



Ankara çevresi için Arias şiddetinin incelenmesi Investigation of Arias intensity for Ankara and surroundings

Koray ULAMIŞ*

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
ulamis@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 15.05.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 20.07.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.07992

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Kuvvetli yer hareketi incelemelerinde genlik, en büyük yatay yer ivmesi ile spektral parametreler sismik açıdan tehlikeli alanlarda yapı dizaynında kullanılan temel bileşenlerdir. Bu çalışmada, bir çok aktif fayın kesişme noktasında yer alan Ankara çevresindeki ivme kayıtları derlenerek, sivilaşma ve sismik şev duraylılığında da kullanılan Arias şiddetinin değişimi incelenmiştir. Büyüklüğü 4.0'den büyük olan deprem kayıtları incelenerek, özellikle odak noktası Ankara şehir merkezine en yakın olan 27 Aralık 2007 Bala depremi kayıtları dikkate alınmıştır. Bu depremin ana şoku Ankara ilinin batısında, yeni yerleşimlerin bulunduğu yerlerde yoğun şekilde hissedilmiştir. Ayrıca; Afyon-Dinar (1995) ile Çay (2002) depremleri, Düzce (12 Kasım 1999) depremi, Çankırı-Orta (2002) depremi ve Eskişehir' de 2014 ve 2015 yıllarında kaydedilmiş olan iki adet deprem incelenerek çalışmanın kapsamına alınmıştır. Kuvvetli yer hareketi incelemelerinde, özellikle depremin toplam süresi ve frekans içeriğinin dikkate alındığı Arias şiddetinin kayıtlardaki zamana bağlı değişimi hesaplanarak enerji boşalım süreleri belirlenmiştir. Kaya ve zemin için geliştirilen eşitliklerin farklı fay türlerine göre gerilme azaltma değerleri de değerlendirilerek, Ankara ve yakın çevresi için dizayn Arias şiddeti belirlenmiştir. Ankara'ya 50 km ve 100 km mesafede oluşacak bir depremde en yüksek Arias şiddeti 0.2 m/s ve 0.1 m/s elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin sivilaşma ve sismik şev duraylılığı çalışmalarında kullanılması için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Deprem, Arias şiddeti, Azalım, Ankara

Abstract

The amplitude, peak ground acceleration and spectral ordinates are the main components of strong ground motion investigation for design within seismic regions. In this study, variation of Arias intensity as used for liquefaction and seismic slope stability was extracted from the acceleration records for the city of Ankara, which is located at the conjunction of several active faults. The study included the earthquake records with magnitudes greater than 4.0 with particular emphasis on December 27th 2007 Bala earthquake, since the epicenter of such earthquake is closest to Ankara. The mainshock of Bala earthquake was felt strongly around western Ankara, especially nearby new residential areas. Earthquakes of Afyon-Dinar (1995), Çay (2002), Düzce (November 12 1999), Çankırı-Orta (2002) and two earthquakes recorded at 2014 and 2015 within Eskişehir city were also included. Arias intensity includes the total duration and frequency content of earthquake when compared to peak ground acceleration. The variation of Arias intensity was calculated in order to determine the main energy release durations. Attenuation of Arias intensity was obtained based on the distance between the study area and recorder stations. The design Arias intensity value for central Ankara was attained including the stress drop for different fault types for rock and soil conditions. Peak Arias Intensities for 50 km and 100 km around Ankara are 0.2 m/s and 0.1 m/s. More detailed studies should be implemented to employ such values for liquefaction and seismic slope stability.

Keywords: Earthquake, Arias intensity, Attenuation, Ankara

1 Giriş

Ankara ili yerleşim alanı hasar yapıcı depremlerin merkezi olmamakla beraber, batıda Eskişehir-İnönü Fay Zonu, güney/güneydoğuda Tuzgölü Fayı ve Kuzey-Kuzeydoğuda Kuzey Anadolu Fayı ile Kırıkkale-Erbaa Fay segmenti arasında kalan bir alanda bulunmaktadır. Tarihsel depremler yanında, yukarıda bahsedilen faylardan kaynaklı depremler Ankara ve çevresinde hissedilmiş olup, farklı derecelerde hasar meydana getirmişlerdir. Yerleşim alanlarının jeolojik, jeofizik ve jeoteknik incelemesi yanında depremsellik ve özellikle sahaya özgü sismik tehlike analizleri yapılmalıdır. Analizlerde ve yapılaşmada tercih edilen parametreler en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük hız (PGV) ile bu parametrelerin spektral değişimleridir. Arias şiddeti [1] tüm deprem kaydının frekans içeriği ve sarsıntı süresini de dikkate aldığından son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır [2],[3]. Mühendislik yapıları ve zeminler farklı frekanslara ve salınım periyoduna karşı duyarlı olup, deprem kaydının tamamının değerlendirilmesi gereklidir. Arias şiddeti depremin düşey bileşenini de dikkate alarak, kuvvetli yer hareketinin daha detaylı değerlendirilmesine yol açmıştır [1],[4]. Arias şiddetine göre sismik şev duraylılığı ve sivilaşma analiz yöntemleri geliştirilmiştir [5]-[9]. Sismik şev duraylılığı analizlerinde düşük frekanslı ve uzun periyodlu yer

hareketi tetikleyici olup, PGA ile tamamen ifade edilememektedir [4]. Benzer şekilde Arias şiddeti sivilaşma analizlerinde de kullanılmakta olup; özellikle uzun periyodlu yer hareketlerine bağlı gelişen sivilaşmada tercih edilebilmektedir. Sivilaşma analizlerinde geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında gerilme koşullarını ifade etmekte daha zayıf kalmaktadır [2],[7].

