



## A New Strong-Ground Motion Attenuation Relationship for the Middle Part of North Anatolian Fault Zone (NAFZ)

Aleyna Gencoglu<sup>1</sup> and Nilgun Sayil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Technical University, Geophysical Engineering Department, Trabzon-Turkey  
ORCID: 0000-0002-2686-6473

### Keywords

Attenuation relationship, Strong ground motion, Earthquake Hazard, NAFZ

### Highlights

- \* A new strong-ground motion attenuation relationship
- \* Dynamic characteristics of the faulting zone
- \* Relation of PGA values with stress drop, seismic moment

### Acknowledgements

Earthquake Department of the Disaster and Emergency Management (AFAD) Presidency of Turkey

### Aim

Developing a new strong-ground motion attenuation relationship by using peak acceleration values

### Location

Middle part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ)

### Methods

Multiple regression analysis was performed for the whole data set which include 63 earthquake records

### Results

PGA behaviour for the middle section of the NAFZ was determined. Attenuation relationship by adding new parameters such as soil characteristics, seismic moment and stress drop as well as distance and magnitude has been determined from 63 events (208 horizontal components of event magnitudes  $3.5 \leq M_w < 7.5$  at stations less than 200 km).

### Supporting Institutions

Karadeniz Technical University

### Manuscript

Research Article

Received: 04.05.2019

Revised: 13.05.2019

Accepted: 16.05.2019

Printed: 30.06.2019

### DOI

doi.

### Corresponding Author

Nilgun Sayil

Email: sayil@ktu.edu.tr

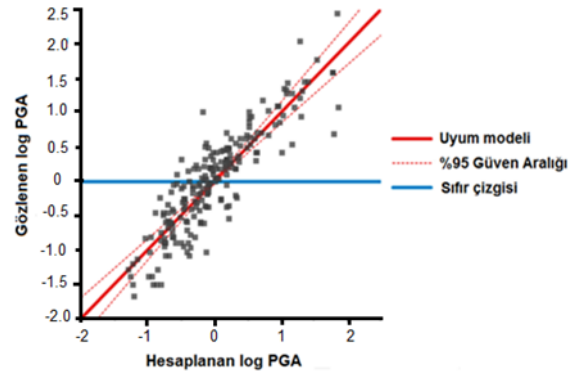


Figure  
Accordance of observed and calculated PGA values with 95% confidence interval

### How to cite:

Gencoglu A., Sayil N., 2019. A New Strong-Ground Motion Attenuation Relationship for the Middle Part of North Anatolian Fault Zone (NAFZ), Turk. J. Earthq. Res. 1 (1), 1-14



## Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Orta Kesimi İçin Yeni Bir Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi

Aleyna Gençođlu<sup>1</sup> ve Nilgün Sayıl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon-Türkiye  
ORCID: 0000-0002-2686-6473

### ÖZET

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) orta kesimi için 63 adet deprem kaydının 208 yatay bileşendeki pik yer ivmesi (PGA) değeri kullanılarak yeni bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Şimdiye kadar tanımlanan azalım ilişkilerinde, kullanılan magnitüd ve episantr uzaklığının yanı sıra yerel zemin koşullarının etkisi ile faylanma bölgesinin dinamik özelliklerini tanımlayan sismik moment ve gerilme düşümü gibi yeni parametreler eklenmiştir. Azalım ilişkisinin 0.35'lik standart sapma ve 0.89'luk ilişki katsayısı ile Log-normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan depremler için hesaplanan sismik moment değerleri 21.34 - 24.64 dyn.cm, gerilme düşümü değerleri ise 19.59 - 23.58 bar aralığında hesaplanmıştır. Geliştirilen azalım ilişkisi bağıntısında PGA değerlerinin gerilme düşümü ve sismik moment ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Azalım ilişkisi, Kuvvetli yer hareketi, Deprem tehlikesi, KAFZ

### Öne Çıkanlar

- \* Yeni bir kuvvetli yer hareketi azalım ilişkisi
- \* Fay zonunun dinamik özellikleri
- \* PGA değerlerinin gerilme düşümü ve sismik momentle ilişkisi

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.05.2019  
Düzeltilme: 13.05.2019  
Kabul: 16.05.2019  
Basım: 30.06.2019

### DOI

doi.

### Sorumlu yazar

Nilgün Sayıl  
Eposta: sayil@ktu.edu.tr

## A New Strong-Ground Motion Attenuation Relationship for the Middle Part of North Anatolian Fault Zone (NAFZ)

Aleyna Gencoglu<sup>1</sup> and Nilgun Sayil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Technical University, Geophysical Engineering Department, Trabzon-Turkey  
ORCID: 0000-0002-2686-6473

### ABSTRACT

In this study, a new strong-ground motion attenuation relationship has been developed for the middle part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) by using peak ground acceleration (PGA) values on 208 horizontal components of the 63 earthquake records. In addition to the magnitude and epicenter distance used in the relations described so far, new parameters such as seismic moment and strain drop, which define the dynamic characteristics of the faulting zone, have been added together with the effect of local soil conditions. It was determined that the attenuation relationship is coherent with log-normal distribution considering the standard deviation of 0.35 and a correlation coefficient of 0.89. Calculated seismic moment values for earthquakes were found between values of 21.34 - 24.64 dyn.cm, and the stress drop values were computed between 19.59 and 23.58 bar in the present study. PGA values were directly related to stress drop and seismic moment in the developed attenuation relationship.

### Keywords

Attenuation relationship, Strong ground motion, Earthquake Hazard, NAFZ

### Highlights

- \* New strong-ground motion attenuation relationship
- \* Dynamic characteristics of the faulting zone
- \* Relation of PGA values with stress drop, seismic moment

### Manuscript

Research Article

Received: 04.05.2019  
Revised: 13.05.2019  
Accepted: 16.05.2019  
Printed: 30.06.2019

### DOI

doi.

