



MEKANİK BİR SARSMA MASASIYLA ELDE EDİLEBİLEN HAREKET PARAMETRELERİ VE BİR UYGULAMA

MOTION PARAMETERS OF A MECHANICAL SHAKING TABLE AND AN APPLICATION

Sefer Beran ÇELİK^{1*}, Halil KUMSAR¹, Ömer AYDAN²

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, 20070, Kınıklı, Denizli.
scelik@pau.edu.tr, hkumsar@pau.edu.tr

²Okyanuz Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, Tokai Üniversitesi, Shimizu-ku Shizuoka 424-8610, Japonya.
aydan@scc.u-tokai.ac.jp

Geliş Tarihi/Received: 28.01.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 27.05.2013

doi: 10.5505/pajes.2013.85057

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Bu çalışmada, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde tasarlanmış ve bir üretici firmaya yaptırılmış olan 1.5x1.0 m ebatlarındaki sarsma masası tanıtılmış ve üretilebilen hareket parametrelerine değinilmiştir. Farklı mühendislik amaçları doğrultusunda, depremlerin etkisiyle meydana gelen dinamik etkinin laboratuvar koşullarında modellenilebilmesi için sarsma masaları kullanılmaktadır. Büyük boyutlu sarsma masaları, yüksek güç kapasiteli ve çok hızlı hareket edebilen hidrolik sistemlerle çalışmakta ve çok yüksek maliyetlere ulaşmaktadır. Bunun yanında küçük boyutlu ve üzerinde çeşitli model deneylerinin yapılabildiği ve farklı eğitim amaçları doğrultusunda kullanılabilen düşük maliyetli sarsma masaları yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada tanıtılan tek yönlü, hareketini elektrik motorundan alan sarsma masası ile elde edilebilen, hız, ivme, frekans ve periyot değerlerine değinilmiştir. Örnek bir uygulama olarak laboratuvar koşullarında artan taban ivmesi etkisinde düzlemsel kayma yüzeyi içeren ve doğal malzeme ile oluşturulmuş bir bloğun kayma hareketi izlenmiştir. 3 farklı eğim miktarı için deney tekrarlanmıştır. Harekete neden olan kritik ivme deneysel olarak belirlenmiş ayrıca sayısal olarak hesaplanarak ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sarsma masası, Model deneyler, İvme.

Abstract

In this study, 1.5x1.0 m dimensioned shaking table which was designed and built by Geological Engineering Department of Pamukkale University Engineering Faculty is introduced and produced motion parameters are discussed. In order to determine the different engineering purposed model behaviors under earthquake induced dynamic loads, shaking tables are used in laboratory conditions. High power capacity and fast hydraulic systems are needed for large shaking table facilities and this makes them very expensive. However small scaled economical shaking tables are getting used in different purposes such as model tests and educational demonstrations. Velocity, acceleration, frequency and period values of this electric motor driven unidirectional shaking table which was introduced in this study were calculated. Finally as an example application, a block which is consisted of natural material and has a planar sliding surface, attached on shaking table and displacement of the block with increasing base acceleration was monitored. Critical acceleration for the sliding block was experimentally determined. Tests were repeated in three different slope angles. Displacements were also calculated and measured and calculated block displacement values were compared.

Keywords: Shaking table, Model test, Acceleration.

1 Giriş

Sarsma masaları, laboratuvar koşullarında çeşitli mühendislik amaçları doğrultusunda küçük ölçekli modellerin, depremlerin oluşturduğu dinamik yüklere benzer yükler altındaki davranışlarının izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sarsma masalarının yapı mühendisliği ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Deprem kayıtlarının simüle edilebildiği, büyük boyutlu, 3 yönde hareket edebilen sarsma masaları çok yüksek güç kapasiteli ve hızlı hareket edebilen hidrolik sistemler ile çalıştırılmaktadır. Karmaşık kontrol sistemleri ve veri alım ünitelerinin bulunduğu bu tip sistemlerin maliyetleri çok yüksek olup, dünyada sayılı araştırma merkezlerinde bulunmaktadır. Sarsma masalarıyla ilgili literatür incelendiğinde temel olarak iki gruba ayrılabilir; birincisi sarsma masalarının tasarımları, kapasiteleri, hassasiyetleri ve bunlarla ilgili değerlendirme ve öneriler, ikinci grup çalışmalar ise sarsma masaları üzerinde çeşitli amaçlar için oluşturulan modellerin deprem performanslarının incelendiği çalışmalardır [1, 2, 3, 4, 5 vb]. Ülkemizde de sarsma masalarının imalatı ve deneysel

çalışmalarda kullanımlarıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır [6, 7, 8, 9 vb]. Son yıllarda düşük maliyetli ve küçük boyutlu sarsma masalarının imalatı artmaya başlamıştır. Bu tür sarsma masalarıyla bilimsel ve eğitim amaçlı çalışmalar, küçük boyutlu model deneylerinin yapılması, ayrıca çeşitli deprem etkilerinin laboratuvar koşullarında sergilenmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, PAÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde bir proje kapsamında tasarlanıp yaptırılmış küçük ölçekli olarak nitelendirilebilecek bir sarsma masası tanıtılmıştır. Sarsma masası boyutu açısından, [10]'a göre küçük ölçekli olarak nitelendirilebilir. Sarsma masası üzerinde çeşitli ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Farklı motor devirlerinde elde edilen hız, ivme, frekans ve periyot değerleri incelenmiştir. Dakikadaki devir sayısına göre elde edilen yer değiştirme, hız ve ivme değerleri verilen formüllerle teorik olarak hesaplanmıştır. Sarsma masası deprem kayıtlarını simüle edebilecek özellikte donanıma sahip olmayıp, zamana bağlı olarak motor devrinin değiştirilmesiyle sabit, artan, azalan veya değişik genlikte ivme değerleri oluşturulabilmektedir.