Ankara ili merkezi ve çevresinde sayısız kütle hareketi meydana gelmiş/gelmekte olup, özellikle batı kesiminde sivilaşma potansiyeli olan suya doymun alüvyon zeminler bulunmaktadır. Bu çalışmada; Ankara ve çevresindeki kayıt istasyonlarındaki ivme kayıtları incelenerek, Arias şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Kayıtlarda farklı deprem büyüklükleri verildiğinden, özellikle depremsellik analizlerinde tercih edilen moment büyüklük değerleri [10] eşitliği ile ortogonal regresyon ve en küçük kareler yöntemleri ile elde edilmiş ve güncellenmiştir. Ankara ili merkez kayıtlarında özellikle 2007 Bala depremi sonrası dikkate değer ivme değerleri tespit edilmiştir. İl merkezi etrafında yaklaşık 100 km'lik çap içinde hasara neden olan depremlerin Arias şiddeti değerlerinin yüksek olması ve mesafeye göre azalışlarının belirlenmesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu sayede, Ankara'ya farklı mesafelerde oluşacak bir deprem sonrasında dizayn değer olarak

kullanılabilecek Arias şiddetinin kaya ve zemin koşulları için belirlenmesi amaçlanmıştır.

2 Ankara ve çevresinin neotektonik özellikleri

Orta Anadolu bölgesinde genel tektonik rejim “Ova rejimi” olarak tanımlanmıştır [11]-[13]. Bölgedeki aktif faylar farklı araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmiştir [12],[13],[15]. Bu çalışmada özellikle Ankara ve çevresini etkileyebilecek olan Tuzgölü Fay Zonu [13]-[16]; İnönü-Eskişehir Fay Zonu [16],[17]; Kuzey Anadolu Fay Zonu-KAFZ ([18]-[21] ve KAFZ ile Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında kalan kıtasal kama dikkate alınmıştır [22],[23].

Altsel dñemde Ankara ve çevresinde büyüklüğü 5.0'ten büyük depremler kaydedilmiştir. 9 Mart 1902 ankırı depremi ($M_s = 5.6$) yakın çevrede hasara neden olmuştur [28],[29]. 19 Nisan 1938 Kırşehir-Keskin depremi ($M_s = 6.6$) Akpınar, Kırşehir ve Köřker civarında hissedilmiş olup, Ankara'da az hasara neden olmuştur [24]-[26]. 1 şubat 1944 Bolu-Gerede depremi ($M_s = 7.2$) Ankara'da can ve mal kaybına neden olmuştur [25]-[28]. 7 Ekim 1953 erkeř depremi ($M_s = 6.0$) Orta Anadolu'da bir çok yerde hissedilmiştir [32].

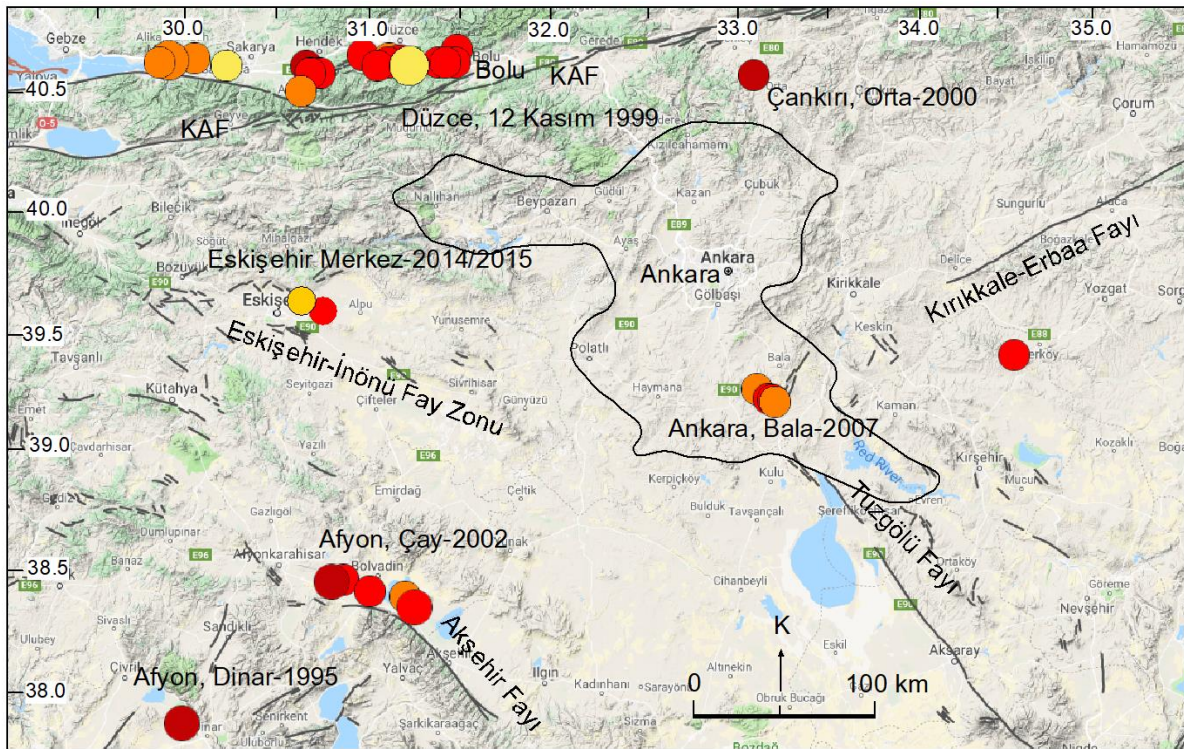
1 Ekim 1995 Afyon-Dinar depremi ($M_w = 6.1$), Dinar-Çivril fayı üzerinde meydana gelmiş olup, Dinar ilçesinde hasar ve can kaybına neden olmuştur. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi, İzmit'in 12 km güneydoğusunda ($M_w = 7.4$) meydana gelmiştir. 1992 Erzincan depreminden sonra aynı yüzyıl içinde en büyük maddi hasar ve can kaybına neden olan depremdir. 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelen Düzce depremi ($M_s = 7.2$) KAFZ'nun batısında Düzce, Bolu ve Kaynaşlı'da maddi hasar ve can kaybına neden olmuştur. Ankara ili ve çevresinde de bu iki deprem hissedilmiştir. 6 Haziran 2000 Orta-Çankırı depremi ($M_d = 5.9$) Çubuk ilçesinde hasara neden olmuştur [29]. Afyonkarahisar iline bağlı Çay ve Bolvadin ilçeleri civarında şiddetli şekilde hissedilen ve birbirini kısa bir aralıkla takip