### Corresponding Author

Nilgun Sayil  
Email: sayil@ktu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yıkıcı bir depremden hemen sonra magnitüd ve episantr bilgisi belirlense de hasar dağılımı yalnızca bu iki parametreden oluşan basit bir işlem değildir. Bu nedenle tehlikeli alanda kuvvetli yer hareketi (ivme) azalım ilişkisi dağılımını tanımlamak gerekir ve bu dağılımları hesaplayabilmek için ivme azalım ilişkilerine ihtiyaç vardır. Azalım ilişkileri, depremin magnitüdü, uzaklığı, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak kuvvetli yer hareketinin farklı parametrelerinin medyan ve standart sapmalarını veren, log-normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen deneysel bir tanımlamadır.

Dünya genelinde farklı bölgeler için geçerli olan 120' den fazla ivme azalım ilişkisi bağıntıları (sönüm denklemleri) geliştirilmiştir (Tablo 1). Bu bağıntılar farklı deprem bölgeleri ve fay tipleri ile levha içi veya levhalar arası için türetilmiştir. Ayrıca, veri seçim kriterleri farklılık göstermektedir ve bazıları sadece kaya veya sert toprak gibi tek bir zemin tipiyle ilgilidir. Örneğin, Amerika'nın kuzeybatısındaki sığ depremler için Boore ve diğ. (1997) tarafından geliştirilen bağıntıda pik yatay ivme PGA ya da yatay spektral ivme PSA (Y), moment magnitüdü ( $M_w$ ), istasyondan çalışma alanına en yakın yatay uzaklık ( $r_{jb}$ ), derinlik (h), kayma dalga hızı ( $V_s$ ) ve kuramsal kayma dalga hızı ( $V_A$ ) parametreleri kullanılmıştır. Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından geliştirilen bağıntıda en büyük yatay yer ivmesi (A), episantr uzaklığı (R) ve yüzey dalgası magnitüdü ( $M_S$ ) yer almıştır. Ambraseys ve diğ. (1996), küçük episantr uzaklığı için tahmini derinlik ( $h_0$ ) değerini; Amrahamson ve Silva (1997) ile Sadigh ve diğ. (1997), kırılma alanının yüzeydeki izdüşümüne en yakın mesafeyi ( $r_{rup}$ ); Ambraseys ve diğ. (2005), iç merkez uzaklığını ( $R_{hyppo}$ ) dikkate almışlardır.

Tablo 1: Dünyada geliştirilen azalım ilişkileri

Azalım İlişkileri		
Fukushima ve Tanaka (1990)	$\log A = 0,41 * M_S - \log(R + 0,032 * 10^{0,41 * M_S}) - 0,0034R - 1,69 \pm 0,21$	
Ambraseys ve diğ. (1996)	$\log(Y) = C_1 + C_2 M + C_4 \log(r) + C_A S_A + C_S S_S$	$r = (d^2 + h_0^2)^{1/2}$
Abrahamson ve Silva (1997)	$\ln Sa(g) = f_1(M, r_{rup}) + F. f_3(M) + HW. f_4(M, r_{rup}) + S. f_5(PGA_{rock})$	
Sadigh ve diğ. (1997)	$\ln Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 (8.5 - M_w)^{2.5} + c_4 \ln(r_{rup} + e^{(c_5 + c_6 M_w)}) + c_7 \ln(r_{rup} + 2)$	
Boore ve diğ. (1997)	$\ln Y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_s/V_A)$	$r = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$
Ambraseys ve diğ., 2005	$\log_{10} Y = a + bM + (c + dM) \log_{10} R_{hyppo} + S_{1,2}$	

Türkiye'de 1999 yılından meydana gelen İzmit ve Düzce depremlerinden önce yeterli sayıda kaydedilmiş ivme verisi olmadığından bölge için önemli bir azalım ilişkisi geliştirilememiştir. Ancak, bu tarihten sonra zemin dinamiği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı gibi çalışmalarda kullanılan deprem parametrelerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesi gerektiğini vurgulayan yasa ve yönetmelikler çıkarılmıştır. Ülkemizdeki azalım ilişkisi çalışmaları (Aydın ve diğ. 1996, İnan ve diğ. 1996, Gulkan ve Kalkan 2002, Kalkan ve Gülkan 2002, Özbey ve diğ. 2003, Ulusay ve diğ. 2004, Çeken 2007, Ulutas ve Ozer 2010, Akkar ve Cagnan, 2010 ve Sandikkaya ve Akkar 2016) da bu tarihten sonra gelişerek artmıştır. Ulusay ve diğ. (2004) tarafından önerilen azalım ilişkisi modelinde parametre olarak moment magnitüdü ( $M_w$ ), episantr uzaklığı ( $5 \leq Re \leq 100$  km), zemin sınıfı katsayı

göstergeleri ( $S_A$ ,  $S_B$ ) ve en geniş maksimum yatay pik ivme değeri ( $PGA \geq 20gal$ ) kullanılmıştır. Beyaz (2004), en büyük yatay yer ivmesi ( $A$ ), episantır uzaklığı ( $R$ ) ve  $M_w$  kullanarak azalım ilişkisi geliştirmiştir. Ulutas ve Ozer (2010) tarafından pik yatay yer ivmesi ( $A$ ),  $M_w$ , yırtılma alanının yüzey projeksiyonuna en yakın mesafesini ( $r_{rup}$ ) kullanarak azalım ilişkisi önerilmiştir.

Kuvvetli yer hareket çalışmalarının esas amacı, daha önce oluşmuş depremlerin faylanma mekanizmalarını ve bu mekanizmaya etkiyen parametreleri özellikleriyle birlikte tanımlayarak, gelecekte oluşması beklenen depremlerin meydana getireceği kuvvetli yer hareketi parametrelerinin tahmin edilmesidir. Fayın tipi, depremin odak derinliği ve yinelenme zamanı kuvvetli yer hareketinin genliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler incelenerek, kaynaktaki gerilme (stres) durumu veya depremle birlikte gerilmelerin değişimi üzerine bilgilere ulaşmak mümkündür.

