

LÖS ZEMİN İÇİN KESME KUTUSU DENEYİ VE SPT N- ϕ KORELASYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF SHEAR BOX EXPERIMENT AND SPT N- ϕ CORRELATIONS FOR LOESS SOIL

Ahmet Serdar KÖŞELİ¹, Murat GÜLEN², Havvanur KILIÇ³

ÖZET

Geoteknik mühendisliği kapsamında yapılacak tasarımlarda, zeminin davranışını ve yapı süresi boyunca karşılaşılabilecek problemleri öngörmek, ekonomik ve güvenilir bir tasarım yapmak için zemin parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Tasarım için kullanılacak zemin parametreleri genellikle arazi veya laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedir. Geoteknik mühendisliği açısından problemli sayılabilecek zeminler için bu parametrelerin alternatif yöntemlerle belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, lös zeminler üzerine inşa edilecek bir mühendislik yapısı için yapılan arazi SPT N sonuçları ile literatürde mevcut olan korelasyonlar kullanılarak ϕ hesaplanmıştır. Araziden alınan örselenmiş lös zeminler, arazideki birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerlerinde sıkıştırılarak kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Nihai durumda, SPT N- ϕ korelasyonları ile kesme kutusu deneyi sonuçları karşılaştırılarak tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesme Kutusu, SPT-N Korelasyonları, Lös Zeminler

ABSTRACT

In geotechnical engineering, soil parameters must be determined correctly to predict the behaviour of the soil and the problems during the construction period, and to make an economical and safe design. These soil parameters are determined by field or laboratory experiments. It is essential to decide on these parameters with alternative methods, for problematic soils. In this study, ϕ was calculated using the correlations available in the literature with the field SPT N results for a structure to be built on loess soils. Shear box tests were carried out by compressing the loess soils taken from the field at the unit

¹ Ahmet Serdar Köşeli, Yıldız Teknik Üniversitesi, aserdark34@gmail.com (Sorumlu yazar)

² Arş. Gör. Murat Gülen, Yıldız Teknik Üniversitesi, gulenmurat23@gmail.com

³ Doç. Dr. Havvanur Kılıç, Yıldız Teknik Üniversitesi, kilichavvanur@gmail.com

volume weight and water content values. In the final case, satisfactory results were obtained by comparing the SPT N- ϕ correlations with the shear box test results.

Keywords: *Shear Box, SPT-N Correlations, Loess Soils*

1. GİRİŞ

Fiziksel ve mühendislik özellikleri dikkate alındığında zeminleri farklı şekillerde gruplandırmak mümkündür. Bu gruplandırmada esas alınan parametrelerden biri zeminlerin oluşum sürecinde geçirdiği değişimlerdir. Farklı iç ve dış etkilere (sıcaklık, basınç, gerilme farklılıkları, rüzgâr gibi taşıyıcı unsurlar vb.) maruz kalan kayalar, bünyelerinde mevcut olan minerallerin (kuvars, feldspat, mika, amfibol vb.) özelliklerine ve miktarlarına göre farklı davranış gösterirler. Bu etkiler sonucu mineral dayanımı düşük olan kayalarda mineraller farklılaşır ve yeni zeminlerin oluşumuna neden olur. İç ve dış etkiler sonucu kayaların parçalanması ve kuvvetli rüzgarlar ile taşınıp depolanması ile meydana gelen zeminler lös zemin olarak adlandırılmaktadır (Yıldırım & Gökaşan, 2007). Bu zeminlerin baskın dane boyutu olan silt, ağırlıkça %50-70'ini oluştururken 1 mm'den büyük olan daneler %5'ten azdır. Feldspat oranı yüksek olan lös zeminlerin başlıca kil minerali illittir (Nouaouria, Guenfoud, & Lafifi, 2008). Doğal haldeki lös zeminleri tanımlayan fiziksel özellikler düşük su muhtevası ve yüksek porozitedir (Chen, 1992). Bunun yanı sıra bu zeminleri diğerlerinden ayırtıran iki temel özellik ise dane çapı dağılımı ve yükleme ile suya olan hassasiyetleridir (Rogers, Dijkstra, & Smalley, 1994). Siltlerin de dane çapı dağılımı göz önünde bulundurulduğunda lös zeminler, boşluklu yapıya sahip olup üniform bir granülometrik dağılıma sahiptir (Abelyev & Abelyev, 1948). Yüklemeden kaynaklı gerilme altındayken, ıslandığında daneler ile kil veya kimyasal madde arasındaki bağların kolaylıkla çözülmesi sonucu çökerek büyük miktarlarda oturma yaparlar (Önalp & Arel, 1997). Dünya'nın yaklaşık %10'unun bu zeminler ile kaplı olduğu düşünülmektedir (Fairbridge, 1968).