eden iki depremden oluşan Çay depremi ($M_w = 6.2$ ve 6.0) 3 Şubat 2002 tarihinde meydana gelmiştir [30]. 27 Aralık 2007 Bala depremi Ankara'ya en yakın olan ve 20 Aralık 2007'de meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki depremin ikinci ana şoku olarak değerlendirilmiştir [31]. Depremin Richter lokal büyüklüğü (M_L) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Dairesi tarafından 5.5 olarak kaydedilmiş olup, USGS verisine göre moment büyüklüğü (M_w) 5.3 olarak belirlenmiştir. Eskişehir ilinde Afet İşleri tarafından kurulmuş olan Yukarı Söğüt ve Anadolu Üniversitesi Kampüsü'nde 2014 ve 2015 yıllarında birer adet ($M_w = 4.0$) büyüklüğünde deprem kaydedilmiştir. Bu depremlerin çalışma kapsamına alınmasındaki neden ise pik ivme değerlerinin 172 gal ve 162 gal olmasındır [32]. Bu depremler, [17]'de belirtilen Çukurhisar-Sultandere segmenti üzerinde meydana gelmiştir. Çalışmada esas alınan diri faylar ve depremlerin konumları Şekil 1'de verilmiştir.

3 Arias şiddeti kavramı

Ankara ve çevresindeki kayıtlar, Afet İşleri Kuvvetli Yer Hareketi (KYH) kataloglarından derlenmiştir. Kayıtlarda farklı ölçeklerde büyüklüğü 4.0'ten fazla olan veriler esas alınarak azalım ilişkilerinde kullanılmak üzere moment büyüklüğe çevrilmiştir. Arias şiddeti (Eş. 1), deprem sarsıntı süresi ve frekans içeriğinin zamana bağlı değişimini içeren enerji boşalımının ifadesi olup, ivme kaydının yatay ve dikey bileşenlerin toplamıdır [1]. Tüm veriyi içerdüğinden, pik yatay yer imesi yanında yeryüzü veya herhangi bir derinlikte deprem şiddetinin ifadesinde tercih edilen bir parametre olmuştur [2],[3],[33],[34].

$$I_h = I_{xx} + I_{yy} = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a_x^2(t) dt + \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a_y^2(t) dt \quad (1)$$



Sekil 1: Ankara ve çevresindeki diri faylar ile hasar oluşturan depremler ([32] den değiştirilerek).

