

ZEMİNİN MEKANİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE ÇEŞİTLİ ARAZİ VE LABORATUVAR DENEYLERİNİN ETKİSİ

THE EFFECT OF VARIOUS IN-SITU AND LABORATORY TESTS ON THE DETERMINATION OF SOIL MECHANICAL PARAMETERS

Sema TETİK¹, Önder AKÇAKAL², Emel HACIALİOĞLU SIKICI³ ve Turan DURGUNOĞLU⁴

ÖZET

Jeoloji/Geoteknik Mühendisliği alanının önemli sorumluluklardan biri, bir proje sahasındaki hakim zemin/kaya koşullarını belirlemek ve bu birimlerin özelliklerini doğru bir şekilde tayin etmektir. Bu süreçte, yetersiz bir zemin etüdü, inşaat maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve kritik yapıların tasarımında (tesisler, fabrikalar, vb.) büyük önem taşıyabilmektedir. Sahayı doğru tespit etmenin ve değerlendirmenin en güvenilir yolu, sahadan toplanan verileri çeşitlendirmektir. Bu durum göz önünde bulundurularak, Türkiye'deki bir enerji santrali projesi için mevcut zemin birimlerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kapsamlı bir zemin etüdü yapılmıştır. Proje alanında veri çeşitliliğini sağlamak için toplam 99 adet sondaj kuyusunda Standart Penetrasyon ve Presiyometre Testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 14 farklı noktada Koni Penetrasyon Testleri yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında sondaj kuyularında karşılaşılan birimlerden zemin numuneleri alınarak çeşitli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Katı-sert kil birimleri için iki önemli mekanik parametre olan drenajsız kayma mukavemeti ve drenajsız deformasyon modülü, literatürde sunulan korelasyonlar ve elde edilen tüm veriler ile değerlendirilmiştir. Her bir kil birimi için, söz konusu mekanik özelliklerin dağılımı hesaplanmış ve sunulmuştur. Sonuç olarak, farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak mekanik parametrelerin doğru bir yaklaşımla belirlenmesi sağlanmıştır. Zeminin özelliklerini tahmin etmek için çeşitli arazi ve laboratuvar test sonuçlarının kullanıldığı bu çalışmada, bu testlerin ve literatürdeki çeşitli korelasyonların kapsamlı bir karşılaştırması sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: saha karakterizasyonu, laboratuvar deneyleri, arazi deneyleri, mekanik parametrelerin tayini.

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş., sema.kurban@zeminas.com.tr

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., onder.akcikal@zetas.com.tr

³ İnşaat Yüksek Mühendisi, Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş., emel.hacialioglu@zeminas.com.tr

⁴ Prof. Dr., durgunoglut@zetas.com.tr

ABSTRACT

One of the important responsibilities within the field of Geological/Geotechnical Engineering is to determine the prevailing soil/rock conditions in a project area and accurately assign the properties of these units. In this process, an insufficient site investigation can have a significant impact on construction costs and can be crucial in critical structures (plants, factories, etc.). The most reliable way to identify and assess the site correctly is to diversify the data gathered from the site. Therefore, a comprehensive site investigation was conducted for an energy power plant project in Turkey to determine the mechanical properties of the existing soil units. To provide variety of data in the project area, Standard Penetration and Pressuremeter Tests were performed at total number of 99 boreholes. Also, Cone Penetration Tests were conducted at 14 different points. Within the scope of this work, various laboratory tests were carried out by taking soil samples from the units encountered in the boreholes. The undrained shear strength and the undrained modulus of deformation, which are two important mechanical parameters for the stiff to hard clay units, were evaluated together with all the data and the correlations presented in the literature. For each clay unit, distribution of each mechanical property has been calculated and presented. As a result, it was ensured to determine the mechanical parameters with an accurate approach by providing a comparison of the results with different methods. Various in-situ and laboratory test results are used to estimate the soil properties in this study where a comprehensive comparison of these tests and various correlations in the literature is provided.

Keywords: *site characterization, laboratory tests, in-situ tests, determination of mechanical parameters.*

1. GİRİŞ

Yapıların tasarım sürecinde başlangıç noktasını jeoloji-geoteknik mühendisliği oluşturmaktadır ve bu sürecin en kritik aşamasını ise sahadaki zemin/kaya birimlerinin tabakalaşmasını, davranışını ve parametrelerini uygun ve doğru bir şekilde belirlemek için kullanılan saha karakterizasyonu temsil etmektedir. Doğru bir karakterizasyon, yeterli sayıda sondaj, uygun yerinde arazi testleri ile jeofizik ölçümler, doğru yeraltı suyu ölçümleri, uygun kalitede ve yeterli sayıda numune alımı ve nitelikli laboratuvar testleri gibi detaylı araştırma ve çalışmalarla gerçekleştirilmektedir.

