



Koni Penetrasyon Testi (CPT) İle USCS Zemin Sınıfının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Determination and Evaluation of USCS Soil Class by Cone Penetration Test (CPT)

İbrahim Çobanoğlu^{1*}, **Sefer Beran Çelik²**

^{1,2} Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: icobanoğlu@pau.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 06.04.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 31.08.2020

Atıf şekli/How to cite: ÇOBANOĞLU, İ., ÇELİK, S.B. (2021). Koni Penetrasyon Testi (CPT) İle USCS Zemin Sınıfının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. DEUFMD, 23(67), 43-53.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236704

Öz

Jeoteknik çalışmaların bütününde zeminin sınıflandırılması, hem doğru temel tasarımı için ve hem de zeminin davranış biçimini öngörmek için önem taşımaktadır. Uygulamalarda zeminlerin sınıfı arazide yapılan sondaj veya araştırma çukuru çalışmaları sırasında alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneylerle belirlenebilmektedir. Bunun yanında Koni Penetrasyon Testi (CPT) ile zemin sınıfının tahmin edilmesi yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu çalışma CPT ile doğrudan belirlenemeyen ancak tahminsel yaklaşımlarla belirlenmeye çalışılan birleştirilmiş zemin sınıfı (USCS) gruplarının gerçekte ve yerinden alınan numuneler üzerinde yapılan deney verileri ile denestirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla alüvyal bir sahada yapılmış olan 15 adet araştırma sondajı ve 15 adet CPT deney verisi kullanılmıştır. Araştırma sondajları ile elde edilmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile ortaya konulan USCS zemin sınıfları CPT ile elde edilen deney verileri ile belirlenen zemin sınıflarıyla karşılaştırılarak elde edilen bulgular bir arada değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, deneysel olarak belirlenmiş zemin sınıflarının CPT uç direnç değerleri kullanılarak belirlenmiş zemin sınıflarından büyük ölçüde farklılıklar sunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle zeminin plastiklik durumunu belirlemede yetersiz kalan CPT yöntemi SM grubu zeminlerin sadece "Kum - Kil" şeklinde tanımlanmasına neden olmuştur. Benzer durum SC grubu için değerlendirildiğinde CPT verilerinin zemini "Kil" olarak tanımladığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, yerinde yapılan örneklemelerle deneysel olarak belirlenmeyen zemin sınıflarının, CPT verileriyle dolaylı olarak değerlendirilmesi durumunda bazen hatalı değerlendirmelere de neden olabileceğini görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: CPT, zemin sınıfı, USCS, zemin kıvamı

Abstract

In all geotechnical studies the classification of soil is important both for correct foundation design and prediction of soil behavior. In practice, determination of the soil class can be carried out by drilling or research pit works in the field. Besides, approaches to determine of soil classes from Cone Penetration Test (CPT) data are used. This study was carried out to correlate the predicted USCS soil groups by CPT tests with actual test results which were carried out on the samples taken from field. For this purpose, 15 exploration drillings and 15 CPT test data which were carried out on an alluvial soil were

used. The results obtained by the experimental data on the samples taken from the research drillings were compared with the soil classes by CPT tests and correlated together. The findings revealed that the experimentally determined soil classes are considerably different from the soil classes determined by CPT end resistance values. The CPT method, which is insufficient to determine the plasticity of the soil, caused the SM group to be defined as "Sand – Clay". Same situation was evaluated for SC group it was observed that CPT data were defined this group as "Clay". This clearly demonstrates that soil classes that cannot be identified by in-situ sampling can lead to erroneous evaluations.

Keywords: CPT, Soil class, USCS, soil consistency

1. Giriş

Koni penetrasyon deneyi (CPT) zemin araştırmalarında sıklıkla kullanılan bir arazi deneyidir. Uygulamada, zemin profilinin bütünü boyunca veri alınmasını sağlaması açısından özellikle tercih edilebilmektedir. Bu olumlu özellikleri yanında pahalı olması, özel ekipman gerektirmesi ve zeminden örnek alınabilmesinin mümkün olmaması gibi çeşitli olumsuz özelliklere de sahip bir deney yöntemidir.

CPT deneyleri ile elde edilen veriler genel olarak uç sürtünme direnci (q_c), çevre sürtünme değeri (f_s) ve sürtünme oranı (R_f) olarak doğrudan tanımlanmaktadır. Örnek alımının mümkün olmaması nedeniyle CPT verilerinden yola çıkılarak zemin türünün belirlenebilmesi sürekli bir araştırma konusu olmuştur. Bu konuda yapılmış zemin sınıflandırma yaklaşımlarının fazla oluşu, doğrudan ve hatasız olarak zemini sınıflandırabilmenin zorluğunu da ortaya koymaktadır.