Deprem ivmesi depremin ne kadar büyüklükte ve ne kadar hızla sarsılabileceğini hesaplamada kullanılan bir parametredir (Bindi ve diğ. 2007) ve bu ivme değerleri kuvvetli bir biçimde gerilme düşümü değişimlerinden etkilenmektedir. Sismik moment parametresi ise deprem kaynağının fiziği ile doğrudan ilgili deprem büyüklüğünün ölçüsü olup, faylanma sırasındaki ortalama öteleme miktarı ve gerilme düşümü ile de ilişkilidir. Bu nedenlerle bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) orta kesimi için şimdiye kadar tanımlanan bağıntılar dışında yerel zemin şartları ile sismik moment ve gerilme düşümü gibi farklı parametreler eklenerek yeni bir azalım ilişkisi elde edilmesi hedeflenmiştir.

## 2. VERİ

Bu çalışmada ivme kayıtlarının magnitüd, uzaklık, sismik moment, gerilme düşümü ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonu olarak, KAFZ'nin orta kesimi için yeni ve güncel bir azalım ilişkisinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, 1976 - 2018 tarihleri arasında,  $39^\circ - 41^\circ$  K enlem ve  $35^\circ - 38^\circ$  D boylamları arasında kalan bölgenin deprem etkinliği kuvvetli yer hareketi kayıtları ile incelenmiştir. Regresyon analizi için magnitüdü  $3.5 \leq M_w < 7.5$  aralığında olan 63 depremin kaynak-alan mesafesi 200 km ye kadar olan 208 istasyonda kaydedilen PGA değerleri kullanılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD 2018)' dan sağlanmış ve bu depremlerin episantırları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Azalım ilişkisinin geliştirilmesinde kullanılan depremlerin episantırları ve çalışma alanı

Kullanılan kayıtlarda depremlerin magnitüdüleri çoğunlukla süre magnitüdü ( $M_d$ ) olmak üzere lokal magnitüdü ( $M_L$ ),  $M_S$  ve  $M_w$  içermektedir. Günümüzde moment magnitüdüünün deprem büyüklükleri için tercih edilen ölçek olması ve çoğu araştırmacının da  $M_w$  ölçeğini kullanması nedeniyle azalım ilişkisinin geliştirilmesinde magnitüdü türü olarak  $M_w$  kullanılmıştır. Veri setindeki tüm magnitüdülerin homojen hale getirilmesinde Aydın (2016) tarafından Türkiye geneli için 1900-2016 yılları arasında oluşan magnitüdü  $M \geq 3.5$ 'den büyük depremler (5000 adet) kullanılarak geliştirilen dönüşüm bağıntıları kullanılmıştır. Azalım ilişkisinin oluşturulmasında kullanılan depremlere ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

*Tablo 2: Azalım ilişkisinin oluşturulmasında kullanılan depremlere ve istasyonlara ait bilgiler ( $M_w$ : Moment büyüklüğü,  $R$ : Episantr uzaklığı,  $PGA$ : Pik yer ivmesi,  $M_0$ : Sismik moment,  $\Delta\sigma$ : Gerilme düşümü)*

Tarih (gün/ay/yıl)	Oluş zamanı (saat:dak:sn)	Enlem (°K)	Boylam (°D)	$M_w$	R (km)	PGA (cm/sn <sup>2</sup> )	Log $M_0$ (dyn.cm)	Log $\Delta\sigma$ (bar)	Istasyon Kodu	Zemin Sınıfı
12.02.1992	15:55:11.00	40.58550	35.83320	4.6	9	37.09	23.00	21.66	AMS	C
17.03.1996	14:12:55.20	40.69930	35.37400	4.4	41	10.00	22.69	21.73	AMS	C
17.03.1996	14:12:55.20	40.69930	35.37400	5.7	48	27.00	24.64	23.53	AMS	C
14.08.1996	01:55:02.70	40.74610	35.29650	5.7	49	15.65	24.64	23.53	TKT	D
14.08.1996	01:55:02.70	40.74610	35.29650	5.7	119	10.50	24.64	19.59	OSM	D
14.08.1996	01:55:02.70	40.74610	35.29650	4.1	45	2.50	22.24	23.58	TKT	D
14.08.1996	02:25:56.40	40.79120	35.35060	5.6	48	20.00	24.49	23.58	AMS	C
14.08.1996	02:59:40.50	40.78290	35.30610	5.6	120	15.00	24.49	22.25	AMS	C
14.08.1996	02:59:40.50	40.78290	35.30610	5.8	65	8.50	21.79	22.25	AMS	C
14.08.1996	02:59:40.50	40.78290	35.30610	5.8	121	7.00	21.79	19.59	AMS	C
14.08.1996	03:01:03.70	40.41180	35.15920	4.1	48	2.00	22.24	19.59	AMS	C
14.08.1996	03:01:03.70	40.41180	35.15920	4.1	42	2.00	22.24	23.53	AMS	C
14.08.1996	12:04:08.80	40.84690	35.33020	3.7	53	1.00	24.64	19.59	AMS	C
14.08.1996	16:58:20.20	40.76310	35.37020	4.1	34	1.50	22.24	23.53	AMS	C
15.08.1996	01:59:59.74	40.82660	35.26460	3.7	50	1.50	24.64	21.64	TKT	D
15.08.1996	04:57:53.10	40.71110	35.44890	3.9	41	2.00	21.94	22.02	TKT	D
15.08.1996	15:42:07.30	40.73550	35.27170	4.3	41	6.00	22.54	19.59	AMS	C
19.08.1996	04:47:13.10	40.65590	35.37040	4.1	41	2.00	22.24	21.48	TKT	D
20.08.1996	03:32:14.40	40.73870	35.37240	4.2	46	1.50	22.39	21.65	TKT	D
21.08.1996	02:17:55.20	40.82130	35.40690	4.3	49	3.00	22.54	22.14	TKT	D
09.09.1996	06:05:14.50	40.76240	35.32040	4.7	59	3.00	23.14	22.41	AMS	C
22.11.1996	11:59:50.50	40.76910	35.29290	5.2	42	21.00	23.89	21.65	TKT	D
01.12.1996	16:33:49.90	40.47620	37.22320	3.9	38	2.50	22.54	23.53	TKT	D
28.02.1997	00:03:52.30	40.73340	35.36210	3.7	42	3.00	24.64	21.64	AMS	C
28.02.1997	00:03:52.30	40.73340	35.36210	3.9	51	1.50	21.94	23.53	TKT	D
28.02.1997	00:03:52.30	40.73340	35.36210	3.7	7	9.00	24.64	23.53	TKT	D
01.03.1997	16:31:42.70	40.72000	35.40000	3.7	32	1.50	24.64	23.14	TKT	D
06.03.1997	12:47:42.50	40.73380	35.36770	4.9	96	4.11	23.44	20.99	TKT	D
12.01.1998	19:46:22.00	40.77610	35.25960	4.4	95	1.09	22.69	21.73	TKT	D
31.05.1998	07:05:44.20	40.60560	35.82960	4.5	35	4.88	22.84	21.07	TKT	D
20.07.1998	20:14:56.59	40.81630	36.17850	4.2	7	58.00	22.39	23.53	AMS	C

