Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

MUKAVEMET PARAMETRELERİNİN DİNAMİK KONİ PENETRASYON TESTİ İLE TAYİNİ: VAKA ÇALIŞMASI

A CASE STUDY ON THE DETERMINATION OF STRENGTH PARAMETERS WITH DYNAMIC CONE PENETRATION TEST

Serkan ÜÇER [1], B. Sadık BAKIR [2]

ÖZET

Geoteknik analiz ve değerlendirmelerin en önemli ve en zor kısımlarından birisi de mukavemet parametrelerinin doğru bir şekilde tayinidir. Bu parametrelerinin tayini için literatürde çeşitli saha ve laboratuvar deneyleri bulunmaktadır. Dinamik koni penetrasyon deneyi (DCP), literatürde dolguların sıkışma kontrolünü tayin etmekte kullanılan bir saha deneyi olarak gösterilmektedir. Deney, prensip olarak 8 kilogramlık bir ağırlığın 57.5 cm yükseklikten serbest düşüşü neticesinde oluşan enerjinin DCP konisini zemine ne kadar penetre ettirdiğinin ölçümüne dayanır. Belirli bir darbe sayısı sonucunda oluşan penetrasyon miktarları belirli zemin sıkılık (ve parametre) değerlerine karşılık gelir. Bu test, geoteknik mühendisliğinde sıkça kullanılan saha deneylerinden birisi olan standart penetrasyon testinin (SPT) manuel olarak yapılan portatif bir versiyonu olarak da düşünülebilir. Hatırlatmak gerekirse SPT deneyinde 63.5 kg ağırlık 76 cm yükseklikten serbest olarak düşürülmektedir. DCP deneyinde kaydedilen darbe sayıları yaklaşık olarak SPT deneyinden elde edilen darbe sayılarının üçte birine karşılık gelmektedir. DCP deneyini sahada gerçekleştirmek hem ekonomik hem de kolaydır. DCP deneyi, sadece dolgu kalitesi kontrolünde kullanılan Utility-DCP deneyi ile karıştırılmamalıdır. Utility-DCP deneyi, DCP deneyinin daha hafif ve basit bir uyarlamasıdır. Bu çalışmada, bir şev stabilite analizinde kullanılan c' ve ϕ' parametrelerinin DCP deneyi ile nasıl doğrulanabileceği anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Saha Deneyi, Dinamik Koni Penetrasyon Deneyi, DCP, SPT*

ABSTRACT

One of the most important and challenging aspects of geotechnical analysis and evaluation is the accurate determination of strength parameters. There are various in-situ and laboratory experiments available in literature for determining these parameters. Dynamic cone penetration test (DCP) is pointed out in literature as a field test used to determine the compaction control of fills. The test is based on measuring the penetration of DCP cone into the ground by the energy generated with the free fall of an 8-kilogram weight from a height of 57.5 cm. The penetration amounts resulting from a specific number of impacts correspond to specific soil density (and parameter) values. This test can also be considered as a portable, manual version of the standard penetration test (SPT), a frequently used field test in geotechnical engineering. It should be recalled that in the SPT test, a 63.5 kg weight is dropped freely from a height of 76 cm. The number of impacts recorded in the DCP test corresponds to approximately one-third of the number of impacts obtained from the SPT test. Performing DCP test in the field is both economical and easy. The DCP test should not be confused with the Utility-DCP test, which is used solely for the compaction quality control of fills. The Utility-DCP test is a lighter and simpler version of the DCP test. This study describes how the parameters c' and ϕ', used in a slope stability analysis, could be validated using the DCP test.

Keywords: *Field Test, Dynamic Cone Penetration Test, DCP, SPT*

[1] Dr., Geopro Müşavirlik İnşaat ve Mühendislik Limited Şirketi, serkan@geopro.com.tr (Sorumlu yazar)
[2] Prof.Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, bakir@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Geoteknik analiz ve değerlendirmelerin en önemli ve en zor kısımlarından birisi de mukavemet parametrelerinin doğru bir şekilde tayinidir. Bu parametrelerin tayini için detaylı araştırma yapmak gereklidir. Geoteknik araştırma 4 farklı şekilde yapılabilir: (1) örselenmiş veya örselenmemiş numunelerin laboratuvar çalışmaları ile incelenmesiyle; (2) saha deneyleriyle; (3) jeofizik çalışmalarla; (4) uzaktan algılama yöntemleriyle (Arman vd., 1997). Örselenmemiş numune alınamadığı ve hızlı sonuç istendiği durumlarda saha deneyi yapmak gerekir. Dinamik koni penetrasyon deneyi (DCP), dolguların sıkışma kontrolünde de kullanılan saha deneylerinden birisidir. DCP deneyi, sadece dolgu kalitesi kontrolünde kullanılan Utility-DCP deneyi ile karıştırılmamalıdır. Utility-DCP deneyi, DCP deneyinin daha hafif ve basit bir uyarlamasıdır.