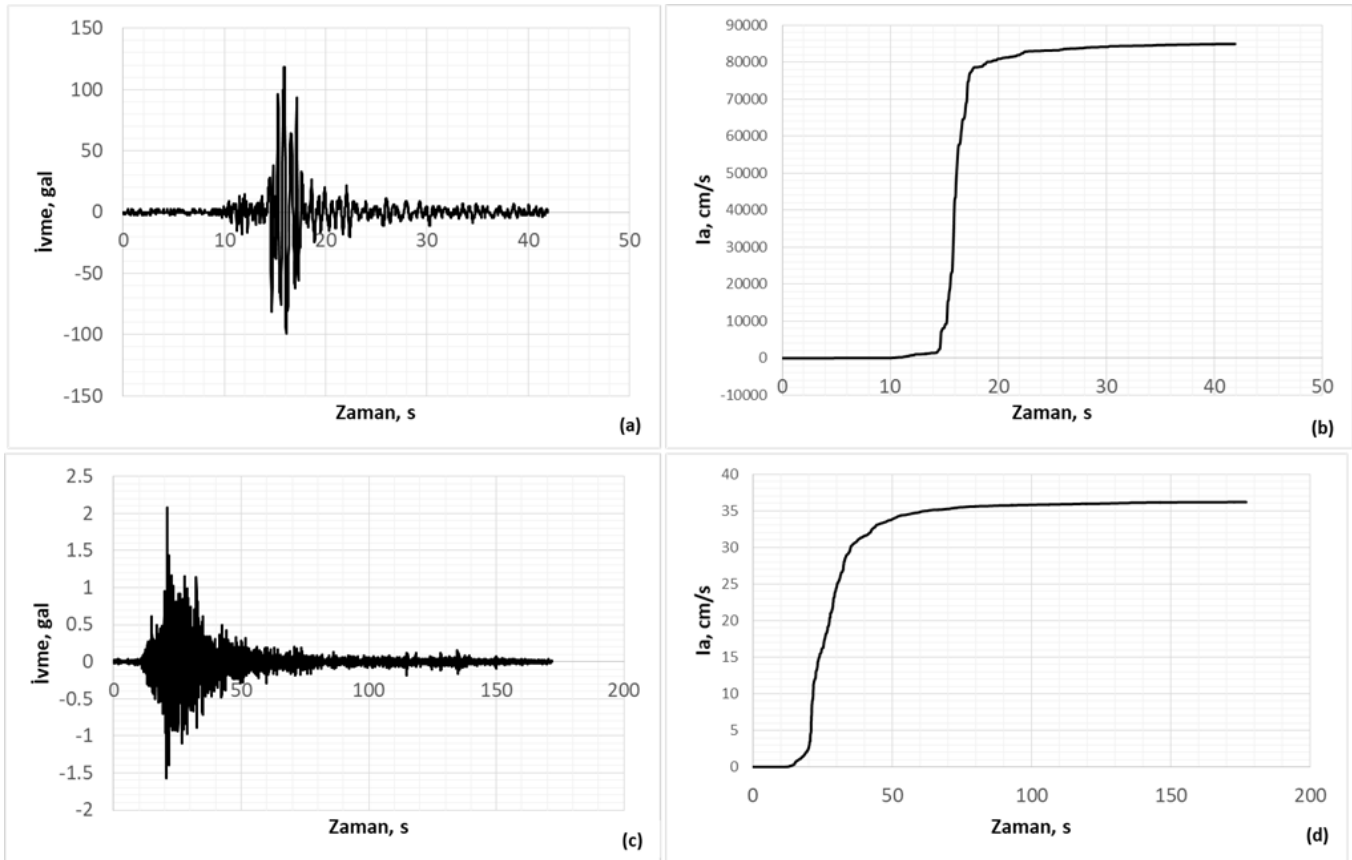
Arias şiddetinin diğer şiddet ölçekleri ve kuvvetli yer hareketi parametreleri ile karşılaştırılması yapılarak, sismik şev duraylılığı ve sıvılaşma analizlerinde kullanımı ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır [34]-[40]. İki "t" süresi arasındaki ivmenin değişimi ve pik ivmenin bulunduğu en büyük genlik yanında genlik değişiminin aralığı da kümülatif Arias şiddeti ile belirlenebilmektedir (Şekil 2). Normalize edilen Arias şiddeti kaydında genlik ve dolayısıyla ivme değişiminin en fazla olduğu aralık (%5 ile %95) ise enerji boşalımının süresini ifade etmektedir.

Ankara ve çevresindeki kayıtçılardan derlenen ivme kayıtlarından zamana bağlı Arias şiddetleri ve en büyük değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Pik ivme yanında moment büyüklüğü, odak derinliği, sarsıntının süresi, kayıtçının

bulunduğu zemin koşulları gibi etkenlere göre Arias şiddetinin aralıkları belirlenmiştir. Aynı depremde birden fazla genlik artışı olması durumunda pik ivme Arias şiddetine göre düşük olabilmektedir.

Kümülatif Arias şiddetine bağlı olarak hesaplanan enerji boşalım süreleri Dinar ve Çay depremlerinde 21.7 ile 38.4 s, Düzce depreminde 19.2 s, Orta depreminde 45.3 s, Bala depreminde 4.6 s ve Eskişehir depreminde 7.1 s olarak hesaplanmıştır.

Kümülatif Arias şiddetine bağlı olarak hesaplanan enerji boşalım süreleri Dinar ve Çay depremlerinde 21.7 ile 38.4 s, Düzce depreminde 19.2 s, Orta depreminde 45.3 s, Bala depreminde 4.6 s ve Eskişehir depreminde 7.1 s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2: 27 Aralık 2007 Bala depremi Sarıpınar Köyü ivme kaydı. (a): Zamana bağlı Arias şiddeti. (b): Depremin Ankara Merkez istasyondaki ivme kaydı, (c): Zamana bağlı Arias şiddeti.

Tablo 1: Ankara ve çevresindeki önemli depremlerin en büyük ivme ve Arias şiddeti değerleri.

Deprem Kaydı ve İstasyon	Koordinat		En Büyük İvme, gal			En Büyük Arias Şiddeti, m/s		
	K	D	K-G	D-B	U-D	K-G	D-B	U-D
Afyon-Dinar	38.059	30.153	104.32	128.84	80.49	17.44	26.60	10.38
DÜZCE-Bolu	40.745	31.607	739.512	805.87	200.13	876.53	1040.95	64.19
Çankırı - Orta	40.814	32.883	62.457	63.162	40.252	6.25	6.39	2.59
Afyon-Çay	38.775	30.533	113.50	94.00	35.50	20.64	14.16	2.01
Ankara-Bala	39.464	33.217	118.205	71.202	45.294	22.39	8.12	3.28
Eskişehir-Merkez	39.813	30.528	172.180	60.716	80.413	47.52	0.59	10.36

4 Arias şiddetinin azalımı

Arias şiddetinin kayıt istasyonlarından herhangi bir mesafedeki azalımını belirlemek için sahaya özgü birçok bağıntı geliştirilmiştir. İvme azalım ilişkilerine benzer formdaki bağıntılar kaya ve zemin koşulları, uzaklık (odak, faya en yakın), kayıtçı istasyonunun yeri ve jeolojik koşullara göre farklılıklar göstermektedir [41]-[49]. Türkiye için Arias şiddeti değişimi [50] tarafından haritalanmış olup; şiddet değerlerinin 50-100 ve 475 yıllık geri dönüşüm periyodlarına göre bölgelendirme yapılmıştır. Bu çalışmada Türkiye'deki deprem verilerinin ve fayların türüne göre gerilme azalımının da dikkate alındığı azalım ilişkileri dikkate alınmıştır. Toplam 1208 kuvvetli yer hareketi ve 1999 depremlerinin de incelendiği 75 depreme göre geliştirilen [42] ilişkisi ($4.7 < M < 7.6$) ile ($0.1 < R < 250 \text{ km}$) limitlerine sahip olup [41] tarafından önerilen farklı zemin ve kaya sınıfları için kullanılmaktadır (Eş. 2).