Geoteknik mühendisliği kapsamında tasarlanan mühendislik yapıları farklı özelliklere sahip zeminler üzerine inşa edilmektedir. Bu zeminlerin taşıma gücü, permeabilite, sıkışabilirlik gibi mühendislik özelliklerinin tasarım öncesinde bilinmesi ve gerekli önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Bir zeminin mühendislik özelliklerini yansıtan malzeme parametreleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmektedir. Arazide yapılan başlıca deneyler standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT), dilatometre, presyometre, plaka yükleme, arazi veyn deneyi olup en sık kullanılanların başında da SPT gelmektedir. Standart penetrasyon deneyi (SPT), dayanım parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan, sondaj kuyusu içerisinde yapılan dinamik bir deneydir. Zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinde ve sıvılaşma analizlerinde SPT'den alınan veriler yaygın olarak kullanılmaktadır. Her türlü zeminde yapılan bu deney sonucunda elde edilen SPT-N değerleri kullanılarak zemin özelliklerini (ϕ , E, c_u , m_v , v_s vb.) öngören farklı korelasyonlar geliştirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Literatürde SPT-N değerlerine bağlı olarak geliştirilen korelasyonlar

ϕ korelasyonları	Wolff (1989)	$27,1+0,3N_1-0,00054N_1^2$
	Kulhawy&Mayne (1990)	$\tan^{-1}\{N_{60}[12,2+20,3(\sigma'_0/P_a)]\}^{0,34}$
	Japan Road Assoc. (1990)	$15N^{0,5}+15$
	Hatanaka&Uchida (1996)	$[20N_{(1)60}]^{0,5}+20$
	Osaki vd. (1959)	$20N^{0,5}+15$
	Peck vd. (1974)	$53,881-27,6034\exp(0,0147N_{60})$
E korelasyonları	Webb (1969)	$479(N+15)$
	Ferrent (1963)	$75(1-v^2)N$
	Begemann (1974)	$4000+100C(N-6)$
	Kulhawy&Mayne (1990)	$5N_{60}P_a$
c_u korelasyonları	Stroud (1975)	αNP_a
	Kumar vd. (2016)	$-16,5+2,15N$
	Serriya&Osman (2020)	$3,71N+14,75$

Zemin özelliklerini belirlemek için yapılan arazi deneylerine ek olarak laboratuvar deneylerine (kesme kutusu, üç eksenli, konsolidasyon, elek, hidrometre vb.) de ihtiyaç duyulmaktadır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri (c, ϕ) genellikle kesme kutusu deneyleri ile belirlenmektedir. Kohezyonsuz zeminlerle yapılan deneylerde, zeminin arazi koşullarındaki su muhtevası ve sıklığı oldukça önemlidir.

Bu çalışma kapsamında, arazide yapılan sondajlar sonucunda elde edilen örselenmiş lös zemin numuneleri arazideki su muhtevası ve birim hacim ağırlık değerlerinde sıkıştırılarak kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Literatürde mevcut olan SPT N- ϕ korelasyonlarından elde edilen ϕ değerleri ile kesme kutusundan elde edilen ϕ değerleri karşılaştırılarak benzerlikler ve farklılıklar açıklanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Dünya’da lös zeminlerin en fazla bulunduğu bölgeler Güney ve Kuzey Amerika’nın Mississippi ve Missouri havzaları, Orta Avrupa’da Alp Dağları’nın etekleri, Çin’in ve Kafkasya’nın kuzeyi ile Orta Asya Cumhuriyetleri’dir (Mustafayev, 1989; Mavlyanov, 1958).

