



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Deprem Yükleri Altında Kalıcı Şev Deplasmanlarının Tahmini

Deniz ÜLGEN^{a,*}, H. Kürşat ENGİN^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

^b Norveç Geoteknik Enstitüsü, Oslo, NORVEÇ

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: denizulgen@mu.edu.tr

ÖZET

Dinamik yükleme altındaki şevlerin stabilitesi genel olarak yarı-statik analiz yöntemi kullanılarak incelenir. Bu yöntem, belirli bir güvenlik katsayısını dikkate almakla birlikte, oluşan kalıcı deplasmanlar hakkında bir bilgi vermemektedir. Newmark, güçlü deprem hareketlerine maruz kalan şevlerin kalıcı deplasmanlarının tahmini için bir analiz yöntemi önermiştir. Bu çalışmada, saha şartları ve deprem özellikleri dikkate alınarak şevlerin davranışı dinamik analizlerle irdelenmiştir. Bu analizlerde, çeşitli gerçekçi şev modelleri seçilerek sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak, şevlerdeki potansiyel kayma yüzeyleri, basitleştirilmiş Bishop metoduyla belirlenmiştir. Daha sonra, kayma yüzeylerinin kritik ivmeleri ve maksimum ortalama etkin ivmeleri bulunarak, Newmark yöntemiyle şevlerin kalıcı deplasmanları hesaplanmıştır. Son olarak, deprem kaynaklı kalıcı şev deplasmanlarının ön tahmini için basit bir grafik ve formülasyon önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev Stabilitesi, Dinamik Analiz, Kalıcı Deplasman, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Predicting Permanent Displacements of Slopes under Earthquake Loading

ABSTRACT

Seismic stability of the slopes are usually evaluated by using the pseudo-static method of analysis. This method provides the factor of safety, but it gives no information about the anticipated displacements. Newmark proposed the method of analysis to estimate the permanent displacements of slopes subjected to strong ground motions. In the present study, dynamic analyses were carried out so as to capture the effects of site and earthquake characteristics on seismic behaviour of slopes. The analyses were performed for various realistic slope models by employing the finite element method. First, the potential slip surfaces of the slopes were determined through simplified Bishop method. Then, yield and maximum average accelerations of critical slip surface were obtained for calculating permanent displacements of the slopes by utilizing Newmark method. Consequently, a simple chart and formula were suggested for preliminary estimates of the earthquake-induced permanent slope displacements.

Keywords: Slope Stability, Dynamic Analysis, Permanent Displacement, Finite Element Method

Tablo 1. Zemin özellikleri değer aralıkları

c (kPa)	Φ (°)	PI	γ (kN/m ³)
0 – 100	0 – 40	0 – 100	18

B. DİNAMİK ANALİZ

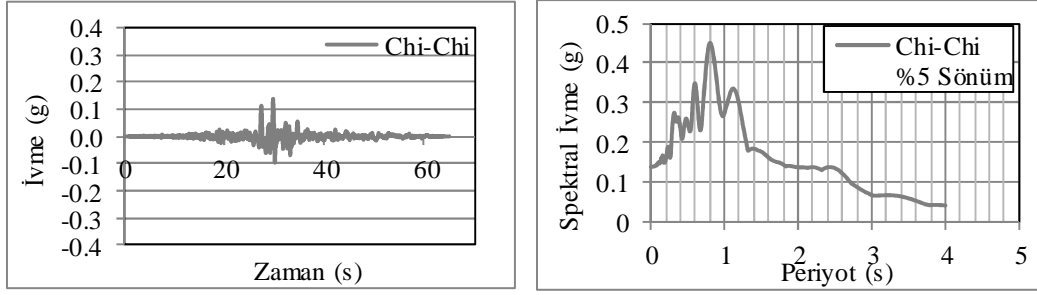
Seçilen şev kesitlerinin sismik davranışını incelemek için, dört farklı gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Seçilen depremlere ait ivme zaman kayıtları ve tepki spektrumları Şekil 2’de verilmiş ve depremlere ait bilgiler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Dinamik analizler için seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