$$\ln(I_a) = c_1 + c_2(M - 6) + c_3 \ln\left(\frac{M}{6}\right) + c_4 \ln\left(\sqrt{R^2 + h^2}\right) + (s_{11} + s_{12}(M - 6))S_c + (s_{21} + s_{22}(M - 6))S_D + f_1 F_N + f_2 F_R \quad (2)$$

R : fay kırığına olan mesafe (km), M : moment büyüklük,
 h : hiposantr derinliği (km), $S_c = 0$ (zemin),

$S_D = 1$ (kaya), F_N ve F_R sırası ile 0 (doğru atımlı fay)

1 (normal fay). $c_1, c_2, c_3, c_4, s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}, f_1, f_2$

regresyon analizinden elde edilen ampirik katsayılar

[42]. Sadece Arias şiddeti azalımı değil, özellikle sismik şev duraylılığı ve zemin sıvılaşmasında da sıkça kullanılan [2] azalım ilişkisi kaya, alüvyon ve zayıf zemin koşulları için Amerika ve Japonya deprem verileri kullanılarak önerilmiştir (Eş. 3, 4, 5).

$$\log I_h = M - 4.0 - 2 \log r^* + 0.63P \text{ (Kaya)} \quad (3)$$

$$r^* = \sqrt{r^2 + \Delta^2}$$

$$\log I_h = M - 3.8 - 2 \log r^* + 0.61P \text{ (Alüvyon)} \quad (4)$$

$$r^* = \sqrt{r^2 + \Delta^2}$$

$$\log I_h = M - 3.4 - 2 \log r^* \text{ (Zayıf zemin)} \quad (5)$$

$$r^* = \sqrt{r^2 + \Delta^2}$$

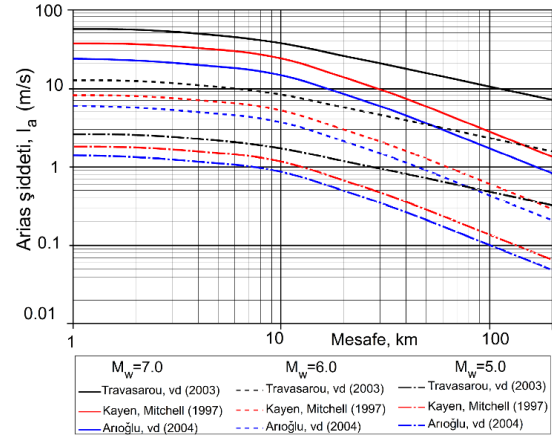
r^* : Fay kırığına en yakın mesafe, P : Aşılma olasılığı, Δ : Odak derinliği

Azalım ilişkilerinin geliştirilmesinde özellikle fayın karakteri ve fay kırığının tek parça veya segmentler şeklinde oluşması önemli rol oynamaktadır. Yüzey kırığının uzunluğu, alanı ve makaslama deformasyonuna göre belirlenen gerilme düşümü ($\Delta\sigma$), [44] tarafından Türkiye verisi değerlendirilerek ortalama 42.3 bar olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, [43] tarafından önerilen ilişki Türkiye verisi dikkate alındığında Eş.6 ile ifade edilir [44]. Gerilme düşümü değerleri Erzincan 1992 depremi için 60 bar, Adana-Ceyhan 1998 depremi için 10 bar, 12 Kasım 1999 Düzce depremi için 70 bar olarak hesaplanmıştır [50]. Global tektonik hatlar ve kıtalar arası, kıta içi, okyanusal kabuk faylanmalarına göre Türkiye'nin içinde bulunduğu kıta içi ve kıta içi transform sınırlar için gerilme düşümü ortalama 35.4 bardır [51].

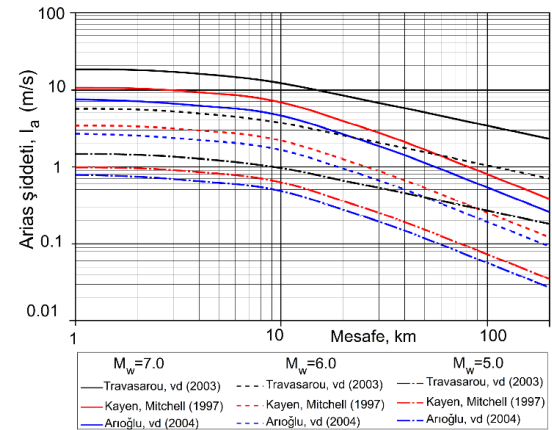
$$\log I_h = M_w - 2 \log R - 4.49; R = \sqrt{L_f^2 + \Delta^2} \quad (6)$$

I_h : Arias şiddeti, L_f : Faya dik uzaklık, Δ : Odak derinliği

Ankara ve çevresindeki depremlerin odak derinlikleri, deprem oluşturan faylara olan dik uzaklıklar ve moment büyüklük değerlerine göre yukarıda verilen eşitlikler sonucunda Arias şiddetinin azalimleri belirlenmiştir. Aletsel dönemde kaydedilen kayıtlarda Eskişehir 2014 depremi haricinde moment büyüklük 5.0 ile 7.4 arasında değişmekte olup, kaya ve zemin koşulları için mesafeye bağlı azalım ilişkileri Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 3: Arias şiddetinin mesafeye bağlı azalımı, zemin koşulları.



