Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları Kullanılarak Deprem Kaynaklı Kalıcı Zemin Yer Değiştirmelerinin Tahmin Edilmesi

Adil YİĞİT[*1] Abdullah GEDİKLİ[2]

[1]Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 34469, Maslak, İstanbul

[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 34469, Maslak-Istanbul

(Geliş / Received : 08.12.2014 ; Kabul / Accepted : 11.03.2015)

ÖZ

Newmark kayan blok modeli, deprem kaynaklı zemin yer değiştirmelerinin hesaplanması için sıkça kullanılan bir modeldir. Literatürde bu model kullanılarak çeşitli deprem verilerine göre regresyon analizleri yapılmış ve bazı hesaplama yöntemleri önerilmiştir. Bu çalışmada öncelikle, Türkiye'de 1976 ile 2013 yılları arasında meydana gelmiş önemli depremlerin kayıtları ($M_w \geq 5.5$) kullanılarak ve önceki çalışmaların Türkiye verilerine göre durumu incelenerek gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Bunu izleyen aşamada da maksimum deprem ivmesine bağlı olarak ortalama ivme (a_0) parametresi tanımlanmış ve bu parametreyi içeren yeni bir çözümleme önerilmiştir. Yeni yaklaşımın regresyon uyumu (R^2) önceki formlardan daha iyi ve standart sapması daha düşüktür. Bu nedenle, sonuç olarak, önerilen yeni formun kullanılan veriler açısından daha uygun olduğu açık bir şekilde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Newmark Yer Değiştirmesi, Arias Yoğunluğu, Kritik İvme, Ortalama Maksimum İvme

Estimation of The Amount of Earthquake-Induced Premanent Ground Displacements Using Strong Ground Motion Records in Turkey

ABSTRACT

Newmark sliding block model is a model frequently used for calculating earthquake-induced ground displacements. Using this model in literature, regression analyses have been carried out according to various earthquake data and some calculation methods have been suggested. In this study, the status of previous studies have been reviewed according to records in Turkey and necessary evaluations have been made using significant earthquake records between 1976 and 2013 in Turkey ($M_w \geq 5.5$). In the next step, average maximum acceleration (a_0) parameter has been defined based on maximum earthquake acceleration and a new analysis covering this parameter has been suggested in this study. The regression fit (R^2) of the new form is higher and standart deviation of the new approximation is smaller than the previous forms . Therefore, in consequence, it has been clearly seen that the new form is more appropriate for the data used.

Keywords: Earthquake, Newmark Displacement, Arias Intensity, Critical Acceleration, Average Maximum Acceleration

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalıcı zemin hareketi (yer değiştirmesi); fay hareketi, heyelan, sismik oturma ve sıvılaşma kaynaklı yanal yayılma gibi alt başlıklarda incelenmektedir. Meyersohn (1991) [29] heyelan durumunu üç tip olarak ele almıştır. Bu sınıflamaya göre kaya düşmesi ve kaya yuvarlanması Tip-1 olarak tarif edilmektedir. Tip-2 ise taşınan malzemenin kıvamlı bir sıvı gibi davrandığı toprak ve enkaz akmasını içerir. Tip-3 zemin kayması, toprağın bir blok olarak hareket ettiği toprak çökmesi ve toprak kaymasıdır. Bu çalışmada ele alınan durum Tip-3 şeklinde tarif edilen durumdur.

Deprem kaynaklı zemin hareketi miktarının hesaplanması veya tahmin edilmesi, hem üst hem de altyapılar için önem arz etmektedir. Bu yer değiştirmenin tahmin edilebilmesi için Newmark (1965) [19] kayan blok modelini (Şekil-1a) önermiştir. Newmark kayan blok modeli Tip-3 şeklinde belirtilen, zeminin blok halinde kaydığını kabul eden duruma uygun bir hesap yöntemidir. Bu yönteme göre zeminin blok halinde kaydığının kabul edilmesinin yanında zeminin statik ve dinamik kesme dayanımının homojen olduğu, dinamik boşluksuyu basıncının ihmal edildiği, kritik ivmenin analiz boyunca sabit kaldığı ve kayan bloğun ters yönde hareketinin engellendiği kabul edilmektedir. Bu nedenle kohezyonsuz zemin gibi blok halinde kaymayan, boşluksuyu basıncının artması ve sıvılaşma gibi yöntemin kabul sınırlarının dışındaki durumlarda bu modelin kullanılması uygun değildir.

