

KUM ZEMİNLERİN ARA YÜZEY SÜRTÜNME AÇILARININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF INTERFACE FRICTION ANGLES OF SAND SOILS

Murat GÜLEN¹ Selçuk DEMİR² Ali COŞANDAL³ Umut COŞKUN⁴ Suat AKBULUT⁵

ABSTRACT

In cases of friction between soil and structure (piles, pile foundations, anchored systems, diaphragm walls, retaining walls, earth fill etc.), the interface friction strength plays an important role while designing geotechnical structures. Although soil-structure interface friction strength is generally obtained with empirical equations, more realistic designs can be achieved by conducting laboratory experiments. Many parameters affect the interfacial friction strength and empirical equations cannot accurately reflect the effects of these parameters in calculations. In this study, soil-structure interface friction angles were calculated using two different sands with the same grain size and different grain shape and using tile and concrete materials with different surface roughness. Experiments carried out with direct shear box device for sand-sand, sand-concrete and sand-tile cases with relative densities of 40% and 80%. Obtained results were evaluated and effect of grain shape, relative density and different surface roughness on the interface friction ratio (δ / ϕ) was investigated

Keywords: Interface friction strength, surface roughness, grain shape, relative density

ÖZET

Zemin ile yapı arasında sürtünmenin olduğu durumlarda (kazıklar, kazıklı temeller, ankrajlı sistemler, diyafram duvarlar, istinat duvarları, toprak dolgular vb.), ara yüzey sürtünme mukavemeti geoteknik yapıların tasarımında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Zemin-yapı ara yüzey sürtünme mukavemeti parametreleri genellikle ampirik eşitliklerle elde edilmekle beraber, laboratuvar deneyleriyle de belirlenerek daha gerçekçi tasarımların

¹Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, gulenmurat23@gmail.com

²Dr. Öğr. Üy., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, selcukdemir@ibu.edu.tr

³Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, cosandal@yildiz.edu.tr

⁴Y. Lisans Öğr., Yıldız Teknik Üniversitesi, ucoskun52@gmail.com

⁵Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, sakbulut@yildiz.edu.tr

yapılması sağlanabilmektedir. Ara yüzey sürtünme mukavemet parametrelerine pek çok değişken etki etmektedir ve ampirik eşitler bu değişkenlerin etkilerini hesaplamalara tam olarak yansıtamamaktadır. Bu çalışmada, aynı dane çapında ve farklı dane şekline sahip iki farklı kum zemin ile farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip kiremit ve beton malzemeleri kullanılarak zemin-yapı ara yüzey sürtünme açıları hesaplanmıştır. Deneyler, direk kesme kutusu aleti yardımı ile %40 ve %80 rölatif sıklıklara sahip kum-kum, kum-beton ve kum-kiremit durumları için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek dane şeklinin, rölatif sıklığın ve farklı yüzey pürüzlülüğünün ara yüzey sürtünme oranına (δ / ϕ) etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ara yüzey sürtünme direnci, yüzey pürüzlülüğü, dane şekli, rölatif sıklık

1. GİRİŞ

Kazıklar, kazıklı temeller, ankrajlı sistemler, diyafram duvarlar, istinat duvarları, toprak dolgular gibi geoteknik yapıların tasarımında zemin-yapı etkileşimini doğru bir şekilde analiz etmek oldukça önemlidir. Özellikle taşıma kapasiteleri zemin-yapı sürtünme direncinden oluşan bu yapıların tasarımlarında ara yüzey sürtünme mukavemet parametreleri genellikle kayma mukavemeti parametrelerine bağlı olarak ampirik eşitliklerden elde edilmektedir (Terzaghi ve Pack, 1948). Bununla birlikte, ara yüzey sürtünme mukavemeti parametrelerinin ampirik eşitler yerine laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi daha gerçekçi tasarımların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ara yüzey sürtünme mukavemeti, su muhtevası, ara yüzey pürüzlülük derecesi, kullanılan ara yüzeyin cinsi, rölatif sıklık, dane boyutu, dane şekli, dane yüzey pürüzlülüğü, ince dane oranı, kesme kutusu deney aletinin boyutları gibi parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak, pratik olarak kullanılan ampirik eşitlikler bu parametrelerin etkilerini tam olarak yansıtamamaktadır. Günümüzde de genellikle pek çok geoteknik tasarımda NAVFAC (1986) tarafından önerilen ara yüzey sürtünme mukavemeti parametreleri kullanılmaktadır.