Gencoglu and Sayil / Turkish Journal of Earthquake Research 1 (1), 1-14, June 2019

11.06.1999	05:25:18.57	39.46500	36.56200	3.7	8	22.00	24.64	23.08	AMS	C
11.06.1999	05:44:12.09	39.48900	36.74800	5	66	2.50	23.59	23.08	AMS	C
03.05.2001	06:10:22.99	40.63400	36.66100	5	11	4.78	23.59	23.53	COR	D
03.05.2001	06:10:22.99	40.63400	36.66100	3.7	8	2.51	24.64	21.64	COR	D
27.09.2003	06:10:02.20	40.66800	35.20700	3.9	30	1.52	21.94	23.53	RES	C
07.05.2004	19:34:25.21	40.60360	35.87710	3.7	69	1.22	24.64	23.53	KYHSR	B
29.06.2006	03:20:16.91	40.60100	35.81260	3.7	29	1.06	24.64	23.53	RES	D
02.04.2010	23:47:12.45	40.44530	35.81720	3.7	14	4.88	24.64	21.79	NKSR	C
05.04.2010	07:37:16.11	40.49100	35.04930	4	9	11.59	22.09	20.99	TKT	D
05.04.2010	07:37:16.11	40.49100	35.04930	4.4	36	3.30	22.69	20.99	AMS	D
03.07.2012	01:00:51	40.49520	35.01030	4.4	25	6.55	22.69	20.99	LADIK	C
02.01.2013	23:20:45	40.57200	37.06580	4.4	36	8.19	22.69	21.64	ERBAA	D
27.02.2013	22:14:20	40.58350	37.09870	3.9	30	0.28	21.94	21.64	GYNC	C
27.02.2013	22:14:20	40.58350	37.09870	3.9	8	26.25	21.94	23.53	AMS	D
27.02.2013	22:14:20	40.58350	37.09870	3.7	60	0.29	24.64	23.53	OSMNCK	D
07.03.2013	16:20:08	40.29550	36.45900	3.7	44	0.50	24.64	23.53	GYNC	C
25.03.2013	21:50:58	40.81470	36.16930	3.7	70	0.18	24.64	23.53	AMS	D
25.03.2013	21:50:58	40.81470	36.16930	3.7	21	2.32	24.64	23.53	ERBAA	D
25.03.2013	21:50:58	40.81470	36.16930	3.7	52	0.30	24.64	23.53	RES	C
27.04.2013	12:53:26	40.57000	35.78470	3.7	12	2.50	24.64	23.53	NKSR	D
27.04.2013	12:53:26	40.57000	35.78470	3.7	26	1.91	24.64	23.53	TKT	D
01.05.2013	23:58:55	40.46350	35.01020	3.7	61	0.26	24.64	23.53	RES	C
01.05.2013	23:58:55	40.46350	35.01020	3.7	17	3.21	24.64	23.53	ERBAA	D
01.05.2013	23:58:55	40.46350	35.01020	3.7	25	1.79	24.64	23.58	NKSR	B
06.06.2013	22:57:02	40.63850	36.80080	3.6	9	4.63	24.49	23.58	KYHSR	B
06.06.2013	22:57:02	40.63850	36.80080	3.6	20	0.40	24.49	23.58	SUHRI	C
06.06.2013	22:57:02	40.63850	36.80080	3.6	47	0.16	24.49	21.79	ZARA	D
24.07.2013	13:51:32	40.55600	36.64330	3.9	41	0.54	22.09	21.79	AMS	C
24.07.2013	13:51:32	40.55600	36.64330	3.9	8	3.41	22.09	21.64	TKT	D
24.07.2013	13:51:32	40.55600	36.64330	3.9	35	0.42	21.94	21.64	NKSR	C
24.07.2013	13:51:32	40.55600	36.64330	3.9	37	2.72	21.94	21.64	RES	C
04.08.2013	20:55:46	40.29170	37.93570	3.9	77	0.11	21.94	21.64	TRHAL	D
04.08.2013	20:55:46	40.29170	37.93570	3.9	78	0.38	21.94	21.64	KYHSR	D
04.08.2013	20:55:46	40.29170	37.93570	3.9	122	0.03	21.94	23.53	GYNC	C
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	19	3.53	24.64	23.53	COR	D
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	34	0.62	24.64	23.53	GYNC	C
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	39	0.24	24.64	23.53	RES	C
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	41	0.62	24.64	23.53	TKT	D
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	46	0.76	24.64	22.25	SVS	C
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.8	38	0.86	21.79	23.53	TRHAL	D
01.11.2013	23:24:41	40.53030	36.95430	3.7	20	2.29	24.64	23.53	TRHAL	D
10.12.2013	13:18:27	40.52650	35.15750	3.7	84	0.24	24.64	23.53	NKSR	C
10.12.2013	13:18:27	40.52650	35.15750	3.7	56	0.83	24.64	23.53	ERBAA	D
02.01.2014	17:20:55	40.15680	36.98820	3.7	39	0.25	24.64	23.53	GYNC	C

Gencoglu and Sayil / Turkish Journal of Earthquake Research 1 (1), 1-14, June 2019

