# TEKRARLI DİREKT BASİT KESME DENEYLERİNDE CİHAZDAN KAYNAKLANAN SÜRTÜNMENİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

**Kaveh H. Zehtab[1] ve M. Tolga Yılmaz[2]**

[1] *Doktora Adayı, Mühendislik Bil. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Yrd, Doç. Mühendislik Bil. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
*Email: kaveh.zehtab@metu.edu.tr*

**ÖZET:**

Tekrarlı direkt basit kesme cihazı zeminlerin tekrarlı yükler altında değişen dinamik özelliklerinin gözlemlenmesinde sağladığı bazı kolaylıklar sebebi ile tercih edilebilmektedir. Sıkça kullanılan NGI (Norveç Geoteknik Enstitüsü) tipi direkt basit kesme cihazlarında, çelik sarmalla güçlendirilmiş membran veya teflonla kaplı alüminyum halkalarla desteklenen membranlar ile numuneler yatay yönde sınırlandırılmaktadır. Numunenin çevresinde bulunan bu sınırlayıcılar ve tabanda bulunan hareketli elemanlar belirgin sürtünme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olabilir. Sürtünme kuvvetleri için bir düzeltme yapılmazsa, tekrarlı yükleme deneylerinde numunelerin rijitlikleri ve sönüm oranınları olduğundan fazla hesaplanmaktadır. Bu yapay artış, özellikle yumuşak numunelerde ve düşük birim uzama genliklerinde daha önemlidir. Bu çalışmada, tekrarlı direkt kesme deneyi sırasında cihaz üzerindeki sürtünme kuvvetlerinin belirlenebilmesi için basit yöntemler denenmiştir. Bu doğrultuda, zemin numuneleri boyutlarında hazırlanmış ve mukavemeti çok küçük olan sıvı silikon kauçuğun (RTV 11) veya daha ucuz bir alternatif olarak zemin numuneleri hacmi kadar su bulunduran lastik balonlar kullanılmıştır. Hazırlanan düşük mukavemetli yapay numune üzerinde farklı tekrarlı yük genlikleri uygulanarak deneyler yapılmıştır. Bu numunelerden kaydedilen yük-deformasyon histerisisinin cihaz aksamından kaynaklandığı düşünülerek, Adapazarı'ndan elde edilen örselenmemiş numuneler ile gerçekleştirilen deney sonuçları düzeltilmiştir. Bu yaklaşım, çok yumuşak zeminler tecrübe edilmeden önce, cihazın aksamının sebep olabileceği sürtünme kuvvetlerinin muhafakar tahminini sağladığı gibi, yük kontrol mekanizmalarının ne oranda yeterli olduğunun gözlenmesini de sağlamaktadır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Tekrarlı direkt basit kesme deneyi, zeminlerin dinamik özellikleri, sürtünme kuvvetleri.

## 1. GİRİŞ

Saha tepki analizlerinde kullanılmak üzere, zeminlerin rijitliğindeki azalma veya sönümleme oranlarındaki artış devirli yükleme deneyleri ile belirlenir (Hardin ve Drnevich, 1972; Vucetic ve Dobry, 1991). Şekil 1'de zeminin devirli yüklemeye tipik doğrusal olmayan tepkisi gösterilmiştir. Makaslama gerilmesinin ($\tau$) ve makaslamada birim uzamanın ($\gamma$) sıfır olduğu A başlangıç noktasında olan zemin tepkisi, yükleme devam ettikçe belkemiği eğrisi üzerinden B'ye, en yüksek makaslama gerilmesi ($\tau_c$) ve makaslamada birim uzama ($\gamma_c$) değerlerine ulaşır. Devirli yüklemenin bu aşamasında yük yön değiştirir ve buna zeminin tepkisi C noktası üzerinden D noktasına ulaşmak olur. Burada yükün tekrar yön değiştirmesine zeminin tepkisi, E noktasından geçip B'ye geri ulaşmak olur. Şekil 1'de B-D-B döngüsü içinde gösterilen alan bir yük devri içinde sönümlenen enerjiyi gösterir.