Zemin-yapı etkileşimi konusunda ilk kapsamlı deneysel çalışmalar direk kesme kutusu deney aleti kullanılarak Potyondy (1961) tarafından gerçekleştirilmiştir. Potyondy bu çalışmalarda, her biri kendi içinde farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip ahşap, beton ve çelik ara yüzey yapısal elemanlar ile farklı dane çapı dağılımına sahip kum, siltli kum, kohezyonlu zemin, kil zemin ve kayalar için ara yüzey sürtünme mukavemetlerini belirlenmiştir. Kishida ve Yoshimi (1981) tarafından dairesel kesme deney aleti kullanılarak 3 farklı kum zemin ile çelik ara yüzey sürtünme mukavemeti incelemiş ve sürtünme mukavemetinin kullanılan ara yüzey elemanın pürüzlülüğüne ve zeminin ortalama dane çapına (D_{50}) bağlı olduğu ifade edilmiştir. Tiwari ve Al-Adlath (2014) iyi derecelenmiş kum zeminlerin ahşap, çelik ve beton ara yüzey sürtünme mukavemetlerini kesme kutusu deney aleti ile belirlemişlerdir. Farklı rölatif sıklıklarda kuru ve suya doymun hazırlanan numunelerle yapılan deneylerde, su muhtevası ve rölatif sıklığın ara yüzey sürtünme mukavemetine etkileri incelenmiştir. Kuru ve suya doymun hazırlanan numunelerde rölatif sıklığın artışına bağlı olarak ara yüzey sürtünme mukavemetinin arttığı; kuru hazırlanan numunelerden elde edilen ara yüzey sürtünme mukavemetinin doymun hazırlanan numunelerden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Samanta vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda farklı dane şekline ve dane boyutuna sahip 2 kum zemin ile farklı pürüzlülüğe sahip beton ve çelik ara yüzey sürtünme mukavemetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinde rölatif sıklık, yüzey

pürüzlülüğünün derecesi, dane şekli ve ortalama dane çapının etkisini incelenmiştir. Ayrıca görüntü işleme yöntemi ile kum zeminlerin küresellik ve köşelilik değerleri belirlenerek bunların ara yüzey sürtünmesine olan etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, direk kesme kutusu deneyi yardımıyla kum zeminlerin ara yüzey sürtünme açıları 2 farklı ara yüzey malzemesi kullanılarak hesaplanmıştır. Bununla beraber, rölatif sıklığın ve zemin dane yapısının ara yüzey sürtünme açısına olan etkisi ayrıca incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

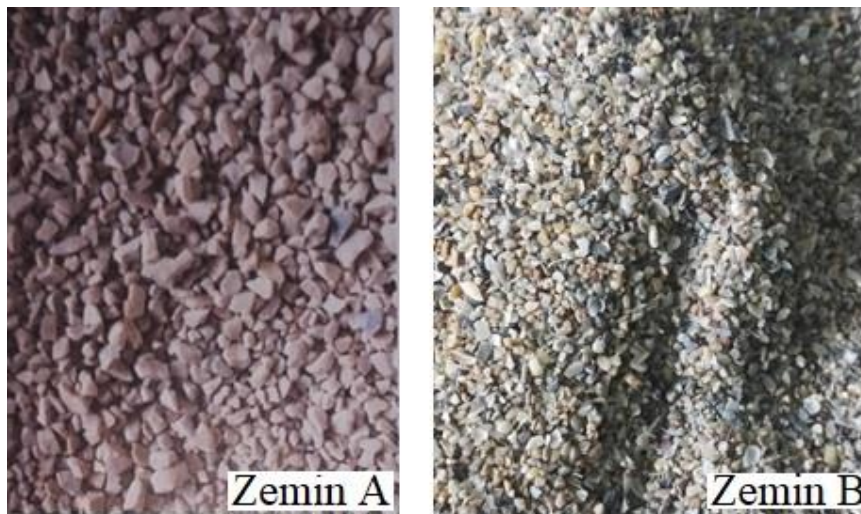
Bu çalışmada, üç farklı düşey gerilme altında direk kesme kutusu deneyi ile benzer dane boyutlarına sahip iki farklı kum zemin üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Deneylerde %40 ve %80 olmak üzere iki farklı rölatif sıklık kullanılmıştır. Ayrıca, bu zeminlerin kiremit ve beton malzemeleri ile ara yüzey sürtünme açıları belirlenerek elde edilen ara yüzey sürtünme açıları kum zeminlerin içsel sürtünme açıları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden önce numuneler üzerinde yıkama işlemi yapılmış ve sonrasında etüvde kurutularak kuru numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’ de gerçekleştirilen deneylere ait özellikler gösterilmektedir.