Bu çalışma CPT deney verilerinden yola çıkılarak öngörülen zemin sınıflarının laboratuvar deneyleriyle belirlenen zemin sınıflandırma verileri ile uyumunu ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. Çalışma Yöntemi ve İnceleme Alanı

Çalışma kapsamında Manisa İli – Alaşehir İlçesi sınırları içinde gerçekleştirilmiş bir elektrik üretim tesisi sanayi yapısı zemin araştırma çalışmalarında yapılan CPT arazi verileri kullanılmıştır. Arazi çalışmalarının bütünü çalışma ekibi tarafından gerçekleştirilmiş ve ayrıca sahada her CPT lokasyonu için yapılan SPT deney verileri ile elde edilen örnekler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Zemin sınıflarının deneysel olarak belirlenmesi amacıyla temin edilen örnekler arazide yapılan sondajlardan elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında Alaşehir ovası alüvyal zemin çökelleri içerisinde açılan 15 adet CPT ve SPT araştırma kuyusuna ait veriler kullanılmıştır. CPT uygulamalarında Geomil GME500 marka deney ekipmanı ile klasik tipte CPT problemleri iki temel parametre olan uç mukavemeti q_c ve çevre sürtünmesi f_s değerlerini ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Farklı derinliklerden örneklemelerin yapılabilmesi için açılan araştırma sondajlarında ise TSM 750 modelinde sondaj makinası kullanılmıştır. Sondajlar sadece zemin içerisinde örselenmiş örnek alımının sağlanabilmesi amacıyla açılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanında gerçekleştirilen sondaj (üstte) ve CPT (altta) uygulamalarından görünüm

Elde edilen zemin örneklerinin CPT lokasyonlarını doğru bir şekilde temsil edebilmesi amacıyla sondaj delgilerinin CPT

noktalarına mümkün olduğu kadar yakın olması sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Yapılan sondaj ve CPT uygulama noktalarının yakınlığı örneklerinin temsil ediciliğinin artırılmasını sağlamıştır

Yapılan sondaj çalışmaları sırasında her 1.5 m derinlikte yapılan SPT deneyleri ile örselenmiş örnekler alınmış ve ayrıca her kuyuda 2 adet olmak üzere farklı seviyelerden UD ile örselenmemiş örnekler alınmıştır. Sondaj çalışmaları ile elde edilen örneklemelerden yola çıkılarak tanımlanmış kuyu logları ilk 5 sondaj kuyusu için olacak şekilde Şekil 3'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere alüvyal istif içerisinde küçük litolojik değişimlerin CPT deneylerindeki detayla elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Buna karşılık CPT uygulaması doğrudan zemini tanımlamamakla birlikte cm ölçeğinde derinlik farkları için koni uç direnci (q_c) ve çevre sürtünme (f_s) değerlerinin değişimlerini sunmaktadır (Şekil 4).

Bu çalışma kapsamında sondaj ile elde edilen örnekler (Şekil 5) laboratuvarında zemin sınıfını belirlemek amacıyla deneye tabi tutulmuşlardır.

Örnekleme yapılan derinlikler için CPT uygulamasına ait uç direnci (q_c), çevre sürtünme (f_s) ve sürtünme oranı (R_f) değerleri belirlenmiş ve CPT'ye dayalı zemin sınıflamaları Schmertmann [1], Douglas ve Olsen [2], Robertson vd. [3], Eslami ve Fellenius [4] yöntemleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3. CPT Bazlı Zemin Sınıflama Sistemlerine Ait Literatür İncelemesi

Koni penetrasyon test verilerinden yola çıkarak zemin sınıflamasına yönelik olarak yapılmış çok sayıda ve çeşitli çalışmalar mevcuttur. En eski çalışmalardan biri Begeman [5] tarafından yapılmış olup bu çalışma ile sürtünme oranı (%) değerine bağlı olarak zeminlerin 6 farklı grup içerisinde tanımlanmasını sağlayacak bir abak geliştirilmiştir.

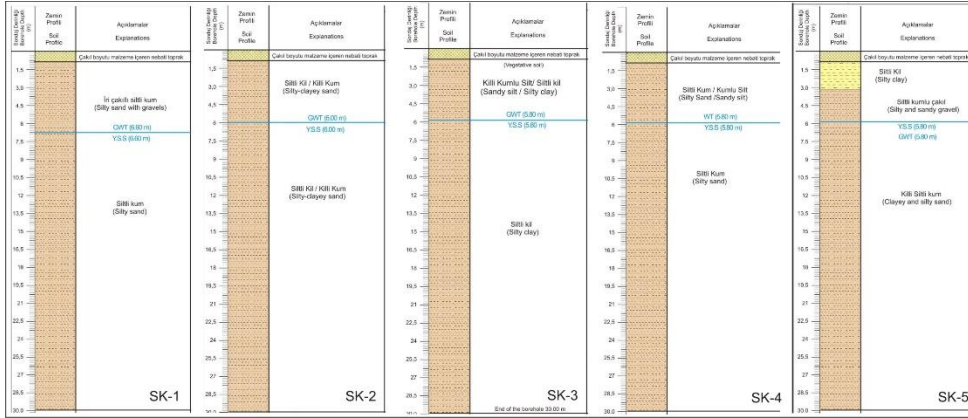
Sanglerat vd. [6], 80 mm çaplı CPT deney aleti ile yaptığı araştırmalara dayanarak sürtünme oranı (%) ve koni uç direnci (MPa) değerlerine bağlı olarak zeminleri kum, silt ve kil olarak tanımlanabilecek bir nomogram geliştirmişlerdir.

Schmertmann [1] tarafından yapılan çalışma ile yazar, sürtünme oranı (%) ve koni uç direnci (MPa) değerlerine bağlı olarak iri taneli zeminlerin gevşek ve sıkı, ince taneli zeminlerin ise kıvam durumlarını tanımlayan bir diğer zemin sınıflandırma abağı geliştirmiştir.

