

CPT VE SDMT SONUÇLARI İLE ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SOIL PARAMETERS WITH CPT AND SDMT RESULTS

Zeynep ÇEKİNMEZ BAYRAM¹, İlbüke YALÇINKAYA², Buse KILIÇ³

ÖZET

Konik penetrasyon (CPT) ve sismik dilatometre deneyindeki (SDMT) eş zamanlı/sürekli ölçüm sayesinde zemin profili ve mekanik parametreleri gerçeğe en yakın şekilde elde edilebilir. Özellikle metro projeleri kapsamında yapılacak olan derin kazılarda drenajsız kayma dayanımı (c_u) ve deformasyon modüllerinin en doğru şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Nümerik analizlerde zemin tabakalanmasının ve davranışının doğru bir şekilde tanımlanması için zeminlerin ayrıntılı bir şekilde karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. Konvansiyonel yöntemler olan laboratuvar ve Standart Penetrasyon Deneyini (SPT), CPT ve SDMT sonuçları ile bir arada değerlendirilerek bir zemin karakterizasyonu yapılması en doğru sonuçları elde etmeyi sağlamaktadır. Bu çalışmada bir metro projesindeki bir istasyonda yapılan 8 sondaj, 2 SDMT ve 2 CPT sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir ve buna uygun zemin profili ve parametreleri oluşturulmuştur. İlgili zeminlerdeki en belirleyici parametreler olan drenajsız kayma dayanımı ve deformasyon modülü; SPT'den elde edilen ampirik formüllerle, diğer arazi ve laboratuvarında farklı gerilme seviyelerinde yapılan ölçümlerin istatistiksel bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, kohezyonlu birimlerdeki drenajsız kayma dayanımı ve deformasyon modülünde CPT ve SDMT verilerinin birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Kohezyonsuz birimlerden elde edilen sonuçlara göre ise SPT, CPT ve SDMT korelasyonları bir arada değerlendirildiğinde deformasyon modülü değerleri genel anlamda birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Konik Penetrasyon Deneyi (CPT), Sismik Dilatometre Deneyi (SDMT), Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zemin parametreleri.

ABSTRACT

Soil profile and mechanical parameters can be obtained as close to reality as possible due to simultaneous/continuous measurement in cone penetration (CPT) and seismic dilatometer test (SDMT). It is very important to determine the undrained shear strength

¹ Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje, zcekinmez@yukseproje.com.tr

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje, iuslu@yukseproje.com.tr (Sorumlu yazar)

³ İnşaat Mühendisi, Yüksel Proje, bkilic@yukseproje.com.tr



(c_u) and deformation modules most accurately, especially in deep excavations within the scope of metro projects. In order to define soil idealization and behavior in numerical analyses accurately, detailed characterization of soils is required. Performing a soil characterization by evaluating the laboratory and Standard Penetration Test (SPT), which are conventional methods, together with the CPT and SDMT results, provides the most accurate results. In this study, the results of 8 boreholes, 2 SDMT and 2 CPT conducted at a station in a metro project were examined separately. the appropriate soil profile and parameters were determined. Undrained shear strength and deformation modulus, which are the most decisive parameters in the relevant soils. It was determined as a result of statistical evaluation of measurements made at different stress levels and laboratories with empirical formulas obtained from SPT. As a result of the study, it was observed that CPT and SDMT data were compatible with each other in undrained shear strength and deformation modulus in cohesive units. According to the results obtained from cohesionless units, when SPT, CPT and SDMT correlations are evaluated together, deformation modulus values generally give similar results.

Keywords: Cone Penetration Test (CPT), Seismic Dilatometer Test (SDMT), Standard Penetration Test (SPT), soil parameters.

1. GİRİŞ

Zemin tabakalarının mukavemet özellikleri laboratuvar ve arazide yapılan deneylerle belirlenmektedir. Günümüzde en sık kullanılan deney yöntemi standart penetrasyon deneyi (SPT)'dir. Ancak zemin özelliklerini ve profili daha detaylı belirlemek amacıyla konik penetrasyon (CPT) ve sismik dilatometre (DMT) deneyi de yapılabilir. Bu yöntemler, arazi incelemelerinde zeminlerin mukavemet özelliklerini yerinde belirleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Zemin profilinde yer alan birimlerin mekanik özelliklerinin laboratuvar ve yerinde deneyler ile belirlenmesi hem profilin hem de zemin özelliklerinin en doğru şekilde hesaplanması için oldukça önemlidir. Laboratuvar deneyleriyle, yerinde deneylerin bir arada değerlendirilmesi özellikle karmaşık ve uzun profillerde en gerçekçi sonucu elde etmeyi sağlamaktadır. Yerinde deneylerde direk ölçüm yapılabilmesi sebebiyle elde edilen veriler ile zemin tanımlamasının daha doğru yapıldığı bilinmektedir. Özellikle metro projelerinde istasyon bölgesindeki zemin profilinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Kil-kum geçişlerinin tayini için sürekli ölçüm sağlayan CPT'den yararlanılmaktadır. Ayrıca, yapılacak olan derin kazılarda soket bölgesinde kalan zeminlerin drenajsız kayma dayanımının (c_u) ve kazı yapılacak bölgedeki zeminlerin deformasyon modüllerinin doğru bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Laboratuvar ve arazi deney sonuçlarının istatistiki değerlendirilmesi bu parametrelerinin gerçeğe en yakın şekilde belirlenmesine imkan sağlamaktadır.