Tablo 1. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deney özellikleri

Zemin Türü	Ara yüzey türü	D_r (%)	Uygulanan düşey gerilme (kPa)
Zemin A ya da	Kum	40, 80	$\approx 50, \approx 100, \approx 200$
	Beton	40, 80	$\approx 50, \approx 100, \approx 200$
Zemin B	Tuğla	40, 80	$\approx 50, \approx 100, \approx 200$

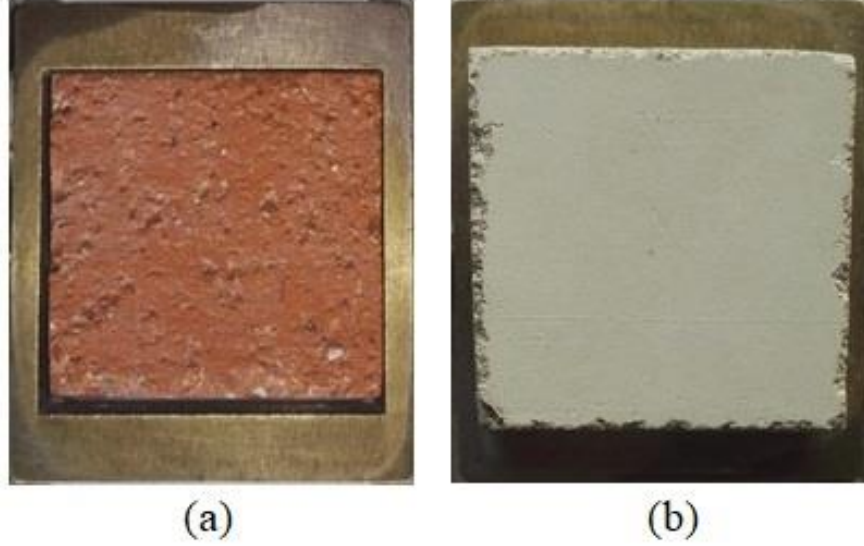
2.1. Çalışmada Kullanılan Kum Zeminler ile Kiremit ve Beton Malzemeler

Çalışma kapsamında kullanılan benzer dane boyutlarına sahip kum zeminlere ait görünümüler Şekil 1’ de gösterilmektedir.



Şekil 1. Farklı dane şekline sahip kum zeminler

Deneye tabi tutulan kum zeminlerin dane boyutları #10 ve #20 nolu elek arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bildiri kapsamında sadece belli bir granülometri aralığı seçilmekle beraber ileriki çalışmalarda daha geniş bir granülometri aralığında çalışmalar gerçekleştirilecektir. Kiremit ve beton malzemelere ait ara yüzey görünümleri ise Şekil 2’ de gösterilmektedir.