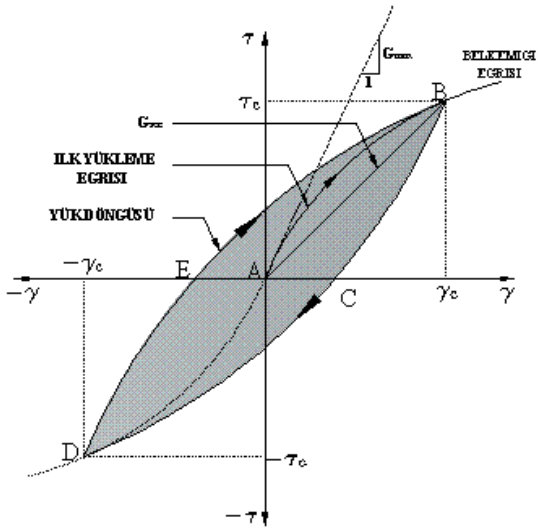
Döngünün eğimindeki azalma, zeminin rijitliğindeki azalmayı gösterir. En yüksek $\tau_c$ ve $\gamma_c$ için sekant makaslama modülü

$$G_{sec} = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \tag{1}$$

ile hesaplanır. $G_{sec}$ zeminin ortalama makaslama modülü hakkında bilgi verir. Zeminin sönümleme oranı ise

$$\lambda = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{A_{döngü}}{G_{sec} \cdot \gamma_c^2} \tag{2}$$

formülü ile hesaplanır. Denklem 2'de $A_{döngü}$ alanı B-D-B yük döngüsünün içinde kalan alandır, (Kramer, 1996).



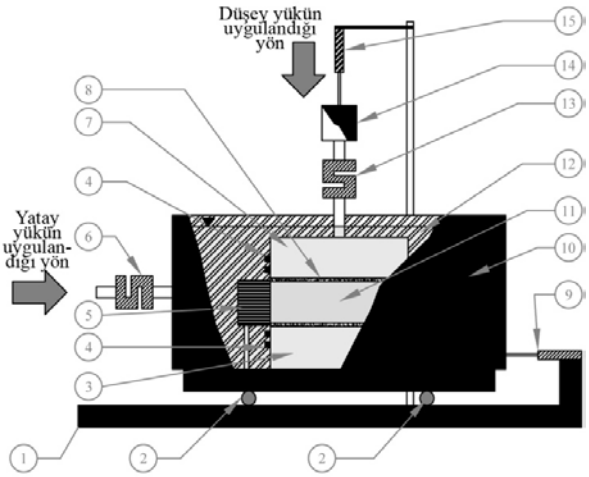

Şekil 1. Zeminlerin devirli yüklemeye idealleştirilmiş doğrusal olmayan tepkisi, (Zehtab, 2010).

Sıkça kullanılan NGI (Norveç Geoteknik Enstitüsü) tipi direkt basit kesme cihazlarında çelik sarmalla güçlendirilmiş membran veya teflonla kaplı alüminyum halkalarla desteklenen membranlar, numuneleri yatay yönde sınırlandırmaktadır. NGI tipi CDSS cihazının orijinal tasarımında çelik sarmalla güçlendirilmiş membranlar kullanılmasına rağmen, ASTM D6528 tarafından onaylanan teflonla kaplı alüminyum halkalarla desteklenen membranlar, çok daha ucuz ve daha pratik oldukları için daha fazla kullanılmaktadır (ASTM D6528-07). Bu metot da numunelerin yatay yönde sınırlandırıcısı hasar gördüğünde, sadece kullanılan normal membran değiştirilmektedir. Bu iki metodun sonuçlarının tutarlı olduğu Baxter ve diğ., (2002) tarafından gösterilmiştir.

Tekrarlı direkt basit kesme cihazı (CDSS), zeminlerin tekrarlı yükler altında değişen özelliklerinin gözlemlenmesinde sağladığı bazı kolaylıklardan dolayı tercih edilmektedir. Bu cihaz, direkt basit kesme cihazı (DSS) üzerine numuneye etkiyen makaslama kuvvetinin yönünü düzgün bir şekilde ters yöne çevirebilen bir tekrarlı yük ünitesi eklenerek elde edilmektedir. Cihaz numunenin boyutlarını sabit tutarak doygunlaştırma aşamasına ihtiyaç duymadan, numunenin davranışını drenajsız davranışa benzetmektedir (Taylor, 1952; Airey ve diğ., 1985). Uygulamada, cihaza yerleştirilen numunenin boyunun çapına göre daha küçük olması çok yumuşak numunelerin deneysel kurulum sırasında aşırı örselenme ihtimalini de düşürmektedir. Bu iki özellik, süreleri kısıtlı olan mühendislik projelerinde kullanıcılar için çok büyük avantaj sağlamaktadır. Böylece, zeminler için sıvılaşma eğilimi, tekrarlı makaslama mukavemeti belirlenmesi ve dinamik özelliklerinin araştırılması mümkün