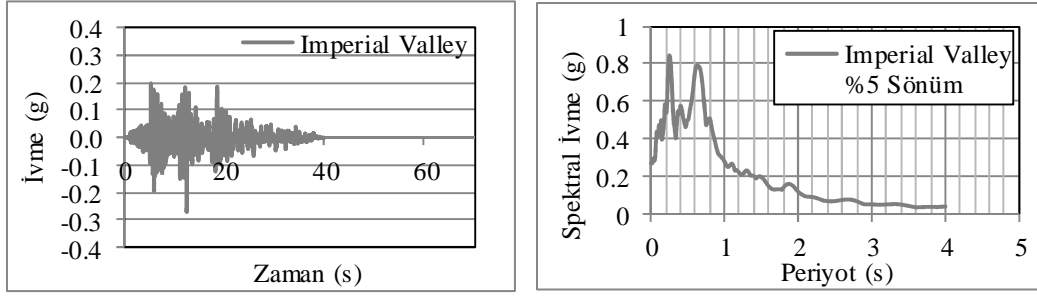
Mekanizma	Yer	Büyüklik (M_w)	Uzaklık (km)	Maksimum yer ivmesi (g)	Etkili Süre (s)	Hakim Periyot (s)
Normal Fay	Chi Chi	7.6	56	0.138	13.8	0.8
Doğrultu Atımlı Fay	Imperial Valley	6.5	28.7	0.27	20	0.26
Doğrultu Atımlı Fay	Duzce	7.1	8.2	0.348	11	0.4
Normal Fay	Northridge	6.7	12.3	0.303	12.4	0.18

Şevlerdeki birincil geo-statik gerilmeler TELSTA statik SE programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu programda zeminin doğrusal olmayan davranışını modellemek için ardışık artan lineer yaklaşımı kullanılmıştır. Şevlerin dinamik analizleri ise eşdeğer lineer ve düzlem birim şekil değiştirme durumları için geliştirilmiş olan TELDYN SE programı ile yapılmıştır.

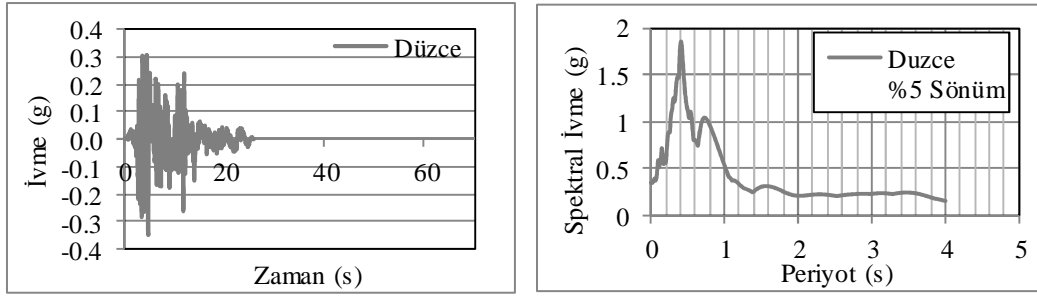
Deprem tepki analizleri düşünüldüğünde, dinamik yükler altında zemin özellikleri doğrusal değildir. Zeminin doğrusal olmayan davranışını temsil etmek için eşdeğer lineer modeli kullanılabilir. Tekrarlı dinamik yükler altında, normalize zemin kayma modülü (G/G_{max}), kayma birim deformasyonu ile birlikte azalmakta, sönüm oranı ise kayma birim deformasyonu ile artmaktadır. Zeminin bu davranışını modelleyebilmek amacıyla, kohezyonsuz zeminler için Seed ve arkadaşları [8], [9] tarafından önerilen eğriler kullanılmıştır (Şekil 3). Şekil 3’te görüldüğü gibi G/G_{max} ve sönüm oranı değerleri ortalama efektif gerilme ($s'm$) ve kayma birim deformasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Kohezyonlu zeminler için ise, Vucetic ve Dobry [10] tarafından önerilen eğriler kullanılmıştır (Şekil 4). Bu eğrilerde G/G_{max} ve sönüm oranı değerleri PI ve kayma birim deformasyonuna göre değişmektedir.