Şekil 2: Kiremit ve beton malzeme ara yüzeyleri a) Kiremit, b) Beton

2.2. Rölatif Sıkılık (D_r) Tayini

Deneyler iki farklı rölatif sıkılıkta (D_r) gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). İstenilen rölatif sıkılığa sahip deney numunenelerin hazırlanabilmesi için ilk olarak kum zeminlerin o sıkılıktaki boşluk oranı (e) belirlenmiş ve sonrasında deney numuneleri hazırlanmıştır. Boşluk oranı (e), zeminin rölatif sıkılığı, maksimum ve minimum boşluk oranı (e_{maks} ve e_{min}) kullanılarak Eşitlik 1’ de gösterildiği gibi elde edilmiştir;

$$D_r = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \quad (1)$$

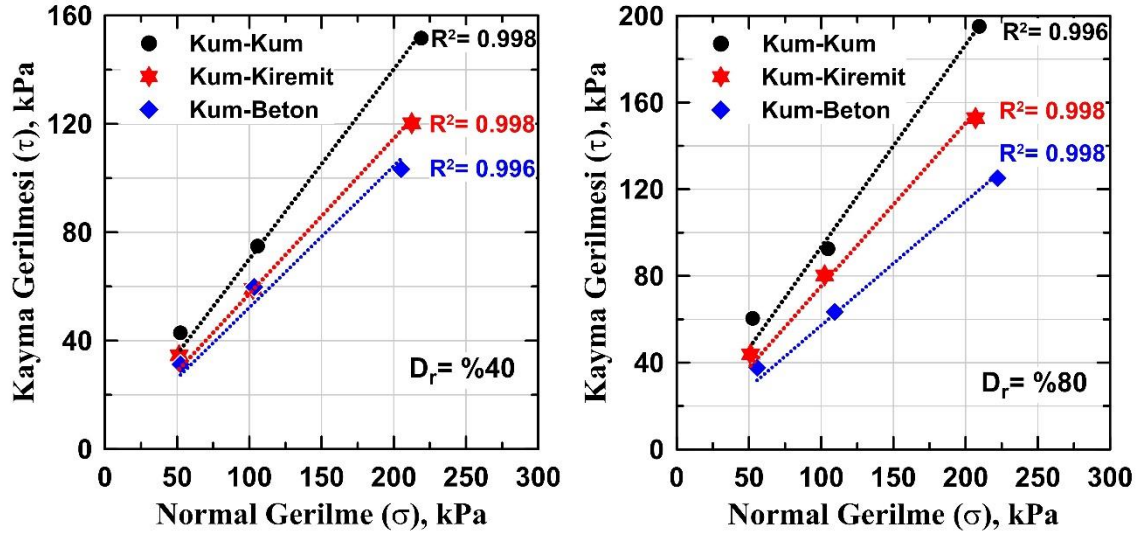
Burada, kumlara ait e_{maks} ve e_{min} değerleri ASTM D4253 and ASTM D4254 standartlarına uygun bir şekilde elde edilmiştir. Buna göre kum zeminlere ait özgül yoğunluklar (G_s) ve hesaplanan boşluk oranları Tablo 2’ de gösterilmektedir.