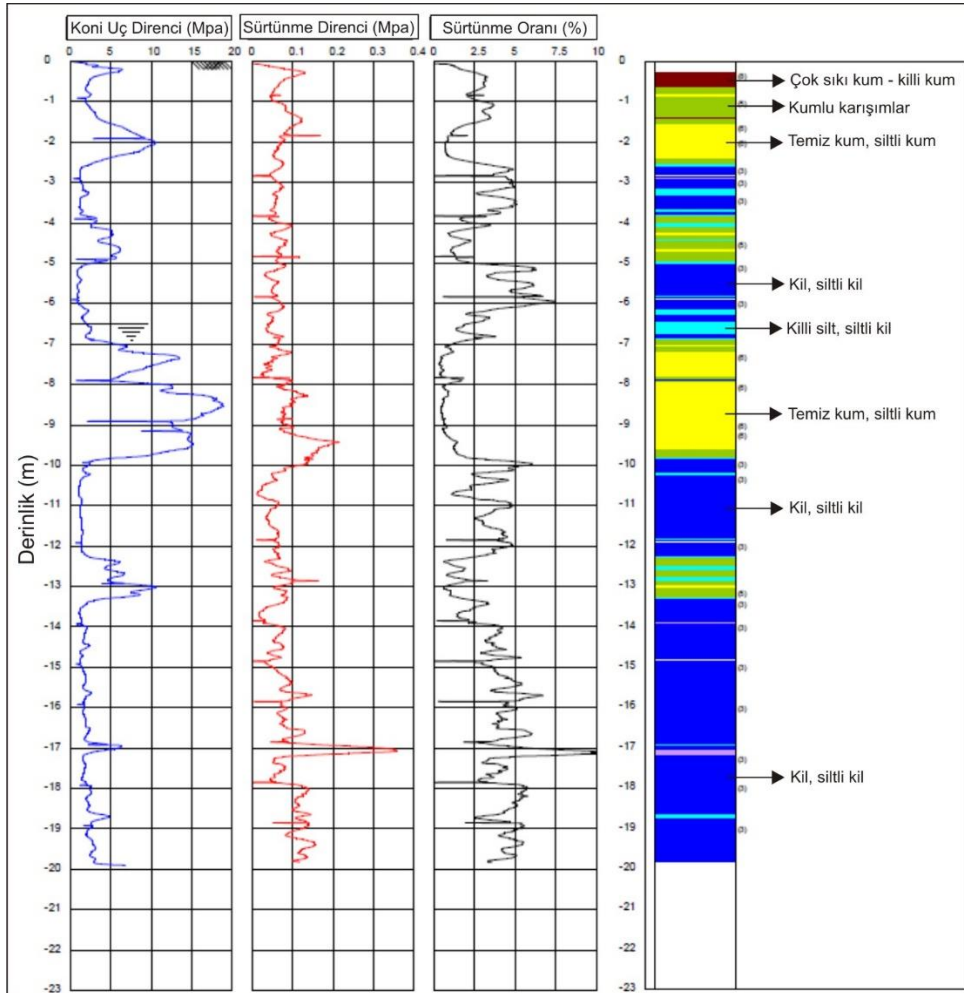
Searle [7], önermiş olduğu zemin sınıflandırma abağı ile CPT verilerinden yola çıkarak zeminlerin rölatif sıklık, drenajsız kayma direnci ve içsel sürtünme açısı gibi parametreleri de tanımlamaya çalışmıştır.

Bu konudaki detaylı çalışmalardan birisi Douglas ve Olsen [2] tarafından yapılmış olup kumlu zeminlerin yüksek koni direnci ve düşük sürtünme oranları, killi zeminlerin yüksek sürtünme oranları, organik zeminlerin düşük koni direnci ve yüksek sürtünme oranları, hassas zeminlerin ise düşük koni direnci ve düşük sürtünme oranları ile temsil edildiğini söylemişlerdir.

Vos [8], Begeman [5] tarafından önerilmiş olan sınıflandırmaya benzer bir başka sınıflandırma yaparak CPT sürtünme oranlarına bağlı olarak bir başka sınıflandırma tablosunu önermiştir.



Şekil 3. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları ile elde edilmiş ve idealize edilmiş kuyu loglarına ait zemin profili



Şekil 4. CPT-1 ölçüm lokasyonu örneğinde elde edilmiş deney verileri ve olası zemin profili



Şekil 5. Sondaj çalışmaları ile elde edilmiş zemin örneklerinin görünüşleri

Jones ve Rust [9], tarafından geliştirilen zemin sınıflandırma çalışmasında ise CPT deneyleri sırasında ölçülen aşırı boşluk suyu basıncı değerleri kullanılmıştır. Bu sınıflandırmada, zemin üzerinde etkiyen toplan örtü yükü de dikkate alınmış olup bu açıdan da diğer sınıflandırma sistemlerinden de oldukça farklı bir değerlendirmeye sahiptir.

Robertson vd. [3] yapılan çalışmalarda hatalı sonuçları da dikkate alarak zemin sınıflamasının (q_c , u ve f_s) parametre seti ile daha gerçekçi bir şekilde yapılabileceğini vurgulayarak bir sınıflama abağı önermişlerdir. Bu abakta zemin sınıflaması (q_t ve R_f) parametreleri kullanılarak yapılmış ve zeminler; 1. Hassas ince taneli zeminler, 2. Organik zeminler, 3. Kil, 4. Siltli kil – kil, 5. Killi silt – siltli kil, 6. Kumlu silt – killi silt, 7. Siltli kum – kumlu silt, 8. Kum – siltli kum, 9. Kum, 10. Kum – çakıllı kum, 11. Çok katı ince taneli zeminler, 12. Aşırı konsolide veya çimentolu kum – killi kum olmak üzere 12 farklı türde olmak üzere sınıflandırılmışlardır.