Şekil 4: Arias şiddetinin mesafe ile dağılımı, kaya koşulları.

Azalım eşitlikleri belirli alanlara özgü verilerle üretildiğinden, özellikle rezidüellerde büyük farklar çıkabilmektedir. Eşitliklerin istatistiksel formu benzer olsa da, fay karakteristikleri ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak yanılırlar yaşanabilmektedir. KAFZ ve Türkiye'deki diğer önemli diri faylar dikkate alınarak geliştirilen [44] eşitliği ile elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılara göre düşük değerler vermiştir. Bu sonucun elde edilmesinin temel sebebi ise gerilme düşümünün Türkiye verisine göre alınmasıdır. Zemin ve kaya koşullarında Türkiye verisi dikkate alınarak hazırlandığı için [44] eşitliği daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada, Türkiye verisine uyumlu olması açısından [52]'dekine benzer şekilde kaya koşullarında S dalga hızı $V_s \geq 700 \text{ m/s}$, zemin

koşullarında $200 \leq V_s \leq 400$ m/s olarak dikkate alınmıştır. Kütle hareketlerinin tetiklenmesinde Arias şiddeti eşik değeri 0.11 m/s ile 0.32 m/s arasında değişmektedir [4]. Ankara ve çevresi için azalım ilişkilerine göre kaya koşullarında 0.05 m/s, zemin koşullarında ise 0.10 m/s 'lik Arias şiddeti dizayn parametre olarak alınmalıdır.

5 Örnek çalışma

Örnek çalışma olarak Ankara ili batısındaki alüvyon zeminlerin sıvılaşma potansiyeli Arias şiddeti ile belirlenmiştir. Azalım bağıntıları ile belirlenen yüzeydeki Arias şiddetinin (I_h) derinlik azaltma faktörü (r_b) ile çarpılarak derinlikle değişimi elde edilmiştir ($I_{hb,eq}$). Gerilme koşullarının da hesaba katılması amacı ile [53] tarafından önerilen bağıntı kullanılarak (Eş. 7) sıvılaşma için gerekli Arias şiddeti ($I_{hb,l}$) elde edilmiştir.

$$\log(I_{hb,l}) = 1.234 \cdot 10^{-6} (N_{1,60}^{km})^5 - 6.956 \cdot 10^{-5} (N_{1,60}^{km})^4 + 0.001421 (N_{1,60}^{km})^3 - 0.01132 (N_{1,60}^{km})^2 + 0.04162 (N_{1,60}^{km}) - 0.6227 \quad (7)$$

Arias şiddetine göre sıvılaşma potansiyeli olan sondajlardaki seviyeler belirlenmiştir (Tablo 2). Arias şiddetine göre güvenlik sayısı (FOS) 1.0 dan çok az büyük olan seviyelerde SPTN>30 olması halinde dikkate alınmamıştır. Buna göre, sondajlarda 3.00 m, 4.50 m ve 6.00 m derinliklerdeki zeminlerde Arias şiddetine göre sıvılaşma potansiyeli mevcuttur. Bu sonuç, Standart Penetrasyon Testi (SPT) tabanlı sıvılaşma potansiyeli ile de uyumludur.

Tablo 2: Arias şiddetine göre farklı sondajlarda sıvılaşma potansiyeli olan seviyeler ve güvenlik sayıları.

Sondaj	Derinlik m	(N ₁) ₆₀	İTO, %	I _{hb,l} m/s	I _{hb,eq} m/s	FOS
SK1	3.00	10	9	0.112	0.119	0.92
SK2	4.50	13	10	0.090	0.092	0.90
SK6	6.00	17	6	0.108	0.109	0.98

6 Sonuçlar

Bu çalışmada bir çok fay zonunun kesiştiği bölgede yer alan Ankara ili çevresindeki hasar yapıcı depremlerin Arias şiddetleri ve mesafeye bağlı azalımaları belirlenmiştir.

Ankara civarındaki deprem kayıtları incelenerek, kayıtçı istasyonlarındaki kümülatif Arias şiddeti ve enerji boşalım süreleri hesaplanmıştır. Arias şiddeti ile deprem magnitudü ve enerji boşalım süresi arasında direkt bir ilişki elde edilememiştir.

Bala 2007 ve Eskişehir 2014 depremleri Ankara merkez kayıtçı tarafından da kaydedilmiştir. Her iki depremin pik yatay yer ivmesi ve pik Arias şiddetleri yaklaşık 1/100 oranında azalmıştır. Kayıtçıların yerleştirilmiş olduğu zemin koşulları ve ivme kayıt formları dikkate alındığında bu ilişki yeterli değildir. Kayıtlarda ani genlik artışına bağlı olarak anormal Arias şiddetleri belirlenmiş olup, deprem büyüklüğü ve pik ivme ile beraber değerlendirme yapıldığında bu artışlar dikkate alınmamıştır.

Arias şiddetinin mesafeye bağlı azalımını kaya ve zemin koşulları için farklı azalım ilişkileri ile değerlendirilmiştir. Özellikle faylanma öncesi ve sonrasında gerilme farkını ifade eden gerilme düşümü dikkate alındığında, Türkiye verisi esas alınan azalım ilişkisi daha doğru sonuçlar vermiştir.

Çalışmada esas alınan depremlerin olduğu faylara dik uzaklıklara göre, Bala hariç ortalama 100 km lik mesafedeki Arias şiddeti Ankara için kaya ortamda 0.05 m/s, zemin koşulları için 0.10 m/s olarak belirlenmiştir.