02.01.2014	17:20:55	40.15680	36.98820	3.7	42	1.59	24.64	23.53	LADIK	C
02.01.2014	17:20:55	40.15680	36.98820	3.7	78	0.44	24.64	23.53	VZRKP	D
20.02.2014	00:48:54	40.06750	35.64800	3.7	17	4.14	24.64	23.53	AMS	D
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	3.7	57	0.48	24.64	23.53	TKT	D
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	3.7	85	0.08	24.64	21.48	COR	D
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	100	0.97	22.39	21.48	KMALIYE	D
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	88	0.36	22.39	21.48	HKMHN	B
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	145	0.12	22.39	21.48	KEMAH	B
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	193	0.03	22.39	21.48	POT	B
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	176	0.24	22.39	21.48	RES	C
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	104	0.08	22.39	21.48	RES	C
01.05.2014	15:57:00	40.53400	35.93850	4.2	44	0.60	22.39	21.48	SVS	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	4.2	81	1.18	22.39	21.79	GURUN	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	4	60	0.69	22.09	21.79	SVS	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	4	60	0.41	22.09	21.79	ALMUS	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	4	76	0.48	22.09	23.58	CKR	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	3.6	33	0.91	24.49	23.58	TKT	D
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	3.6	73	0.14	24.49	23.58	ERBAA	D
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	3.6	59	0.76	24.49	23.58	SVS	C
23.06.2014	07:36:09	39.45500	37.35210	3.6	53	0.19	24.49	23.58	ALMUS	C
23.06.2014	10:13:09	40.00000	36.38910	3.6	79	0.13	24.49	23.58	CKR	C
23.06.2014	10:13:09	40.00000	36.38910	3.6	69	0.34	24.49	23.58	VZRKP	D
23.06.2014	10:13:09	40.00000	36.38910	3.6	32	0.24	24.49	23.58	GYNC	C
23.06.2014	10:13:09	40.00000	36.38910	3.6	45	0.12	24.49	23.58	MRZ	C
11.11.2014	22:20:04	40.05130	36.43260	3.6	31	0.09	24.49	23.58	AMS	D
11.11.2014	22:20:04	40.05130	36.43260	3.6	74	0.12	24.49	23.58	SNP	D
11.11.2014	22:20:04	40.05130	36.43260	3.6	156	0.05	24.49	23.58	TRHAL	D
11.11.2014	22:20:04	40.05130	36.43260	3.6	93	0.03	24.49	23.58	SMN	D
11.11.2014	22:20:04	40.05130	36.43260	3.6	69	0.26	24.49	23.58	TKT	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	46	0.25	24.49	23.58	MCOZU	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	61	0.15	24.49	23.58	GHKOY	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	41	0.81	24.49	23.58	TKT	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	62	0.15	24.49	23.58	RES	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	79	0.17	24.49	23.58	SMN	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	76	0.33	24.49	23.58	AMS	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	72	0.37	24.49	23.58	LADIK	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	33	1.52	24.49	23.58	TSOVA	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	3.6	38	0.66	24.49	21.74	ALMUS	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	23	26.99	23,44	21.74	NKSR	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	40	11.99	23.44	21.74	NKSR	C
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	10	272.32	23.44	21.74	TKT	D
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	106	2.87	23.44	21.74	KYHSR	B
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	61	4.06	23.44	21.74	TRHAL	B
03.10.2015	02:09:03	40.57610	35.80680	4.9	70	8.62	23.44	21.74	LADIK	C

Gencoglu and Sayil / Turkish Journal of Earthquake Research 1 (1), 1-14, June 2019

09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	134	0.52	23.44	21.74	SUHRI	C
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	107	1.78	23.44	21.74	SVS	C
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	63	1.95	23.44	21.74	RES	C
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	161	3.15	23.44	21.74	OSMNCK	D
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	105	1.60	23.44	21.74	MRZ	C
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	114	2.61	23.44	21.74	VZRKP	D
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	148	0.80	23.44	21.74	COR	D
09.10.2015	03:31:37	40.67880	36.70060	4.9	38	12.31	23.44	21.74	ALMUS	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	32	18.36	23.44	21.74	TSOVA	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	126	1.84	23.44	21.74	GHKOY	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	91	1.49	23.44	21.74	HAZVA	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	121	1.04	23.44	21.74	CKR	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	91	0.56	23.44	21.74	YZELI	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	148	1.36	23.44	21.74	SKISLA	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	126	1.49	23.44	21.74	ZARA	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	118	0.87	23.44	21.74	MCOZU	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	79	3.99	23.44	21.74	SMN	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	103	1.21	23.44	21.74	GYNC	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	225	0.40	23.44	21.74	TOS	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	72	4.22	23.44	21.74	AMSY	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4.9	193	0.88	23.44	21.79	SINO	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	9	18.76	22.09	21.79	ERBAA	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	23	4.59	22.09	21.79	NKSR	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	71	0.48	22.09	21.79	AMSY	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	39	1.71	22.09	21.79	TKT	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	63	0.40	22.09	21.79	RES	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	70	0.66	22.09	21.79	LADIK	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	31	2.10	22.09	21.79	TSOVA	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	193	0.14	22.09	21.79	SINO	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	38	2.79	22.09	21.79	ALMUS	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	126	0.12	22.09	21.79	GHKOY	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	91	0.12	22.09	21.79	HAZVA	D
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	4	106	0.87	22.09	23.58	KYHSR	B
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	3.6	53	0.09	24.49	23.58	ARGVN	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	3.6	32	2.31	24.49	23.58	HKMHN	C
09.10.2015	14:39:15	40.67880	36.68200	3.6	82	0.25	24.49	23.58	AKCDG	C
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	162	0.06	24.49	23.58	GOKSUN	C
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	150	0.02	24.49	23.58	SVRCE	B
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	109	0.04	24.49	23.58	DGNSR	C
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	38	1.67	24.49	23.58	KNGAL	D
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	45	1.36	24.49	23.58	DVRIG	D
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	129	0.07	24.49	23.58	SARIZ	D
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	92	0.11	24.49	19.59	ZARA	D
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	4.1	28	6.91	22.24	19.59	GMREK	C