Senneset vd. [10], önermiş olduğu zemin sınıflandırma abağında, pozitif ve negatif boşluk suyu basınçlarına karşı CPT ile elde edilen koni uç direnci değerlerini kullanmıştır. Bu sınıflama sisteminin bir sınırlaması bulunmakta olup, uç direncinin 16 MPa'dan daha düşük olduğu zemin koşullarını temsil etmektedir.

Robertson [11], konik penetrasyon direncinin aynı özelliklere sahip zeminlerde SPT dirençlerinde olduğu gibi derinlikle arttığı gerçeğinden hareketle, örtü yüküne göre bir düzeltme yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu amaçla daha önce kendi önermiş olduğu sınıflama sistemini kısmen revize ederek yeni bir sınıflama abağı haline getirmiştir.

Lunne vd. [12], literatürde yapılan yorumlardan CPT'de q_c ve u ölçümlerinin sağlıklı olduğu, f_s ölçümlerinin ise sıklıkla hatalı değerler verdiği sonucunu önemle vurgulamıştır.

Eslami ve Fellenius [4], tarafından yapılan çalışmada CPTu verileri kullanılarak bir sınıflandırma abağı ortaya konulmuştur. Bu sınıflandırma abağında toplam ve efektif gerilmelerin belirlenmesine gerek duyulmamaktadır. Yazarlar bu çalışmalarında ayrıca CPT verilerini 102 farklı lokasyondan derledikleri veriler ışığında kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesinde de kullanmışlardır.

Eslami ve Fellenius [13], daha önce 1997 yılında yaparak literatüre kazandırdıkları çalışmaya ait verileri denestirmeli olarak bir araya getirmiş ve CPT ve CPTu deney verilerinin zemin sınıflama etkinliklerini ele alarak değerlendirmişlerdir.

Baziar vd. [14] tarafından yapılan çalışmada CPT tabanlı zemin sınıflandırmasında kullanılan iki yöntem olan Robertson [11] ve Marr [15] sınıflandırmaları ele alınarak incelenmiştir. Toplam 15 veri noktası için elde edilen değerlendirmelere göre yazarlar Robertson [11] sınıflandırmasının iri taneli zeminler için ve Marr [15] sınıflamasının ise ince taneli zeminler için daha tutarlı ve doğru sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmaların haricinde daha birçok çalışma CPT temelli verilerle zemin sınıfı, plastisitesi, organik madde içeriği, ince tane oranı değerlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmaların fazla oluşu aslında bu konunun görüldüğünden daha karmaşık olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle CPT verilerinin normalize

edilerek kullanılmaları durumunda, yani örtü gerilmelerinin bulunabilmesi için zemine ait örselenmemiş numunelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sağlanması koşulunda ise CPT'ye dayalı zemin sınıflandırma çalışmalarının ne amaçla yapılacağı sorgulanır hale gelmektedir. Zira örnek temini olması koşulunda laboratuvarda yapılacak deneysel çalışmalarla zemine ait bütün tane boyu parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu yüzden bu çalışma, güvenilir olduğu bilinen ve deneysel çalışmaları gerçekleştirilen alüvyal zemindeki verilerden yola çıkarak yeni bir sınıflama ortaya koymayı amaçlamamaktadır.

Bu çalışma ile konunun karmaşıklığının ortaya konulması ve aslında sınıflama için yapılması

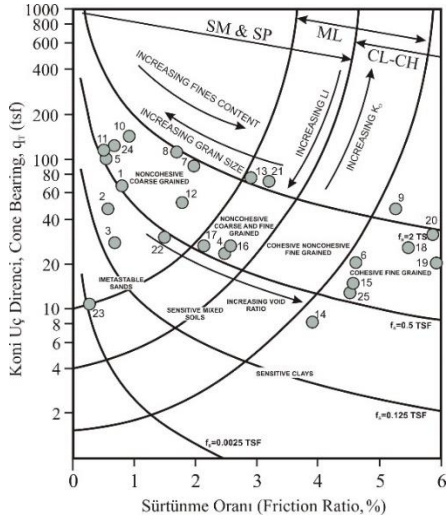
gerekenlerin ne kadar fazla hata payına yol açabileceğini göstermek olacaktır.

4. USCS Sınıflandırması ve CPT Verileriyle Zemin Türlerinin Belirlenmesi

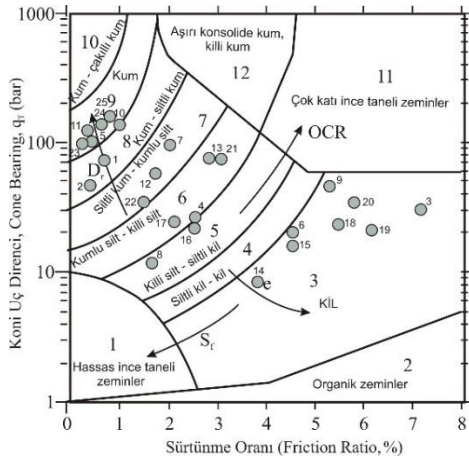
CPT temelli zemin sınıflandırma çalışmalarında koni uç direnci (MPa), çevre sürtünmesi (MPa, kPa) ve sürtünme oranı (%) değerlerinden yola çıkılarak bahsedilen zemin sınıflandırma yöntemleri kullanılarak zemin türleri belirlenmiştir. Tablo 1, elde edilen 25 farklı örnekleme için sondaj kuyu numaralarını, derinliklerini, CPT verilerini ve laboratuvarda yapılan deneylerle belirlenmiş USCS zemin sınıflarını göstermektedir.