Bu çalışmada kullanılan lös zeminler Türkmenistan’ın Aşkabat kentinde yapılan sondajlardan elde edilmiştir. Bu zeminlerle yapılan elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık deney sonuçlarından elde edilen dane çapı dağılımı Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Zeminlere ait dane çapı dağılımı

Sondaj kuyusu	Derinlik (m)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
SK1	3.0	11.5	81	7.5
	9.0	9	83	8
SK2	12.0	90	10	0
	19.5	79	18	3
SK3	9.0	73	25	2
	13.5	91	8	1
SK4	15.0	15	78	7
	16.5	28	57	8
SK5	19.5	16	75	9
	25.5	31	62	7
	36.0	42	51	7
SK6	9.0	77	11	2
	16.5	82	15	3
SK7	7.5	22	65	6
	30	5	81	9
SK8	6.0	93	7	0
	12	85	15	0
	24	61	32	7
SK9	6.0	24	69	7
	18	11	76	13
	24	25	65	10
	28.5	37	55	8

Çalışmada, arazideki sondajlar ile elde edilen örselenmiş numuneler, laboratuvar ortamında arazideki su muhtevası ve birim hacim ağırlık değerleri esas alınarak sıkıştırılmış ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kesme kutusu deneylerinin sonucunda elde edilen ϕ değerleri, literatürdeki SPT N- ϕ korelasyonlarından elde edilen ϕ değerleri ile kıyaslanıp aralarındaki ilişki ortaya konmuştur.

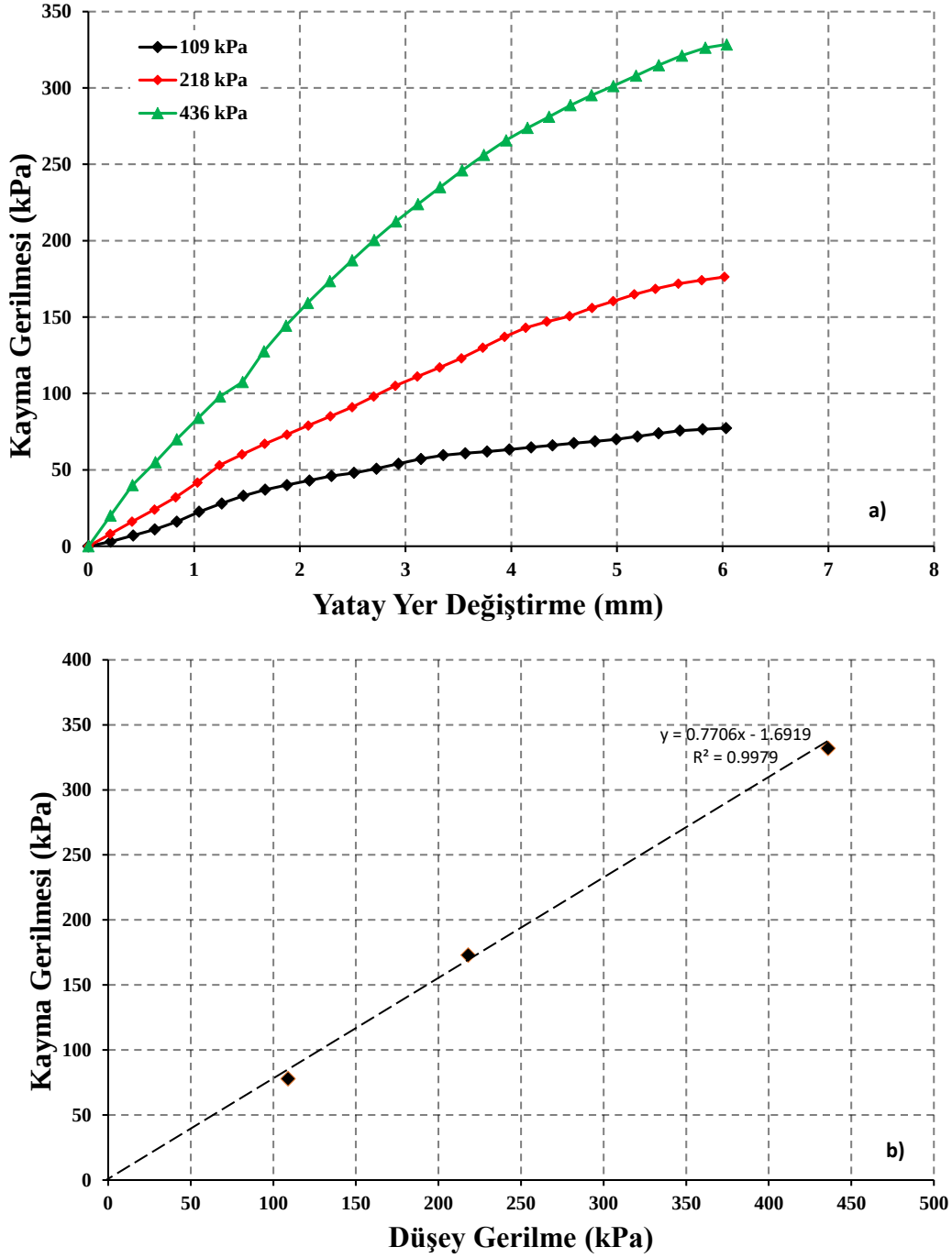
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Laboratuvar ortamında zemin özellikleri belirlenen ve Tablo 2’de özetlenen lös zemin numuneleri, arazideki su muhtevaları ve birim hacim ağırlık değerlerinde sıkıştırılarak küçük ölçekli direkt kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Küçük ölçekli direkt kesme kutusu deney aleti