olmaktadır (örn., Peacock ve Seed, 1968; Andersen, 1983; Vucetic ve Dobry, 1986). Ancak CDSS cihazlarında numunenin çevresinde bulunan sınırlayıcılar ve tabanda yer alan hareketli elemanlar belirgin sürtünme kuvvetlerinin oluşumuna sebep olabilir. Özellikle yumuşak numunelerin tekrarlı yükleme deneyleri için okunan kuvvetlerde düzeltme yapılmaması halinde, numunelerin rijitliği ve gösterdikleri sönüm oranı olduğundan fazla görünebilir. Bu yapay artış özellikle yumuşak numunelerde ve düşük birim boy uzama genliklerinde daha önemli olabilir.

Bu çalışmada CDSS deneyi sırasında cihaz üzerindeki sürtünme kuvvetlerinin belirlenebilmesi için basit bir yöntem denenmektedir. Bu yöntemle cihazdan kaynaklanan sürtünme kuvvetleri muhafazakâr şekilde tesbit edilebilmektedir. Elde edilen veriler, Adapazarı'ndan elde edilen örselenmemiş numuneler ile gerçekleştirilen deneylerinin sonuçlarının düzeltilmesinde kullanılmıştır. Böylece, deneyde belirlenen zeminlerin dinamik özelliklerinin aksamdan kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinden ne oranda etkilenebileceğini görmek mümkün olmuştur. Çalışmada Karayolları Genel Müdürlüğü'ne ait Geocomp™ ShearTrac II-DSS (Geocomp, 2007; Zehtab, 2010) cihazı kullanılmıştır. Şekil 2'de cihaz ve içine yerleştirilen numunenin konumu ile cihazda uygulanan yüklerin yönleri basitleştirilmiş olarak gösterilmektedir. Numune teflonla kaplı alüminyum halkalarla desteklenen membran tarafından yatay yönde sınırlandırılmıştır. Üst plaka, düşey gerilmeyi plakaya ileten ve üst çerçeveye bağlanarak yatay yönde sabitlenen bir piston vasıtasıyla yatay yönde hareketsizleştirilmiştir. Makaslama kuvveti ise çelik tekerlekler üzerinde bulunan su haznesine yatay bir piston tarafından iletilmektedir. Yatay ve düşey deplasmanlar ile yükler cihazın merkezi bilgisayarına bağlı elektronik deplasman ölçerler ve yük hücreleri tarafından kaydedilmektedir. Yatay ve düşey yükler iki bağımsız adım (stepper) motoru tarafından üretilip bilgisayar kontrollü kapalı devre kontrol mekanizmasıyla denetlenmektedir. Motor, aksam ve numuneyi sınırlandıran halkalar deney sırasında sürtünme kuvvetlerine yol açabilmektedir. ASTM D6528 standardının da belirttiği üzere, bu sürtünme kuvvetlerinin mertebesinin belirlenmesi güvenilir deney sonuçlarına ulaşmak için önemlidir.



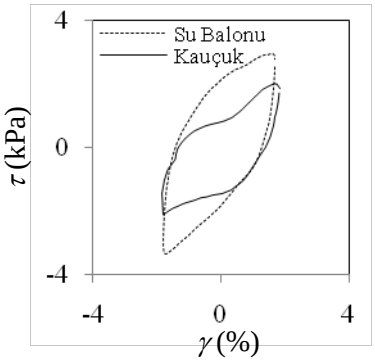

1 Taban levhası.
2 Çelik tekerlekler.
3 Alt plaka.
4 O-Ringler.
5 Yığılı halkalar.
6 Yük hücresi (Yatay yük).
7 Üst plaka.
8 Poroz taşı.
9 Yatay deplasman ölçer.
10 Su Haznesi.
11 Numune (Membran ile kaplı).
12 Su.
13 Yük hücresi (Düşey yük için).
14 Üst çerçeve.
15 Düşey deplasman ölçer.

Şekil 2. CDSS cihazının basitleştirilmiş diyagramı (Zehtab, 2010).