Elde edilmeye çalışılan bu bilgiler derin zemin tabakalarının incelenmesini gerektirdiğinden diğer disiplinlere göre daha çetrefilli ve zahmetli uygulamalar içerir. Bu nedenle, jeoloji-geoteknik mühendisliği, diğer inşaat mühendisliği uzmanlıklarına göre daha yüksek bir bilinmezlik derecesine sahiptir. Tüm bunlar göz önüne alındığında her projenin farklı açılardan yorumlanması, yeterli ve standartlara uygun gerçekleştirilen arazi testleri ve laboratuvar çalışmaları ile en güvenilir bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir diğer bir ifadeyle uygun bir saha karakterizasyonu şarttır. Elde edilen nitelikli verilerle, zemin/kaya davranışını doğru analiz etmek, riskleri değerlendirmek ve uygun tasarımlar geliştirmek mümkün olmaktadır. Bu süreç, zemin-yapı etkileşimi ile ilgili sorunları tahmin etmek ve bu sorunlarla ilişkili riskleri en aza indirmek için de önemlidir.



Son on yılda, artan enerji talebini karşılamak için Türkiye'de yüksek bütçeli önemli altyapı projeleri, üretim tesisleri ve santraller inşa edilmeye başlanmıştır. Bu projeler insan yaşamı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir, bu nedenle planlama ve tasarım aşamaları çok kritiktir. Zeminin karakteristik özelliklerinin, taşıma kapasitesinin, oturma kriterlerinin, geçirgenlik ve sismik etkiler altındaki davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi geoteknik tasarımın ana adımlarını oluşturmaktadır ancak bu dikkate alınabilen yeterli sayıda veriler ile mümkün olmaktadır. Doğru saha karakterizasyonun sağladığı nitelikli verilerle, yerel zemin/kaya koşullarına uygun yapılar tasarlanarak potansiyel riskler en aza indirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki bir kombine enerji çevrim santrali projesi için tamamlanan saha karakterizasyonu çalışmaları ile çeşitli yerinde arazi testleri ve laboratuvar deneyleri özetlenerek ele alınmıştır. Sonuçlar arasındaki farklar ve zemin parametrelerinin belirlenmesindeki zorluklar tartışılmıştır.

2. MALZEMELER VE METODLAR

2.1. Çalışma Sahası

Çalışma sahası Kırklareli İlinde yer almakta olup çalışma alanı yaklaşık 640.300m²'dir. İnceleme sahası, Power Block, Şalt ve Non-Process isimli üç farklı proje alanından oluşmaktadır.

Sahada gerçekleştirilmiş olan sondaj noktaları aplikasyon çalışmalarına göre Power Block alanında arazi kotları +130.40 m ile +146.40 m arasındadır. Şalt Sahası'nda arazi kotlarının ise +142.60 m ile +147.50 m arasında olduğu görülmektedir. Proje sahasının kuzey bölgesinde inşa edilmesi planlanan Non-Process yapılarına ait sahası ise +128.80 m ile +142.50 m kotları arasında yer almaktadır.

2.2. Saha Araştırmaları

İlgili proje sahasında Zemin araştırma çalışmaları, farklı zamanlarda üç farklı firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Ekim 2010-Kasım 2010 arasında etüd çalışmalarını gerçekleştiren ilk firma, 28 noktada toplam 800.00 m uzunluğunda sondaj kuyusu ve 10 adet araştırma çukuru açmıştır. İkinci firma, Ağustos 2011-Eylül 2011 arasında sahada çalışmış olup 35 noktada toplam 1086.00 m uzunluğunda sondaj delgisi gerçekleştirmiş ve 4 adet araştırma çukuru açmıştır. Son olarak, Aralık 2022-Ocak 2023 arasında Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. firması ise proje sahasında 36 farklı noktada 20.00 m ile 53.00 m arasında değişen toplam 1318.00 m uzunluğunda sondaj kuyusu açmıştır.

Sondaj kuyularında Standart Penetrasyon Testleri gerçekleştirilmiş olup tüm sondaj kuyularında yeraltı suyu ölçümleri alınmış ve karşılaşılan birimlere göre numuneler (örselenmiş-örselenmemiş-karot) alınmıştır. Standart Penetrasyon Testleri (otomatik çekiç kullanılarak) sistematik olarak 1.50 m aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Böylece, proje alanında üç farklı firma tarafından toplam 2114 adet Standart Penetrasyon Testi gerçekleştirilmiştir.