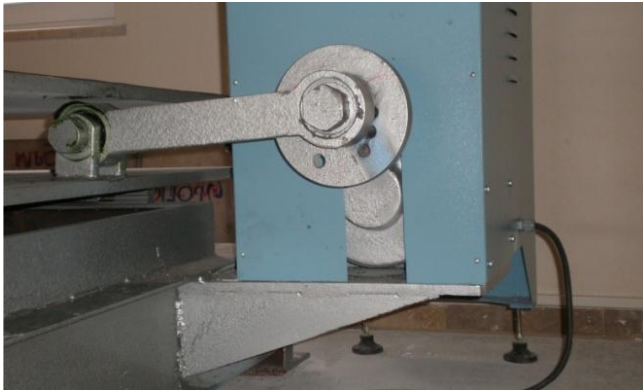
2 Sarsma Masasının Genel Özellikleri

Sarsma masası; üst tablası 1.5x1.0 m boyutlu, 500 kg'a kadar örneklerin deneye tabi tutulabileceği tek yönde hareket edebilen, hareketini bir elektrik motorundan alan ayrıca üst tablası hidrolik bir piston aracılığıyla 45°'ye kadar eğimlendirilebilir özelliklerde tasarlanmıştır. Sarsma masasının genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Tek katlı laboratuvar yapısı içine yerleştirilen sarsma masası, yapı temelinden bağımsız olarak dökülen beton bir bloğa çelik bulonlarla sabitlenmiştir.



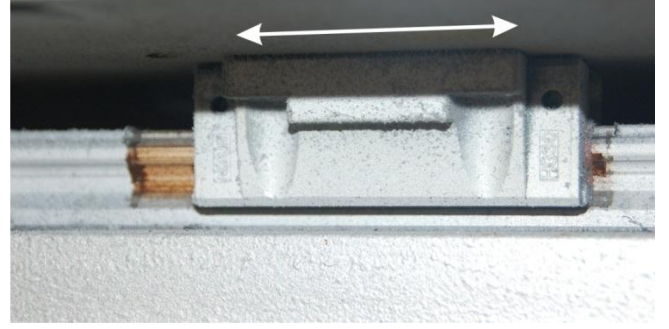
Şekil 1: Sarsma masasının genel görünümü.

Masaya hareketini veren elektrik motorunun sürücü sistemi, 5 ayrı adım için motor devri ve süre seçenekleri girilerek programlanabilmektedir. Motora bağlı diskin (Şekil 2), hareketi ile yatay ve tek yönde, sabit, azalan ve artan genliklerde sinüs formülü ivmeler üretilebilmektedir. Diskin merkez ekseninden dışa doğru değişik uzaklıklarda sabitlenebilen hareket kolu masaya hareket vermektedir. Dolayısıyla bu uzaklığın değiştirilmesiyle masanın hareket mesafesi de değiştirilebilmektedir. Ancak, bu değişimin çalışma sırasında yapılması mümkün değildir.



Şekil 2: Sarsma masasına hareket veren elektrik motoruna bağlı disk.

Masanın ek titreşim ve salınım yapmadan düzgün olarak hareket edebilmesi için üst kısım dört adet ray üzerine hareket etmektedir (Şekil 3). Sarsma masasının en üst yüzeyi hidrolik bir piston yardımıyla eğimli hale getirilebilmektedir. Bu sayede modellerin farklı eğim açılarında deneye tabi tutulması pratik olarak mümkün olmaktadır. Şekil 4'de bu detay ve hidrolik pompa ünitesi görülmektedir.



Şekil 3: Sarsma masasının üzerinde hareket ettiği ray sistemi.



Şekil 4: Eğimlendirme pistonu ve hidrolik pompa ünitesi.

3 Elde Edilebilen Hareket Parametreleri

Sarsma masası, farklı hareket mesafeleri için çalıştırılarak bazı gözlemler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada, 30 mm hareket miktarı için üretilen hız ve ivme değerlerinin deneysel çalışmalar için uygun olacağı görülmüştür. Daha uzun yatay mesafe değişimlerinde sistemin zorlandığı görülmüştür [11].