Bu bildiride, metro projesindeki bir istasyonda yapılan 8 sondaj, 2 SDMT ve 2 CPT ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve zemin profili oluşturulup, parametreleri belirlenmiştir. İlgili zemin parametreleri; geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan SPT, CPT, SDMT ve laboratuvar deneylerinden yararlanılarak belirlenmiştir.



2. SAHA VE LABORATUVAR DENEYLERİ

Derin kazı tabanının ve soketlerin hangi birimde kaldığını doğru analiz edebilmek yapılacak bütün hesapları etkilemektedir. Bununla birlikte metro projelerinde tünellerin açıldığı seviyelerin tayini tünel üzerinde oluşan tesirleri ve yüzey deformasyonlarını etkilemektedir. Bu sebeple, çalışma çerçevesinde elde edilen veriler kapsamlı bir zemin araştırmasına dayanmaktadır. Bu kapsamda metro projesi kapsamında yapılan SPT, CPT, SDMT gibi arazi deneyleriyle laboratuvar deneyleri bir arada incelenmiştir.

2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Metro projesindeki arazi uygulamaları kapsamında çeşitli derinliklerde açılmış sondaj kuyularında standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılmıştır. SPT sonuçlarına %60 enerji verimliliği düzeltilmesi uygulanmıştır. SPT deneyinden alınan numunelerde mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla bazı laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bunlar, direkt kesme ve konsolidasyon deneyidir. Direkt kesme deneyi konsolidasyonlu-drenajlı numuneler üzerinde yapılmıştır. Konsolidasyon deneyinden ise odometre modülü olan M değeri elde edilmektedir.

2.2. Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)

Metro projelerinde özellikle kil-kum geçişli zemin profillerinde hem düşeyde hem de yatayda değişkenlik gösteren zemin profilinin detaylı ve doğru şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. CPT deneyinde sürekli veri elde edilebildiği için ince tabakalar ve bantlar tespit edilebilmektedir.

2.3. Sismik Dilatometre Deneyi (SDMT)

CPT ile benzer şekilde iki farklı lokasyonda SDMT yapılarak modül değerleri doğrudan elde edilmiştir. Bunlar deformasyon modülü, E ve odometrik modül, M değerleriyle ilişkilidir.

3. KORELASYONLAR

SPT, CPT ve SDMT deneylerinden elde edilen sonuçlardan zeminin mekanik özelliklerini ve parametrelerini belirlenmesi amacıyla birçok korelasyon önerilmektedir. Korelasyonlar arasından seçim yaparken en yaygın olarak kullanılanlar ve birbiriyle uyum sağlayanlar değerlendirilmiştir. Spesifik bir parametreyi belirlemek için birden çok korelasyonun kullanılmasındaki amaç en doğru nihai parametre seçimini yapmaktır (Erol & Çekinmez, 2016). Aşağıda kohezyonlu zeminler için seçilen korelasyonlar bulunmaktadır. Tablo 1’de ise drenajsız kayma dayanımı seçimine yönelik kullanılan korelasyonlar sunulmuştur.

Tablo 1. Kohezyonlu zeminler- c_u korelasyonları

	SPT	CPT	SDMT
Korelasyonlar	$c_u = f_1 N_{60}$	$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k^*}$	$c_u = 0,22(0,5K_D)^{1,25} \sigma'_{v0}$
Referanslar	Stroud, 1974	*Fugro, 2004	Marchetti, 1980



Tablo 2’de deformasyon modülü seçimine yönelik kullanılan korelasyonlar sunulmuştur.

Tablo 2 Kohezyonlu zeminler – Deformasyon modül korelasyonları

	SPT	CPT	SDMT
Korelasyonlar	$(E_u)_{25}^*, (E_u)_{50}^{**}, E_{50}^{***}$	$M^{****} = \alpha_M (q_t - \sigma_{v0})$	$M = \frac{1}{m_v} = R_M E_D$
Referanslar	Duncan & Buchignani, 1976 Robertson & Campanella, 1983 Poulos & Small, 2000	Robertson, 2009	Marchetti, 1980

*Drenajsız deformasyon modülünün PI ve OCR ile değişimini gösteren grafik kullanılmıştır (Duncan & Buchignani, 1976).