Gencoglu and Sayil / Turkish Journal of Earthquake Research 1 (1), 1-14, June 2019

04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	4.1	63	1.02	22.24	23.58	SKISLA	B
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	5	105.52	24.49	23.58	KYHSR	C
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	48	0.37	24.49	23.58	RES	C
04.02.2016	16:11:43	40.66810	36.67350	3.6	49	0.54	24.49	23.53	ZARA	D
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	33	1.23	24.49	23.53	HKMHN	B
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	53	0.11	24.64	23.53	ARGVN	B
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	39	2.01	24.64	23.53	KNGAL	B
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	43	10.16	24.64	23.53	DVRIG	C
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	110	0.05	24.64	23.58	DGNSR	C
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.6	25	1.50	24.49	23.58	NKSR	B
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.6	29	1.65	24.49	23.53	ALMUS	C
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.6	62	0.89	24.64	23.53	YOZGT	B
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	82	0.08	24.64	23.53	GYNC	C
18.02.2016	16:34:45	39.06910	37.77710	3.7	113	0.09	24.64	23.53	HMOZU	D
29.06.2016	07:56:48	39.01160	35.84210	3.7	132	0.04	24.64	23.53	DOSASR	C
29.06.2016	07:56:48	39.01160	35.84210	3.7	184	0.03	24.64	23.53	SNGUR	C
25.07.2016	21:31:06	40.32150	37.88300	3.7	110	0.15	24.64	23.53	ALTLY	D
25.07.2016	21:31:06	40.32150	37.88300	3.7	115	0.33	24.64	23.53	SKISLA	C
25.07.2016	21:31:06	40.32150	37.88300	3.7	85	0.25	24.64	23.53	CKR	C
08.11.2016	15:44:01	39.08000	37.78660	3.7	46	0.65	24.64	23.53	AMS	D
08.11.2016	15:44:01	39.08000	37.78660	3.7	72	0.67	24.64	23.53	GMREK	C
08.11.2016	15:44:01	39.08000	37.78660	3.7	36	0.43	24.64	23.53	RES	C
08.11.2016	15:44:01	39.08000	37.78660	3.7	48	0.15	24.64	23.53	NKSR	B
08.11.2016	15:44:01	39.08000	37.78660	3.7	44	0.51	24.64	23.53	DOSASR	C
08.01.2017	15:55:08	40.49800	37.20180	3.7	47	0.83	24.64	23.53	SVS	C
08.01.2017	15:55:08	40.49800	37.20180	3.7	70	0.22	24.64	23.53	ERBAA	D
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.7	50	0.76	24.64	23.53	YZELI	C
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.7	25	2.93	24.64	23.53	ALMUS	C
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.7	69	0.35	24.64	23.53	ZARA	D
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.7	89	0.20	24.64	21.03	TSOVA	D
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	55	0.41	21.34	21.03	PBASI	C
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	94	0.55	21.34	21.03	TFNBY	C
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	151	0.04	21.34	21.03	GYNC	C
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	83	0.31	21.34	21.03	SARIZ	B
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	53	0.54	21.34	21.03	SKISLA	B
11.05.2017	18:04:57	39.65550	35.50300	3.5	19	4.94	21.34	22.25	GMREK	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	21	1.89	21.79	22.25	GYNC	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	41	3.48	21.79	22.25	AMS	D
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	34	0.96	21.79	22.25	COR	D
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	43	1.52	21.79	22.25	SUOVA	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	39	1.10	21.79	22.25	HMOZU	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	44	0.88	21.79	22.25	AMSY	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	3	11.65	21.79	22.25	MCOZU	C
04.07.2017	21:06:47	40.17000	37.02810	3.8	69	2.05	21.79	22.25	VZRKP	D

Türkiye'deki çoğu istasyon için kayma dalgası hızı ve detaylı zemin sınıflamaları hala mevcut değildir. Bu nedenle bu çalışmada zemin bilgisi bulunmayan istasyonlar için gerek jeolojik haritalar gerekse tahmin edilen eşdeğer kayma dalgası hızları ( $V_s$ ) Türkiye deprem yönetmeliğinde (TBDY 2018) belirtilen değerlerle ilişkilendirilerek zemin sınıflaması yapılmıştır. Veri grubunda yer alan deprem kayıtları, KAFZ'ın genel özelliği olarak sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma özelliğine sahip tek tip faydan alındığı için, fayın türü ayrıca bir parametre olarak kullanılmamıştır.

### 3. YÖNTEM

Yer hareketi tahmini ya da azalım modelleri, zemin hareketi parametrelerinin özelliklerinin odak noktasından ya da sismik kaynağın seçilen bir noktasından uzaklaştıkça değişimini gösteren denklemlerdir. Bu azalım ilişkilerinin genel yapısı (1) no'lu bağıntı ile tanımlanabilir.

$$Y = N_y f(M, R, SP_i) \quad (1)$$

Burada, Y: tahmin edilecek olan kuvvetli yer hareketi parametresi;  $N_y$ : azalım ilişkisindeki belirsizlik için rassal düzeltme katsayısı; R: depremden inceleme alanına olan "tanımlanmış" uzaklık ölçüsü (km) ; M: deprem büyüklüğünü gösteren magnitüd değeri;  $SP_i$ : deprem kaynağı, dalga yayılım yolu, yerel zemin koşulları ile ilgili parametreler. Bu çalışmada çoklu regresyon analizi ile oluşturulacak azalım ilişki modelinin genel formu (2) no'lu bağıntı ile verilmektedir.

$$\log PGA = C_1 + C_2 M_w + C_3 M_w^2 + C_4 \log R + C_5 \log \Delta\sigma + C_6 \log M_0 + C_7 S_a + C_8 S_b + C_9 S_c + C_{10} S_d \quad (2)$$

Burada PGA; pik yer ivmesi ( $\text{cm/sn}^2 = \text{gal}$ ), R; kaynaktan inceleme alanına olan uzaklık (km),  $M_0$ ; sismik moment;  $M_w$ ; Moment magnitüdü,  $\Delta\sigma$ ; gerilme düşümü (stress drop),  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ; zemin katsayıları ve  $C_1$ - $C_{10}$ ; regresyon katsayılarıdır.