Tablo 2. Kum zeminlere ait boşluk oranları ve özgül yoğunlukları

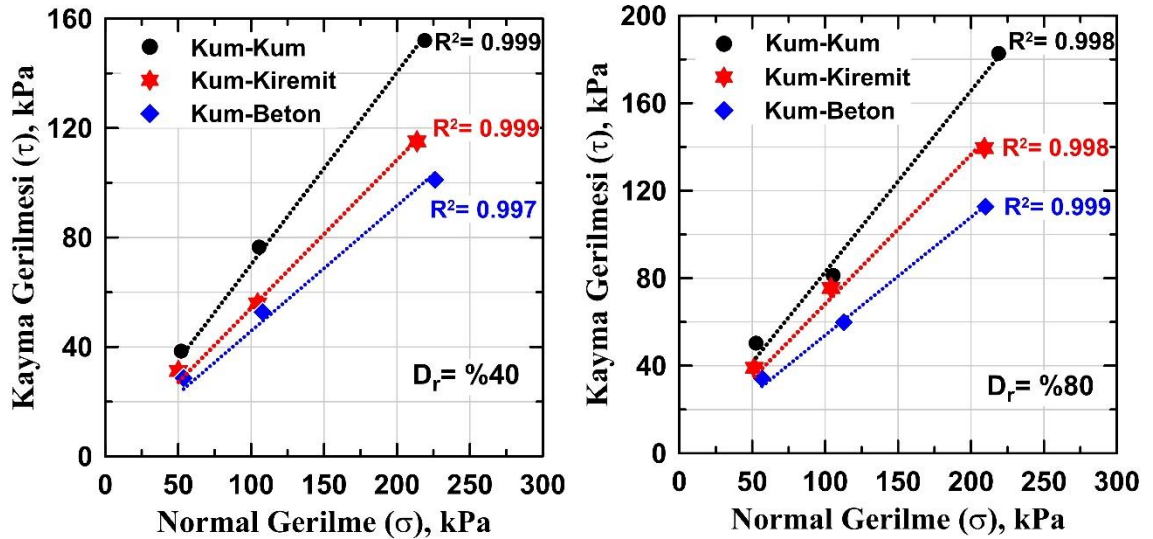
Sembol	Zemin A		Zemin B	
G_s	2.860		2.700	
e_{maks}	0.728		0.798	
e_{min}	0.437		0.534	
D_r	$D_r = \%40$	$D_r = \%80$	$D_r = \%40$	$D_r = \%80$
e	0.616	0.495	0.692	0.586

2.3. Direk Kesme Kutusu Deneyleri

İki farklı kum zemin için, kum-kum, kum-kiremit ve kum-beton ara yüzeylerindeki sürtünme açılarının belirlenmesi için %40 ve %80 rölatif sıkılıkta, yaklaşık 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa düşey gerilme değerleri altında 36 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen göçme zarfı dağılımları Zemin A ve Zemin B için sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4' te gösterilmektedir.



Şekil 3. Zemin A için elde edilen farklı rölatif sıkılıktaki kum-kum, kum-kiremit ve kum-beton ara yüzey deneylerine ait göçme zarfları



Şekil 4. Zemin B için elde edilen farklı rölatif sıkılıktaki kum-kum, kum-kiremit ve kum-beton ara yüzey deneylerine ait göçme zarfları

Şekil 3' de görüldüğü üzere kum-kum ara yüzey sürtünme direncine kıyasla, kesme kutusu ara yüzeyinde kullanılan malzemelerin (kiremit veya beton) ara yüzey sürtünme direncinde önemli ölçüde azalmalara neden olduğu görülmektedir. Buna göre en düşük ara yüzey sürtünme direnci kum-beton için elde edilirken, kum-kiremit ara yüzey sürtünme açısının daha yüksek kayma mukavemeti değerleri verdiği görülmektedir. Bununla beraber, rölatif

sıkılığın etkisi incelendiğinde, rölatif sıkılığın artması ile ara yüzey sürtünme açıları da artışların meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4' de ise Zemin A' ya göre daha yuvarlak dane şekline sahip Zemin B kullanılarak elde edilen göçme zarfı değişimleri gösterilmektedir. Buna göre, Şekil 3' de elde edilen sonuçlara benzer şekilde en düşük ara yüzey sürtünme açısı kum-beton durumunda elde edilirken, rölatif sıkılığın artması ile beraber ara yüzey sürtünme açıları da aynı şekilde artışlar meydana gelmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4' te gösterilen göçme zarfı sonuçlarından Zemin A ve Zemin B için elde edilen ara yüzey sürtünme açıları ise Tablo 3' de gösterilmektedir.