* *Sorumlu Yazar (Corresponding Author)*
e-posta: adilyigit75@hotmail.com
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.3 175-181

Bu yöntemi kullanarak deprem kaynaklı zemin deplasman miktarını hesaplayabilmek için bir çok araştırmacı çalışmalar yapmıştır (Wilson ve Keefer, 1983); Wieczorek vd., 1985; Houston vd., 1987; Jibson, 1993; Jibson ve Keefer, 1993; California Division of Mines and Geology, 1997; Jibson vd., 1998; Mankelow ve Murphy, 1998; Bray ve Rathje, 1998; Luzi ve Pergalani, 1999; Miles ve Ho, 1999; Jibson vd., 2000; Miles ve Keefer, 2000, 2001; DelGaudio vd., 2003; Pradel vd., 2005; Haneberg, 2006; Rathje ve Saygili, 2006). [1-18]

Aşağıdaki Şekil-1a incelendiğinde ivme-zaman kaydı üzerinde a_c=0.2g durumuna göre X noktasının solunda ivme kaydının a_c değerinin altında olduğu görülmektedir. X noktasının sağında ise, a_c değerinin üzerinde olan ivme kaydının zamana göre integrasyonu ile hız-zaman grafiği elde edilmektedir (Şekil-1b). Hız Y noktasına kadar artmakta ve Y noktasında bir tepe nokta oluşturmaktadır. Y noktasından sonra ise, ivme

$$a_c = g(FS - 1)\sin\alpha \quad (1)$$

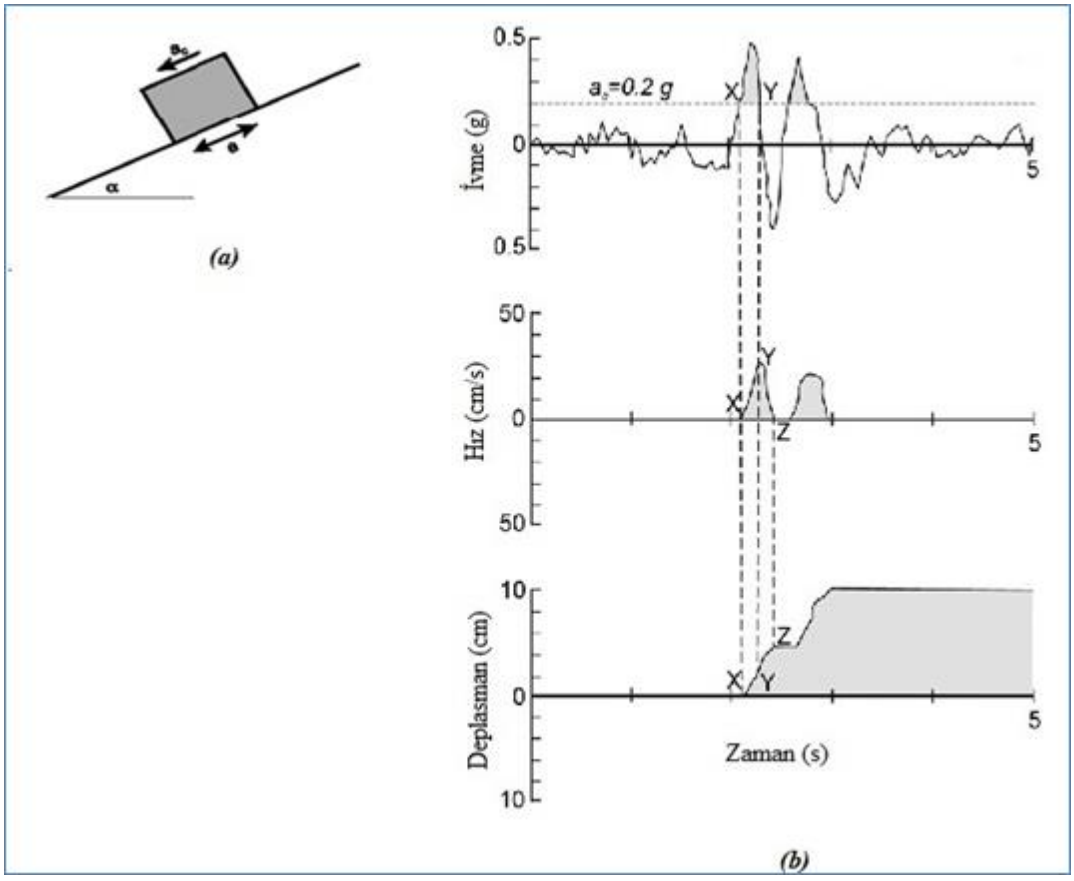
Burada a_c kritik ivme, g yerçekimi ivmesi, FS statik güvenlik faktörü, α ise kayan bloğun yatayla yaptığı açıdır [19].