Tablo 1. Elde edilen örneklere ait lokasyon bilgileri ile CPT verileri ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş USCS zemin sınıfları.

Veri No	Sondaj No	Derinlik (m)	q_c (MPa)	f_s (MPa)	R_f (%)	USCS
1	SK-1	1,5	6,6834	0,0616	0,8503	SM
2	SK-1	6,5	4,672	0,0283	0,5802	SM
3	SK-2	16,5	3,0288	0,2206	7,2407	CL
4	SK-3	4,5	2,5882	0,0596	2,539	CL
5	SK-3	7,5	10,045	0,0436	0,4826	SM
6	SK-4	3	2,071	0,1019	4,6386	SM
7	SK-5	1,5	9,4321	0,1862	1,9747	ML
8	SK-5	13,5	1,2156	0,0205	1,6923	SC
9	SK-5	18	4,6755	0,241	5,3122	CL
10	SK-6	4,5	14,417	0,1226	0,9268	CL
11	SK-7	7,5	11,004	0,0446	0,4271	SM
12	SK-8	1,5	5,502	0,1031	1,8359	ML
13	SK-9	1,5	7,619	0,2171	2,8528	ML
14	SK-9	10,5	0,8166	0,0349	3,9076	SC
15	SK-10	3	1,6716	0,087	4,6341	SM
16	SK-11	4,5	2,381	0,0538	2,566	SM
17	SK-11	10,5	2,4175	0,0698	2,1082	CL-ML
18	SK-12	16,5	2,2965	0,1286	5,4758	SC
19	SK-13	12	2,023	0,152	6,184	CL
20	SK-13	16,5	3,5473	0,1975	5,8502	SC
21	SK-14	3	7,4251	0,2425	3,125	CL
22	SK-14	6	3,4916	0,0524	1,4751	SM-SC
23	SK-15	7,5	10,712	0,0321	0,301	SC
24	SK-15	9	12,711	0,0859	0,6805	SM
25	SK-15	12	1,4228	0,0666	4,6615	SM

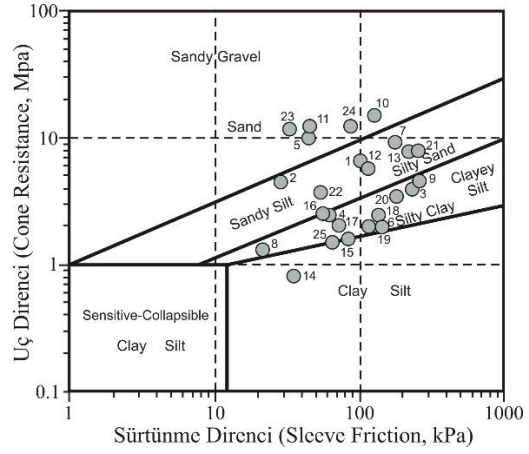


Şekil 6. İncelenen örneklerin Douglas ve Olsen [2] sınıflamasına göre tanımlanmış yerleri

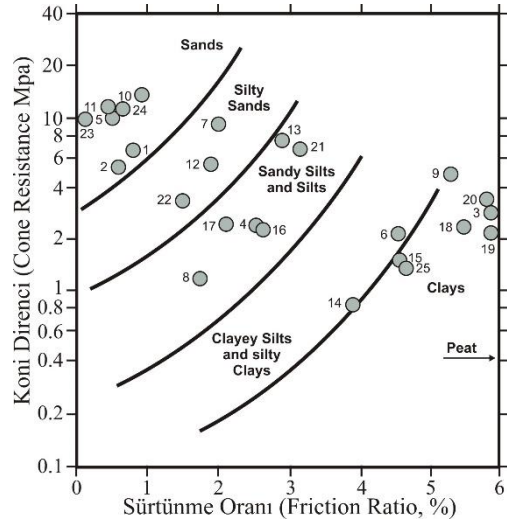


Şekil 7. İncelenen örneklerin Robertson vd. [3] sınıflamasına göre tanımlanmış konumları

Robertson ve Campanella [16] sınıflamasında koni uç direnci (MPa) ve sürtünme oranı (%) değerleri kullanılmaktadır. Grafiğin yatay eksen aritmetik, düşey eksen ise logaritmik olarak teşkil edilmiştir. Yatay ekseninde yer alan sürtünme oranı değerleri en yüksek değer olan 6'da bitmektedir. Dolayısı ise bu değerden büyük sürtünme oranları için maksimum değer olan 6 alınmaktadır. Zemin sınıflaması içerisinde 5 grup yer almakta olup bu gruplar doğrudan tane boyu dağılımlarını içerecek şekilde oluşturulmuştur. Bu çalışma ile elde edilen CPT test verilerinin sınıflama abağındaki dağılımları Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 8. İncelenen örneklerin Eslemi ve Fellenius [4] sınıflamasına göre tanımlanmış konumları



Şekil 8. İncelenen örneklerin Robertson ve Campanella [16] sınıflama abağı içerisindeki dağılımları

Bu çalışma ile elde edilen CPT verilerinin bütünü laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş olan zemin sınıfı değerleri (USCS) ile korele edilmiştir. Bu korelasyonların yapılabilmesi için CPT bazlı zemin sınıflama abağındaki zemin türleri de USCS sınıflaması türünden grup sembollerleriyle ifade edilmişlerdir. Laboratuvar deneylerinin doğruluklarının bu tür çalışmalara ait yorumlamalarda önemli olması nedeniyle bu çalışma için elde edilen örnekler 2 ayrı laboratuvarda birbirlerini doğrulayacak şekilde deneye tabi tutulmuşlardır. Zeminlerin bütünü için ıslak eleme usulü elek analizleri

gerçekleştirilmiş ve her deney numunesi için kıvam parametreleri de belirlenmiştir.

