöre arasındaki uzaklık arttıkça, aynı bir esik değeri ( $I_{hb,1}$ ) için sivilasmaya neden olacak depremin moment büyüklüğü ( $M_w$ ) artmaktadır. Odak uzaklığının sabit kalması durumunda ise, depremin büyüklüğündeki artış sonucu sivilasmanın oluşmaması için daha kohezif zemin koşulları gerekmektedir.
- 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde sivilasma gözlenen Adapazarı Tıgçılar mahallesi zemin koşullarına Arias siddeti yöntemi dışında iki farklı yöntem, Youd ve Idriss (1997), Chen ve Juang (2000) ile de sivilasma analizi uygulanmış, her üç yöntemin de sivilasmaya karşı emniyet katsayıları  $F < 1$  bulunmuştur (Şekil 4). Diğer bir deyişle, deprem üreten fay sisteminin gerilme düşüm büyüklüğünü doğru belirlemek koşulu ile, Arias siddeti yöntemi de sivilasma analizlerinde diğer yöntemler gibi başarı ile uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., Melville, C.P.** "Historical Seismicity and Tectonics : The Case of the Eastern Mediterranean and the Middle East" Chapter 45, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Vol. 81 A, 2002, p.747-762.
- Arioglu, Ergin, Arioglu, B., Girgin, C.** "Arias Siddeti Ile Sivilasma Analizi" *Beton Prefabrikasyon*, sayı 65-66, Ocak-Nisan 2003, s. 11-19.
- Arioglu, Ergin, Arioglu, N., Yilmaz, A.O** "Zemin Sivilasması-I" *Hazir Beton Dergisi*, Sayı 38, Mart-Nisan 2000 a.
- Arioglu, Ergin, Arioglu, N., Yilmaz, A.O** "Zemin Sivilasması-II" *Hazir Beton Dergisi*, Sayı 39, Mayıs-Haziran 2000 b.
- Bayrak, Y., Erduran, A., Yilmaztürk, A** "Türkiye'deki farklı sismotektonik bölgelerinin sismisitesi" TMMOB Ulusal Jeofizik toplantısı, Genişletilmiş özetler, Ankara, Kasım 2000, s.135-138.
- Bayrak, Y., Yilmaztürk, A.** "Türkiye ve Civarında Sismik Moment ve Gerilim Dağılımı" *Yerbilimleri*, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 21, 1999, s.1-15.
- Chen, C.J., Juang, C.H.** "Calibration of SPT and CPT Based Liquefaction Evaluation Methods", Innovations applications in geotechnical site characterization, P.Mayne and R.Hyrciw, eds., *Geotechnical Special Publication*, No.97, ASCE, NY, 2000, p. 49-64.
- Ezen, Ü.** "Earthquake Source Parameters Related to Magnitude Along the North Anatolian Fault Zone", *Bulletin of the Int. Inst. of Seismology and Earthquake Engineering*, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, Vol.19, 1981, pp.33-55.

- Gülen,L., Pinar,A., Kalafat,D., Özel,N., Horasan,G., Yilmazer, M., Isikara A.M.** "Surface Fault Breaks. Aftershock Distribution and Rupture Process of the 17 August 1999 Izmit, Turkey" *Bulletin of the Seismological Society of America*, (Ed. M.N. Tokgöz), 92, February 2002, pp. 230-244.
- Juang, C.H, Yuan, H., Lee, D.H, Lin, P.S.** "Simplified Cone Penetration Test Based Method for Evaluating Liquefaction Resistance of Soils" ; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, No 1, January 2003, pp.66-80.
- Kayen, R.E, Mitchell, J.K** "Assessment of Liquefaction Potential During Earthquakes By Arias Intensity" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.123, No 12, December 1997, pp.1162-1174.
- Kokusho, T.** "Failure Mechanisms in Liquefaction Studied in Recent Earthquakes" *XVI. CSMGE TC4 Satellite Conference On Lesson Learned From Recent Strong Earthquakes*, 2001, Istanbul.
- Lettis, W., Bachhuber, J., Barka, A., Witter, R., Brankman, C.** "Surface Fault Rupture and Segmentation During the Kocaeli Earthquake, The 1999 Izmit and Düzce Earthquakes : preliminary results (Ed. A.Barka, Ö.Kazici, S.Akyüz ve E.Altinel) I.T.Ü, Istanbul, 2000, pp. 31-54.
- Seed, R.B., Çetin, K.Ö., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F.** "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation" *4<sup>th</sup> Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Engineering and Soil Dynamics and Symposium* , San Diego, California, March 26-31, 2001.
- Ruff, L.J.** "State of Stress Within the Earth", Chapter 33, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Eds: W.H.K.Lee, H.Kanamori, P.C. Jennings and C.Kisslinger), Academic Press, Amsterdam, Vol.81A, 2002.
- Sezen, H., Elwood, K.J., Whittaker, A.S., Mosalam, K.M., Wallace, J.W., Stanton, J.F.** "Structural Engineering Reconnaissance of the August 17, 1999 Earthquake : Kocaeli (Izmit), Turkey" *Pacific Earthquake Engineering Research Center* , University of California, PEER 2000/09, December 2000.
- Siyahi, B.G., Altaç, Z.** "Sivilasma Potansiyelinin Tahmininde Arias Siddeti Yöntemi : Kocaeli (17 Agustos 1999) ve Düzce (12 Kasim 1999) Depremleri" *Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisligi 8. Ulusal Kongresi*, I.T.Ü. Ayazaga Kampüsü, Istanbul, Ekim 2000.
- Ulusay,R., Aydan,Ö., Kumsar,H., Sönmez,H., Tuncay,E.** "Türkiye’de Son Depremlerde Gözlenen Sivilasma Olgusu ve Bati Anadolu’da Sivilasma Potansiyeline Genel Bir Bakis" *Bati Anadolu’nun Depremselligi Sempozyumu*, 2000, s.323-336.
- Wilson, R.C** "Relation of Arias Intensity to Magnitude and Distance in California", *Open-File Report 93-556, U.S Geological Survey*, California 94025, September 1993.
- Yasuda, S., Irisawa, T., Kazami** "Liquefaction-Induced Settlements of Buildings and Damages in Coastal Areas During the Kocaeli and Other Earthquakes" *XV ICSME Satellite Conference On Lesson Learned From Recent Strong Earthquakes*, Istanbul, August 2001, pp.33-42.
- Yapi Merkezi Raporu** "17 Agustos 1999 Dogu Marmara Depreminde Adapazari’nda Gözlenen Bina Hareketlerinin Incelenmesi ve Degerlendirilmesi", YM/AR-GE/2003-13, Ekim 2003, 45 sayfa.
- Youd, T.L, Idriss, I.M., eds** "NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils" NCEER Technical Report, *NCEER-97-0022*, Salt Lake City, Utah, 1997.