## 2. SÜRTÜNME KUVVETLERİNİN TAHMİNİ İÇİN UYGULANAN YÖNTEMLER

Bu çalışmada, cihazdan kaynaklanan sürtünmenin hesaplanması için çok yumuşak iki yapay numune kullanılmıştır. Böylece tekrarlı yükler altında ölçülen kuvvetlerin esas olarak cihazın sürtünmesinden kaynaklandığı kabul edilmiştir (Zehtab, 2010). ASTM D6528 standardı DSS cihazlarında, sürtünmenin belirlenmesi için su dolu sızdırmaz kese kullanımını önermektedir. Birinci olarak bu yöntem tecrübe edilmiştir. Ancak bu amaç doğrultusunda imal edilmiş özel keseler mevcut değildir. Bu sebeple zemin numunelerinin hacmi kadar su bulunduran lastik balonlar kullanılmıştır. Suyla doldurululan balonun ağzı hava girişi olmadan bağlanmıştır. Balonların rijitliğinin düşük olması onların düşey yük altında üst ve alt plakalar ve sınırlandırıcıların arasında bulunan boşluğu doldurarak bir zemin numunesi şeklini almalarını sağlamaktadır. Deney sırasında sürekli okunan düşey deplasmanlar ise basınç altında sızdırmazlığı doğrulayabilmektedir. İkinci yöntemde, D'Elia vd. (2003) tarafından önerildiği şekilde, zemin numuneleri boyutlarında hazırlanmış ve mukavemeti çok düşük olan sıvı silikon kauçuk (RTV 11) kullanılmıştır (Şekil 3). Elastik yapay numune, sıvı silikon kauçuk iç yüzeyi pürüzsüz olan bir kalıba dökülüp kuruması için bekletilerek üretilmiştir. Sıvı silikon kauçuk kurudukça hacmi değişmediği için çok düzgün bir şekil alabilmektedir. Numunelerin cihaza yerleştirilmesi için izlenen yöntem, ASTM D6528 standardına uygun olarak zemin numunesi için izlenen yöntemle aynıdır. Her iki numune de CDSS ile tecrübe edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4).

Şekil 3. Zemin numuneleri boyutunda hazırlanan sıvı silikon kauçuk (RTV 11).




Şekil 4. Su balonu ve sıvı silikon kauçuk ile gerçekleştirilen CDSS deneyinlerinde gözlemlenen histerisis halkalar.

Suyla doldurulan balon ve sıvı silikon kauçuk numuneleri tekrarlı yükler altında farklı rijitlik göstermektedir (Şekil 4). Silikon kauçuk ile elde edilen rijitlik değerleri diğer yapay numunenin verdiği değerlerden küçüktür. Dolayısı ile su dolu balon ile tahmin edilen sürtünme kuvvetleri daha muhafazakârdır. Tam olarak ideal numune

şekline sahip bir su dolu kese imal edilebilirse, daha düşük sürtünme kuvveti büyüklükleri tesbit edilebilir. Ancak, ucuz bir çözüm olan suyla doldurulmuş balonlar böyle bir uygulamanın sıkıntılarına da işaret etmektedir. Balonlar, rijitliklerinin çok az olması sebebiyle, basınç altında teflon kaplı alüminyum halkalar ile alt ya da üst plaka arasında sıkışabilmektedir. Bu durum deneyde tekrarlanabilirlik sorunları yaratmaktadır. Keza, bu balonlar belirli bir düşey gerilmeye dayanabilmekte ve bu sınır geçildiğinde balon yırtılmaktadır. Bu sorun daha sert ve kalın keselerin kullanılmasıyla giderilebilir, ancak bu durumda da balonun artan rijitliği sürtünme kuvvetlerini olduğundan daha fazla gösterebilir. Sıvı silikon kauçuk ise daha pahalı olmasına rağmen yukarıda anlatılan sorunlara yol açmamakta ve deneyde tekrarlanabilirliği büyük oranda sağlamaktadır. Ancak bu numunenin rijitliğinin çok daha düşük olması ve kullanılan yük kontrol sisteminin sınırlarından dolayı, göreli düşük gerilmeler ve birim uzamalar altında sıvı silikon kauçuk üzerinde anlamlı sonuçlar veren deneyler gerçekleştirilememiştir. Dolayısıyla, çok yumuşak numunelerin denenmesinden önce, bu uygulama deney cihazının sınırlarının tesbiti için de kullanışlıdır.