Sinüzoidal bir salınım için masanın yer değiştirmesi aşağıdaki ilişki ile verilir;

$$U = U_o \sin(\lambda t) \quad (1)$$

1 no'lu denklemden masanın hızı (V) ve ivmesi (A) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$V = \lambda U_o \cos(\lambda t) \quad (2a)$$

$$A = -\lambda^2 U_o \sin(\lambda t) \quad (2b)$$

Burada; λ açısal devir frekansı olarak anılır ve devir süresi (T) ve frekansı (f) ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilir.

$$\lambda = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Dolayısıyla en yüksek hız ve ivmeyi veren açısal devir frekansı değerine $t = T \cdot \pi / 2$ ile $t = 3 \cdot T \cdot \pi / 2$ olduğunda ulaşılabılır ve aşağıdaki gibi ilişkilendirilir.

$$V_{maks} = \lambda U_o \quad (4a)$$

$$A_{maks} = \lambda^2 U_o \quad (4b)$$

Eğer 1 dakikalık süre içindeki devir sayısı (d) olarak düşünülürse, en yüksek hız ile ivme değeri devir cinsinden aşağıdaki gibi ilişkilendirilebilir.

$$V_{maks} = 0.05236d \cdot U_o \quad (5a)$$

$$A_{maks} = 0.005483d^2 U_o \quad (5b)$$

Eğer $U_o = 3$ cm olarak seçilirse (5) nolu ilişkide verilen değerler devir sayısı cinsinden aşağıdaki hali alır.

$$V_{maks} = 0.157d \quad (6a)$$

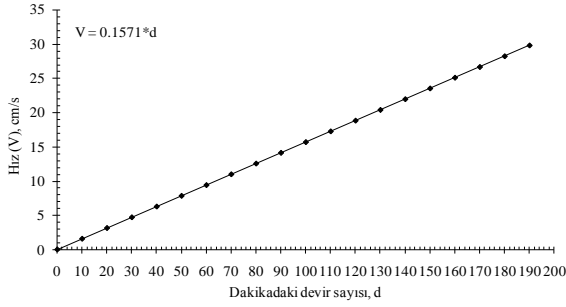
$$A_{maks} = 0.0165d^2 \quad (6b)$$

Bunun yanında frekans ve salınım süresi (periyot), devir sayısı ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilir.

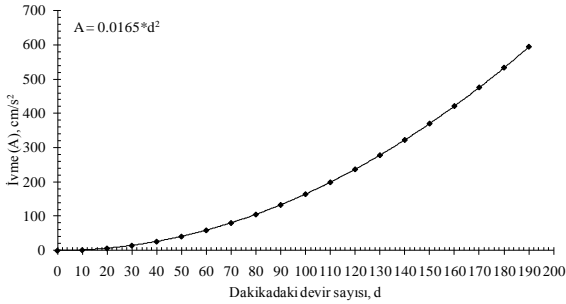
$$f = 0.167d \quad (7a)$$

$$T = 60/d \quad (7b)$$

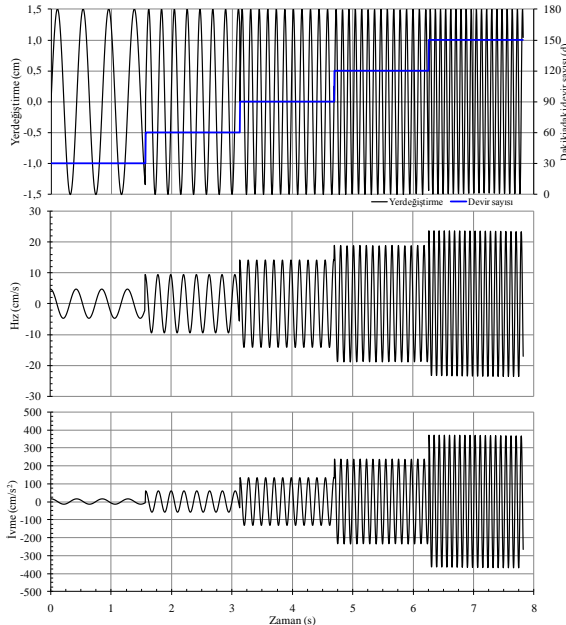
Devir sayısına bağlı olarak elde edilen en büyük hız ve ivme değerleri grafik olarak Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Ayrıca 30, 60, 90, 120 ve 150 dv/dk için yukarıdaki ilişkilerden hesaplanan yer değiştirme, hız ve ivme değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5: Motor devri ve hız ilişkisi.



Şekil 6: Motor devri ve ivme ilişkisi.



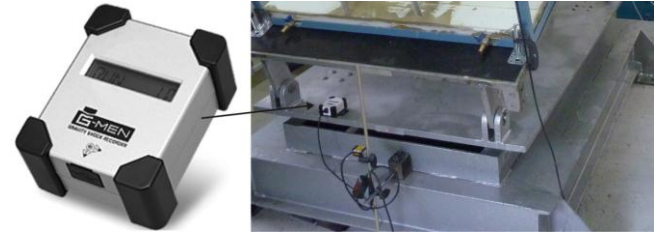
Şekil 7: 30-60-90-120 ve 150 dv/dk için hesaplanan yer değiştirme, hız ve ivme değerleri.

Sarsma masasında ivmeölçer ile alınan ölçüm sonuçlarının yukarıdaki formüllerden elde edilen değerlerden farklı olması sarsma masasının salınımı sırasındaki sürtünme kayıpları ve mekanik cihazın davranış farklılığından kaynaklanacaktır. Bir

deneysel çalışmanın planlanması aşamasında, masa üzerinde elde edilebilecek parametrelerin önceden kestirilebilmesinde yukarıdaki teorik ilişkiler göz önüne alınarak amaca uygun devir sayıları belirlenebilecektir. Ancak, deneysel çalışmalarda ivmeölçer kullanılarak ivme kaydının alınması daha hassas ve sağlıklı değerlendirme yapmaya olanak sağlayacaktır. Söz konusu sarsma masası kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda bir ivmeölçer kullanılmış ve deney süresince alınan ivme genliği değerleri hesaplama ve değerlendirmelerde kullanılmıştır.