Deformasyon modülünü, E_M (Menard Modülü) ve net limit basıncı P_{LM}^* hesaplamak için, Ağustos 2011-Eylül 2011 arasında 15 sondaj kuyusunda toplam 178 adet Menard Presiyometre Testi yapılmıştır. Ayrıca, Aralık 2022-Ocak 2023 arasında ise Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. tarafından 15 sondaj kuyusunda toplam 172 adet Menard Presiyometre Testi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. tarafından ise proje sahasında 3.00 m ile 26.00 m arasında değişen derinliklerde toplam 14 farklı noktada Koni Penetrasyon Testi (CPTu) tamamlanmıştır.

2.3. Yerel Jeoloji

İnceleme alanında gerçekleştirilen sondajlarda kalınlığı 0.10 m ila 1.30 m arası değişen kalınlıklarda bitkisel toprak ile karşılaşmıştır. Sondajlarda dolgu, artık malzeme, insan yapımı malzeme görülmemiştir. Gerçekleştirilen sondajlarda insan yapımı ya da doğal kaviteye rastlanmamıştır.

Arazide yapılan yüzey jeolojisi ve sondaj çalışmalarına göre sahanın genel olarak çakıl ve silt içerikli kum ve kil birimlerin aralanmasından oluştuğu belirlenmiştir. Sahada genel itibarıyla kumlu kil birimler görülmesine karşın ince ve iri dane oranlarının laboratuvar sonuçlarına göre çoğunlukla birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sondajlar kullanılarak farklı doğrultulardan alınan jeolojik kesitlerde kum seviyelerinin hem mercekler halinde lokal olarak hem de birbirleri ile bağlantılı dikkate alınır bir yayılımı yerleştiği görülmüştür. Ayrıca, gerçekleştirilen sondajların çoğunda değişken kalınlıklarda bitkisel toprak altında karşılaşılan siltli kumlu kil birimler içerisinde farklı derinliklerde, sınırlı kalınlıkta nemli yer yer ıslak, killi kum ve çakıl mercekleri olduğu görülmüştür.

2.4. Geoteknik Parametre Belirlenme Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında, Power Block sahasındaki zemin araştırmaları üzerinde yoğunlaşmıştır. İlgili proje alanı, planlanan yapıların yerleşimleri dikkate alınarak beş farklı zona ayrılmıştır. Her bir zon özelinde idealize zemin profilleri hazırlanmıştır. Power Blok sahasındaki beş farklı zon arasından bu çalışma kapsamında Zon-1 ele alınmıştır. Power Block Sahası'nın platform kotu ise +142.00 m'dir. Bu kotun aynı zamanda proje kotu (± 0.00 kotu) olarak dikkate alınacağı bildirilmiştir. Buna kota göre Zon-1 genel olarak kısmen kazı kısmen dolgu bölgesinde yer almaktadır.

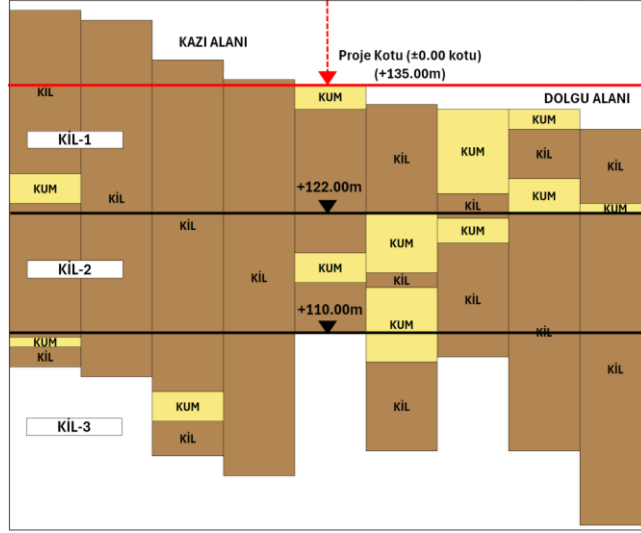
İdealize Zemin Profili

Zon-1'de yer alan tüm kuyularda yaklaşık 50 cm bitkisel topraktan sonra 5.00 m ile 40.00 m arası kalınlıkta kil birim ile karşılaşmıştır. Bu birim genel olarak çok katı-sert kil özelliğindedir. Yapılan irdelemeler sonucu kil birimin keskin çizgilerle ayrılabilir derecede farklı deformasyon davranışları gösterdiği göz önünde bulundurulmuş, +140.00 m ile +122.00 m kotları arasındaki birim Kil-1 birim, +122.00 m ile +110.00 m kotları arasındaki birim Kil-2 birim ve +110.00 m ile +90.00 m kotları arasındaki birim ise Kil-3 birim olarak adlandırılmıştır (Şekil 1).