DCP deneyinin en büyük özelliği ekonomik, hızlı ve pratik olmasıdır. DCP deneyi prensip olarak bir kullanıcı tarafından belli bir yüksekliğe kadar rahatlıkla kaldırılabilecek bir ağırlığın serbest düşüşü neticesinde oluşan enerjinin, DCP konisini zemine ne kadar penetre ettirdiğine dayanır. Deney, ağırlık düşürülerek darbe sayılarının ölçülmesi yönüyle standart penetrasyon deneyine (SPT), bir koninin zemine kesintisiz şekilde sürekli ittirilerek uç reaksiyonunun ölçülmesi yönüyle de konik penetrasyon deneyine (CPT) benzer. DCP deneyi sonucunda, dinamik koni penetrasyon indeksi (DPI) milimetre/Darbe sayısı (mm/DS) cinsinden veya 10 cm penetrasyon değerine karşılık gelen darbe sayısı (DCP-n) ölçülür. Bu değerleri kullanarak, literatürde atfedilen çeşitli bağıntılar vasıtasıyla, zeminlerin mukavemet parametrelerini, serbest basınç ve kesme dayanımlarını, taşıma güçlerini ve özellikle de Kaliforniya taşıma oranını (CBR) tahmin etmek mümkündür.

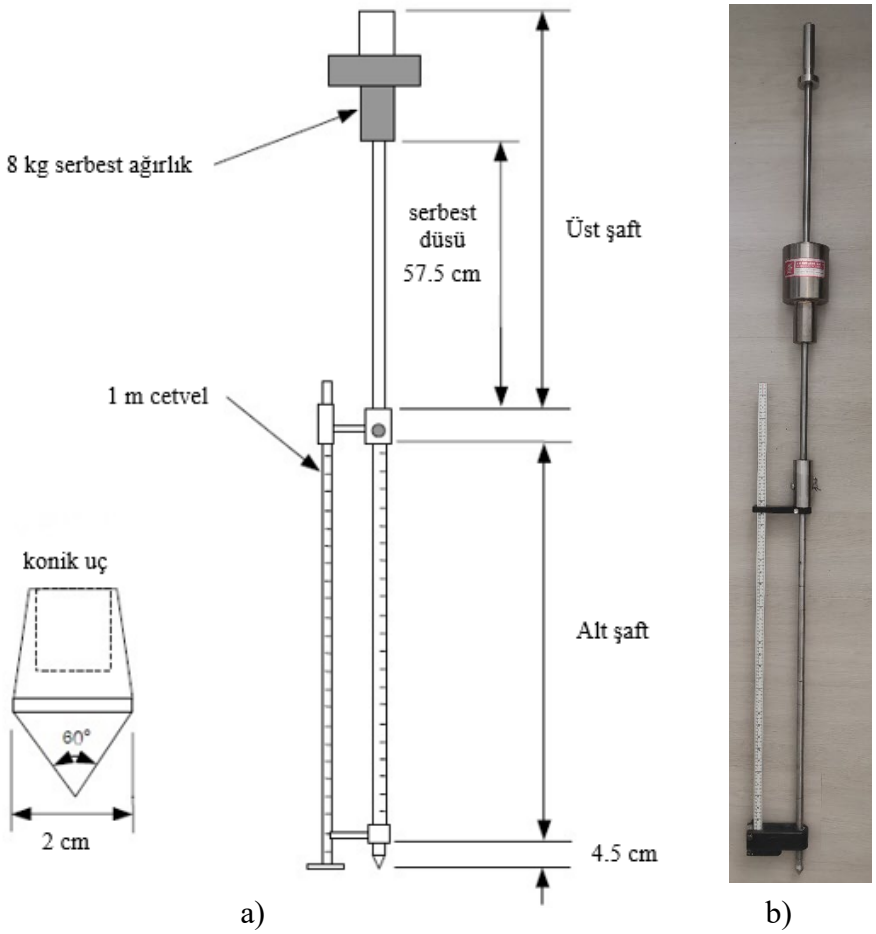
Bu çalışmada, bir şev stabilite analizinde kullanılan mukavemet parametrelerinin DCP deneyi ile nasıl doğrulanabileceği vaka çalışması üzerinden anlatılmaktadır.