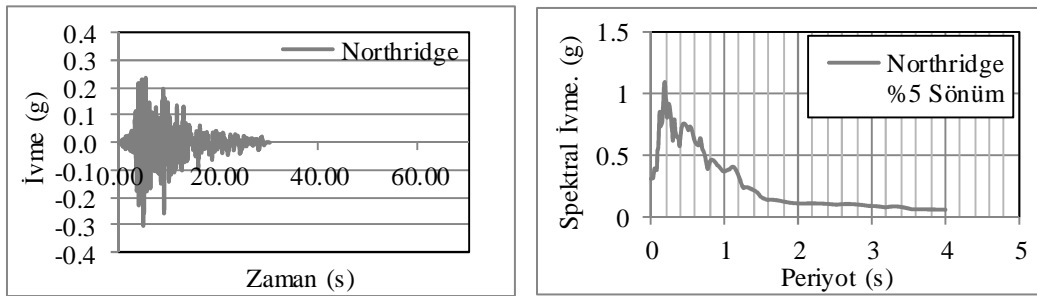
(a)



(b)

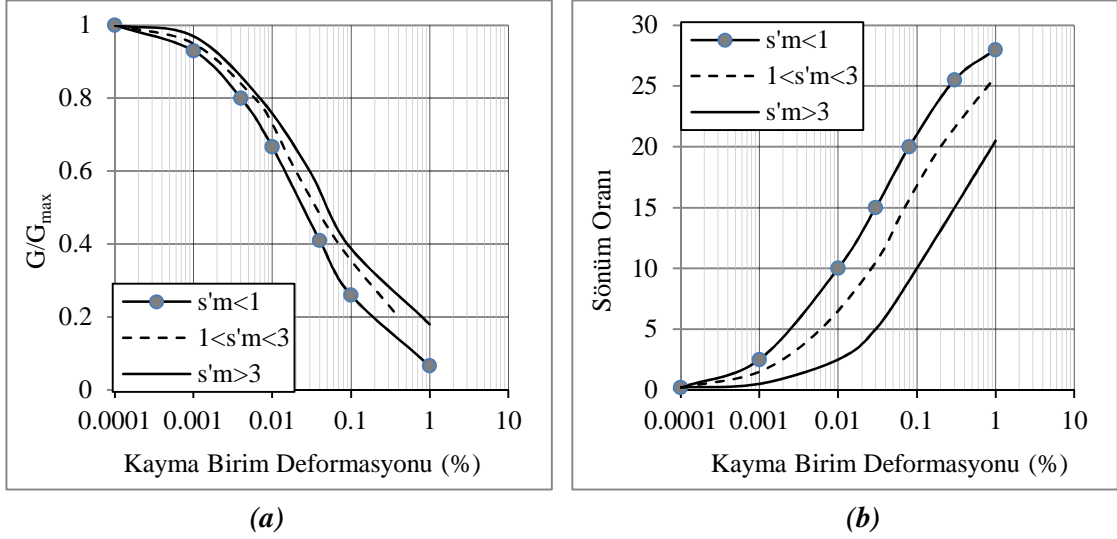


(c)

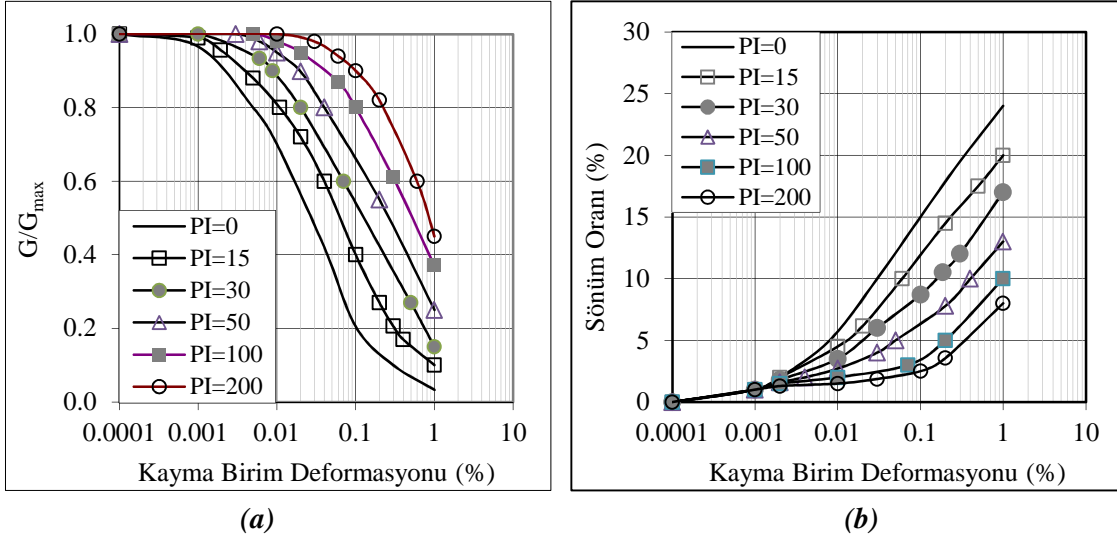


(d)