** $(E)_{25} - q_c$ ve $(E)_{50} - q_c$ ilişkisini gösteren grafik kullanılmıştır (Robertson & Campanella, 1983).

*** Değişik zemin türlerine için önerilen β' (burada siltli kil için 0.7 olarak alınmıştır) faktörüne göre $E' = \beta' E_u$ formülünden hesaplanmıştır.

**** Zemin davranış modeli indisi (I_M) değerine bağlı olarak α_M değeri değişmektedir.

Aşağıda kohezyonsuz zeminler için seçilen korelasyonlar bulunmaktadır. Tablo 3’te deformasyon modülü (E_s) seçimine yönelik kullanılan korelasyonlar sunulmuştur. Gerilme seviyelerine bağlı olarak birden fazla korelasyon değerlendirilmiştir. $E_{50} - E_{25}$ dönüşümleri yapılarak aynı gerilme seviyelerindeki sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 3. Kohezyonsuz zeminler – E_s korelasyonları

	SPT	CPT	SDMT
Korelasyonlar	$E_s = 1100 N_{60}$ $E_s = 1000 N_{60}$	$M = 1,7 (q_c + 1,6)$ $E_{50} - q_c$ ilişkisi*	$E_{25} = E_D$ $E_{25} = 1,5 E_{50}$
Referanslar	Stroud, 1988 Kulhawy & Mayne, 1990	Webb, 1982 Roberts & Campanella, 1983	Campanella, 1985 Roberts & Campanella, 1983

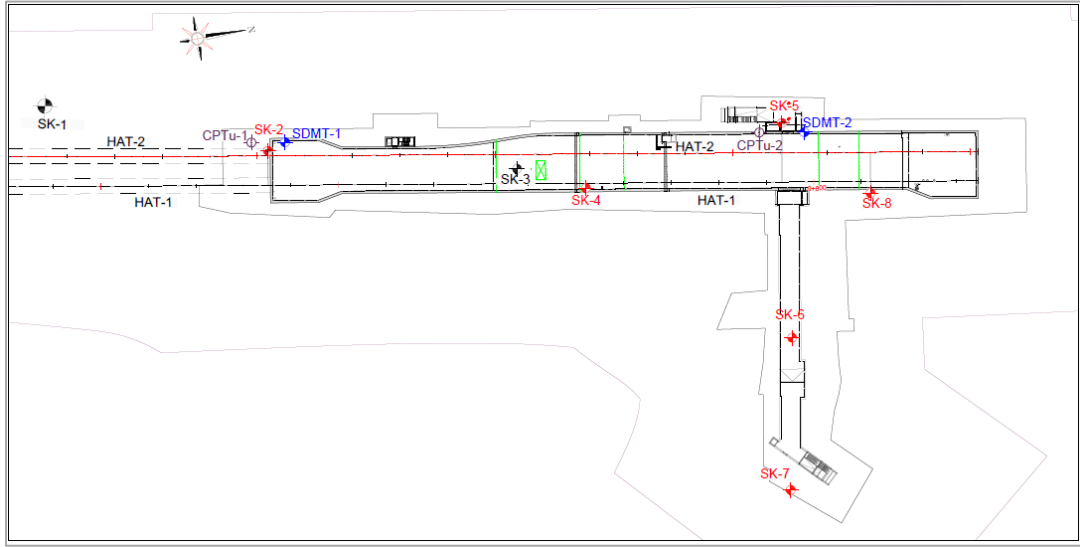
*Gerilme seviyelerine göre $E_{50} - q_c$ arasındaki ilişkiyi gösteren grafik kullanılmıştır.

Metro projesi kapsamında parametreler belirlenirken, elde edilen deney sonuçlarının kendi özelinde karakteristik ortalaması alınmıştır. Örneğin bir kil katmanına ait $SPT_{N,60}$ verilerinin karakteristik ortalaması ampirik formüllerde kullanılmıştır. Aynı şekilde CPT sonuçlarından bir kil katmanı sınıflaması yapılırken yine karakteristik ortalama kullanılmıştır. Ancak, nihai parametre seçimi yapılırken SPT, CPT, SDMT korelasyonlarından elde edilen sonuçların ve laboratuvar deney sonuçlarının direkt ortalamaları alınmıştır. Bu sebeple çalışma kapsamlı bir istatistiki değerlendirmeler içermektedir.