Bu çalışma kapsamında, söz konusu kil birimlerinin mekanik parametreleri üzerinde durulmuş, drenajsız kayma mukavemeti (s_u) ve drenajsız deformasyon modülü (E_u) değerleri çeşitli arazi testleri ve laboratuvar deney sonuçları ile değerlendirilmiştir.

Kil birimlerinin drenajsız kayma mukavemeti değerini (s_u) belirlemek için literatürde yer alan üç farklı korelasyon dikkate alınmıştır. Ayrıca, zemin incelemeleri sırasında alınan örselenmemiş numuneler üzerinde üç eksenli basınç (konsolidasyonsuz-drenajsız (UU)) deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen deney sonuçları da bu kapsamda değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Zon-1'e ait idealize zemin profili

Lunne ve diğ. tarafından 1997 yılında önerilen formül, yapıların bulunduğu yerde gerçekleştirilen CPTu verilerine dayanarak drenajsız kayma mukavemeti değerini belirlemek için kullanılmış ve hesaplama detayları aşağıda verilmiştir.

$$s_u = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{N_k} \quad (\text{Lunne et al., 1997}) \quad (1)$$

Burada, q_c değeri zeminin koni penetrasyon uç direnci (kN/m^2), σ_{v0} değeri toplam düşey gerilme (kN/m^2) ve N_k değeri ise koni faktörüdür, tipik bir değer olarak $N_k = 17$ alınması önerilmektedir.

İkinci korelasyona göre, Briaud tarafından 1992 yılında önerilen formülü ile sondaj delgisi sırasında gerçekleştirilen presiyometre deneylerinden elde edilen net limit basınç değerleri (P_{LM}^*) kullanılarak drenajsız kesme mukavemeti değerini hesaplanmıştır ve detayları aşağıda verilmiştir.

$$\frac{s_u}{P_a} = 0.21 \left(\frac{P_{LM}^*}{P_a} \right)^{0.75} (\text{Briaud, 1992}) \quad (2)$$

Burada, P_{LM}^* değeri presiyometre net limit basıncı (kN/m^2) ve P_a değeri ise atmosfer basıncıdır (kN/m^2).

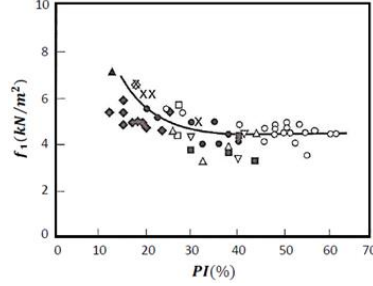
Üçüncü korelasyona göre, drenajsız kesme mukavemeti değeri (s_u), Stroud tarafından 1974



yılında önerilen formül ile kil birimlerinin SPT/ N_{60} değeri dikkate alınarak belirlenmiş olup hesaplama detayları aşağıda verilmiştir.

$$s_u = f_1 \times N_{60} \text{ (Stroud, 1974)} \quad (3)$$

Burada, f_1 değeri zemin plastisite indisine (PI) bağlı katsayıdır ve Şekil 2’de ilgili ilişki gösterilmiştir. N_{60} değeri zeminin SPT direncidir (darbe/30cm). Şekil 2 dikkate alındığında Kil-1 birimin ortalama PI (%) = 19 değeri, Kil-2 ve Kil-3 birimin ortalama PI (%) = 21 değeri için f_1 değeri 5.8 olan olarak alınmıştır.



Şekil 2. SPT/ N_{60} - s_u - PI ilişkisi (Stroud, 1974)

Proje alanında gerçekleştirilmiş farklı arazi testleri ve laboratuvar deneyleri (örselenmemiş numuneler üzerinde üç eksenli basınç deneyleri (UU) dahil) sonucunda elde edilmiş drenajsız kayma mukavemeti değerleri dikkate alındığında, kil birimlerin s_u değerleri sırasıyla Kil-1 için 130 kPa, Kil-2 için 175 kPa ve Kil-3 için 250 kPa olarak alınabilmektedir. Bu birimlerinin tasarım drenajsız kayma mukavemeti parametreleri minimum ve maksimum değer aralıkları ile Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’te özetlenmiştir. Bu değerlerin grafik gösterimleri ise Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Kil-1 biriminin drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	2 kPa	280 kPa	130 kPa
Presiyometre Testi	163 kPa	252 kPa	
SPT Testi	58 kPa	226 kPa	
Laboratuvar Deneyleri	30 kPa	138 kPa	