Ambraseys ve Menu (1988) [20] 11 adet depreme ait 50 adet kuvvetli yer hareketi kaydını kullanarak kritik ivme (a_c) ve maksimum ivmeye (a_{max}) bağlı olarak Newmark yer değiştirmesini hesaplayan aşağıdaki regresyon eşitliğini önermişlerdir.

$$log\delta = 0.90 + log\left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{max}}\right)^{2.53}\left(\frac{a_c}{a_{max}}\right)^{-1.09}\right] \pm 0.30 \quad (2)$$

Newmark yer değiştirmesini hesaplayabilmek için çeşitli regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir (Yegian vd., 1991; Jibson, 1993; Ambraseys ve Srbulov, 1995; Crespellani vd., 1998; Jibson vd., 1998; Bray ve Travasarou, 2007; Chyi-Tye Lee vd., 2010) [21-25].

Jibson (1993); Newmark yer değiştirmesinin



Şekil-1: a)Kayan Blok Modeli (Sliding Block Model), b) Newmark Analizi Algoritması (Newmark Analysis Algorithm) [19]

değerinin a_c'nin altına düşmesine rağmen ataleti nedeniyle blok hareketine devam eder. Sürtünme ve zeminin ters yönde hareketi nedeniyle hız Z noktasında sıfırlanır ve bloğun kayması (hareketi) durur. a_c kritik ivme değerinin aşıldığı diğer tüm noktalarda aynı işleme devam edilerek sonuçta bloğun (zeminin) toplam yer değiştirmesi (kayması) hesaplanmış olur. Kayan bir zemin bloğunun kaymayı başlatan kritik ivme değerinin hesabı için Eşitlik-1 önerilmektedir.

hesaplanması için Arias yoğunluğunun (I_a) maksimum ivme değerine göre daha uygun olduğu belirterek a_c=0.02g, 0.05g, 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g için 11 adet kuvvetli yer hareketi kaydını kullanıp Jibson 93 formu olarak anılan aşağıdaki eşitliği elde etmiştir. Bu eşitliğin belirleme katsayısı R^2=0.87'dir.

$$log\delta = 1.460 log I_a - 6.642 a_c + 1.546 \pm 0.409 \quad (3)$$

Burada yer değiştirme δ (cm), kaymayı başlatan kritik ivme a_c (g), Arias yoğunluğu I_a (m/s)'dir. Arias

yoğunluğu (Arias,1970) [26] aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$I_a = \frac{\pi}{2g}\int_0^{T_d}[a(t)]^2\,dt \quad (4)$$

Zamana bağlı ivme [a(t)]'ye bağlı olarak Eşitlik-4'le ifade edilen Arias yoğunluk indeksi (m/s) için Wilson ve Keefer (1983) tarafından deprem büyüklüğü (M) ve deprem merkez üssü mesafesi (R, km) esas alınarak Eşitlik-5 önerilmiştir (Yiğit, 2007) [27].

$$logI_a = M - 2logR - 4.1 \quad (5)$$

Eşitlik-3, 13 adet depremden sağlanan 555 adet veri kullanılarak R^2=0.83 olacak şekilde ve Jibson98 formu olarak adlandırılarak aşağıdaki gibi güncellenmiştir (Jibson vd., 1998).

$$log\delta = 1.521logI_a - 1.993loga_c - 1.546 \pm 0.375 \quad (6)$$

Yapılan çalışma ile logδ-logI_a ve logδ-a_c dağılım uyumunun istatistiksel olarak daha iyi olduğu öne sürülmüş ve Chyi-Tyi Lee formu olarak adlandırılan aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir (Chyi-Tyi Lee et al., 2010):

$$\log\delta = 0.847logI_a - 10.62a_c + 6.587a_clogI_a + 1.84 \pm 0.295 \quad (7)$$

(R^2=0.89)

Bu çalışmada, ilk etapta önceki çalışmaların Türkiye için uygun olup olmadığı veya ne derece uygun olduğu araştırılmıştır. Bu nedenle önceki çalışmaların orijinal hallerinin yanı sıra Türkiye kayıtlarına göre düzenlenmiş halleri irdelenmiştir. Bunun yanı sıra esas olarak bu araştırmada, Newmark yer değiştirme hesabı için önceki çalışmalara göre daha uygun yaklaşım sergileyen, R^2 değeri daha yüksek ve standart sapma değeri ise daha düşük, bir regresyon denkleminin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle öncelikle maksimum deprem ivme değerlerine bağlı yeni bir parametre belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda önerilen ampirik eşitlikler genellikle kaymayı başlatan kritik ivmeye ve Arias yoğunluğuna bağlı iken, bu çalışmada yapılan analiz sonucunda elde edilen eşitlik bu iki parametrenin yanı sıra, bu çalışmada tanımlanan ortalama maksimum ivme değerine, dolayısıyla da maksimum ivme kaydına da bağlıdır.