4. SAHA KARAKTERİZASYONU

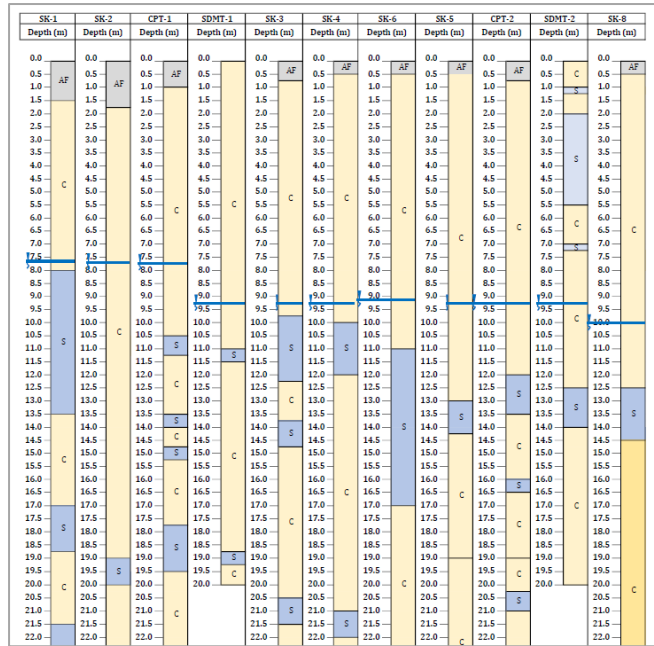
Bildiri kapsamında sunulan istasyon bölgesinde özellikle kil-kum geçişli zemin profili bulunmakta ve hem düşeyde hem de yatayda değişkenlik göstermektedir. Metro projesi olması sebebiyle parametre tayini oldukça önem taşımaktadır. Bu sebeple kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Konvansiyonel deneyler olan SPT ve alınan numunelerdeki laboratuvar deneylerinin zenginleştirilmesi için CPT ve SDMT testleri yapılmıştır. CPT, ince katmanların tayini ve c_u belirlenmesi için kullanılırken; SDMT özellikle c_u belirlenmesi için kullanılmıştır. Şekil 1’de istasyon planı sunulmaktadır. Yapılan deneylerin lokasyonları planda gösterilmiştir.





Şekil 1. İstasyon planı

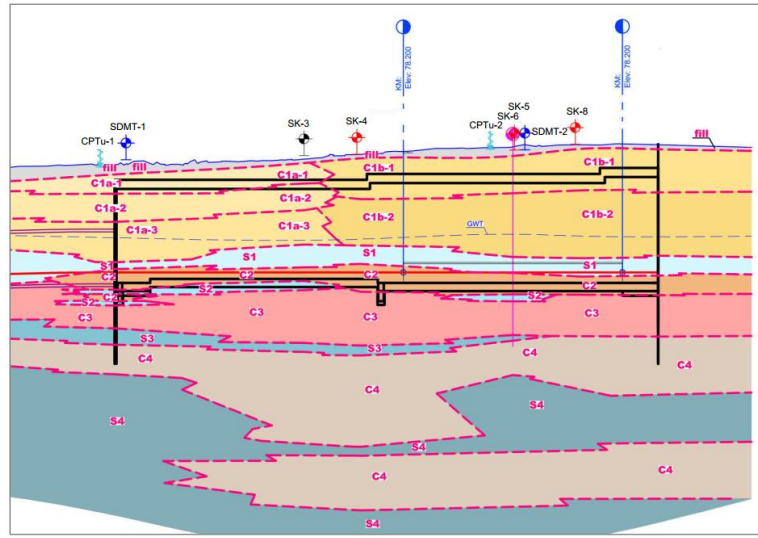
Öncelikle, bütün istasyonlarda yapılan laboratuvar deneyleri, CPT ve SDMT verileri birleştirilerek kutu profiller oluşturulmuştur. Bu aşamada laboratuvar deneylerinden elek analizi ve Atterberg limitleri test sonuçları kullanılmıştır. CPT kapsamında özellikle ince katmanların tayini için zemin davranış tipi sınıflandırma abağı (Roberston vd., 1986) kullanılarak birim ayrımı yapılmıştır. SDMT zemin sınıflandırmasında ise I_D indisi (Marchetti, 1980) kullanılmaktadır. Şekil 2’de gösterildiği gibi saha karakterizasyonu önce kutu profillerin oluşturulmasıyla başlamaktadır. Yapılan her sondaj, CPT ve SDMT için kohezyonlu olan birimler “C”, kohezyonsuz birimler ise “S” olarak adlandırılmıştır. Burada görüldüğü üzere CPT deneylerinden daha detaylı bir profil elde edilmektedir. S ve C ayrımı tamamlandıktan sonra, birimlere derinlikle artan isimlendirme yapılmıştır.