## 3. ADAPAZARI'NDAN ALINMIŞ ÖRSELENMEMİŞ NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DÜZELTİLMESİ

Yöntemin uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla, 108M303 nolu TUBİTAK araştırma projesi kapsamında Adapazarı'nda açılan bir kuyudan elde edilen 6 örselenmemiş numune CDSS deneylerinde kullanılmıştır. Tablo 1'de seçilen 6 numunenin özellikleri gösterilmiştir. Deneylerde ölçülen gerilmeler aksam sürtünmesi göz önüne alınarak düzeltilmiştir. Böylece sürtünmenin numunelerin deneyle belirlenen dinamik özellikleri üzerinde sebep olabileceği değişiklik hesaplanmıştır.

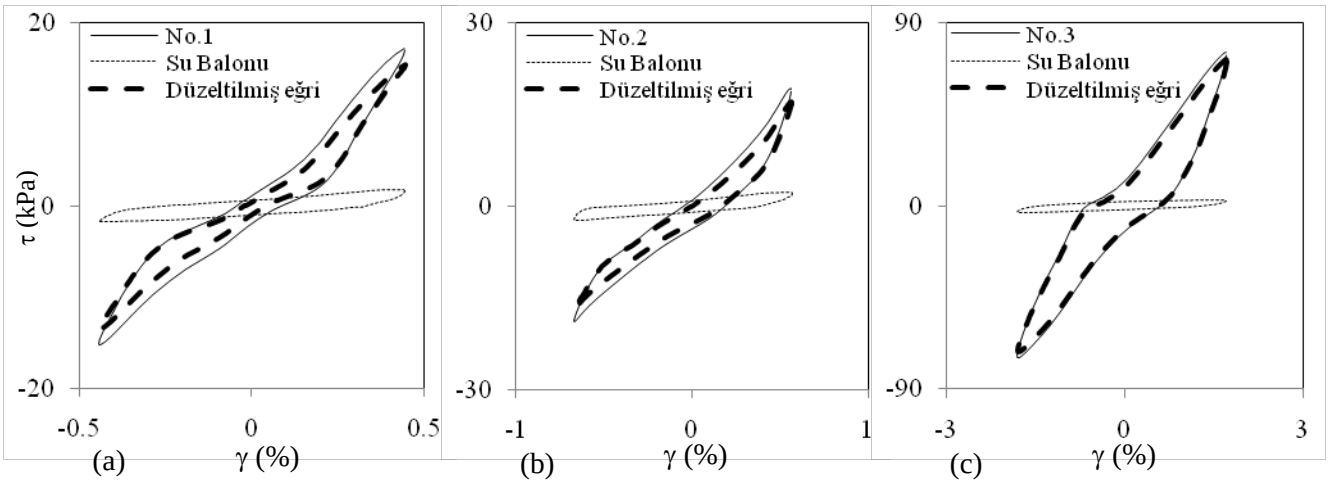
Tablo 1. Numunelerin endeks özellikleri ve konsolidasyon düşey gerilmeleri, Zehtab (2010).

| No. | Zemin sınıfı | FC | CC | $W_C$ | LL | PL | PI | $e_{ps}$ | $\sigma'_v$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CH | 75 | 27 | 45 | 56 | 24 | 32 | 0.53 | 210 |
| 2 | CH | 100 | 14 | 45 | 68 | 25 | 43 | 0.61 | 190 |
| 3 | ML | 99 | 24 | 37 | 42 | 28 | 13 | 0.53 | 195 |
| 4 | CH | 94 | 25 | 52 | 60 | 25 | 35 | 0.55 | 220 |
| 5 | ML | 99 | 24 | 37 | 42 | 28 | 13 | 0.53 | 195 |
| 6 | CH | 98 | 48 | 36 | 56 | 20 | 36 | 0.47 | 215 |