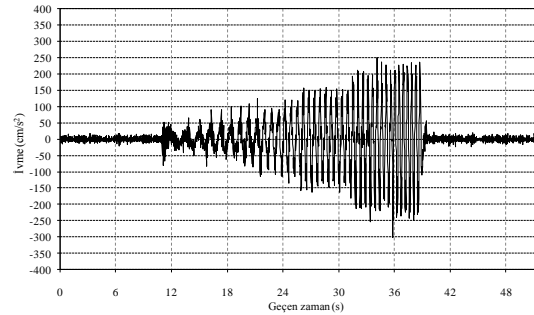
Deneysel çalışmalarda G-MEN DR02α ivmeölçer kullanılmıştır (Şekil 8). İvmeölçer 3-eksende ivme kaydı alabilmekte ve 3 adet ince kalem pille çalışmaktadır.

Deney süresince verileri kendi dahili hafızasına kaydeden cihaz bilgisayar aracılığı ile kurulabilmektedir. Deney sonunda veriler bilgisayara aktarılmaktadır. 0.01 g hassasiyetli kayıt alabilen cihaz en fazla 1 g'ye kadar ivmeleri algılayabilmektedir. En düşük 10 ms zaman aralığında, toplam 8000 veri kaydedebilmektedir (<http://www.g-men.jp>).

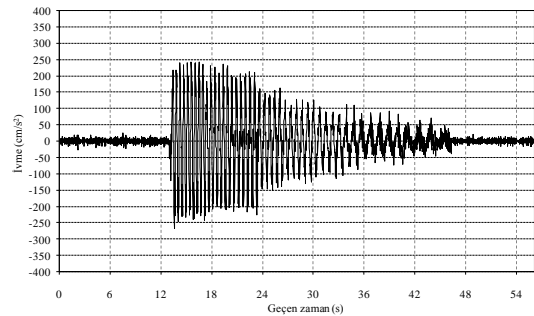


Şekil 8: G-MEN DR02α ivme ölçer.

Deneysel çalışmalarda sarsma masasıyla üretilecek ivme genliklerinin zamana bağlı olarak sabit tutulması, artırılması veya azaltılmasıyla modelde meydana gelecek deformasyonların izlenmesi, ayrıca ivme ve deformasyon arasındaki ilişkilerin incelenmesi mümkün olabilmektedir. Bu amaçla tanıtılan sarsma masası ile üretilebilen örnek ivme genlikleri Şekil 9 ve 10'da verilmiştir. Şekil 9'da zamana bağlı olarak artan, Şekil 10'da ise azalan devirlerde elde edilen ivme genlikleri sunulmuştur.



Şekil 9: Zamana bağlı olarak artan ivme-zaman grafiği.



Şekil 10: Zamana bağlı olarak azalan ivme-zaman grafiği.

4 Sarsma Masası İle Gerçekleştirilen Bir Model Deneyi

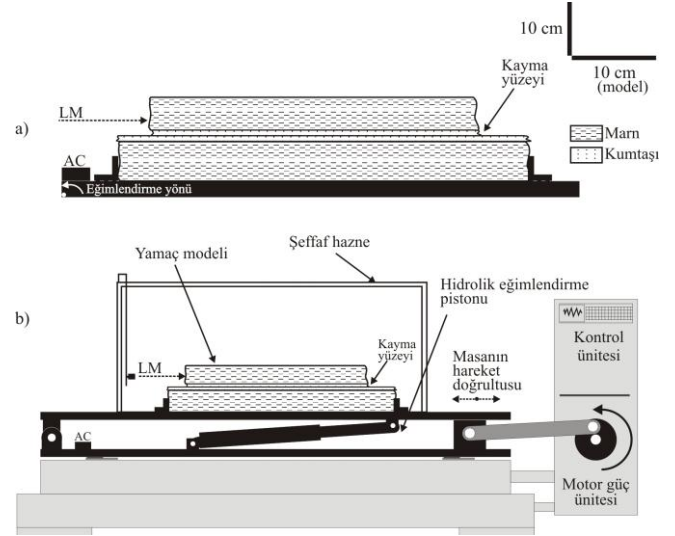
Bu çalışmada tanıtilen sarsma masası kullanılarak çeşitli model deneylerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. [11] tarafından düzlemsel şev kaymasının modellenmesi amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinin bir kısmı örnek uygulama olarak bu bölümde sunulmuştur. Bir yamacın (şevin) gerek tasarımında gerekse tasarım sonrası uzun dönem performansı üzerinde, herhangi bir dinamik etki altında meydana gelebilecek deformasyonların önemi çok büyüktür. Bu anlamda, sarsma masaları kullanılarak gerçekleştirilen dinamik model deneylerinde deformasyonların önceden kestirilebilmesi çok önemlidir.