Bala depremi Ankara'ya en yakın alanda meydana gelmiş olup, 60 km'lik mesafede Arias şiddeti değerleri diğerlerine göre daha yüksektir. Ankara merkezine en yakın olan Bala kayıtları değerlendirildiğinde tekil Arias şiddeti 0.0195 m/s ile 22.39 m/s arasında, tüm deprem kaydı ve genliklerini içeren kümülatif şiddet değerleri 0.88 m/s ile 800 m/s arasında değişmektedir. 60 km mesafede bu değerler kaya koşullarında 0.089 m/s ile 0.22 m/s arasındadır.

Bu çalışmada elde edilen Arias şiddet değerleri Türkiye için önerilen bölgelendirme ile uyumludur. Sahaya özgü sıvılaşma ve sismik şev duraylılığı çalışmalarında kullanılabilecek olmasına rağmen, kayıtçı istasyonundaki yerel jeoloji, S dalga hızı gibi veriler olmadan değerlendirme yapmak hatalı sonuçlara neden olabilecektir. Sismik tehlike çalışmalarında magnitud ve pik ivme ile beraber değerlendirilmesi önerilir.

7 Kaynaklar

- [1] Arias A. *A Measure of Earthquake Intensity*. Editor: Hansen, R.J. Seismic Design for Nuclear Power Plants, 438-483, Cambridge, Massachusetts, USA, MIT Press, 1970.
- [2] Kayen RE, Mitchell JK. "Assessment of liquefaction potential during earthquakes by Arias Intensity". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 123(12), 1162-1174, 1997.
- [3] Liang L. Development of an Energy Method for Evaluating the Liquefaction Potential of a Soil Deposit. PhD Dissertation, Case Western Reserve University, Ohio, USA, 1995.
- [4] Harp EL, Wilson RC. "Shaking intensity thresholds for rock falls and slides: evidence from 1987 Whittier Narrows and Superstition Hills earthquake strong-motion records". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(6), 1739-1757, 1995.
- [5] Egan JA, Rosidi D. "Assessment of earthquake-induced liquefaction using ground-motion energy characteristics." *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 1-5 May, 1991.
- [6] Romeo R. "Seismically induced landslide displacements: a predictive model". *Engineering Geology*, 58, 337-51, 2000.
- [7] Green RA, Mitchell JK. "A closer look at Arias intensity-based liquefaction evaluation procedures". *2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, 13-15 February 2003.
- [8] Jibson RW. "Regression models for estimating coseismic landslide displacements." *Engineering Geology*, 91(2-4), 209-218, 2007.
- [9] Mahdaviyar M, Jafari MK, Zolfaghari MR. "The attenuation of Arias Intensity in Alborz and Central Iran". *The 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, Iran, 13-16 May 2007.
- [10] Kadirioğlu FT, Kartal RF. "The new empirical magnitude conversion relations using an improved earthquake catalogue for Turkey and its near vicinity (1900-2012)". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 300-310, 2016.
- [11] Şengör AMC. *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları*. Ankara, Türkiye, Jeoloji Kurumu Yayını, 1980.