Bu çalışmada yerel zemin koşulları için tanımlanan  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$  indeks değerleri Türkiye deprem yönetmeliğinde belirtilen zemin sınıfları ile ilişkilendirilmiştir; kaya, orta sağlam kayalar (B-sınıfı,  $V_s = 760$ - $1500$  m/sn) için  $S_b=2$  ve  $S_c=S_d=0$ ; çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış çok çatlaklı zayıf kayalar (C-sınıfı,  $V_s=360$ - $760$  m/sn) için  $S_c=3$  ve  $S_b=S_d=0$ ; orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları için (D-sınıfı,  $V_s = 180$ - $360$  m/sn)  $S_d=4$  ve  $S_b=S_c=0$  alınmıştır. Çalışma bölgesinde A-sınıfı (sağlam sert kaya,  $V_s > 1500$ ) zemin tanımlamasına uyan veri olmadığından azalım ilişkisi bağıntısında  $S_a$  yer almamıştır.

Bazı çok küçük olaylar için yırtılma yüzeyi açık olarak tanımlanmadığından inceleme alanına olan uzaklık (kaynak-alan) ifadesi olarak episantr uzaklığı kullanılmıştır. Azalım ilişkisi episantr uzaklığı 200 km'ye kadar olan depremlerden oluşturulan veri setiyle elde edilmiştir. Sismik momentin hesaplanması için Kanamori (1977) tarafından geliştirilen (3) no'lu bağıntı, gerilme düşümünün hesaplanmasında ise Aki (1972) tarafından geliştirilen (4) no'lu bağıntı kullanılmıştır.

$$\log M_0 = 1.5 M_w + 16.1 \quad (3)$$

$$\Delta\sigma = (2/\pi)(M_0/SW) \quad (4)$$

Burada S; fayın alanı, fayın uzunluğu (L) ile genişliğinin (W) çarpımıdır. W; fayın genişliğidir. Fayın uzunluğunun hesaplanmasında Chen ve Chen (1989) tarafından verilen (5) no'lu

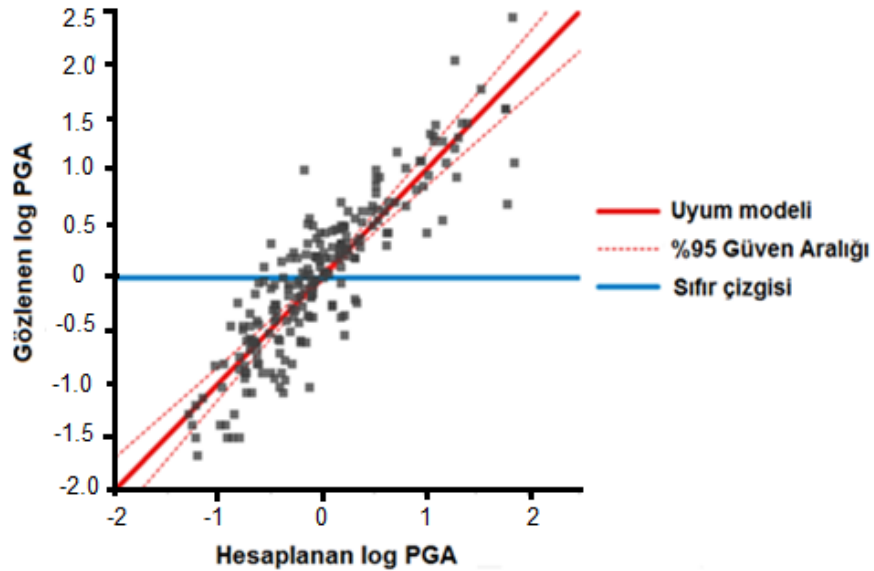
bağıntı kullanılmıştır. Fayın genişliği ise (6) no'lu bağıntıda verilen yırtılma genişliği-büyüklüğü arasındaki ilişki ile hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith 1994).

$$\log L = M_S/3 - 0.873 \quad (5)$$

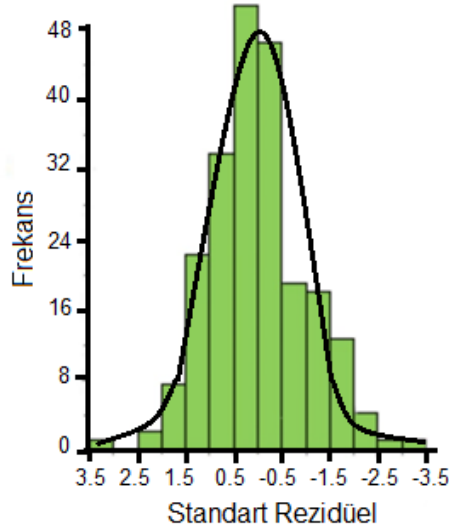
$$M_w = 3.80 + 2.59 \log W \quad (6)$$

Parametreleri Tablo 1'de verilen tüm depremlere (208 yer ivme kaydı) ait bilgiler kullanılarak çoklu regresyon analizi ile geliştirilen azalım ilişkisi (7) no'lu bağıntıda verilmiştir. Bu bağıntının standart sapma değeri 0.35 ve ilişki katsayısı 0.89 olarak bulunmuştur. Hesaplanan ve gözlenen logaritmik PGA değerlerinin %95 güven aralığında çizilen uyum modeli Şekil 2'de, logaritmik PGA'ların standart rezidüellerinin sıfır ortalama değeri ve 0.35'lik standart sapma değeri ile normal dağılıma uyduğu Şekil 3'de gösterilmiştir.

$$\log PGA = -0.07 + 0.99 M_w - 0.017 M_w^2 - 1.66 \log R - 0.04 \log \Delta \sigma + 0.004 \log M_0 - 0.002 S_b + 0.04 S_c - 0.02 S_d \quad (7)$$



Şekil 2: Gözlenen ve hesaplanan PGA değerlerinin %95 güven aralığındaki uyumu



Şekil 3: Hesaplanan PGA değerlerinin standart rezidüellerinin normal dağılıma uyumu

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada derlenen veriler ile KAFZ'ın orta kesimi için PGA davranışının deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla daha önce kullanılan uzaklık ve magnitüdün yanı sıra zemin türü ile sismik moment ve gerilme düşümü gibi yeni parametrelerin de eklenmesiyle yeni bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir. İnceleme için  $3.5 \leq M_w < 7.5$  magnitüd aralığındaki 63 depremin kaynak-alan mesafesi (episantr uzaklığı) 200 km olan istasyonlardaki 208 yatay bileşendeki pik ivme (PGA) değerleri kullanılmıştır. Yerel zemin koşulları için tanımlanan  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$  katsayıları Türkiye deprem yönetmeliğinde belirtilen zemin sınıfları ile ilişkilendirilerek sayısal değerler olarak tanımlanmıştır.