Tablo 2. Kil-2 biriminin drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	64 kPa	285 kPa	175 kPa
Presiyometre Testi	132 kPa	329 kPa	
SPT Testi	93 kPa	290 kPa	
Laboratuvar Deneyleri	160 kPa	363 kPa	

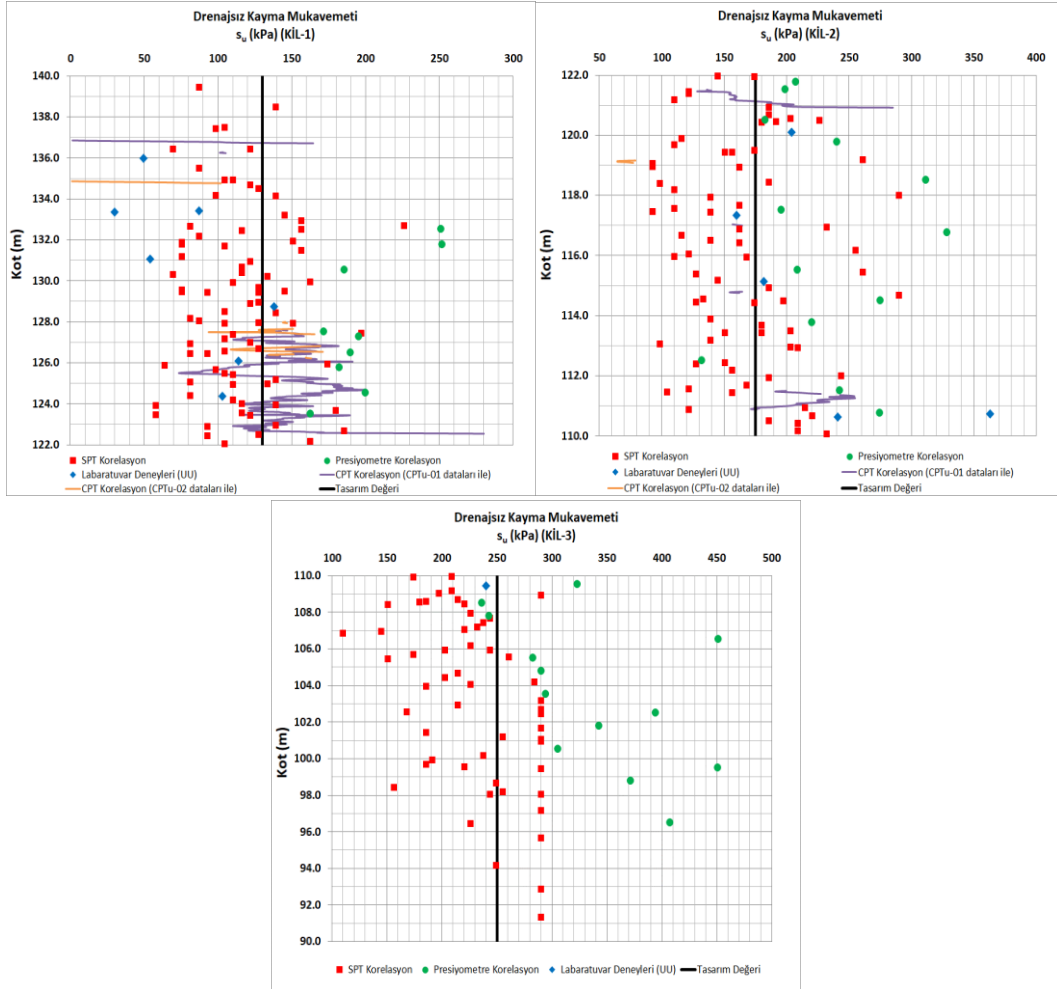
Tablo 2. Kil-3 biriminin drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	-	-	250 kPa
Presiyometre Testi	236 kPa	451 kPa	
SPT Testi	110 kPa	290 kPa	
Laboratuvar Deneyleri	240 kPa	3240 kPa	