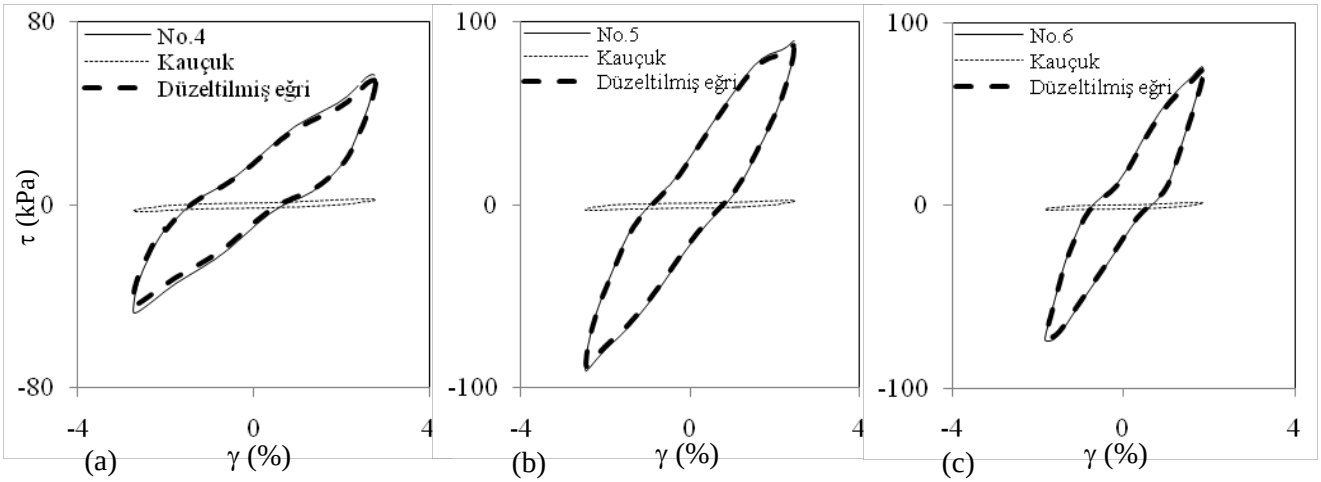
Tablo 1'de gösterildiği gibi numunelerin dördü (CH) kil ve ikisi ise (ML) silt olarak tanımlıdır. Tablo 1'de gösterilen numunelerden No.1, 2 ve 3'ün deney sonuçları suyla doldurulmuş balon ve No.4, 5 ve 6'nın sonuçları sıvı silikon kauçuk ile gerçekleştirilmiş CDSS deneyinden elde edilmiş histerisis halkalar ile düzeltilmiştir, (Şekil 5 ve 6). Bir modele dayanan düzeltme işlemlerinden kaçınma amacıyla, yapay numuneler ile gerçekleştirilen deneylerde çok sayıda farklı birim uzama genlikleri denenmiştir. Düzeltme işlemleri için, öncelikle zemin numunesi ile gerçekleştirilen CDSS deneyinde devirli birim uzama genliği okunarak, bu genliğe en yakın değerin tecrübe edildiği yapay numune deneyi belirlenmiştir. Tam tutarlılık sağlanması için, yapay numune deneyinde gerilme ve birim uzama değerleri rijitliği değiştirmeyecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Zemin numune ile CDSS deneyinde, her birim uzama için okunan gerilme değerinden, yapay numune deneyinde aynı birim uzama ile okunan gerilme değeri çıkartılarak düzeltilmiş sonuçlara ulaşılmıştır.

Su dolu balon ile yapılan bir düzeltme örnekleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Numune No.1, 2 ve 3 ile gerçekleştirilen deneylerde makaslamada birim uzaması genlikleri sırasıyla %0.44, %0.62 ve %1.76'dır. Yük devrinin büyük kısmında düzeltme oranının kısıtlı olmasına rağmen, düzeltmeden sonra histerisis halkalarının uçlarındaki incelme ve pik gerilme değerindeki düşüş belirgindir. Gözlemlenen mutlak pik makaslama

gerilmelerindeki düşüş, doğrudan doğruya $G_{sec}$ için azalmaya sebep olmaktadır. Düzeltmenin sonuçlara etkisi, CDSS deneylerinde birim uzama genlikleri arttıkça azalmaktadır.

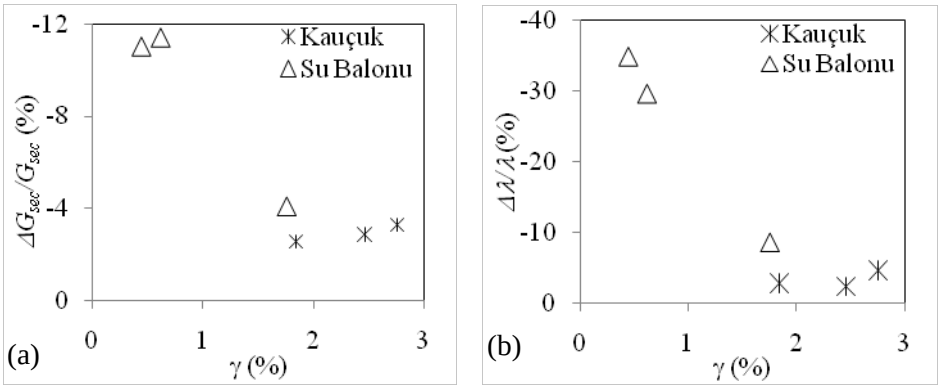



Şekil 5. a) No.1, b) No.2 ve c) No.3 numuneleri ile gerçekleştirilen deneylerde, su balonu deneyine dayanarak yapılan düzeltmeler.