2. ANALİZLER (ANALYSES)

2.1. Mevcut Yöntemlerin Türkiye Deprem Verileri Kullanılarak Değerlendirilmesi (Evaluation of Existing Methods Using Earthquake Data in Turkey)

Tablo-1'de verilen 1976-2013 yılları arasında Türkiye genelinde oluşmuş $M_w \geq 5.5$ olan tüm deprem verileri (AFAD, 2013) ve a_c=0.02g; 0.05g; 0.1g; 0.2g; 0.3g; 0.4g değerleri dikkate alınarak elde edilen regresyon analizleri incelenmiştir [28].

Buna göre Eşitlik-3 formu (Jibson93) için R^2=0.79 ve standart sapma, σ=0.442 olacak şekilde aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\log\delta = 1.34logI_a - 8.202a_c + 1.71 \quad (8)$$

Eşitlik-6 formu (Jibson98) için R^2=0.855 ve standart sapma σ=0.365 olacak şekilde;

$$\log\delta = 1.492logI_a - 2.021loga_c - 1.5125 \quad (9)$$

elde edilmiştir. Eşitlik-7 formu (Chyi-Tyi Lee) için R^2=0.82 ve standart sapma σ=0.406 olacak şekilde;

$$\log\delta = 1.1586logI_a - 9{,}4776a_c + 5.6268a_clogI_a + 1.7158 \quad (10)$$

olarak elde edilmiştir.

Tablo 1: 1976-2013 Yılları Arası Türkiye Deprem Kayıtları ($M_w \geq 5.5$) [28] (Earthquake Records in Turkey Between 1976-2013)

	Deprem	**M_w**
1	1983, Şenkaya-ERZURUM	6.6
2	1986, Doğanşehir - MALATYA	6.0
3	1992, Üzümlü - ERZİNCAN	6.6
4	2000, Çerkeş - ÇANKIRI	6.0
5	1992, Menderes - İZMİR	6.0
6	1999, Merkez - DÜZCE	7.1
7	2002, Merkez - AFYON	5.8
8	1999, Gölyaka -DÜZCE	5.5
9	1999, Merkez - KOCAELİ	7.6
10	1988, Yüreğir - ADANA	6.2
11	1995, Dinar - AFYON	6.4
12	1983, Biga - ÇANAKKALE	6.1
13	2003, Seferihisar - İZMİR	5.7
14	2003, Merkez - BİNGÖL	6.3
15	1996, Gümüşhacıköy - AMASYA	5.6
16	2002, Sultandağı - AFYON	6.5
17	1976, Merkez - DENİZLİ	6.1
18	2011, Merkez - VAN	7.0
19	1997, Merkez - HATAY	5.7
20	1999, Merkez - KOCAELI	5.6
21	1999, Merkez - KOCAELI	5.8
22	1977, Bornova - IZMIR	5.6
23	1977, Ilgaz - ÇANKIRI	5.8
24	1988, Çaldıran - VAN	5.5
25	1986, Doğanşehir - MALATYA	5.8
26	1992, Pülümür - TUNCELİ	5.9
27	1994, İzmir Körfezi - İZMİR	5.5
28	2007, Sivrice - ELAZIĞ	5.5
29	1996, Merzifon - AMASYA	5.7

Kullanılan bu kuvvetli yer hareketi verilerinin %4'ü yumuşak, %10'u kaya, %86'sı sert zemin üzerinde kaydedilmiştir.

2.2. **Yeni Yaklaşımın Değerlendirilmesi** (Evaluation of New Approach)

Tablo-1'deki deprem verileri kullanılarak ve a_c=0 olması durumuna göre bir deprem kaydının pozitif ve negatif yönde sahip olduğu iş potansiyeli değerleri toplamından hareket edilerek Eşitlik-11 ile ifade edilen a_0 ivme parametresi elde edilmiş ve bu parametrenin yer değiştirme hesabı üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

$$a_0 = \frac{PGA^{+}.\delta_0(+)+PGA^{-}.\delta_0(-)}{\delta_0(+)+\delta_0(-)} \quad (11)$$

Burada a(+) bir deprem kaydında pozitif yöndeki maksimum ivmenin g cinsinden değeri, a(-) bir deprem kaydında negatif yöndeki maksimum ivmenin g cinsinden değeri, δ_0(+) bir deprem kaydında a_c=0 için pozitif yönde oluşan Newmark yer değiştirmesi, δ_0(-) bir deprem kaydında a_c=0 için negatif yönde oluşan Newmark yer değiştirmesi, a_0 ise g cinsinden ortalama maksimum ivme olarak ifade edilmektedir.