Drenajsız kayma mukavemeti parametrelerine ek olarak, kil birimlerinin drenajsız deformasyon modülünü (E_u) belirlemek için aşağıda ifade edilen korelasyonlar dikkate alınmıştır. İlk olarak, Zon-1 içerisinde inşa edilecek yapılar konumunda gerçekleştirilmiş CPTu verileri dikkate alınarak Kulhawy ve Mayne tarafından 1990 yılında önerilen formül kullanılmış ve hesap detayı aşağıda verilmiştir. Eşitlik (1)'de q_t değeri zeminin koni penetrasyon uç direnci (MPa), σ_{v0} değeri toplam düşey gerilme (MPa) ve C_1 değeri ise bir katsayı olup değeri 8.25 olarak alınmaktadır (NCHRP Synthesis 368, 2007).

$$E_u = C_1 \times (q_t - \sigma_{v0}) \quad (\text{Kulhawy ve Mayne, 1990}) \quad (4)$$



Şekil 3. Kil-1, Kil-2 ve Kil-3 birimlerin drenajsız kayma mukavemeti

İkinci korelasyona göre sondaj delgisi sırasında gerçekleştirilen presiyometre deneylerinden elde edilen Menard modülü değerleri dikkate alınarak Amar ve diğ. tarafından 1991 yılında önerilen formül kullanılmış olup detayı aşağıda sunulmuştur.

$$E_u = \frac{E_M}{\alpha_M} \quad (\text{Amar ve diğ., 1991}) \quad (5)$$

Burada, E_M değeri Menard Modülü ve α_M değeri ise Tablo 4'te gösterilen zemin tiplerine göre önerilen Menard faktörüdür.



Üçüncü korelasyona göre, SPT/N değerleri ve kil birimlerinin ortalama plastisite indislerine (PI) dayalı olarak “Industrial Floors and Pavements, Guidelines for Design, Construction and Specification (1999)” isimli kılavuz tarafından önerilen ilişki yardımıyla deformasyon modülü değerleri belirlenmiş ve ilişki detayları ise Tablo 5’te verilmiştir. Bu tabloya göre Kil-1 birimin ortalama PI (%) = 19 değeri, Kil-2 ve Kil-3 birimin ortalama PI (%) = 21 değeri için E_u/N ilişkisi 1.5 olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Kil-3 biriminin drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin aralıkları (Amar ve diğ.,1991)

Zemin	E_M/P^*_{LM}	α_M	Zemin	E_M/P^*_{LM}	α_M
Kil	>16	1.00	Kum	>12	0.50
	9-16	0.67		7-12	0.33
	7-9	0.50		diğer	0.33
Silt	>14	0.67	Kum ve Çakıl	>10	0.33
	8-14	0.50		6-10	0.25
	diğer	0.50		diğer	0.25

Tablo 5. Modül değerleri “Industrial Floors and Pavements, 1999)

E_u/N	Malzeme
3.5	Kumlar, çakıllar ve diğer kohezyonsuz zeminler
2.5	Düşük plastisite indisi (PI<12%)
1.5	Orta plastisite indisi (12% < PI < 22%)
1.0	Yüksek plastisite indisi (22% < PI < 32%)
0.5	Çok yüksek plastisite indisi (PI>32%)

Bu kapsamda, drenajsız deformasyon modülünü (E_u) belirlemek için laboratuvar deney sonuçları (örselenmemiş numuneler üzerinde üç eksenli basınç deneyleri (UU)) da dikkate alınmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen s_u değerleri ve ortalama plastisite indislerine (PI) göre kumlu killer için önerilen $500 \times s_u$ ilişki yardımı ile drenajsız deformasyon modülleri hesaplanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Bazı test sonuçları ile modül eşitlikleri (Bowles, 1997)

Zemin		
Kil ve Silt	PI > 30 yada organik	$E_u = (100-500) s_u$
Silt yada kumlu kil	PI < 30 yada katı	$E_u = (500-1500) s_u$

Proje alanında gerçekleştirilmiş farklı arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen modüller kil birimleri için toplu olarak Şekil 4’te gösterilmiştir. Buna göre; Kil-1 biriminin deformasyon modülü (E_u) değeri 32 MPa, Kil-2 biriminin 38 MPa ve Kil-3 biriminin 60 MPa olarak alınabilmektedir. Bu birimlerinin minimum ve maksimum değer aralıkları ile tasarım modülü parametreleri Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9’da özetlenmiştir.