Şekil 6. a) No.4, b) No.5 ve c) No.6 numuneleri ile gerçekleştirilen deneylerde, sıvı silikon kauçuk deneyine dayanarak yapılan düzeltmeler.

Şekil 6'da sıvı silikon kauçuk deneyleri ile gerçekleştirilen düzeltmeler gösterilmektedir. No.4, 5 ve 6 numuneleri ile gerçekleştirilen CDSS deneylerinde makaslamada birim uzaması genlikleri sırasıyla %2.76, %2.46 ve %1.84'tür. Sıvı silikon kauçuktan elde edilen histerisis halkalar (Şekil 6) suyla dolu balondan elde edilen histerisis halkalardan (Şekil 5) belirgin derecede küçüktür (bkz. Şekil 4). Dolayısıyla kauçuğun önerdiği düzeltme miktarı daha düşüktür. Bu sonuç zemin numunelerinin dinamik özellikleri ($G_{sec}$ *ve* $\lambda$) karşılaştırıldığında daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 7).




Şekil 7. Sıvı silikon kauçuk ve su balonuyla yapılan düzeltmenin yol açtığı a) $G_{sec}$ ve b) $\lambda$ değerlerindeki oransal değişimler.

Şekil 7'da gösterildiği gibi, su balonu ile yapılan düzeltmeler γ küçüldükçe daha belirgin olmaktadır. Göreli büyük birim boyca uzamalarda tecrübe edilen kauçuk ise $G_{sec}$ ve $\lambda$ üzerinde benzer oranlarda düzeltmelere sebep olmaktadır. Dinamik parametreler üzerindeki düzeltmeler hiçbir birim boyca uzama oranı için %3'den daha küçük değildir. Daha yumuşak zeminler için düzeltmenin önemi daha belirgin olabilecektir. No.3 ve No.6 numuleri ile gerçekleştirilen CDSS deneylerinde benzer birim uzama ve gerilme genliklerine ulaşılmıştır (Şekil 5.c ve 6.c). Bu deneylerin düzeltilmiş sonuçlarının karşılaştırması, silikon kauçuk veya su balonu kullanımı arasındaki farklara işaret etmektedir. Yapay numunenin seçimi $G_{sec}$ üzerinde benzer miktarda düzeltmeye yol açsa bile, $\lambda$ üzerindeki değişim su balonu için çok daha büyüktür. Sönümleme oranındaki düzeltmeler arasındaki bu farklılık esas olarak iki yapay numunenin gösterdiği rijitlik farklılığından kaynaklanmaktadır (Şekil 4). Bu durum, aynı zamanda su balonu deneylerinde daha fazla sürtünmeye ve sönümlemeye sebep olmaktadır. Özetle, CDSS deneylerinde deney aletindeki sürtünmenin tesbitinde su balonu sıvı silikon kauçuğuna göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri göstermektedir. Bu durumda sürtünme yüklerinin hesaplanmasında, sıvı silikon kauçuk kullanmak daha ideal bir yaklaşım olmaktadır. Diğer taraftan, bu çalışmada basit ve ucuz bir yöntem olarak kullanılan su balonları, sürtünmenin zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde ne oranda etkisinin bulunabileceğinin muhafazakâr şekilde görülmesini sağlayabilmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin muhafakar şekilde tesbit edilmesi sebebiyle, su balonalarının gösterdiği sürtünme kuvvetleri kabul edilemez seviyedeyse, bu durumda sıvı silikon kauçuk veya benzeri bir yapay numune kullanılarak sürtünme kuvvetlerinin daha doğru tahminleri yapılabilir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, gerekirse deney cihazının aksamı geliştirilebilir.