Şekil 2. İstasyon için hazırlanan kutu profiller



Örnek olarak; 0-3 m aralığındaki kohezyonlu birime C1, 3-5 m aralığındaki kohezyonlu birime C2, 5-10 m derinliğindeki kohezyonsuz birime S1 isimlendirmesi yapılmıştır. Birimlerin yanlarındaki a ve b isimlendirmesinin sebebi profilin hem düşeyde hem yatayda değişkenlik gösteriyor olmasıdır. Örneğin Şekil 3'te gösterilen C1a-1 katmanı, C1b-1 katmanından daha zayıf bir kildir; bu kapsamda "a" sınıflaması zayıf killer için, "b" sınıflaması daha katı killer için yapılmıştır. "1,2,3 ve 4" isimlendirmesi ise tamamen derinlikle ilişkilidir. Bütün deney ve testlerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak kutu profiller oluşturulmuş, daha sonra kutu profiller birleştirilerek Şekil 3'te gösterildiği gibi istasyon idealize zemin profilleri elde edilmiştir. Zemin profilleri oluşturulduktan sonra, bahsi geçen her bir katmana özgü parametre çalışması için bütün arazi testleri ve deneylerden elde edilen veriler bir arada değerlendirilmiştir.



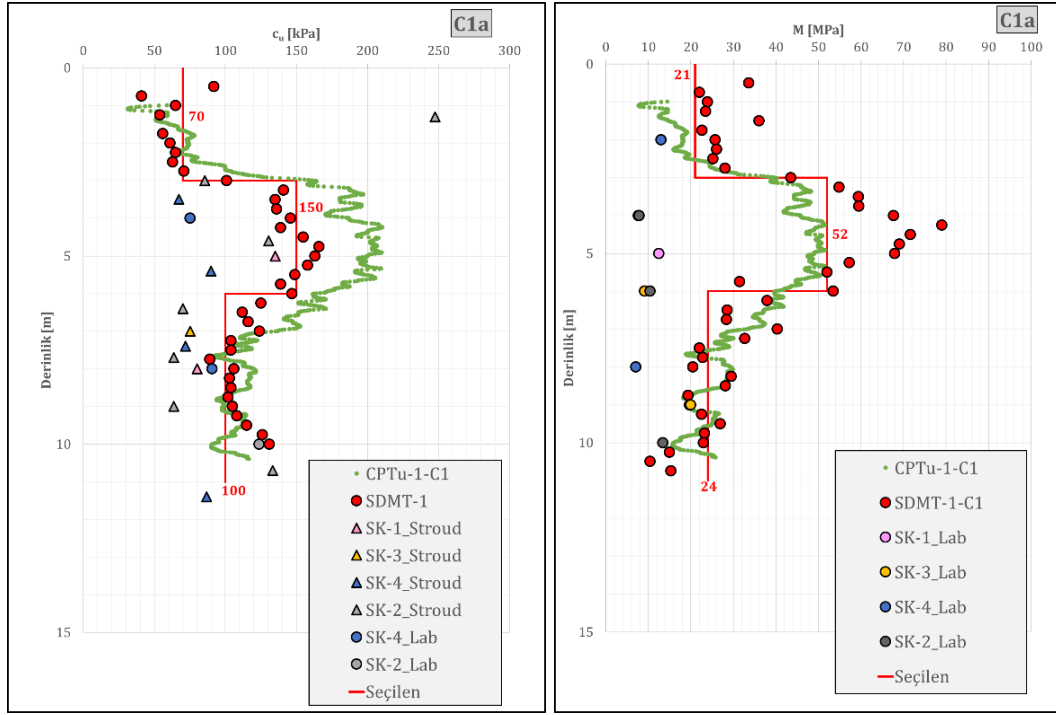
Şekil 3. İstasyon profili

Kohezyonlu zeminlere ait yapılan çalışmaya örnek Şekil 4'te sunulmuştur. Burada drenajsız kayma dayanımı için; CPT, SDMT, SPT ve laboratuvar verileri aynı grafik üzerine yerleştirilmiş ve belirli derinliklerdeki seçilen değerler kırmızı ile gösterilmiştir. Belirlenen değerler bütün arazi ve laboratuvar deneyleri değerlendirilerek belirlenmiştir. 1-3 m aralığında SK-3 sondajında yapılan SPT korelasyonları, CPTu-1 ve SDMT-1 deneylerinden elde edilen veriler birbiriyle uyumlu olduğu için hepsinin ortalaması 70 kPa olarak seçilmiştir, sadece 1. metredeki SK-2 sondajındaki Stroud korelasyonu çok yüksek sonuç verdiği için ortalamaya dahil edilmemiştir. Bunun gibi genel dağılımın dışında kalan veriler varsa elenmiş, seçime katılmamıştır. Örneğin Şekil 4'te 3-6 m için belirlenen 150 kPa drenajsız kayma dayanımı değeri belirlenirken SK-4 sondajında 4. metrede yapılan laboratuvar deney sonucu çok düşük olduğu için elenmiştir. Bununla birlikte SK-2 sondajında Stroud korelasyonundan elde edilen değerlerin karakteristik ortalaması alınmış, genel ortalamayla uyumlu olduğu saptanmıştır. Şekil 4'te görüleceği üzere arazi deneyleri olan SDMT-1 ve CPTu-1'den elde edilen veriler genel anlamda birbirleriyle uyumludur.