Şev modeli, araziden alınan doğal marn tabakaları ve örselenerek alınan kum kullanılarak oluşturulmuştur. Kolayca dağılabilen marn, hassas olarak el testereleri kullanılarak boyutlandırılmıştır. Kumtaşı seviyelerinin çok zayıf ve kolaylıkla dağılabilir özellikte olmasından dolayı araziden tabakalar halinde alınması mümkün olmamıştır. Bunun yerine kum, örselenerek alınmış ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir kimyasal bağlayıcı olan stiren akrilik ve su ile karıştırılarak marn tabakaları arasında yapay kumtaşı seviyeleri oluşturulmuştur. En uygun karışım oranının belirlenebilmesi için belirli oranlarda karışımlar hazırlanıp, hazırlanan örnekler üzerinde makaslama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğal örnekler üzerinde yapılan makaslama deney parametrelerine en yakın değerler % 1, 4 ve 95 (stiren araldit, su ve kum) karışım oranı ile elde edilmiştir. Model, sarsma masası üzerinde içine konulacağı 95x95x40 cm boyutlarında bir pleksi-glas hazne içinde oluşturulmuştur. Hazne sarsma masasına sabitlenerek, yatay ve eğimli konumdaki stabilitesi sağlanmıştır. Model tabanı ile hazne arasında sürtünme oluşturması amacıyla tabana zımpara kağıdı yapıştırılmış ve alt blok ön ve arkasından plastik tamponlarla hazne kenarlarına sabitlenmiştir. Bu sayede, özellikle masanın ileri geri hareketi sırasında taban bloğunun stabilitesi sağlanmış ayrıca masanın ürettiği ivme değerlerinin eşit olarak taban bloğuna iletilmesi sağlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: Model hazırlama aşamaları [11].

Hazırlanan şev modelin alt bloğu, 50x50x6.5 cm, üst bloğu 40x50x6.5 cm ve kumtaşı ara seviyesi ise 50x50x2 cm boyutlarındadır. Toplam model ağırlığı yaklaşık 60 kg'dır. Sarsma masasının üzerine yerleştirilen model ve deney düzeneği toplam yaklaşık 100 kg'dır. Model ve deney düzeneği şematik olarak Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12: Laboratuvar koşullarında hazırlanan fiziksel modelin ölçekli görünümü (a) ve deney düzeneği ayrıntıları (b), (LM: blok yer değişimi ölçüm noktası, AC: ivmeölçer), [11'den değiştirilmiştir].

Şev modeli 16, 20 ve 24° eğimde dinamik deneye tabi tutulmuştur. Deney kuru koşullarda gerçekleştirilmiştir. Eğimli konumda kritik ivme değerinin aşılması ile hareket eden bloğun yer değiştirme miktarı lazer algılayıcı ile izlenmiştir. 2. sınıf ve 650 nm dalga boylu lazer kullanan lazer algılayıcı, algılayıcıdan 60-140 mm uzaklıkta ve 0.01 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir [12]. Algılayıcı (Şekil 13), yükseltici ünitesiyle (Şekil 14) ile kullanılabilir. Ayrıca algılayıcının yükselticiye gönderdiği sinyal yükselticide işlenerek voltaj veya miliamper olarak veri kayıt sistemine gönderilmektedir.

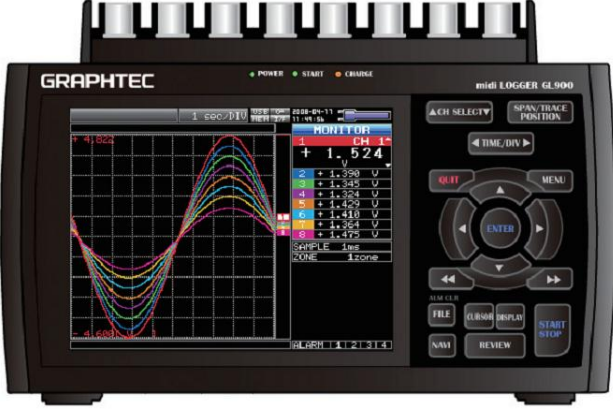
Gratçer GL900 veri kayıt cihazı kullanılarak lazer mesafe ölçer verisi kaydedilmiştir. Yüksek hızlı veri kaydıyla mesafe değişimi veya hareket miktarı çok hassas olarak izlenebilmektedir (Şekil 15). 8 kanalda veriyi kendi dahili hafızasına kaydedebilen cihaz bilgisayara çeşitli ara yüzler ile de bağlanabilmektedir [13]. Bu çalışmada, hesaplamalarda kullanılan veriler 20 ms zaman aralıklarıyla kaydedilmiştir. Deney süresince yer değiştirme miktarları lazer yükseltici ünitesinin veri kayıt cihazına gönderdiği voltaj değerlerinden hesaplanmıştır. Lazer mesafe ölçüm sistemleri çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere üretilmekte olup, bu tür çalışmalarda pratik olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Model deneylerde yer değişimi ölçümü amacıyla lazer mesafe ölçüm sistemlerinin kullanıldığı çalışmalara sınırlı olmakla birlikte rastlanılmaktadır [3, 14, 15 vb].



Şekil 13: Model deneylerde hareket miktarının ölçülmesinde kullanılan lazer algılayıcı.



Şekil 14: Lazer algılayıcının yükseltici ünitesi.



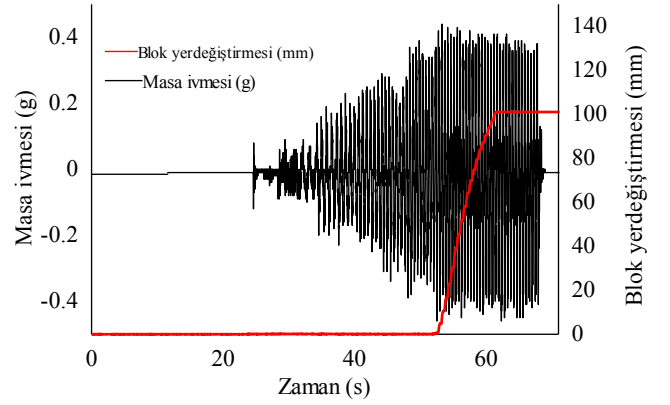
Şekil 15: Graphtec 8 kanallı veri kayıt cihazı [13].