Arias yoğunluğu ile a_0 parametresi arasındaki ilişki incelendiğinde, logaritmik olarak R^2=0.90 σ=0,124 olacak şekilde bir regresyonun varlığı Şekil-2'den görülebilmektedir. Aynı şekilde bu iki parametre arasındaki regresyon eşitliği de aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$loga_0 = 0.5logI_a - 0.5516 \quad (12)$$

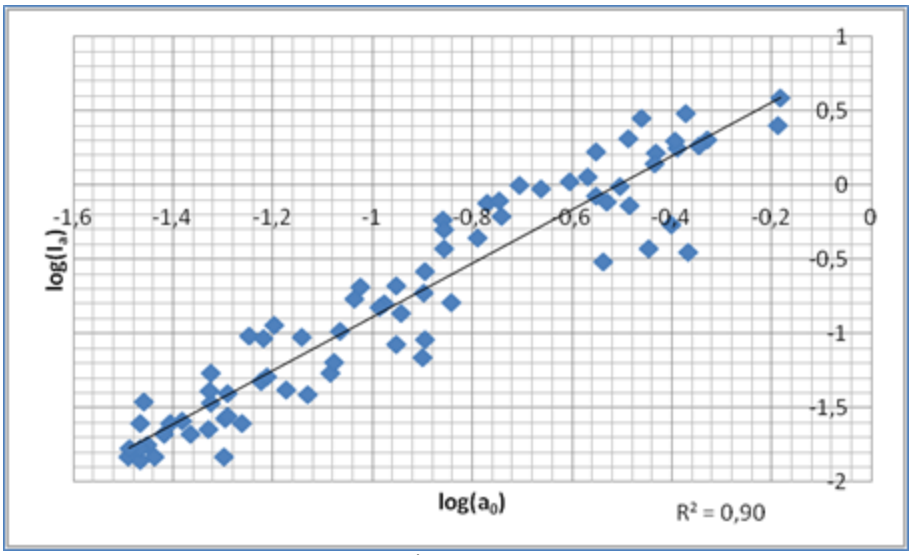
elde edilmiştir. Bu eşitlik öneri-A formu olarak adlandırılmıştır. Daha sade bir ifade için R^2=0.867 ve standart sapma σ=0,3513 olacak şekilde;

$$\log\delta = 0.4159logI_a + 2.7695loga_0 - 1.021loga_c + 2.006loga_0.loga_c - 0{,}7857logI_a.loga_c - 0{,}1457 \quad (14)$$

elde edilmiştir. Bu eşitlik ise, öneri-B formu olarak adlandırılmıştır.

3. **BULGULAR VE YORUMLAR (**RESULTS AND COMMENTS)

Daha önceki çalışmaların orijinal ve Türkiye verilerine göre düzenlenmiş halleriyle yeni elde edilen yaklaşım arasında bir karşılaştırma yapabilmek için çeşitli I_a ve a_c değerleri kullanılarak hem orijinal eşitlik, hem de bu çalışmada elde edilen form için Tablo-2'de belirtilen değerler elde edilmiştir. İlgili tablo incelendiğinde, öneri-A formu olarak verilen Eşitlik-13'ün Türkiye deprem verilerine göre daha uygun olduğu (R^2=0,87; σ=0,351) tespit edilmiştir. Ayrıca Jibson-93 formu ile Chyi-Tyi Lee formunun Türkiye verilerine göre elde edilen sonuçlarının orjinal sonuçlara kıyasla daha az regresyon uyumunun olduğu görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, Jibson-98 formu için durum tam aksine olup, Türkiye verilerine göre elde edilen sonuçların regresyon



Şekil-2: Log(I_a) – Log(a_0) İlişkisi (Log(I_a) – Log(a_0) Relation)

Yapılan analizler sonucunda Tablo-1'deki 29 adet depremde yapılmış 374 tane gözleme dayanılarak hem Arias yoğunluğuna (I_a) ve kritik ivmeye (a_c), hem de ortalama maksimum ivme değerine (a_0) bağlı olarak R^2=87 ve standart sapma σ=0,351 olacak şekilde;

$$\log\delta = 0.7367logI_a + 2.9185loga_0 - 0.9723loga_c + 2.1491loga_0.loga_c - 0{,}5436logI_a.loga_c + 0{,}3924loga_0.logI_a + 0{,}3231logI_a.loga_0.loga_c - 0{,}1066 \quad (13)$$