2. DCP DENEYİ HAKKINDA BİLGİLER

Dinamik koni penetrasyon deneyi (DCP), literatürde dolguların sıkışma kontrolünü tayin etmekte kullanılan bir saha deneyi olarak gösterilmektedir (GRI, 2005). DCP deney aleti ve bu aletin şematik gösterimi Şekil 1'de sunulmaktadır. Deney, prensip olarak 8 kilogramlık bir ağırlığın 57.5 cm yükseklikten serbest düşüşü neticesinde oluşan enerjinin DCP konisini zemine ne kadar penetre ettirdiğinin ölçümüne dayanır. Belirli bir darbe sayısı sonucunda ölçülen penetrasyon miktarları belirli zemin sıkılık (ve parametre) değerlerine karşılık gelir. DCP uygulaması ile ilgili olarak ASTM D-6951 standardında daha ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Bu test, geoteknik mühendisliğinde sıkça kullanılan saha deneylerinden birisi olan SPT deneyinin manuel olarak yapılan portatif bir versiyonu olarak da düşünülebilir. Hatırlatmak gerekirse SPT deneyinde 63.5 kg ağırlık 76 cm yükseklikten serbest olarak düşürülmektedir. Ancak DCP deneyinde SPT deneyinde olduğunda gibi numune alınmaz ve deney derinlik boyunca süreklilik arz eder. Bu yönüyle de CPT deneyine benzer. CPT deneyinde çapı yaklaşık 3.5 cm olan, 60 derece eğimli bir koni zemine 10-20 mm/s hızla ittirilir. İttirme esnasında oluşan uç ve çevre dirençleri ölçülür. DCP deneyindeki koni ucu da 60 derecelik bir açıya sahiptir.

İlk DCP aleti 1956 yılında Scala tarafından Avustralya'da geliştirilmiştir (Salgado ve Yoon, 2003). Bir İsviçre tasarımından esinlenilerek geliştirilen bu ilk alet 30 derecelik koniye sahiptir ve enerji 9 kilogramlık bir ağırlığın 50.8 cm yükseklikten düşürülmesiyle sağlanmaktadır. Günümüzde kullanılan versiyon ise Scala'nın kullandığı DCP'nin, Güney

Afrika'da 1970'li yıllardan itibaren Van Vuuren tarafından geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır (Hamid, 2015).



Şekil 1. DCP deney aletinin a) şematik gösterimi (Salgado ve Yoon, 2003) b) fotoğrafı

DCP deneyini yapmak için 2 kişi yeterlidir. Bir kişi, en üstteki kol kısmından aleti bir eliyle dik tutmaya çalışırken, diğer eli ile de 8 kilogramlık ağırlığı indirip kaldırabilir. Diğeri ise cetvelin önünde durarak DPI ve DCP-n değerini kaydeder. Yüksek sayıda deneyin yapılması durumunda 8 kg ağırlığın sürekli kaldırılmasının operatörleri yoracağı göz önünde bulundurularak bir üçüncü kişinin de sahada olması değerlendirilebilir.

DCP deneyi kullanılarak ϕ' değerinin nasıl tahmin edilebileceği Mohammadi vd. (2007) tarafından yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda ortaya çıkarılan 1 nolu bağıntı ile ortaya konmuştur.

$$\phi'(\text{deg})=52.16/[(\text{DPI})]^{0.13} \quad (1)$$

Teknik literatürde spesifik zemin parametrelerini DCP ve SPT deneyinden elde edilen darbe sayıları ile ilişkilendirilen çeşitli tablo ve bağıntılar bulunmaktadır. Ancak, SPT deneyi ile ilgili çok sayıda tablo ve bilgi bulunurken, DCP ile ilgili benzer tablo ve bilgiler nispeten azdır. Bu çalışmada kullanılan DCP ile ilgili referans zemin parametre değerleri Tablo 1'de sunulmaktadır. DCP deneyinde kaydedilen darbe sayıları yaklaşık olarak SPT deneyinden elde edilen darbe sayılarının üçte birine karşılık gelmektedir (Look, 2007). Buna ek olarak

DCP deneyinin bir başka yaygın kullanımı ise deney sonuçlarının CBR ile rahatlıkla ilişkilendirilebilmesidir. Keskin ve Memiş (2025) ve Look (2007) gibi kaynaklarda DCP deneyinin CBR ile ilişkilendirilmesine ait çeşitli tablo ve bağıntılar rahatlıkla bulunabilir.