Şekil 2. Dinamik Analizlerde kullanılan gerçek deprem kayıtlarına ait ivme zaman kayıtları ve tepki spektrumları
(a) Chi-Chi (b) Imperial Valley (c) Düzce (d) Northridge



Şekil 3. Kohezyonsuz zeminler (kumlar) için (a) Kayma modülü azalım eğrileri [9] (b) Sönüm eğrileri [10]



Şekil 4. Kohezyonlu zeminler (killer) için (a) Kayma modülü azalım eğrileri [8] (b) Sönüm eğrileri [8]

C. KALICI DEPLASMAN

Şevlerin sismik duraylılığını değerlendirmek için kullanılan en yaygın yaklaşım yarı-statik yöntemidir. Bu yöntem, basit ve kolay uygulanabilir bir yöntem olup, dinamik etkileri dikkate almadığından güvenli sonuçlar vermemektedir. Bu çalışmada, yarı-statik analiz yöntemi çoğu zamanki kullanımından farklı olarak, güvenlik katsayımı 1 ($G.K.=1$) yapan kritik kayma yüzünün akma ivmesini elde etmek için kullanılmıştır. En kritik kayma yüzeyi ve ona ait akma ivmesi, sadeleştirilmiş Bishop yöntemini uygulayan bilgisayar yazılımı SLOPE ile belirlenmiştir [11]. Elde edilen akma ivmesi daha sonra Newmark yöntemi ile şevde meydana gelen kalıcı deplasmanların tahmini için kullanılmıştır (Şekil 5). Şevlerin kalıcı deplasmanlarını hesaplamak için uygulanan prosedür aşağıdaki gibidir:

- i) Kayma yüzeyi sonlu elemanlara bölünür.
- ii) Her eleman için zaman alanında ortalama ivme kayıtları dinamik sonlu elemanlar yöntemi

kullanılarak hesaplanır.

- iii) Bir elemanın zaman alanındaki kuvvet kaydı, $F_e(t)$, her elemanın kütlesini ivmesiyle çarparak elde edilir.

$$F_e(t) = m_e \cdot a_e(t) \quad (1)$$

burada, m_e elemanın kütlesi ve $a_e(t)$ zaman alanındaki ivme kaydıdır.

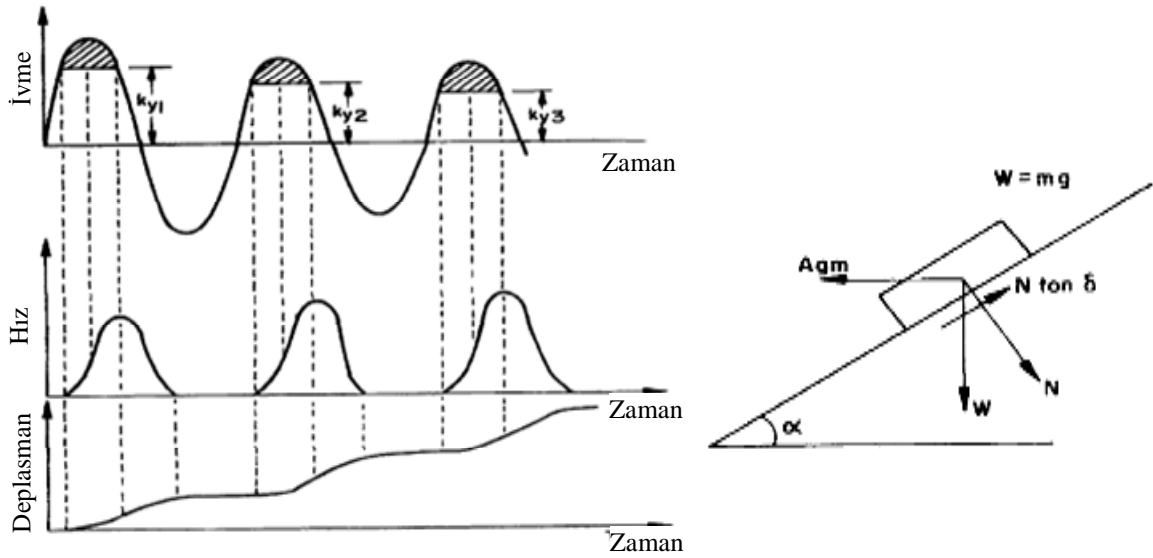
- iv) Kayma yüzeyine etkiyen toplam kuvvet, $F_b(t)$, elemanlara etkiyen kuvvetler toplanarak bulunabilir.