Deformasyon modülü tayini yapılırken ise herhangi bir SPT korelasyonu kullanılmamıştır. Şekil 4'te deformasyon modülü belirlenen grafikte 3-6 m için seçilen değer belirlenirken, bu derinliklerde yapılan SDMT-1'den gelen veriler içinden çok yüksek olanlar genel dağılıma



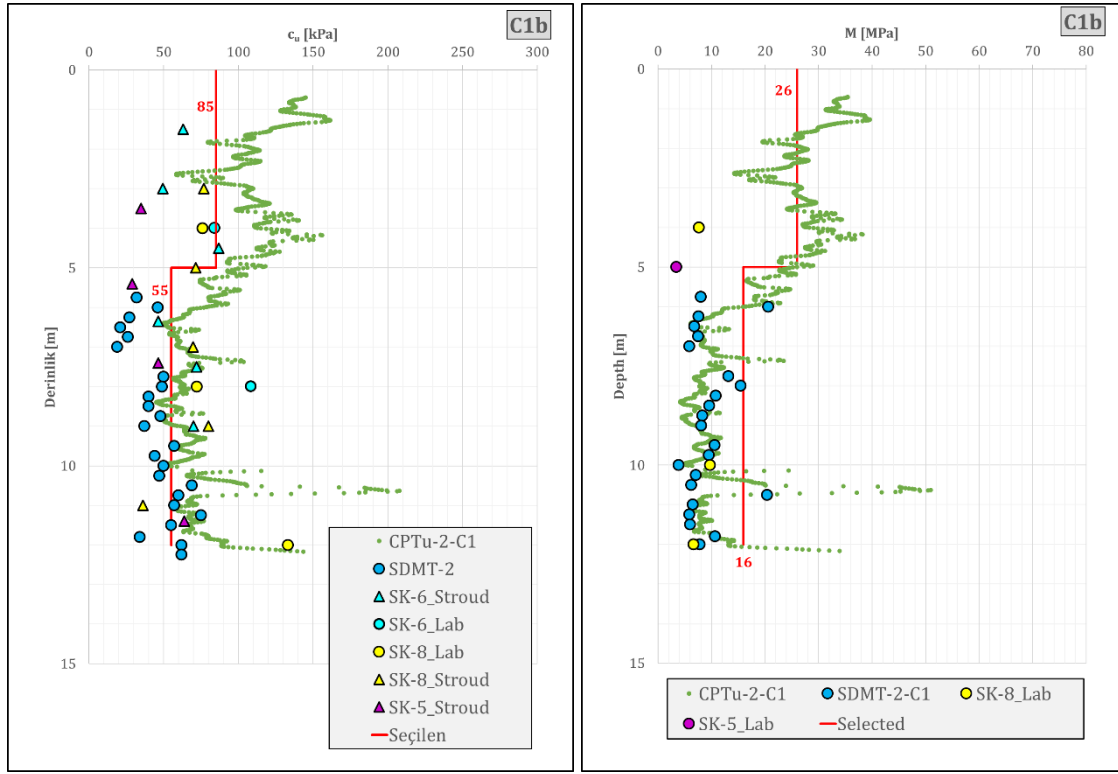
uymadığı için elenmiş, seçime dahil edilmemiştir. Bununla birlikte Şekil 4'te görüldüğü üzere SK-1, SK-2, SK-3, SK-4 sondajlarındaki odometre deneyinden elde edilen veriler çok düşük olduğu için ortalamaya dahil edilmemiştir. Genel anlamda laboratuvar deneylerinde düşük sonuçlar elde edilmesinin sebebi numunelerin deney yapılarına kadar örselenmiş olmasıdır. Ayrıca, Şekil 4'te görüldüğü gibi SDMT-1 ve CPTu-1'den elde edilen veriler genel anlamda birbirleriyle uyumludur.