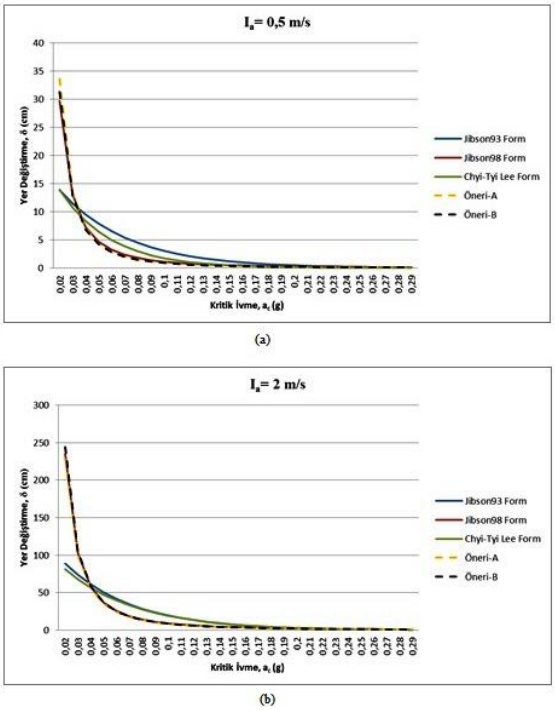
uyumunun orijinal forma göre daha iyi bir performans gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo-2'de elde edilen çeşitli yer değiştirme (δ) miktarları incelendiğinde, Jibson(98) formunun orijinal ve Türkiye verilerine uyarlanmış haliyle öneri-A ve öneri-B formlarından elde edilen sonuçların birbirine yakın değerler olduğu ve bunların bir grup halinde (1. Grup olarak ifade edilecektir), diğerlerinin ise (Jibson-93 ve Chyi-Tyi Lee) ayrı bir grup (2. Grup olarak ifade edilecektir) olarak değerlendirilebileceği görülmektedir.

Tablo-2: Yaklaşımların Karşılaştırılması (Comparison of the Approaches)

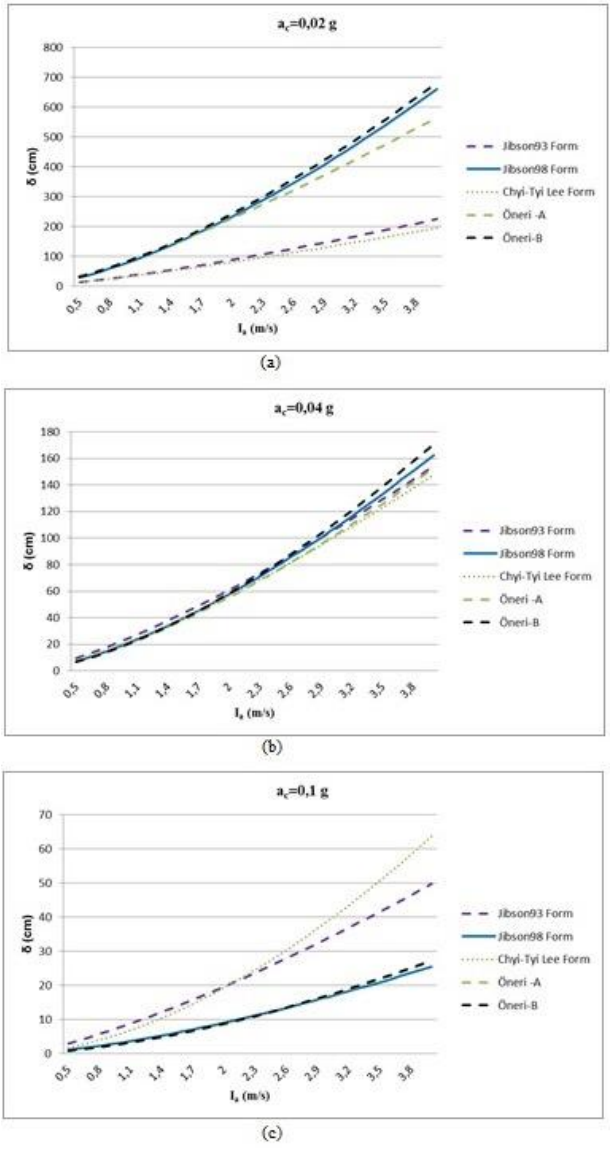
		R^2	σ (standart sapma)	δ (cm) ; I_a=2 m/s a_c = 0,1g	δ (cm) ; I_a=4 m/s a_c = 0,1g	δ (cm) ; I_a=2 m/s a_c = 0,2g	δ (cm) ; I_a=4 m/s a_c = 0,2g	δ (cm) ; I_a=1 m/s a_c=0,05g
Jibson93 Formu	Orijinal Form	0,87	0,409	21,0	57,7	4,5	12,5	16,4
	Türkiye Verilerine Göre Elde Edilen	0,79	0,442	19,6	49,7	3,0	7,5	19,9
Jibson98 Formu	Orijinal Form	0,83	0,375	8,0	23,1	2,0	5,8	11,1
	Türkiye Verilerine Göre Elde Edilen	0,855	0,365	9,1	25,5	2,2	6,3	13,1
Chyi-Tyi Lee Formu	Orijinal Form	0,89	0,295	17,0	48,4	2,3	10,4	20,4
	Türkiye Verilerine Göre Elde Edilen	0,82	0,406	19,3	63,7	3,2	15,7	17,5
Öneri-A Formu (Bağıntı-14)	Türkiye Verilerine Göre Elde Edilen	0,87	0,351	8,6	27,1	2,1	7,3	12,3
Öneri-B Formu (Bağıntı-15)	Türkiye Verilerine Göre Elde Edilen	0,867	0,3513	8,8	27,4	2,1	6,9	12,4