$$F_b(t) = \Sigma F_e(t) = \Sigma m_e \cdot a_e(t) \quad (2)$$

- v) Kayma yüzeyinin zaman alanındaki ortalama ivme kaydı, \bar{a}_{ave} , kayma yüzeyine etki eden toplam kuvvetin kayma yüzeyinin toplam kütlesine (m_b) bölünmesiyle bulunur.

$$\bar{a}_{ave}(t) = \frac{F_b(t)}{m_b} = \frac{\Sigma m_e \cdot a_e(t)}{\Sigma m_e} \quad (3)$$

- vi) Son olarak, kayma yüzeyinde meydana gelen kalıcı deplasman, etki eden ivmelerle akma ivmesi arasında oluşan farkın iki defa integrali alınmasıyla hesaplanır.

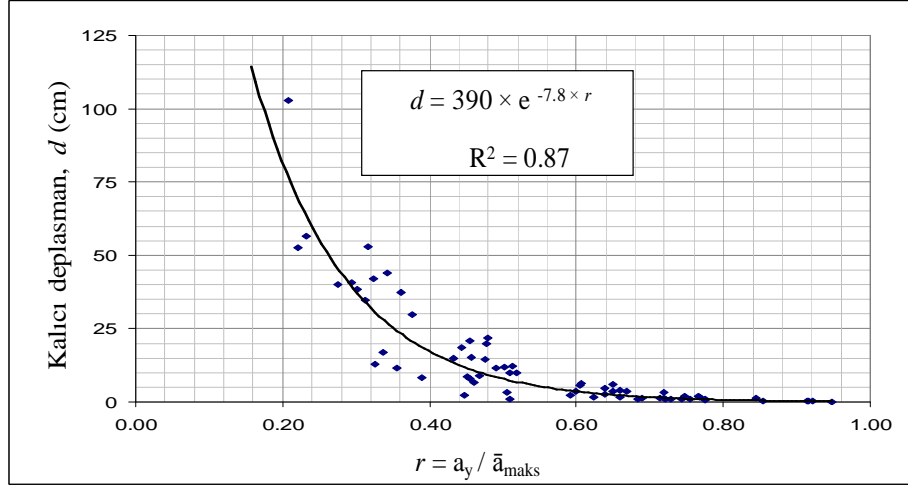


Şekil 5. Newmark kalıcı deplasman analizinin şematik olarak gösterimi [12]

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

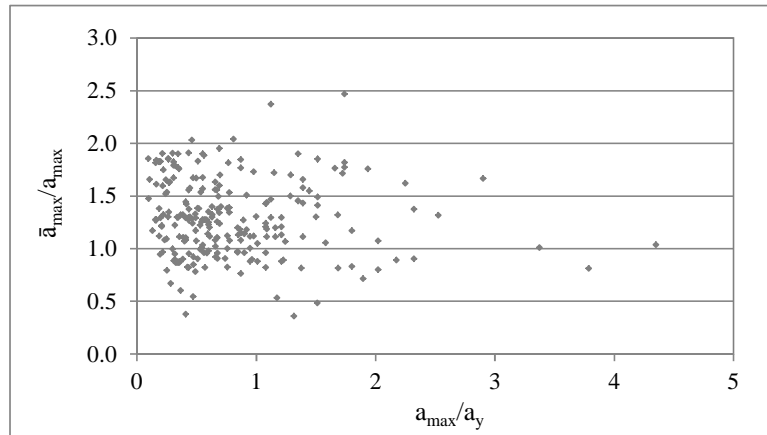
Şevlerde meydana gelen kalıcı deplasmanlar, 200 farklı durum için Newmark metoduyla tahmin edilmiştir. Herbir potansiyel kayma yüzeyi için hesaplanan kritik ivmeler (a_y), kayma yüzeyinin zaman alanında elde edilen ortalama ivme kaydının maksimum değeri (\bar{a}_{maks}) ile normalize edilmiştir. Kalıcı deplasmanların (d), normalize edilen bu değerler ($r = a_y/\bar{a}_{maks}$) ile değişimi Şekil 6'de verilmiştir. Bu veriler için regresyon yapılmış ve aşağıdaki matematiksel denklem (Eş. 4) elde edilmiştir.