Azalım ilişkisinin katsayıları çoklu regresyon analizi ile belirlenmiştir. Bulunan azalım ilişkisi bağıntısının standart sapma değeri 0.35 ve ilişki katsayısı 0.89 bulunmuştur. Hesaplanan ve gözlenen logaritmik PGA değerlerinin %95 güven aralığında uyumlu olduğu ve logaritmik PGA değerlerinin standart rezidüellerinin sıfır ortalama değer ve 0.35'lik standart sapma değeri ile normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir. Kullanılan depremler için hesaplanan sismik moment değerleri 21.34 - 24.64 dyn.cm, gerilme düşümü değerleri ise 19.59 - 23.58 bar aralığındadır. Hesaplanan gerilme düşümü değerleri çalışma bölgesinin yer aldığı Anadolu ve Avrasya levhalarının birleştiği sınır olarak tanımlanan KAFZ'ın tektonik özelliği ile uyumludur, çünkü levha sınırlarında yer alan depremlerin ( $\Delta\sigma = 30$  bar), levha içi depremlerden ( $\Delta\sigma = 100$  bar) daha küçük gerilme düşümü değerlerine sahip olduğu bilinmektedir (Kanamori ve Anderson 1975).

Azalım ilişkisi ile ilgili çalışmaların güvenilirliği, kaliteli veri sayısının çoğalmasıyla mümkündür. Veri sayısının yeterli hale gelmesi ve çözümleme yöntemlerinin gelişmesi ile azalım ilişkileri tekrar gözden geçirilerek güncellenecektir. Bunu yaparken de depremlerin magnitüdü, zamanı, yeri gibi temel parametrelerdeki belirsizliklerin de azaltılması gerekmektedir. Güvenilir bir ivme azalım ilişkisi geliştirilmesiyle, daha güvenilir sismik tehlike analizleri yapılmasına olanak sağlanacak, zemin büyütmesi ve zemin sıvılaşması çalışmalarında ise yapılara etkiyecek taban kesme kuvvetinde kullanılacak yatay yer ivmesi değerlerinin daha sağlıklı bir şekilde elde edilmesine yardımcı olunacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veriler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi'nden (AFAD) sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

Abrahamson N.A., Silva W.J., 1997. Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes, *Seismol. Res. Lett.* 68(1), 94-127.

AFAD 2018. Türkiye Deprem Veri Merkezi Projesi (TDVM), Ankara ([http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata\\_v4.php](http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php))

Aki K., 1972. Earthquake mechanism, *Tectonophysics* 13, 423-446.

Akkar S., Cagnan Z., 2010. A Local Ground Motion Predictive Model for Turkey and its Comparison with other Regional and Global Ground-Motion Models, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100, 2978-2995.

Ambraseys N.N., Simpson K.A., Bommer J.J., 1996. Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 25 (4), 371-400.

Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit P.M., 2005. Equations for estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Bull. Earthquake Eng.*, 3, 1- 53.

Aydan O., Sedaki M., Yarar R., 1996. The Seismic Characteristics of Turkish Earthquakes, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, June 23-28, 2016, Acapulco, Mexico.

Aydın Y. 2016. Zaman ve Magnitüd Kestirilebilir Model ile Türkiye'de Uzun Dönem Deprem Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 115 s.

Beyaz T. 2004. Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye için Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 150 s.

Bindi D., Parolai S., Grosser H., Milkereit C., Durukal E., 2007. Empirical Ground-motion Prediction Equations for Northwestern Turkey using the Aftershocks of the 1999 Kocaeli Earthquake, *Geophys. Res. Lett.* 34 (8), 1-5.

Boore D.M., Joyner W.B., Fumal T.E., 1997. Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seismol. Res. Lett.* 68, 128-153.

Chen P., Chen H., 1989. Scaling law and its applications to earthquake statistical relations, *Tectonophysics*, 166, 53-72.

Çeken U. 2007. Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 213 s.

Fukushima Y., Tanaka T., 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 80, 757-783.

Gulkan P., Kalkan E., 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey, *J. Seismol.* 6, 397-409.

İnan E., Çolakoğlu Z., Koç N., Bayülke N., Çoruh E., 1996. 1976- 1996 Yılları Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 98 s.

Kalkan E., Gulkan P., 2002. Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey, *Earthq. Spectra*, 20, 853-882.

Kanamori H., 1977. The energy release in great earthquakes, *J. Geophys. Res.* 82, 2981-2987.

Kanamori H. Anderson D.L., 1975. Theoretical Basis of Some Empirical Relations in Seismology, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 65, 1073-1095.

Sadigh K., Chang S.Y., Egan J.A., Makdisi F., Youngs R.R., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismol. Res. Lett.* 68 (1), 180-189.

Sandikkaya M.A., Akkar S., 2016. Cumulative absolute velocity, Arias intensity and significant duration predictive models from a pan-European strong-motion dataset, *Bull. Earthq. Eng.* doi:10.1007/s10518-016-0066-6.

TBDY, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.

Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H., Gokceoglu C., 2004. An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey, *Eng. Geol.* 74, 265-291.

Ulutas E., Ozer M.F., 2010. Empirical attenuation relationship of peak ground acceleration for Eastern Marmara region in Turkey, *Arab. J. Sci. Eng.*, 35, 187-203.

Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84, 974-1002.