Yukarıda belirtilen hususu daha iyi irdeleyebilmek için Şekil-3'te verilen grafikler yol gösterici olacaktır. Türkiye deprem verilerine göre hazırlanmış olan bu grafikler incelendiğinde yaklaşık a_c = 0,04g noktasında tüm formların örtüştüğü, yani yaklaşık olarak aynı yer değiştirme miktarını verecekleri görülmektedir (Şekil 3). Bu noktanın solunda (daha küçük kritik ivme değerlerinde), 1. grup formlar 2. grup formlara göre daha büyük yer değiştirme değerleri vermektedir. Bu noktanın sağında ise (daha büyük kritik ivme değerlerinde), 2. grup formlar 1. grup formlara göre nispeten daha büyük yer değiştirme değerleri vermektedir. Dönüm noktası olan a_c = 0,04g noktasının sağ ve solundaki değerler karşılaştırıldığında, sağdaki formlar arası uyumun sol taraftaki uyuma göre daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil-3: Çeşitli I_a Değerleri İçin a_c- Yer Değiştirme İlişkisi (a_c – Displacement Relation For Various I_a Values)

Bu karşılaştırmayı desteklemek amacıyla hazırlanan ve Şekil-4'te verilen grafikler incelendiğinde, a_c = 0,04g noktasında bir dönümün olduğu görülmektedir. Bu noktada formlardan elde edilecek yer değiştirme miktarları Arias yoğunluğunun değişimine göre farklılık göstermemektedir. Diğer bir ifadeyle, Arias yoğunluğu artsa da eksilse de a_c = 0,04g için her bir formdan elde edilecek sonuçlar yaklaşık olarak örtüşmektedir (Şekil-4b). Ancak daha düşük kritik ivme değerlerinde 1. grup formlar 2. grup formlara göre daha büyük değerde yer değiştirme değerleri verirken, daha büyük kritik ivme değerlerinde 2. grup formlar 1. grup formlara göre daha büyük yer değiştirmeler vermektedir.



Şekil-4: Çeşitli a_c Değerleri İçin I_a -Deplasman İlişkisi (I_a – Displacement Relation For Various a_c Values)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Türkiye'de meydana gelmiş $M_w \geq 5.5$ olan depremlerin verisine göre Newmark yer değiştirme hesabı için 1.grup formların (Jibson-98, öneri-A ve öneri-B formları) 2.grup formlara (Jibson-93 ve Chyi-Tyi Lee) göre daha iyi bir regresyon uyumu gösterdiği anlaşılmıştır. Bu anlamda 1. grup formlar ile 2. grup formlar arasındaki fark incelendiğinde 1.grup formlarda tüm parametrelerin logaritmik olarak etkidiği görülmektedir. Bu nedenle her bir parametrenin logaritmik olarak etkidiği yaklaşımların daha iyi sonuç vereceği anlaşılmıştır.

Depremin bir enerjisi var ve bu enerjinin iş yapma potansiyelinin de yer değiştirme ile yakından ilgili olduğu bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle a_0 parametresi elde edilmiştir. Bu parametreye bağlı olan bir yaklaşımın yukarıda yapılan karşılaştırma analizlerinden de görüleceği üzere daha iyi bir regresyon dağılımı özelliği gösterdiği açıktır.

Kullanılan verilere göre önceki formlar karşılaştırıldığında Jibson-98 formunun en uygun form olduğu anlaşılmıştır. Ancak daha fazla parametre içeriyor olmasına rağmen daha iyi regresyon uyumu veren (R^2=%87 ve standart sapma, σ=0,351) yeni formun kullanılmasının daha uygun olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Wilson, R.C., Keefer, D.K., "Dynamic analysis of a slope failure from the 6 August 1979 Coyote Lake, California, earthquake" ***Bulletin of the Seismological Society of America*** 73, 863–877, (1983)

[2] Wieczorek, G.F., Wilson, R.C., Harp, E.L., Map showing slope stability during earthquakes in San Mateo County California: ***US Geological Survey Miscellaneous Investigations Map*** I-1257-E, scale 1:62,500, (1985)

[3] Houston, S.L., Houston, W.N., Padilla, J.M., "Microcomputeraided evaluation of earthquake-induced permanent slope displacements" ***Microcomputers in Civil Engineering*** 2, 207–222, (1987)