Deneyler esnasında masanın ürettiği ivme yatay olarak yerleştirilen ivmeölçer ile kaydedilmiştir. Deney başlangıcından itibaren kayma hareketinin başlamasına kadar motor devri artırılarak uygulanan ivme de artırılmış daha sonra sabitlenerek deney bitirilmiştir. Sarsma masası ve deney düzeneği Şekil 16'da verilmiştir.

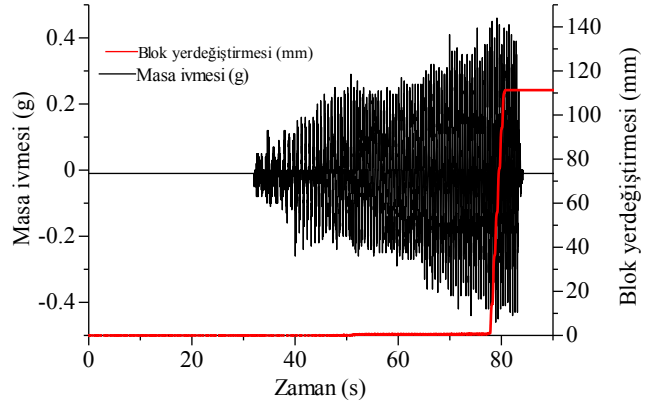
Dinamik deneyler kuru koşullarda gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyden sonra kayan blok ilk konumuna taşınmıştır. 16, 20 ve 24° eğimde gerçekleştirilmiş deneylerde alınan ivme ve blok yer değiştirme değerleri grafik olarak Şekil 17, 18 ve 19'da verilmiştir. Eğim açısı miktarının artışıyla kritik ivme miktarının da azaldığı görülmüştür. Eğimin 16°'den 24°'ye çıkarılmasıyla kritik ivme miktarı 0.45 g'den 0.22 g'ye düşmüştür [11].



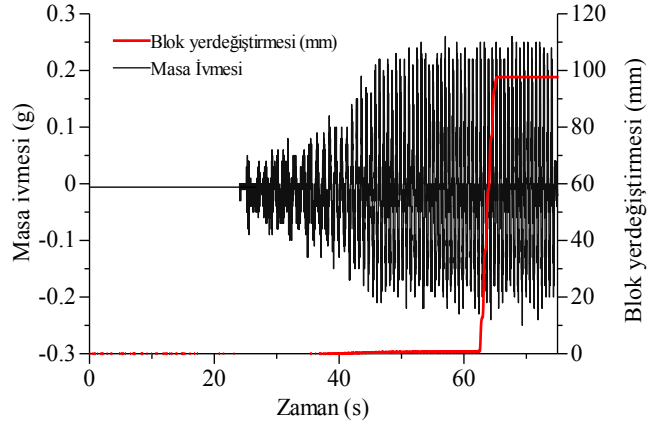
Şekil 16: Sarsma masası ve fiziksel model deney seti [11].



Şekil 17: 16° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve blok yer değiştirme grafiği [11].

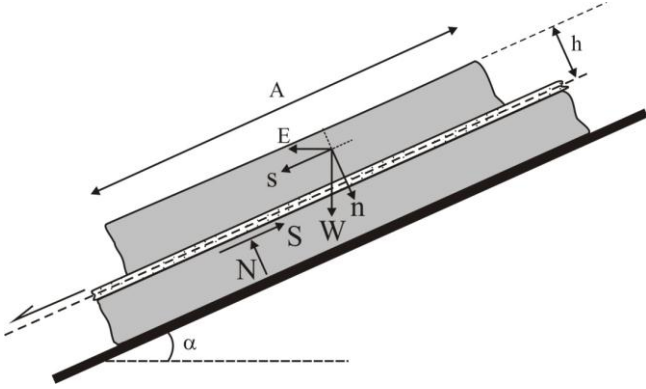


Şekil 18: 20° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve blok yer değiştirme grafiği [11].



Şekil 19: 24° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve blok yer değiştirme grafiği [11].

Farklı eğim açılarında bloğu hareket ettiren kritik ivme değerleri ve blok hareketinin seyri deneysel olarak belirlendikten sonra, ölçülen yer değiştirme miktarlarının sayısal çözümleme sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi amacıyla [16] kayan blok analizi yaklaşımına benzer bir yaklaşım olan ve [17] tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda yer değiştirmelerin hesaplanma aşamaları aşağıda verilmiştir. Şekil 20'de model üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 20: Eğimli kayma yüzeyi üzerindeki bloğa etkiyen kuvvetler [17'den değiştirilerek].

Burada,

W: Kayan bloğun ağırlığı,

h: Kayan bloğun yüksekliği,

E: Dinamik yük,

α: Kayma düzleminin yatayla yaptığı açı,

A: Kayma yüzeyi uzunluğu,

S ve N: Kaymaya karşı makaslama kuvveti ve kayma yüzeyine dik yönde etkiyen normal kuvvetlerdir.