Yapılan CPT deneyleri ile belirlenmiş olan zemin sınıfları, deney yapılan test seviyelerinden sondajlarla alınan zemin numuneleri ile kıyaslandığında aşağıdaki sonuçların elde edildiği görülmektedir.

1-İncelenen 4 farklı sınıflama yöntemi için zemin sınıfları arasında farklılıklar bulunmaktadır.

2-CPT temelli zemin sınıflamalarında kum ve kil ayırımlarının çoğu kez yapılabildiği ancak iri tane içerisine ince tanenin girmesi durumunda zemin sınıflarında yine farklılıklar bulunmaktadır.

3-Bu çalışma kapsamında incelenen 25 farklı seviyeye ait örnekler için elde edilmiş CPT bazlı sınıflamalardan Robertson vd. [3] yöntemi 16 örnekleme ile en doğru tanımlama yöntemi olarak görülmüştür.

Tablo 2. CPT bazlı zemin sınıflamaları ile elde edilen zemin gruplarının laboratuvar deneyleri ile bulunan USCS zemin sınıfları ile birlikte tanımlanmaları. (Gri zonlu yazılar bir birleriyle uyumlu tanımlamaları gösterir)

Örnek No	USCS Sınıfı	Douglas ve Olsen [2]	Robertson vd. [3]	Eslami ve Fellenius [4]	Robertson ve Campanella [16]
1	SM	SM/ SP	SM	SM / ML	SM/SC/SW/SP
2	SM	SM/ SP	SM	SM / ML	SM/SC/SW/SP
3	CL	SM/ SP	CL	ML / MH	CL/CH
4	CL	SM/ SP/ ML	ML	CL	ML
5	SM	SM/ SP	SW / SP	SM	SM/SC/SW/SP
6	SM	CL / CH	CL / CH	ML / MH	ML/CL
7	ML	SM/ SP	SM / ML	SM / ML	SM
8	SC	SM/ SP	SC	CL-ML	ML
9	CL	CL / CH	CL / CH	ML / MH	CL/CH
10	CL	SM/ SP	SW / SP	SM / SC	SM/SC/SW/SP
11	SM	SM/ SP	SW / SP	SM / SC	SM/SC/SW/SP
12	ML	SM/ SP	SM-SC / ML	SM / ML	SM
13	ML	SM/ SP/ ML	ML	SM / ML	ML
14	SC	CL / CH	CL / CH	CL / CH	ML/CL
15	SM	CL / CH	CL / CH	CL / CH	CL/CH
16	SM	SM/ SP/ ML	SM / ML	SM / ML	ML
17	CL-ML	SM/ SP/ ML	CL-ML	CL-ML	ML
18	SC	CL / CH	CL / CH	ML / MH	CL/CH
19	CL	CL / CH	CL / CH	ML / MH	CL/CH
20	SC	CL / CH	CL / CH	ML / MH	CL/CH
21	CL	SM/ SP/ ML	CL-ML	SM / ML	ML
22	SM-SC	SM/ SP	SM-SC / ML	SM / ML	SM
23	SC	SM/ SP	SW / SP	SM / SC	SM/SC/SW/SP
24	SM	SM/ SP	SW / SP	SM / SC	SM/SC/SW/SP
25	SM	CL / CH	SW / SP	CL-ML	CL/CH
Uygun Sınıf		9	16	12	10
% Uyum		36	64	48	40

4-Literatürde bilinen yöntemlerden biri olan Douglas ve Olsen [2] sınıflamasının büyük oranda iri - ince tane ayırımında hatalı sonuçlar verebildiği tespit edilmiştir.

5-İncelenen sınıflandırmalar bir arada değerlendirildiğinde aralarında büyük farklılıkların bulunduğu dikkati çekmektedir.

6-CPT bazlı sınıflamaların bütünü iri taneli zeminler için derecelenme ve ince taneli zeminler için kıvam durumu yorumlayamamaktadırlar. Özellikle sıvılaştırma analizleri için değerlendirilmesi önemli bir parametre olan iyi veya kötü derecelenme durumu sınıflama sistemleri tarafından tanımlanamamaktadır.

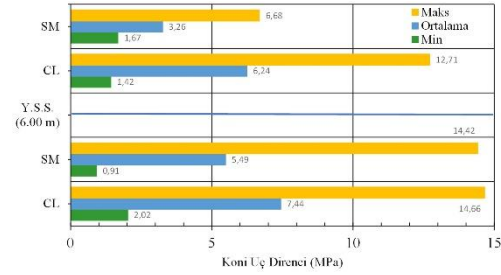
7-İnceleme yapılan saha içerisinde CL-ML çift grup sembolü ile tanımlanan lokasyon için doğru zemin sınıfları Robertson vd. [3] ile Eslami ve Fellenius [4] tarafından verilmiştir. Bununla birlikte özellikle Robertson vd. [3] sınıflamasının ince taneli zeminlerin (kil ve silt) genel tanımlaması için büyük ölçüde doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