- [12] Koçyiğit A. "Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri uygulamalı çalışma". *Türkiye Petrol Jeologları*, 5(Özel Sayı), 1-26, 2000.
- [13] Esat K, Çıvgın B, Kaypak B, Işık V, Ecevitoglu B, Seyitoğlu G. "The 2005-2007 Bala (Ankara, Central Turkey) earthquakes: a case study for strike-slip fault terminations". *Geologica Acta*, 12(1), 71-85, 2014.
- [14] Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A. "Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremselliği". MTA Rapor No: 8174, Ankara, Türkiye, 1987.
- [15] Beekman, EH. "The Pliocene and Quaternary volcanism in the Hasandağ-Melendizdağ region". *MTA Bulletin*, 66, 90-105, 1966.
- [16] Koçyiğit A. "Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW Central Anatolia)". *TPJD Bülteni*, 3(1), 43-55, 1991.
- [17] Seyitoğlu G, Ecevitoglu BG, Kaypak B, Güney Y, Tün M, Esat K, Avdan U, Temel A, Çabuk A, Telsiz S, Aldaş Uyar GG. "Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 1-20, 2015.
- [18] Barka A. "The 17 August 1999 Izmit earthquake". *Science*, 285, 1858-1859, 1999.
- [19] Reilinger RE, Ergintav S, Bürgmann R, McClusky S, Lenk O, Barka A, Gurkan O, Hearn L, Feigl KL, Cakmak R, Aktug N, Ozener H, Toksöz MN. "Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999 M=7.5, Izmit, Turkey earthquake". *Science*, 289, 1519-1524, 2000.
- [20] Stein RSA, Barka, B, Dieterich JH. "Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering". *Geophysics Journal International*, 128, 594-604, 1997.
- [21] Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu I. "Türkiye Diri Fay Haritası". http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/dirifay_son (15.06.2018).
- [22] Seyitoğlu G, Kazancı N, Karadenizli L, Şen Ş, Varol B, Karabıykoğlu T. "Rockfall avalanche deposits associated with normal faulting in the NW of Çankırı Basin: Implications for the postcollisional tectonic evolution of the Neo-Tethyan suture zone". *Terra Nova*, 12, 245-251, 2000.
- [23] Seyitoğlu G, Aktuğ B, Karadenizli L, Kaypak B, Şen Ş, Kazancı N, Işık V, Esat K, Parlak O, Varol B, Saraç G, İleri İ. "A late Pliocene-Quaternary pinched crustal wedge in NW central Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian plate". *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52(1), 121-154, 2009.
- [24] Ambraseys NN, Finkel C. "Seismicity of Turkey and neighbouring regions, 1899-1915". *Annales Geophysicales*, B, 701-726, 1987.
- [25] Özmen B, Kocafe S. "The seismicity and earthquake hazard of Ankara". *International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management, METU*, Ankara, Turkey, 10-12 March, 1999.
- [26] Arni P. "Kırşehir, Keskin ve Yerköy arasındaki havalide vukua gelen zelzele". *MTA Bülteni*, 1, 5-58, 1938.
- [27] Ergünay O. "Sismik tehlike ve risk açısından Ankara'ya genel bir bakış". *Yerbilimleri Açısından Ankara'nın Sorunları Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 12-14 Aralık 1978.
- [28] Kocafe SS. Batı Anadolu Aktüel Tektoniği ve Ege-Anadolu Plakacıkları Arası Yapısal İlişkinin Saptanması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1981.
- [29] Demirtaş R, İravul Y, Erkmen C, Barani B, Yaman M, Baykal M, Kılıç T. "06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi". *JMO Haber Bülteni*, 1-15, 2000.
- [30] Özden S, Kavak KŞ, Koçbulut F, Över S, Temiz H. "3 Şubat 2002 Çay (Afyonkarahisar) depremleri". *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45(2), 49-56, 2002.
- [31] Maden Tetkik Arama Enstitüsü. "27 Aralık 2007 Bala (Ankara) Depremi Bilgi Notu". Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü. Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [32] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. "Deprem Kataloğu". <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> (15.07.2018).
- [33] Hwang H, Chiu YH, Chen WY, Chen YC, Shih BJ, Liu PS. "Damage analysis of Taichung gas pipelines resulting from the Chi-Chi Taiwan earthquake". Technical Report, Center for Earthquake Research and Information, Memphis: The University of Memphis, 78, 2002.
- [34] Campbell KW, Bozorgnia Y. "A comparison of ground motion prediction equations for Arias Intensity and cumulative absolute velocity developed using a consistent database and functional form". *Earthquake Spectra*, 28(3), 931-941, 2012.
- [35] Kramer SL, Mitchell RA. "Ground motion intensity measures for liquefaction hazard evaluation". *Earthquake Spectra*, 22(2), 413-438, 2006.
- [36] Bradley BA. "Correlation of Arias Intensity with amplitude, duration and cumulative intensity measures". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 78, 89-98, 2015.
- [37] Wang T, Wu SR, Shi JS, Xin P, Wu LZ. "Assessment of the effects of historical strong earthquakes on large-scale landslide groupings in the Wei River midstream". *Engineering Geology*, 235, 11-19, 2018.
- [38] Urzúa A, Christian JT, Silva R, Bonani A "Rational selection of critical acceleration factors for sliding stability". *Engineering Geology*, 183, 241-246, 2014.
- [39] Abrahmatov K, Havenith HB, Delvaux D, Jongmans D, Trefois P. "Probabilistic PGA and Arias Intensity maps of Kyrgyzstan (Central Asia)". *Journal of Seismology*, 7, 203-220, 2003.
- [40] Bayrak Y, Çınar H, Öztürk S, Karslı H "Aletsel dönem deprem kataloğu kullanılarak Türkiye için hesaplanan Arias şiddeti haritaları". 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [41] Travarasou T, Bray JD, Abrahamson NA. "Empirical attenuation relationship for Arias Intensity". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(7), 1133-1155, 2003.
- [42] Rodriguez-Marek A, Bray JD, Abrahamson NA. "An empirical geotechnical seismic site response procedure". *Earthquake Spectra*, 17, 65-87, 2001.
- [43] Arioglu E, Arioglu B, Girgin C. "Arias şiddeti ile sıvılaşma analizi". *Beton Fabrikasyon*, Sayı 65-66, 11-19, 2003
- [44] Wilson RC. "Relation of Arias Intensity to magnitude and distance in California". California, USA, USGS Report, 93-556, 1993.

- [45] Siyahi BG, Altaç Z. "Sıvılaşma potansiyelinin tahmininde Arias Şiddeti yöntemi: Kocaeli (17 Ağustos 1999) ve Düzce (12 Kasım 1999) Depremleri". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 3-6 Ekim 2000.
- [46] Hwang H, Lina CK, Yehb YT, Chengb SN, Chen KC. "Attenuation relations of Arias intensity based on the Chi-Chi Taiwan earthquake data". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 509-517, 2004.
- [47] Danciu L, Tselentis GA. "Engineering ground-motion parameters attenuation relationships for Greece". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(B), 162-183, 2007.
- [48] Stafford PJ, Berrill JB, Pettinga JR. "New predictive equations for Arias intensity from crustal earthquakes in New Zealand". *Journal of Seismology*, 1(3), 31-52, 2009.
- [49] Rajabi AM, Khamsehchiyan M, Mahdaviifar MR, DelGaudio C. "Attenuation relation of Arias intensity for Zagros Mountains region (Iran)". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 110-118, 2010.
- [50] Konstantinou KI, 2014. "Moment magnitude-rupture area scaling and stress-drop variations for earthquakes in the Mediterranean region". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(5), 1-9, 2014.
- [51] Allmann BP, Shearer PM. "Global variations of stress drop for moderate to large Earthquakes". *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-22, 2009.
- [52] Gülkan P, Kalkan E. "Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey". *Journal of Seismology*, 6(3), 397-409, 2002.
- [53] Green RA. "Energy-Based evaluation and remediation of liquefiable soils". PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2001.