Kayan bloğa etkiyen kuvvetlerin denge denklemleri n ve s yönleri için aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\sum F_s = S - w \sin \alpha - E \cos \alpha = m \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (8)$$

$$\sum F_n = N - w \cos \alpha + E \sin \alpha = m \frac{d^2 n}{dt^2} \quad (9)$$

n yönündeki ivme ihmal edilip, düz ve pürüzsüz düzlemsel kayma yüzeyi boyunca hareket Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre geliştiği varsayılırsa, A yüzeyi boyunca dayanım aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\tau \cdot A = c \cdot A + \sigma \cdot A \tan \phi \quad (10)$$

Eğer dayanım sadece sürtünmeye bağlı ise denge denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{S}{N} = \tan \phi \quad (11)$$

8 ve 9 no'lu denklemden S ve N çekilip, 11 no'lu denklemden yerlerine koyulursa 12 no'lu denklem elde edilir;

$$\frac{w \sin \alpha + E \cos \alpha - m \frac{d^2 s}{dt^2}}{w \cos \alpha - E \sin \alpha} = \tan \phi \quad (12)$$

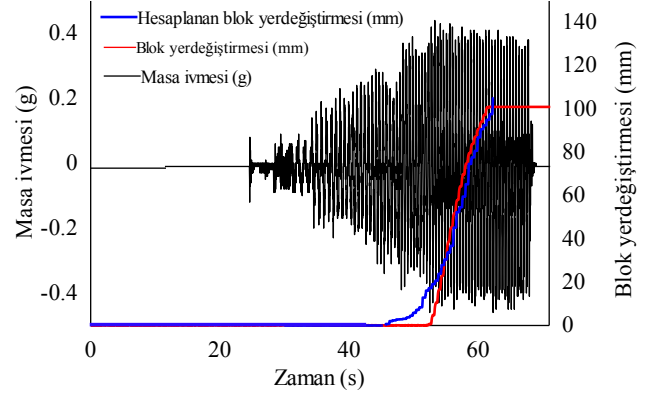
$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = g m (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi) + a_h(t) m (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi) \quad (13)$$

13 no'lu denklem sadeleştirilirse aşağıdaki 14 no'lu denklem elde edilmektedir.

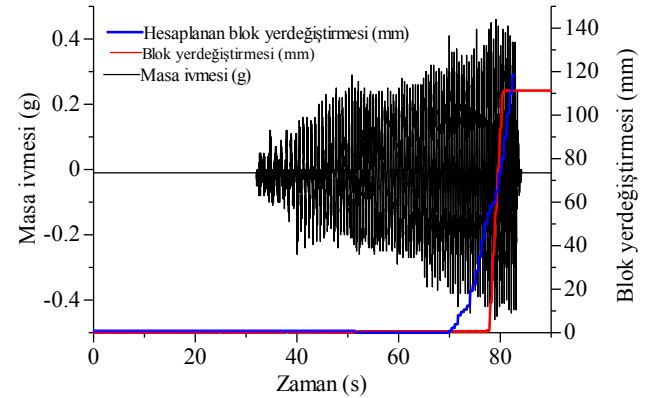
$$\frac{d^2 s}{dt^2} = g (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi) + a_h(t) (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi) \quad (14)$$

14 no'lu denklemi çözerek kayan bloğun yer değiştirmesini hesaplayan bir bilgisayar programı [17] kullanılmış ve yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan yer değiştirme miktarları ölçülen miktarlar ile karşılaştırılmıştır.

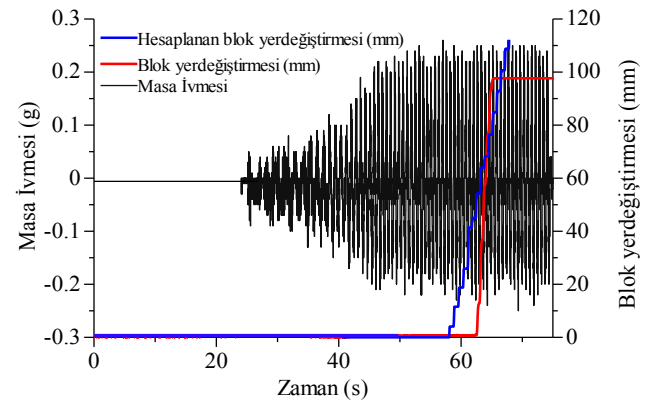
16, 20 ve 24° eğimlerde gerçekleştirilen deneylerde ölçülen yer değiştirme miktarları ile hesaplanan yer değiştirmelerin benzer olduğu görülmektedir. Şekil 21, 22 ve 23'te sıra ile 16, 20 ve 24° eğimler için ölçülen ve hesaplanan yer değiştirme miktarları verilmiştir. Hesaplamalarda, kayma kum seviyesi boyunca geliştiği için kohezyon ihmal edilmiş, [11] tarafından eğimlendirme deneyleriyle elde edilmiş statik ve dinamik sürtünme açıları kullanılmıştır.



Şekil 21. 16° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve ölçülen ve hesaplanan blok yer değiştirmeleri grafiği [11].



Şekil 22. 20° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve ölçülen ve hesaplanan blok yer değiştirmeleri grafiği [11].



Şekil 23. 24° eğimde gerçekleştirilen dinamik deneyde masa ivmesi ve ölçülen ve hesaplanan blok yer değiştirmeleri grafiği [11].