Şekil 2’de ise SK7-30 m için 109 kPa, 218 kPa ve 436 kPa düşey gerilme değerlerinde yapılan deneylere ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve göçme zarfı sunulmuştur.



Şekil 2. SK7-30 m için a) gerilme-şekil değiştirme grafiği b) göçme zarfı

Sheeler (1968), ABD’nin farklı bölgelerinde yer alan lös zeminler üzerinde yaptığı çalışmada, ϕ değerlerinin 28 ile 36 derece arasında değiştiğini belirtmiştir. Farklı sondaj kuyularına ait örselenmiş zemin numunelerinden SPT-N değerleri ≤ 50 olan ve silt boyundaki dane ve ince kum oranı ≥ 70 olan numunelere ait toplu deney sonuçları ise Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Kesme kutusu deneyi sonuçları

Sondaj kuyusu	Derinlik (m)	SPT N	w (%)	ϕ (°)
SK1	3	7	12.77	32.11
	9	15	14.68	30.98
SK2	12	35	19.95	37.92
	19.5	39	17.26	38.62
SK3	9	42	19.26	43.71
	13.5	30	19.91	38.41
SK4	15	12	8.24	26.45
	16.5	25	16.00	33.04
SK5	19.5	26	18.26	36.63
	25.5	47	20.11	35.38
SK6	9	42	19.72	43.90
	16.5	45	18.19	42.85
SK7	7.5	27	15.31	34.82
	30	50	19.58	36.48
SK8	6	23	20.21	39.40
	12	34	19.28	41.26
	24	49	18.39	38.23
SK9	6	15	25.18	35.22
	18	26	19.89	31.92
	24	32	24.4	36.00
	28.5	45	17.76	37.41