## 5. SONUÇ

CDSS cihazlarının hareketli aksamı belirli miktarda sürtünmeye yol açar. Bu durum, zemin dinamik özelliklerinin olduğundan farklı hesaplanmasına sebep olur. Dolayısıyla, bu cihazlarla gerçekleştirilmiş olan deney sonuçları düzeltilerek kullanılmalıdır. Sürtünme kuvvetlerinin hesap ile belirlenmesi için elastik davranan düşük mukavemetli yapay numuneler kullanılabilir. Zemin numunesi büyüklüğünde hazırlanmış, suyla dolu bir kese veya sıvı silikon kauçuk numuneleri bu amaç için kullanılabilir. Bu yapay numuneler CDSS cihazında farklı birim uzama genliklerinde tekrarlı yüklere maruz bırakarak, cihazın sürtünmesiyle oluşan histerisis halkalar elde edilebilir. Muhafazakâr bir yaklaşım olarak, bu histerisis halkalardaki makaslama gerilmelerinin aksamda yaratılan sürtünme kuvvetlerini gösterdiği düşünülebilir. Böylece CDSS deneylerinde belirlenen zeminlerin dinamik özellikleri için aksam sürtünmesine bağlı düzeltmeler yapılabilir. Bu düzeltme özellikle yumuşak numunelerde ve düşük birim uzama genliklerinde daha önemli olmaktadır. Yapay numune olarak su dolu bir kese kullanıldığında, bu kese maruz kaldığı basınca dayanabilmeli, ayrıca basıncın etkisiyle teflon kaplı

alüminyum halkalar ile üst ya da alt plakalar arasındaki boşluğa girmemelidir. Bu sebepten dolayı, belli bir rijitliğe sahip olmalıdır. Daha rijit keseler ise sürtünme yüklerini olduğundan daha fazla gösterebilmektedir. Bu sorunlar göz önüne alınarak, sıvı silikon kauçuk numunelerin kullanılması zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını cihazın sürtünme etkisinden düzeltmek için daha uygundur.

**TEŞEKKÜR:**
Bu çalışma 108M303 nolu proje kapsamında TUBİTAK tarafından desteklenmiştir. Deneyler Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleşmiştir. Bu kurumlara desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

Airey, D. W., Budhu, M. & Wood, D. M. (1985). Some aspects of the behaviour of soils in simple shear. *Research Report*, Cambridge univ. Dept. Of Engineering, U.K.
Anderson, D. G., Phukunhaphan, A., Douglas, B.J. & Martin, G.R. (1983). Cyclic behavior of six marine clays. *Proc. Evaluation of Seafloor Soil Properties under Cyclic Loads*, ASCE, 1-27.
ASTM D6528 – 07. (2007). Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, DOI: 10,1520/D6528-07.
Baxter, C.D.P., Bradshaw, A.S., Ochoa-Lavergne, M., Rodrigues, I. & Hankour, R. (2002). Comparison of DSS results using wire-reinforced membranes and stacked rings. Tech. report, *J. of Testing and Evaluation*, **20:10**.
D'Elia, B., Lanzo, G. & Pagliaroli, A., (2003), Small-Strain Stiffness and Damping of Soils in a Direct Simple Shear Device. *Pacific Conference on Earthquake Engineering*.
Duncan, J. M. & Dunlop, P. (1969). Behavior of soils in simple shear tests. *Proceedings 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **1**, .l0l-l09.
Geocomp, (2007). Cyclic direct simple shear user's manual: Control and report software for fully automated cyclic direct simple shear tests on ShearTrac II systems v. 5.0. www.geocomp.com, Boxborough, MA- USA.
Hardin, B.O. & Drnevich, V.P. (1972). Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves,. *J. of Soil Mechanics*, Foundation Div., Proc. Of ASCE, **98:7**, 113-119.
Kramer, S.L. (1996). Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series, Upper Saddle River, New Jersey.
Peacock, W.H. & Seed, H.B. (1968). Sand liquefaction under cyclic loading simple shear condition. *ASCE J. of Soil mechanics*. Found Div. **94:3**, 689-703.
Taylor, D.W. (1952). A Direct Shear Test with Drainage Control. *Symp. on Direct Shear Testing of Soils*, ASTM. **131**, 63-74.
Vucetic, M. & Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *J. of Geotechnical Engineering*, ASCE, **117:1**, 89-107.
Zehtab, H. K., (2010). An assessment of dynamic properties of Adapazarı soils by cyclic direct simple shear tests. Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.