Tablo 1. DCP deney sonuçlarına göre yaklaşık parametre tayini (Look, 2007)

Zemin Türü	Zemin Sınıflandırması	DCP-n (darbe sayısı/100mm)	Mukavemet
Kil	Çok yumuşak	0-1	c_u=0-12 kPa
	Yumuşak	0-1	c_u=12-25 kPa
	Sıkı	1-2	c_u=25-50 kPa
	Katı	2-5	c_u=50-100 kPa
	Çok katı	6-9	c_u=100-200 kPa
	Sert	>10	c_u>200 kPa
Kum	Çok gevşek	0-1	$\phi'<30^o$
	Gevşek	1-3	$\phi'=30\text{-}35^o$
	Orta sıkı	3-8	$\phi'=35\text{-}40^o$
	Sıkı	8-15	$\phi'=40\text{-}45^o$
	Çok sıkı	>15	$\phi'>45^o$
Çakıl		>10	$\phi'=35^o$
		>20	$\phi'>40^o$
Kaya		>10	c'=25 kPa, $\phi'=30^o$
		>20	c'=50 kPa, $\phi'=30^o$

3. DCP DENEYİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

DCP deneyinin birçok avantajı vardır. En büyük avantajları basit, ekonomik, hızlı ve kolayca taşınabilir olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı detaylı ve komplike test aletlerine erişimin kısıtlı olduğu Afrika gibi yerlerde geoteknik mühendislerine büyük kolaylıklar sağlar. DCP aleti ile 1 metre derinliğe kadar zemin mukavemetinin derinliğe bağlı değişiminin ölçülebilmesi mümkündür. Uzatma aparatları kullanılarak bu derinlik 1.8 metreye kadar yükselebilir. Ölçülen değerler ile taşıma gücü, kayma mukavemeti, CBR, yatak katsayısı, rölatif yoğunluk, tabaka kalınlığı ve başka farklı geoteknik parametre tayini yapmak mümkündür. Buna ek olarak DCP aletini başka geoteknik deneyler ile korele etmek de mümkündür.

Avantajları yanında DCP deneyinin bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi uzatma kullanılsa bile maksimum 2 metre gibi bir derinlik kısıtlaması bulunmasıdır. Ayrıca DCP deney aleti derinlere girdikçe şaftla zemin arasında oluşan sürtünmeden dolayı aleti zeminden çıkartmakta zorluklar yaşanabilir. Bunu önlemek için tek seferlik DCP uçları kullanılabilir. Buna ek olarak Hamid (2015) maksimum dane çapının deney sonuçlarını etkilediğini belirtmiştir. DCP deneyi için önerilen maksimum dane çapı 38-50 mm civarındadır.

DCP testindeki yukarıda bahsedilen dezavantaj ve belirsizliklerden dolayı test sonuçlarının yalnız başına kullanılması önerilmemektedir. DCP deney sonuçları başka test ve geoteknik veriler ile de doğrulanmalıdır. DCP sonuçları bu çalışmada geri analiz ile doğrulanmıştır.

4. VAKA ÇALIŞMASI

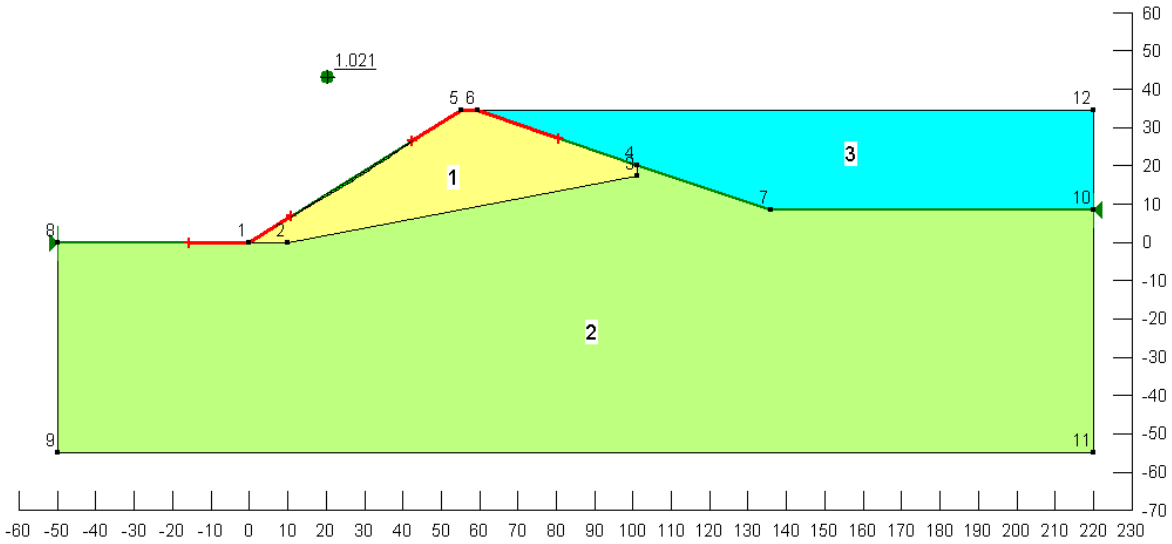
Vaka çalışması olarak bir maden sahasındaki çözelti havuzunun seddesi seçilmiştir. Seddenin maksimum kret yüksekliği 34.5 metre olup depolama derinliği 26 metredir. Sedde kret genişliği ise 4.5 metredir. Yaklaşık memba şev eğimi 1D/3Y olup, mansap şev eğimi ise 1D/1.5Y şeklindedir. Çözelti havuzunun içi yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) membran ile kaplanmış olup geçirimsizlik bu şekilde sağlanmaktadır.