Tablo 3. Zemin A ve Zemin B için elde edilen ara yüzey sürtünme açıları

		Kum –Kum (ϕ)	Kum-Kiremit (δ)	Kum-Beton (δ)
Zemin A	$D_r = \%40$	35°	29.8°	27.5°
	$D_r = \%80$	43°	37°	29.7°
Zemin B	$D_r = \%40$	35°	28.4°	24.6°
	$D_r = \%80$	39.6°	34.3°	28.3°

Tablo 3 incelendiğinde, beklenildiği gibi rölatif sıkılığın artışı ile beraber kum zeminlere ait içsel sürtünme açıları (ϕ) artışlar meydana gelmiştir. Benzer şekilde, kum-kiremit ve kum-beton ara yüzey sürtünme açıları da rölatif sıkılığın artışına bağlı olarak artışlar yaşanmıştır. Ayrıca, kum zeminin dane özelliklerinin içsel sürtünme açısı ve ara yüzey sürtünme açılarına etki ettiği Tablo 3' de görülmektedir. Buna göre, aynı rölatif sıkılık altında daha köşeli bir dane yapısına sahip Zemin A' dan elde edilen mukavemet parametrelerinin Zemin B' ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre, kum zeminlerin dane yapısı ve ara yüzey elemanı olarak kullanılan malzemenin pürüzlülüğünün ara yüzey sürtünme açılarına önemli ölçüde etki ettiği görülmektedir. Tablo 4' te ise farklı rölatif sıkılıklar altında Zemin A ve Zemin B için elde edilen ara yüzey sürtünme oranlarının (δ/ϕ) değişimi gösterilmektedir. Buna göre, Tablo 4 incelendiğinde rölatif sıkılığın artması ile δ/ϕ oranlarının genellikle arttığı görülmüştür.

Tablo 4. Zemin A ve Zemin B için elde edilen δ/ϕ oranları

	A kumu		B kumu	
	Kum-Kiremit (δ/ϕ)	Kum-Beton (δ/ϕ)	Kum-Kiremit (δ/ϕ)	Kum-Beton (δ/ϕ)
$D_r = \%40$	0.85	0.78	0.81	0.70
$D_r = \%80$	0.86	0.69	0.87	0.71

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı ara yüzey malzemeleri kullanılarak kum zeminlerde ara yüzey sürtünme açılarının rölatif sıklığa ve dane yapısına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Çalışmalar, sadece belirli dane boyutlarına sahip fakat farklı yapıdaki kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda,

- Ara yüzey sürtünme mukavemetine yüzey pürüzlülüğünün etki ettiği ve daha pürüzlü bir yüzeye sahip kiremit malzemesinden elde edilen ara yüzey sürtünme açılarının beton malzemeden elde edilenden daha fazla olduğu görülmüştür.
- Dane köşegenliğinin ara yüzey sürtünme direncini etkilediği ve aynı boyutlara sahip kum zeminlerden dane köşegenliği daha fazla olanın daha yüksek ara yüzey sürtünme açısı verdiği görülmüştür.
- Rölatif sıklığın artışı ile beraber ara yüzey sürtünme açılarının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Ancak, rölatif sıklığın ara yüzey sürtünme oranlarına (δ/ϕ) çok etki etmediği ve yaklaşık benzer aralıkta değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmada yer alan deneyler sınırlı sayıdaki kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların bütün kumlu zeminlerde geçerli olabilmesi için çok daha farklı kum zemin ve farklı parametre etkileri dikkate alınarak konu ile ilgili daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

Kishida, T. ve Yoshimi Y., (1981). "A ring Torsional Apparatus for Evaluations of Friction Between Soil and Metal Surface", *Geotechnical Testing Journal*, 4(4), pp:145-152.

Potyondy, J.G., (1961). "Skin Friction Between Various Soils and Constructions Material" *Geotechnique*, 11(4), pp:339-353.

Samanta, M., Punetha P. ve Sharma, M., (2018). "Effect of Roughness on Interface Shear Behavior of Sand with Steel and Concrete Surface", *Geomechanics and Engineering*, 14(4), pp:387-398.

Terzaghi, K. ve Peck, R.B., (1948). "Soil Mechanics in Engineering Practise", John Wiley and Sons, New York, USA.

Tiwari, B. ve Al-Adhandh, A.R., (2014). "Influence of Relative Density on Static Soil-Structure Frictional Resistance of Dry and Saturated Sand" *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(2), pp: 411-427.

NAVFAC (1986). "US Department of Navy Engineering Manual", EM 7.02.