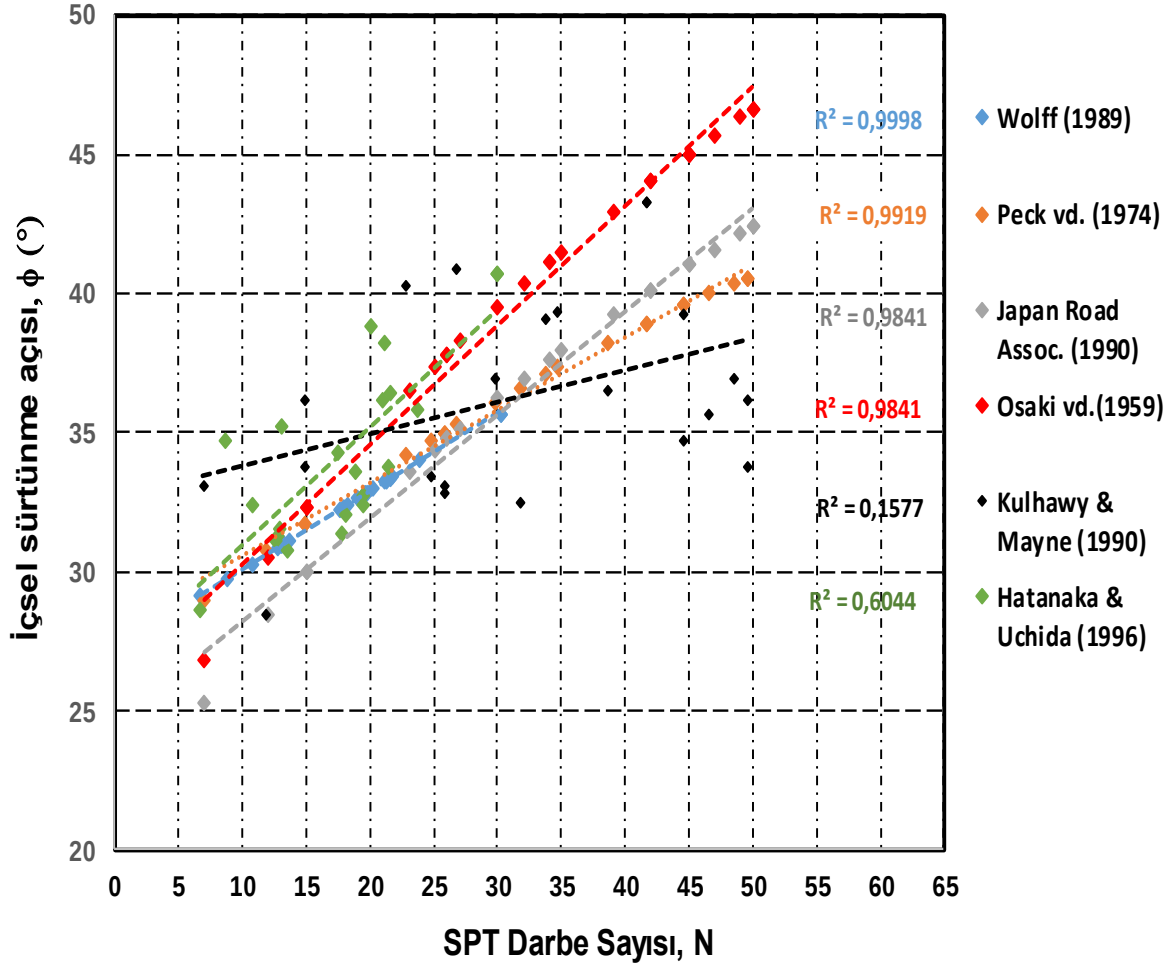
Literatürdeki korelasyonlarda örtü yükü düzeltme katsayısı için Liao&Whitman (1986)'ın önerdiği eşitlikten faydalanılırken diğer düzeltme katsayıları, Tablo 4'te verilen arazi SPT'nin özelliklerine bağlı olarak seçilmiştir.

Tablo 4. SPT'ye ait özellikler

Numune alıcı tipi	İç tüpü olmayan
Sondaj çapı	89 mm
Şahmerdan tipi	Otomatik darbeli tokmak
Enerji oranı	%60
SPT kılavuz tij boyu	1 m