5. Yeraltı Suyunun CPT Verileri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

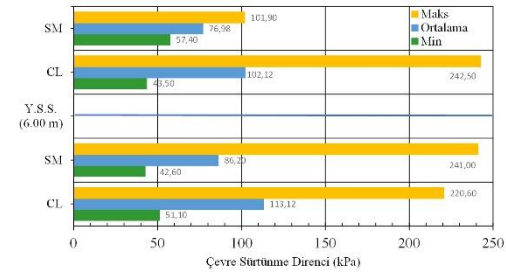
İnceleme alanı içerisinde yeraltı suyu 5.80 ile 6.60 m seviyeleri arasında değişmektedir. Ortalama yeraltı suyu derinliği 6.00 m olarak belirlenmiştir. Bu bölümde yeraltı su seviyesinin CPT uç direnci ve çevre sürtünmesi değerleri üzerindeki etkileri ele alınmış ancak bu etkilerin zemin sınıflama çalışmalarındaki etkilerinin ortaya konulması bu çalışmaya konu edilmemiştir. Bununla birlikte elde edilmiş sonuçlar ortalama değerleri ifade edecek şekilde değerlendirildiğinde, SM grubu zeminlerde yeraltı suyu seviyesi altında uç direnci değerlerinin yaklaşık % 45 oranında düştüğü, CL türü zeminlerde ise yeraltı su seviyesi altında koni uç direnci ortalama değerlerinde yaklaşık % 42'lik bir artış meydana geldiği görülmektedir (Şekil 9).

Aynı zemin grupları için yeraltı suyu konumuna göre çevre sürtünme direnci değerleri de incelenmiştir. SM grubu zeminler için çevre sürtünme direnci ortalama değeri yeraltı su seviyesi altında yaklaşık % 25 azalmıştır. CL grubu zeminler için bu ilişki sorgulandığında sürtünme direnci ortalama değerinin yeraltı su seviyesi altında yaklaşık % 17 oranında arttığı görülmüştür (Şekil 10).

Elde edilen bu değerler, CPT verilerine dayalı zemin sınıflandırma çalışmalarında ortamda yeraltı suyunun olması veya olmaması koşullarının etkili olacağını da açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, CPT verilerinin yeraltı suyu açısından da değerlendirilebilecek şekilde yorumlanmasını gerektirmektedir.



Şekil 9. Zemin türlerine bağlı olarak koni uç direnci değerlerinin yeraltı suyu konumuna göre değişimleri



Şekil 10. Zemin türlerine bağlı olarak çevre sürtünme direnci değerlerinin yeraltı suyu konumuna göre değişimleri

6. Sonuçlar

CPT deney ekipmanını üreten Hollanda kökenli firmalar (Geomil, Gouda, Sds, APVandenberg vb.) deney verilerinden zemin sınıfını belirlemede yazılımları içerisinde Robertson [11] tarafından önerilmiş sınıflama abağını kullanmaktadırlar. Bu sınıflandırma için hem koni uç direncinin ve hem de sürtünme oranı değerlerinin efektif jeolojik gerilmeye göre normalize edilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla zemin parametrelerinin deneysel olarak belirlenmeden yaklaşık sayısal değerler alınması zaten hassas ve karmaşık olan sınıflama sistemlerinin belirli ölçülerde başarısız olmasına neden olabilmektedir.

Literatürde var olan ve bu çalışmada bile ancak kısıtlı sayıda incelenmesi mümkün olan

çalışmaların çokluğu aslında CPT verilerine dayalı zemin sınıflama konusunun karmaşıklığının bir ifadesi olarak değerlendirilebilir. Ortaya konulan sınıflama sistemlerinin çok olmasına karşın her birinin diğerleri ile örtüşmeyecek şekilde farklılıklar sunması da doğrudan test ve analiz yöntemlerinin önemini ortaya koymaktadır. Bu durumun bir yansıması olarak, doğrudan ve sadece CPT verileri ile yapılacak zemin sınıflama çalışmalarının örtüşme oranlarının düşük olmasına neden olabilecektir. Bu yüzden zemin sınıflaması ve ayrıca bütün mekanik test verilerinin doğrudan ve yerinde yapılacak örneklemelerle elde edilmesi önemli bir tercih olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 8 ayrı CPT temelli zemin sınıflama sistemi incelenmiş ve bunlardan 4 tanesi üzerinde uygulamaya dönük bir araştırma gerçekleştirilmiştir. 25 deney verisi üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları CPT verileri ile sağlanan zemin sınıfları ile denestirilmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarının uyumluluklarının artırılması amacıyla çalışmada 2 ayrı laboratuvar (Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı ve SF Zemin ve Yapı Laboratuvarı) deney imkanlarından faydalanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında incelenen 25 farklı seviyeye ait örnekler için elde edilmiş CPT bazlı sınıflamalardan Robertson vd. [3] yöntemi 16 örnekleme (%64) ile en başarılı tanımlama yöntemi olarak değerlendirilmiştir. Sınıflama yöntemlerinden biri diğeri olan Douglas ve Olsen [2] sınıflamasının büyük oranda iri - ince tane ayırımında hatalı sonuçlar verebildiği tespit edilmiştir.

CPT bazlı sınıflamaların bütünü iri taneli zeminler için derecelenme ve ince taneli zeminler için kıvam durumunu yorumlayamamaktadırlar. Özellikle sınıflama analizleri için değerlendirilmesi önemli bir parametre olan iyi veya kötü derecelenme durumu sınıflama sistemleri tarafından tanımlanamamaktadır.