[4] Jibson, R.W., "Predicting earthquake-induced landslide displacements using Newmark's sliding block analysis" ***Transportation Research Record*** 1411, 9–17., (1993)

[5] Jibson, R.W., Keefer, D.K., "Analysis of the seismic origin of landslides: examples from the NewMadrid seismic zone" ***Geological Society of America Bulletin*** 105, 521–536, (1993)

[6] California Division of Mines and Geology, "Guidelines for evaluating and mitigating seismic hazards in California" ***California Division of Mines and Geology Special Publication*** vol. 117. 74 pp., (1997)

[7] Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.M., "A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: an example from the Los Angeles, California area" ***US Geological Survey Open-File Report*** 98-113. . 17 pp., (1998)

[8] Mankelow, J.M.,Murphy,W., "Using GIS in the probabilistic assessment of earthquake triggered

landslide hazards" ***Journal of Earthquake Engineering*** 2, 593–623, (1998)

[9] Bray, J.D., Rathje, E.M., "Earthquake-induced displacements of solid-wastelandfills" ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*** 124, 242–253, (1998)

[10] Luzi, L., Pergalani, F., "Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the "Oltre Po Pavese" case history (Regione Lombardia — Italy)" ***Natural Hazards*** 20, 57–82, (1999)

[11] Miles, S.B., Ho, C.L., "Rigorous landslide hazard zonation using Newmark's method and stochastic ground motion simulation" ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering*** 18, 305–323, (1999)

[12] Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.M., "A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps" ***Engineering Geology*** 58, 271–289, (2000)

[13] Miles, S.B., Keefer, D.K., "Evaluation of seismic slope performance models using a regional case study" ***Environmental and Engineering Geoscience*** 6, 25–39, (2000)

[14] Miles, S.B., Keefer, D.K., "Seismic Landslide Hazard for the City of Berkeley, California" ***US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map*** MF-2378, (2001).

[15] Del Gaudio, V., Pierri, P., Wasowski, J., "An approach to time-probabilistic evaluation of seismically induced landslide hazard" ***Bulletin. Seismological Society of America*** 93, 557–569, (2003)

[16] Pradel, D., Smith, P.M., Stewart, J.P., Raad, G., "Case history of landslide movement during the Northridge earthquake" ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*** 131, 1360–1369, (2005)

[17] Haneberg, W.C., "Effects of digital elevation model errors on spatially distributed seismic slope stability calculations: an example from Seattle, Washington" ***Environmental and Engineering Geoscience*** 12, 247–260, (2006)

[18] Rathje, E., Saygili, G., "A vector hazard approach for Newmark sliding block analysis" ***Proceedings, New Zealand Workshop on Geotechnical Earthquake Engineering Workshop***, 20–23 November. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, pp. 205–216, (2006)

[19] Newmark, N.M., " Effects of earthquakes on dams and embankments" ***Geotechnique*** 15, 139–159, (1965)

[20] Ambraseys, N.N., Menu, J.M., " Earthquake-induced ground displacements" ***Earthquake Engineering and Structural Dynamics*** 16, 985–1006, (1998)

[21] Yegian, M.K., Marciano, E.A., Ghahraman, V.G., Earthquakeinduced permanent deformations: probabilistic approach. ***Journal of Geotechnical Engineering*** 117, 35–50, (1991)

[22] Ambraseys, N.N., Srbulov, M., "Earthquake induced displacements of slope" ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering*** 14, 59–71, (1995)

[23] Crespellani, T., Madiai, C., Vannucchi, G., "Earthquake destructiveness potential factor and slope stability" ***Geotechnique*** 48 (3), 411–419, (1998)

[24] Bray, J.D., Travasarou, T., "Simplified procedure for estimating earthquake-induceddeviatoric slope displacements" ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*** 133 (4), 381–392, (2007)

[25] Chyi-Tyi Lee, Shang-Yu Hesieh, "Empirical estimation of the Newmark desplacement from the Arias intensity and critical acceleration" ***Engineering Geology*** 122, 34–42, (2011).

[26] Arias, A., A measure of earthquake intensity. In: Hansen, R.J. (Ed.), Seismic Design for Nuclear Power Plants. ***Massachusetts Institute of Technology Press***, Cambridge,MA, pp. 438–483, (1970)

[27] Yiğit A., "Gömülü Boru Hatlarının deprem etkilerine karsı davranışı" ***Yüksek Lisans Tezi***, İ.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, (2007)

[28] AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı, (2013)

[29] Meyersohn, W. \Analytical and Design Considerations for the Seismic Response of Buried Pipelines", ***Ph.D. thesis***, Cornell University, (1991)