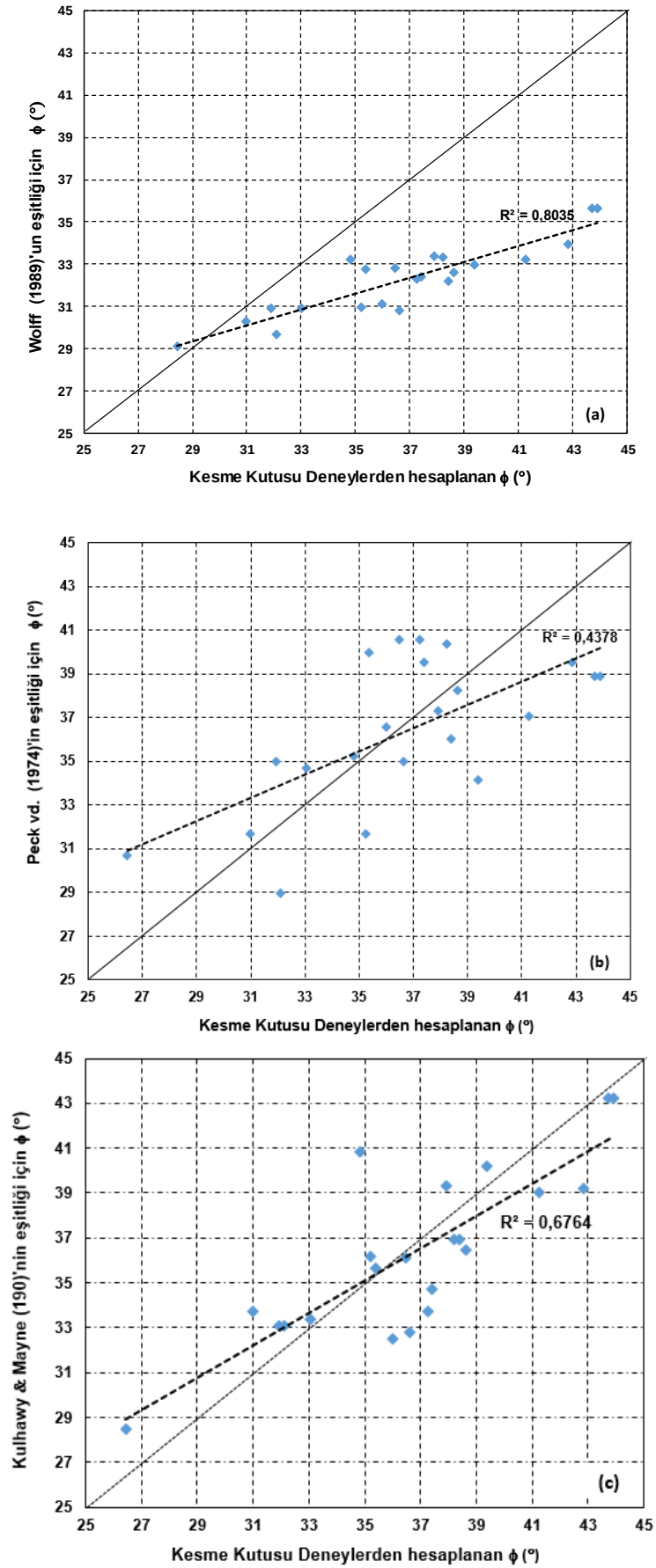
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