$$d = 390 \times \exp(-7.8 \times r) \quad (4)$$



Şekil 6. Kalıcı deplasmanın $r = a_y/\bar{a}_{maks}$ ile değişimi

Şevlerde deprem yükü altında meydana gelebilecek olan deplasmanlarla ilgili olarak bir ön tahminde bulunabilmek için Eş. 4'te verilen ilişki kullanılabilir. Bu ilişkide, \bar{a}_{maks} değeri kayma yüzeyi derinliğine, deprem ivmesi, frekansı ve zemin doğal titreşim periyotlarına göre değişebilmektedir. Dinamik analizlerde elde edilen \bar{a}_{maks} değerleri maksimum yer ivmesi, a_{max} , değerleri ile normalize edilmiş (\bar{a}_{maks}/a_{max}) ve kritik ivme değerleri ile normalize edilen maksimum yer ivmesi değerlerine (a_{max}/a_y) göre değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. ā_{maks}/a_{max} değerlerinin a_{max}/a_y değerlerine göre değişimi.

Şekil 7’de görüldüğü gibi \bar{a}_{maks}/ a_{maks} değerleri 0.5 ile 2.5 arasında değişmektedir. Buna göre, \bar{a}_{maks} değeri, maksimum yer ivmesi (a_{maks}) değerinin 0.5 ile 2.5 katı arasında bir değer seçilerek tahmin edilebilir. Böylece, kestirilen \bar{a}_{maks} değerleri a_y ile normalize edilerek, şevde dinamik yükler altında oluşabilecek kalıcı deplasmanlar hakkında ön tahminde bulunabilir.

IV. SONUÇ

Şevlerin sismik stabilitesinin tahkiki genel olarak yarı-statik analiz yöntemi ile yapılmaktadır. Oldukça kolay uygulanabilen bu yöntemde, şevin duraylılığı, şevde meydana gelen deplasmanlar hesaplanmadan, elde edilen güvenlik katsayılarına göre tahkik edilmektedir. Analizler için gerekli olan sismik katsayı seçimi ve güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi oldukça güç olduğu için, son yıllarda, sismik şev stabilitesi sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmektedir.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, farklı eğimlere ve zemin profillerine sahip olan şevlerin, deprem yükleri altındaki dinamik analizi yapılmıştır. Dinamik analizden elde edilen sonuçlar kullanılarak, Newmark yöntemi yardımı ile deprem hareketlerine maruz kalan şevlerde meydana gelebilecek kalıcı deplasmanlar hesaplanmıştır. Dinamik analiz sonuçları ve hesaplanan deplasmanlar birlikte değerlendirilmiş ve geoteknik mühendislerinin şevlerdeki kalıcı deplasmanlarla ilgili ön tahmin yapabilmeleri için basit bir formülasyon önerilmiştir. Önerilen formülasyondan elde edilen deplasmanlar, yarı-statik analizle birlikte değerlendirilerek, deprem yüklerine maruz kalan şevlerin duraylılığı tahkik edilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] N.M. Newmark *Geotechnique* **15(2)** (1965) 139.
- [2] F.I. Makdisi, H.B. Seed *Journal of Geotechnical Engineering* **104(7)** (1978) 849.
- [3] J.D. Bray, T. Travasarou *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* **133(4)** (2007) 381.
- [4] M.E. Hyness-Griffin, A.G. Franklin *Rationalizing the Seismic Coefficient Method* Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Corps of Eng. (1984).
- [5] M.K. Yegian., E.A. Marciano and V.G. Ghahraman *Journal of the Geotechnical Engineering* **117(1)** (1991) 35.
- [6] J. D. Bray and E. M. Rathje *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*,- **122 (11)** (1998) 952
- [7] M.Y. Özkan *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **17** (1998) 439.
- [8] H.B. Seed, R.T. Wong, I.M. Idriss and K. Tokimatsu *Journal of Geotechnical Engineering* **112(11)** (1984) 1016.
- [9] H.B. Seed, R.T. Wong, I.M. Idriss and K. Tokimatsu *Journal of Geotechnical Engineering* **112(11)** (1984) 1016.
- [10] M. Vucetic and R. Dobry *Journal of Geotechnical Engineering* **117 (1)** (1991) 89.
- [11] D.L. Borin, *SLOPE Slope Stability Analysis Program*, Geosolve (1983).
- [12] M.Y. Özkan, M. Özyazıcıoğlu and U.D. Aksar *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **26** (2006) 405.