Tablo 7. Kil-1 biriminin drenajsız deformasyon modülü değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	2 MPa	231 MPa	32 MPa
Presiyometre Testi	23 MPa	46 MPa	
SPT Testi	17 MPa	71 MPa	
Laboratuvar Deneyleri	15 MPa	69 MPa	

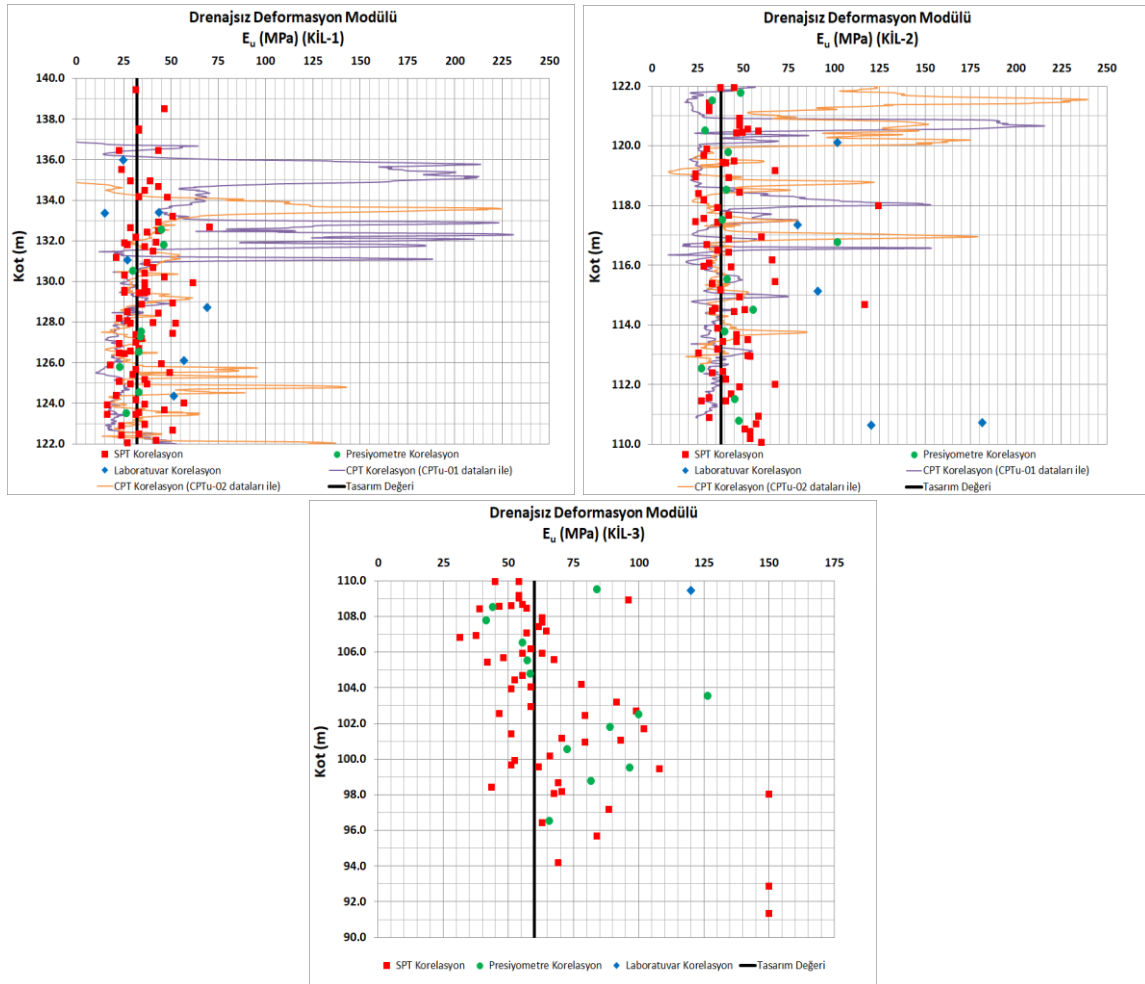


Tablo 8. Kil-2 biriminin drenajsız deformasyon modülü değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	9 MPa	239 MPa	
Presiyometre Testi	27 MPa	102 MPa	
SPT Testi	24 MPa	125 MPa	38 MPa
Laboratuvar Deneyleri	80 MPa	182 MPa	

Tablo 9. Kil-3 biriminin drenajsız deformasyon modülü değerlerinin aralıkları

	Minimum Değer	Maximum Değer	Tasarım Değeri
CPTu Testi	-	-	
Presiyometre Testi	42 MPa	127 MPa	
SPT Testi	32 MPa	150 MPa	60 MPa
Laboratuvar Deneyleri	120 MPa	120 MPa	



Şekil 4. Kil-1, Kil-2 ve Kil-3 birimlerin drenajsız deformasyon modülü

3. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye'de bir enerji çevrim santralının tasarım aşamasından önce proje sahasında karşılaşılan zemin birimlere ait parametreleri en doğru şekilde belirlemek için yapılan çeşitli yerinde arazi testleri ve laboratuvar deneyleri çalışmaları özetlemektedir.