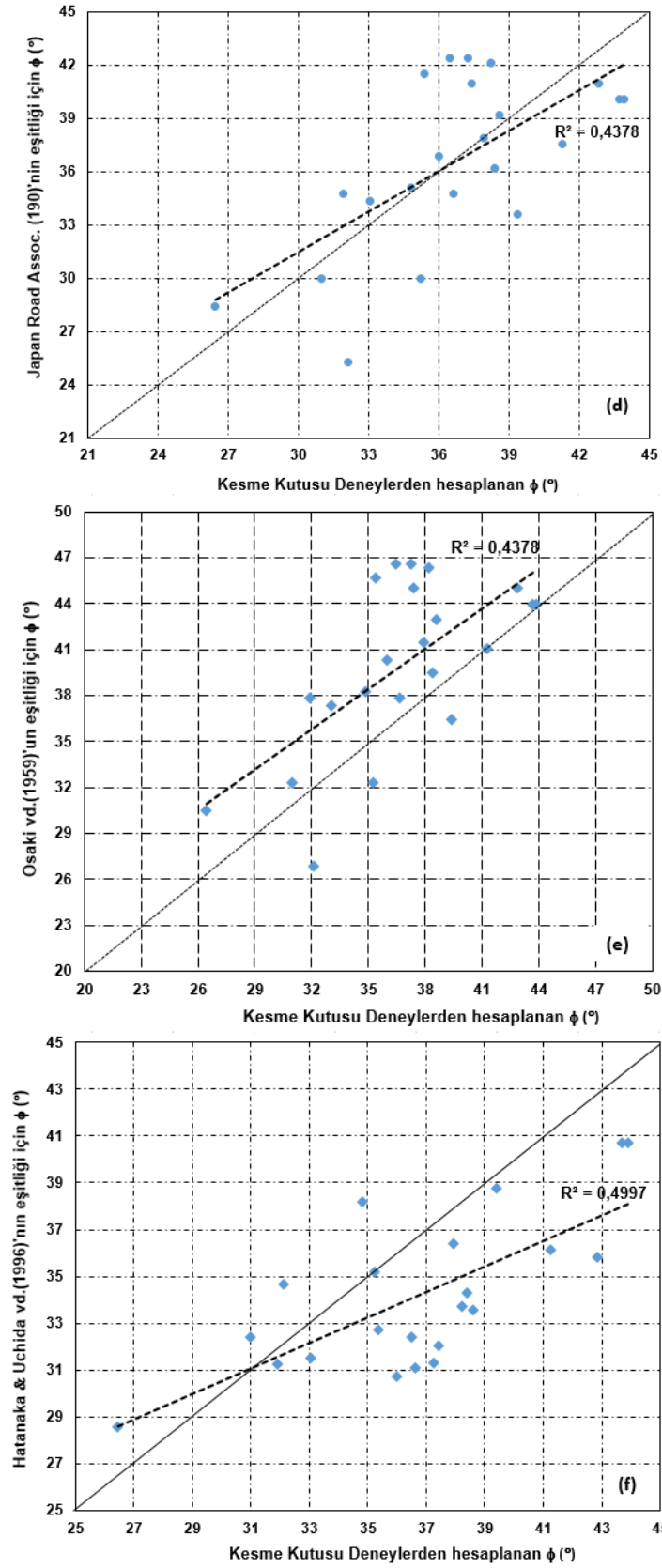
Araziden elde edilen SPT-N değerleri ile literatürdeki korelasyonlar kullanılarak elde edilen ϕ değerlerinin değişimi Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. SPT N- ϕ korelasyonları

Şekil 3'te sunulan korelasyonlar incelendiğinde, Wolff (1989), Peck vd. (1974), Japan Road Association (1990) ve Osaki vd. (1959)'nin eşitliklerine ait ϕ değerleri SPT-N ile düzenli bir ilişki sergilerken, Kulhawy & Mayne (1990) ile Hatanaka & Uchida (1996)'nın korelasyonlarında N değerlerinin artışına bağlı olarak hesaplanan ϕ değerleri arasında uyum gözlenmemiştir. SPT-N'den faydalanılarak korelasyonlar yardımıyla hesaplanan ϕ değerleri ile küçük ölçekli direkt kesme kutusu deneylerinden elde edilen ϕ değerlerinin karşılaştırılması ise Şekil 4'te sunulmuştur.





Şekil 4. Korelasyonlar ile kesme kutusu deneyinden elde edilen ϕ değerlerinin değişimi a)Wolff (1989) b)Peck vd. (1974) c)Kulhawy & Mayne (1990) d)Japan Road Assoc.(1990) e)Osaki vd. (1959) f)Hatanaka & Uchida (1996)