İnceleme yapılan saha içerisinde CL-ML çift grup sembolü ile tanımlanan lokasyon için başarılı zemin sınıfı tahminleri Robertson vd. [3] ile Eslami ve Fellenius [4] tarafından önerilen sınıflamalardan alınabilmektedir. Bununla birlikte özellikle Robertson vd. [3] sınıflamasının ince taneli zeminlerin (kil ve silt) genel tanımlaması

için önemli ölçüde gerçekçi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

İnceleme alanında yeraltı suyu seviyesi yaklaşık 6.0 m derinlikte yer almaktadır. SM grubu zeminlerde yeraltı suyu seviyesi altında uç direnci değerlerinin yaklaşık % 45 oranında düştüğü görülmektedir. CL türü zeminlerde ise yeraltı su seviyesi altında koni uç direnci ortalama değerlerinde yaklaşık % 42'lik bir artış meydana gelmektedir. Benzer durum sürtünme direnci değerleri için incelendiğinde SM grubu zeminler için çevre sürtünme direnci ortalama değeri yeraltı su seviyesi altında yaklaşık % 25 azalmıştır. CL grubu zeminler için bu ilişki sorgulandığında sürtünme direnci ortalama değerinin yeraltı su seviyesi altında yaklaşık % 17 oranında arttığı görülmüştür. Bu durum, CPT'ye dayalı zemin sınıflama çalışmalarında yeraltı suyu etkisinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla, deney ekipmanlarının boşluk suyu basıncı değerlerini de ölçecek şekilde teçhiz edilmiş olmasına önem verilmelidir.

Bütün diğeri arazi deneylerinde olduğu gibi CPT verileri ile mühendislikte kullanılan ve belirlenmesi amaçlanan her parametrenin tahmin edilebilmesi mümkün değildir. Daha gerçekçi değerlendirmeler için mümkün olması halinde doğrudan örneklemelerin yapılabildiği çalışma yöntemleriyle elde edilen verilerin belirli ölçüde de olsa karşılaştırmalarının dikkate alınmasında yarar vardır.

7. Teşekkür

Bu çalışma, bir enerji üretim tesisi sanayi yapısı temel araştırmaları kapsamında yapılan arazi inceleme ve deneyleri ile gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında desteklerini esirgemeyen ve verilerin temininde yardımcı olan "Geo Sound Mühendislik" firması yetkilisi Jeoloji Mühendisi Sn. Didem ÇOBANOĞLU'na teşekkürü bir borç biliriz. Araziden elde edilen numunelerin sınıflandırma deneylerinin yapımında Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı ve SF Zemin ve Yapı Laboratuvarından faydalanılmıştır. Çalışmalarındaki titizliklerinden dolayı her iki laboratuvar yetkililerine de ayrıca teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Schmertmann, J.H. 1978. Guidelines for cone test, performance, and design, Federal Highway

- Administration, Report FHWA-TS-78209, Washington, 145.
- [2] Douglas, B.J., Olsen, R.S. 1981. Soil classification using electric cone penetrometer, American Society of Civil Engineers, ASCE, Proceedings of Conference on Cone Penetration Testing and Experience, (209-227). St. Louis, October 26 - 30.
- [3] Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., Grieg, J. 1986. Use of piezometer cone data, Proceedings of American Society of Civil Engineers, ASCE, In-Situ 86 Specialty Conference, (1263-1280). Edited by S. Clemence, Blacksburg, June 23 - 25, Geotechnical Special Publication GSP No. 6.
- [4] Eslami, A., Fellenius, B.H. 1997. Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories, Canadian Geotechnical Journal, 34(6), 880-898.
- [5] Begemann, H.K.S. 1965. The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile, Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ICSMFE, 2, (17 - 20). Montreal, September 8 - 15.
- [6] Sanglerat, G., Nhim, T.V., Sejourne, M., Andina, R. 1974. Direct soil classification by static penetrometer with special friction sleeve, Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1, 2.2, (337-344). June 5 - 7, Stockholm.
- [7] Searle, I.W. 1979. The interpretation of Begemann friction jacket cone results to give soil types and design parameters, Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ECSMFE, (2265-270). Brighton.
- [8] Vos, J.D. 1982. The practical use of CPT in soil profiling, Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-2, 2, (933-939). Amsterdam, May 24-27.
- [9] Jones, G.A., Rust, E. 1982. Piezometer penetration testing, CUPT, Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-2, 2, (607-614). Amsterdam, May 24 - 27.
- [10] Senneset, K., Sandven, R., Janbu, N. 1989. Evaluation of soil parameters from piezocone test, In-situ Testing of Soil Properties for Transportation, Transportation Research Record, No. 1235, Washington, D. C., 24-37.
- [11] Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test, Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158.
- [12] Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic & Professional, 312.
- [13] Eslami, A., Fellenius, B.H. 2004. CPT And CPTU Data For Soil Profile Interpretation: Review of Methods and A Proposed New Approach, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Vol. 28, No. B1, 69 - 86.
- [14] Baziar, M.H., Ashari, M.E., Zadeh, S. 2004. Comparison of Soil Classification Methods Using CPT Results, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Paper No 3.06, pp. 1- 4, April 13-17, NewYork.
- [15] Marr, L.S. 1981. Offshore applications of the cone penetrometer. Cone penetration testing and experience, St. Louis, MO, Proceedings, 456-476.
- [16] Robertson, P.K., Campanella, R.G. 1983. Interpretation of cone penetrometer tests, Part I sand. Canadian Geotechnical Journal, 20(4), 718-733.