Proje alanında zemin etüd araştırmaları kapsamında toplam 99 adet sondaj kuyusunda 2114 adet Standart Penetrasyon Testi, 350 adet Presiyometre Testi ve 14 farklı noktada Koni Penetrasyon Testleri gerçekleştirilmiştir. Sondaj kuyularında karşılaşılan birimlerden alınan numuneler üzerinde ise laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Power Block Sahası, Zon-1'deki tüm sondajlarda karşılaşılan kil birimler farklı deformasyon davranışları göstererek Kil-1, Kil-2 ve Kil-3 birimler olmak üzere 3 farklı idealize tabakaya ayrılmıştır. Bu kil birimler için en kritik mekanik parametrelerden drenajsız kayma mukavemeti (s_u) ve drenajsız deformasyon modülü (E_u) değerleri üzerinde durulmuş ve bu parametreler belirlenirken sahada tamamlanan çeşitli arazi testleri ve laboratuvar deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

Bölüm 2.4'te açıklandığı üzere arazi testleri ve laboratuvar deney sonuçları ile ilgili korelasyonlar kullanılarak elde edilen tüm geoteknik veriler değerlendirilmek üzere aynı dağılım grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4). Her iki mekanik parametrenin tayini için elde edilen tüm sonuçlar topluca ele alındığında ilgili idealize tabaka içerisinde bazı seviyelerde korelasyonların birbirine yakın değerler gösterdiği belirlenmiştir. Ancak bazı seviyelerde ise bu değerlerde bir sıçrama olduğu ve farklı değer aralıklarına rastlanıldığı gözlenmiştir.

Buna göre, presiyometre testleri ile belirlenen drenajsız kayma mukavemeti (s_u) değerleri diğer testlerden elde edilen sonuçlara göre daha yüksek çıkmaktadır. Bunun nedeni, sıçramanın gözlemlendiği test kotları içinde bulunan ve sonuçları etkileyen kum arabantlarının sondaj loglarından da görüleceği üzere (Şekil 1) mevcut olmasıdır. Benzer durumda, drenajsız deformasyon modülü (E_u) değerleri için CPTu ve bazı presiyometre test verilerinden korelasyonlar yardımı ile hesaplanan değerlerin diğer sonuçlara göre yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise kil birimler ve kum arabantlar içerisinde çakılların bulunması olarak değerlendirilmiştir ve kil birimlerinin tasarım parametreleri, ortalama aralığın dışındaki değerler göz ardı edilerek ortalama dağılıma yakın değerler olarak belirlenmiştir.

Çok sayıda arazi testleri ve laboratuvar verilerinin doğru yaklaşımlar vasıtasıyla temsili değerler üzerinde bir dağılım gösterdiği belirlenmiş ve zeminlerin karakteristik parametrelerin en doğru şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma, doğru bir saha karakterizasyonu için nitelikli arazi testleri ve laboratuvar verisinin çeşitliliğinin önemini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Amar, S., et al. (1991), "The Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design in Europe", ISSMFE European Technical Committee on Pressuremeters, 1-24.
- Baguelin, F., Jézéquel, J. F. and Shields, D. H. (1978), "The Pressuremeter and Foundation Engineering", Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 2, Trans Tech Publications, Aedermannsdorf, Switzerland.
- Bowles, J. E. (1996), "Foundation Analysis and Design", 5th Edition, The McGraw-Hill Companies, Singapore.
- Briaud, J. L. (1992), "The Pressuremeter", A.A. Balkema, Rotterdam.
- Erol, A. O., & Çekinmez, Z. (2014), "Geoteknik Saha Mühendisliğinde Saha Deneyleri", Yüksel Proje Yayınları No:14-01, Ankara.
- "Industrial Floors and Pavements: Guidelines for Design, Construction and Specification (1999)", Cement and Concrete Association of Australia, 2nd Edition, St. Leonards, N.S.W.: The Association.



- Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W. (1990), "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design", EL-6800, Research Project 1493-6, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M. (1997), "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", Blackie Academic & Professional, London.
- Mayne, P. W. (2007), "Cone Penetration Testing; A Synthesis of Highway Practice", National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 368, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Robertson, P. K., and Cabal, K. L. (2015), "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering", 4th Edition, Gregg Drilling & Testing, Signal Hill, California.
- Stroud, M.A. (1974), "The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Soft Rock", Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, Sweden.