Grafikler incelendiğinde, kesme kutusu deneylerinden elde edilen ϕ değerlerine en yakın değerlerin örtü yükü düzeltme katsayısı kullanan Wolff (1989)'un korelasyonunda mevcut olduğu görülmektedir ($R^2=0,80$). Herhangi bir düzeltme katsayısı kullanmadan, SPT-N değerlerine bağlı olarak eşitlik öneren Osaki vd. (1959) ile Japan Road Association (1990)'ın ise zayıf bir ilişki içerisinde olduğu görülmektedir ($R^2=0,44$). Enerji düzeltmesi ve örtü yükü düzeltmesi yapılmış $N_{1,60}$ parametresini kullanan Hatanaka&Uchida (1996)'nın korelasyonunda da kuvvetli bir ilişkiden söz edilemezken ($R^2=0,50$), yalnızca enerji düzeltmesi yapılmış N_{60} değerlerini kullanan Kulhawy&Mayne (1990)'de ise nispeten daha yakın bir trend gözlenmiştir ($R^2=0,68$).

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Türkmenistan'ın Aşgabat kentindeki lös zeminlere ait arazi SPT-N değerlerinden faydalanılarak literatürdeki SPT N- ϕ korelasyonlarından içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Arazideki su muhtevalarına ve sıklıklarına uygun şekilde hazırlanan numunelere laboratuvarında kesme kutusu deneyleri uygulanmış ve elde edilen ϕ değerleri, korelasyonlardan elde edilenler ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ❖ Farklı sondaj kuyularına ait SPT-N değerlerinin literatürde farklı araştırmacılara ait eşitliklerde kullanılması ile hesaplanan ϕ değerlerinin farklılık gösterdiği görülmüştür (Şekil 1). Kullanılan korelasyonlarda Kulhawy ve Mayne (1990)'nin önerdiği korelasyon dışındaki SPT-N değerlerinin artışına bağlı olarak ϕ değerlerinde artış gözlemlenmiştir.
- ❖ Granüler zeminler için önerilen SPT N- ϕ korelasyonları için hesaplanan ϕ değerleri ile kesme kutusundan hesaplanan ϕ değerleri karşılaştırıldığında en uyumlu sonuçlar, Wolff (1989) tarafından önerilen eşitlik ile elde edilmiştir.
- ❖ Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kısıtlı sayıdaki silt boyundaki (lös zeminler) zeminler kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçların daha fazla veri seti ile desteklenmesi daha sağlıklı yorumlamalar yapılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abelyev, Y. M., & Abelyev, M. Y. (1948). *Batan Makro-Boşluklu Zeminler Üzerinde Projelendirme ve İnşaatın Esasları*.
- Chen, Z. Y. (1992). Practical solutions to problems of collapsible loess in China. *Proceedings of the 7th International conference on expansive soils*.
- Fairbridge, R. (1968). Loess. M. Peci içinde, *The encyclopedia of geomorphology* (s. 674-678).
- Hatanaka, M., & Uchida, A. (1996). Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. *Soils and Foundations*.
- Japan Road Association. (1990). Specifications for highway bridges.
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*.
- Liao, S. S., & Whitman, R. V. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*.

- Mavlyanov, Q. A. (1958). *Orta Asya'nın Merkezi ve Güney Kısımlarının Lös ve Löse Benzer Kayaçlarının Genetik Türleri*.
- Mustafayev, A. A. (1989). *Batan ve Şişen Zeminler Üzerinde Temeller*.
- Nouaouria, M. S., Guenfoud, M., & Lafifi, B. (2008). Engineering properties of loess in Algeria. *Engineering Geology*.
- Önalp, A., & Arel, E. (1997). *Geoteknik Bilgisi 1*.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation Engineering, 2nd Edition*.
- Rogers, C. D., Dijkstra, T. A., & Smalley, I. J. (1994). Hydroconsolidation and subsidence of loess: Studies from China, Russia, North America and Europe: In memory of Jan Sajgalik. *Engineering Geology*.
- Sheeler, J. B. (1968). SUMMARIZATION AND COMPARISON OF ENGINEERING PROPERTIES OF LOESS IN THE UNITED STATES. *Conference on Loess: Design and Construction*.
- Wolff, T. T. (1989). Pile Capacity Prediction Using Parameter Functions. *ASCE Geotechnical Special Publication No.23*.
- Yıldırım, M., & Gökaşan, E. (2007). *Mühendisler için Jeoloji Bilgileri*.