Şekil 4. C1a kil katmanı için drenajsız kayma dayanımı ve deformasyon modülü seçimi

Şekil 5'te drenajsız kayma dayanımı seçiminin gösterildiği grafikte görüldüğü üzere C1b 0-5 m derinliğinde C1a katmanına göre çok daha sert bir kil bulunmaktadır. Bu durum profilin yatayda da değiştiğini göstermektedir, bu sebeple ayrıntılı saha karakterizasyonu oldukça önem taşımaktadır. 0-5 m derinliğinde CPT-2 daha yüksek sonuçlar verirken, SK-6 ve SK-8 sondajındaki laboratuvar verileri ve Stroud korelasyonları daha düşük sonuçlar vermiştir. Ayrıca SK-5 verilerindeki Stroud korelasyonundan elde edilen değer oldukça düşük olduğu için elenmiş, ortalamaya dahil edilmemiştir. 5-12 m derinliklerinde ise C1a katmanında olduğu gibi CPTu-2 ve SDMT-2 verileri uyumlu çıkmıştır. SK-6 ve SK-8 verilerindeki Stroud korelasyonundan elde edilen veriler genel olarak ortalama ile uyumludur. Şekil 5'te deformasyon modülü seçiminin gösterildiği grafikte görüldüğü üzere, 0-5 m aralığında sadece CPT ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar genel dağılımın altında kaldığı için ortalamaya dahil edilmemiştir. Ayrıca 5-12 m derinliğinde ise yine SDMT-2 ve CPTu-2 sonuçları birbirleriyle uyumludur. Bununla birlikte Şekil 5'te açıkça görüldüğü gibi, aynı derinlikte laboratuvar sonuçları da genel dağılımla oldukça uyumlu olduğu için bütün deneylerden elde edilen sonuçlar ortalama belirlenirken dikkate alınmıştır.





Şekil 5. C1b kil katmanı için drenajsız kayma dayanımı ve deformasyon modülü seçimi

Kohezyonsuz zeminlerde ise Tablo 3'teki SPT, CPT ve SDMT'den elde edilen korelasyonların ortalaması alınarak bir E_s değeri belirlenmiştir. Burada genel olarak bütün korelasyonlar birbirine yakın sonuçlar verdiği için 5 korelasyonun ortalaması alınmıştır, herhangi bir değer genel dağılıma uymadığı için çıkarılmamıştır. Aşağıda S1 katmanı için yapılan hesap örnek olarak gösterilmektedir. Öncelikli olarak SPT, CPT ve SDMT'den elde edilen veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Yapılan deneylerden elde edilen değerler ve aynı deneylerden elde edilen değerlerin ortalaması Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. Kohezyonsuz zeminler – arazi deney sonuçları

Deneyler	Sonuçlar	Ortalama
SPT- N_{60}	22, 18, 33, 32, 13, 28	24
SPT- $(N_1)_{60}$	16, 14, 24, 22, 9, 19	17
CPTu-1- q_c (MPa)	13,5	14,25
CPTu-2- q_c (MPa)	15	
SDMT-1- E_D (MPa)	50	43,75
SDMT-1- E_D (MPa)	37,5	

Tablo 4'ten elde edilen veriler doğrultusunda, Tablo 5'e göre E_{50} deformasyon modülü seçilmiştir. Seçim yapılırken kırmızı ile işaretlenen bütün değerlerin ortalaması alınmıştır. Bir kum katmanı S1 katmanı için nihai E_{50} değeri 25 MPa olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi bütün arazi deneylerinde kullanılan korelasyonlar birbirine yakın sonuçlar vermektedir.



Tablo 5. Kohezyonsuz zeminler – E_s korelasyonları

	SPT	CPT	SDMT
Korelasyonlar	$E_s = 1100N_{60} = 26 \text{ MPa}$	$M = 1.7 (q_c + 1,6) = 27 \text{ MPa}$	$E_{25}=E_D = 43,75 \text{ MPa}$
	$E_s = 1000N_{60} = 24 \text{ MPa}$	$E_{50} - q_c \text{ ilişkisi} \rightarrow E_{50} = 20 \text{ MPa}$	$E_{50} = 29 \text{ MPa}$
Referanslar	Stroud, 1988	Webb, 1982	Roberts & Campanella, 1983
	Kulhawy & Mayne, 1988	Roberts & Campanella, 1983	Campanella, 1985