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik motoruyla tek yönde hareket edecek şekilde tasarlanarak imal ettirilen küçük ölçekli bir sarsma masası tanıtılmıştır. Elektrik motorlu sistem diğer sarsma masalarına göre çok düşük maliyetli olduğu için tercih edilmiştir. Sabit, azalan ve artan şekilli ivmelerin oluşturulabildiği sarsma masasında, masanın toplam yatay hareket mesafesi 30 mm olacak şekilde ayarlanmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Halihazırdaki masa ayarı ile 0 ile 190 dv/dk aralığında, 600 cm/s²'ye kadar ivme, 30 cm/s'ye kadar hız değerleri elde edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda sarsma masasıyla üretilen ivme miktarlarının zamana bağlı olarak sabit tutulması, artırılması veya azaltılmasıyla modelde meydana gelecek deformasyonların izlenmesi, ayrıca ivme ve deformasyon arasındaki ilişkilerin incelenmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca sarsma masası deneysel ve eğitim amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

Kum ara yüzeyli marn bloklarından oluşan bir modelin dinamik etki altındaki kayma olayının incelendiği bir deney örnek olarak verilmiştir. Bu deney, farklı eğim açılarında gerçekleştirilmiş ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar ayrıca hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan sonuçların benzer olduğu görülmüştür.

Elektrik motoru ile çalışan bu sistemde hali hazırda bilgisayar kontrolünde, depremlerde alınmış gerçek ivme kayıtlarının simülasyonu mümkün değildir. Bu bağlamda, sistemin daha efektif ve yaygın olarak kullanılabilmesi, tahrik sisteminin daha güçlü ve hızlı bir hidrolik sistemle değiştirilip, yapılacak detaylı kontrol çalışmaları ile ivme kayıtlarının simüle edilebilir hale getirilmesi yoluyla mümkün olabilecektir.

6 Teşekkür

Bu çalışmada tanıtılan sarsma masası Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2009KRM001 nolu proje kapsamında yaptırılmıştır. Yazarlar ilgili birime teşekkür ederler.

7 Kaynaklar

- [1] Muhlenkamp, M. J., "Analysis, Design and Construction of a Shaking Table Facility", *Rice University, M.Sc. Dissertation*, 177, 2007.
- [2] Meymand, P. J., "Shaking Table Scale Model Tests of Nonlinear Soil-Pile-Superstructure Interaction in Soft Clay", *University of California-Berkeley, Ph.D. Dissertation*, 460 p, 1998.
- [3] Burke, C. B., "Full-Scale Shaking Table Tests and Finite Element Analysis of Reinforced Soil Retaining Walls", *Columbia University, Ph.D. Dissertation*, 189 p, 2004.

- [4] Pinzon, A. F. S., "Development, Modeling, Identification and Simulation of a Small Shaking Table System", *University of California-Los Angeles, Ph.D. Dissertation*, 231 p, 2005.
- [5] Lin, M. L., Wang, K. L., "Seismic Slope Behavior in a Large-Scale Shaking Table Model Test", *Engineering Geology*, 86, 118-133, 2006.
- [6] Baran, T., Tanrıku, A. K., Dündar, C., Tanrıku, A. H., "Deney ve Eğitim Amaçlı, Mekanik Tek Eksenli Bir Sarsma Tablasının İmalatı ve Performansının Araştırılması", *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 605-616, 2007.
- [7] Torun, A., Çunkaş, M., "İki Eksende Salınım Yapan Sarsma Tablası ve Gerçekleştirilmesi" *AKÜ, Fen Bilimleri Dergisi*, 85-96, 2009.
- [8] Kutanis, M., "Eğitim Amaçlı Bir Deprem Simülörünün Tasarımı", *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 617-626, 2007.
- [9] Baran, T., "Yapıların Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi", *Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi*, 160 s, 2008.
- [10] Harris, H. G. and Sabnis, G. M., "Structural Modelling and Experimental Techniques" 2nd edition, *CRC Press*, 761 p, 1999.
- [11] Çelik, S. B., "Babadağ (Denizli) İlçesindeki Yamaç Duraysızlığının Çok Parametrelili İzleme Teknikleri, Fiziksel Model Deneyleri ve Matematiksel Yöntemlerle İncelenmesi" *Pamukkale Üniversitesi, Doktora Tezi*, 183s, 2012.
- [12] Omron, "ZX-L-N Series Laser Type Smart Sensors User's Manual", *Omron Corporation*, 168 p, 2004.
- [13] Graphtec, "GL900 Midi Logger User's Manual" 1st Edition Graphtec Corporation, Manual No: GL900-4/8-UM-151, 105 p, 2009.
- [14] Aydan, Ö. and Kumsar, H., "An Experimental and Theoretical Approach on the Modeling of Sliding Response of Rock Wedges under Dynamic Loading", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 821-830, 2010.
- [15] Ohta, Y. and Aydan, Ö., "The Dynamic Response of Geo-Materials During Fracturing and Slippage", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 727-740, 2010.
- [16] Newmark, N. M., "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", *Geotechnique*, 15, 139-160, 1965.
- [17] Aydan, Ö. and Ulusay, R., "Back-Analysis of a Seismically Induced Highway Embankment Failure During the 1999 Düzce Earthquake", *Environmental Geology*, 42, 621-631, 2002.