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yurtdışında bir metro projesindeki istasyonda yapılan 8 sondaj, 2 SDMT ve 2 CPT değerlendirilmiştir ve zemin profili oluşturulmuştur. Profil oluşturulduktan sonra Bölüm 3'te verilen korelasyonlar kullanılarak kohezyonlu ve kohezyonsuz birimlere ait parametreler belirlenmiştir. Genel olarak bütün grafiklerde kohezyonlu zeminler için CPT ve SDMT verilerinin birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte SPT'den elde edilen korelasyonların bazılarında uyumlu sonuçlar bulunurken bazıları ortalama değere uzak kalmaktadır. Laboratuvar verileri de örselenme probleminden kaynaklı bazen genel ortalamaya uzak sonuçlar verse de uyumlu olduğu noktalarda Bölüm 4'teki grafiklerde gösterilmektedir. Parametreler belirlenirken genel dağılıma yakın olan değerlerin ortalaması alınmalı, uzak kalan değerler ise ortalamaya dahil edilmemelidir. Ayrıca, kohezyonsuz zeminler için yapılan çalışmaya göre, bütün arazi deneylerinden elde edilen korelasyon sonuçlarının birbiriyle oldukça yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun gibi kapsamlı ve karmaşık zemin profiline sahip bir projede derin kazı yapılacak alanlardaki parametrelerin tayin edilebilmesi için saha karakterizasyonunun doğru yapılması oldukça önemlidir. Soket boyları, istasyon duvar ve giriş kalınlıkları, tünel tesirlerinin en doğru şekilde hesaplanabilmesi için özellikle deformasyon modülü ve drenajsız kayma dayanımı değerlerinin gerçeğe yakın tayin edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı birden fazla deney sonucunun nasıl birleştirilmesi gerektiği hakkında bir öneri sunmaktır. Bunun gibi karmaşık ve önemli projelerde elde edilen bütün deney sonuçlarının direkt olarak ortalamasını almak zemin parametrelerinin seçiminde yanlış sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. O sebeple, çalışmada olduğu gibi birçok farklı arazi deneyi ile laboratuvar deneyleri istatistiki olarak bir arada değerlendirilmeli, saha karakterizasyonu ve parametre seçimi yapılırken bu değerlendirme sonuçları kullanılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yüksel Proje'nin mevcut yurtdışı metro projelerinden biridir; bahsi geçen verilerin bildiri kapsamında kullanılmasına destek sağladığı için şirketimize teşekkür ediyoruz.



KAYNAKLAR

- Campanella, R. G., Robertson, P. K., Gillespie, D. G. ve Grieg, J. (1985). "Recent Developments in In-Situ Testing of Soils", Proceedings of XI. ICSMFE, S. Francisco, 2: 849 – 854.
- Duncan, J.M. ve Buchignani, A.L. (1977). "An engineering manual for settlement studies" Dept.of Civil Engnr., Univ.of California, Berkley.
- Erol, O., Çekinmez, Z. (2018), "Saha Deneyleri", Yüksel Proje.
- Kulhawy, F. H. ve Mayne, P. W. (1990). "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design", EL-6800 Project 1493-6 Final Report, Electric Power Research Institute (EPRI), New York.
- Marchetti, S. (1980). "In Situ Tests by Flat Dilatometer", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 106(GT3): 299 – 321.
- Poulos, H.G. ve Small, J.C. (2000). "Development of design charts for concrete pavements and industrial ground slabs" Chapter 2, Design Applications of Raft Foundations, Ed. J.A. Hemsley, Thomas Telford, 39-70.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G. ve Wightman, A. (1983). "SPT-CPT Correlations" ASCE J.Geotech.Engnr., 109 (11): 1449-59.
- Robertson, P.K. (2009). "Performance based earthquake design using the CPT" Keynote Lecture, IS-Tokyo.
- Stroud, M. A. (1974) "The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Softrock" Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, 2(2): 367 - 375.
- Stroud M. A. (1988). "The Standart Penetration Test - Its Implication and Interpretation" Penetration Testing in the UK, Thomas Telford, London.
- Webb, D.L., Mival, K.N. ve Allinson, A.J. (1982). "A comparison of the methods of determining settlements in estuarine sands from Dutch cone penetration test" Proc. Of 2nd ESOPT, Amsterdam, 945-50.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
q_c	CPT koni direnci	σ_{v0}	Toplam gerilme cinsinden zemin örtü yükü
σ'_{v0}	Efektif gerilme cinsinden zemin örtü yükü	K_D	Derinlik faktörü
N_k	Koni faktörü	f_1	Sıkışabilir tabaka düzeltme faktörü
N_{60}	%60 enerji oranı yapılmış ve örtü yükü düzeltmesi yapılmamış SPT değeri	$N_{1,60}$	%60 enerji oranı ve örtü yükü düzeltmesi yapılmış SPT değeri
α_M	Menard reolojik faktörü	q_t	Düzeltilmiş toplam uç direnci
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı	R_M	Odometrik deformasyon modülü korelasyon katsayısı
E_D	Dilatometre elastisite modülü	E_s	Deformasyon modülü
E_{25}	%25 nihai gerilme mertebesindeki sekant deformasyon modülü	E_{50}	%50 nihai gerilme mertebesindeki sekant deformasyon modülü