Şekil 2. Saha deneyleri sırasında DCP aletinin kullanımı

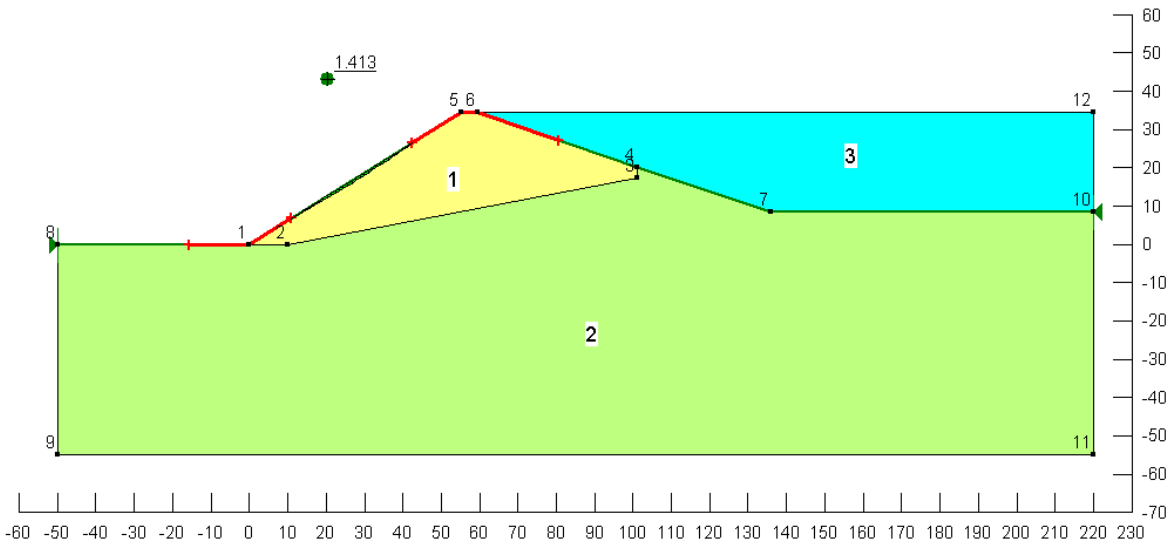
Giriş kısmında da belirtildiği gibi, çalışmanın temel amacı DCP saha deneyi yaparak sedde dolgularının şev stabilite hesaplarına ait tasarım aşamasında kullanılan malzeme parametrelerini doğrulayabilmektir. Sedde dolgusu killi çakıllı kum ve killi kumlu çakıl niteliğindeki kazılardan elde edilen malzemelerden oluşmaktadır. Sedde dolgusu için

hesaplarda birim hacim ağırlık 18.5 kN/m^3, kohezyon, c'=15 kPa, içsel sürtünme açısı, ϕ'=32.5^o olarak kabul edilmiştir. Bu parametreler ile güvenlik sayısının (GS) tasarımda 1.471 olduğu kabul edilmiştir. GS'yi 1.0 yapan ϕ' değeri Şekil 3'de geri analizle 32.5^o olarak hesaplanmıştır. Tablo 1 dikkatlice incelenecek olursa, DCP saha deneylerinden elde edilecek ϕ' parametresinin yeterli bir GS değerine ulaşabilmesi için DCP-n değerinin en fazla 10 seçilmesi yeterli görülmektedir. Tablo 1'den oran orantı kurarak DCP-n 10 değerine karşılık gelen ϕ' değeri 41.4^o olarak bulunur. Bu değer için GS Şekil 4'de gösterilen limit denge analiz sonuçlarına göre 1.413 olmuştur.



Şekil 3. GS=1 için geri analiz

Sahada bulunan depolama alanının kreti üzerinde en az 3'er set deney yapılmıştır. 3 adet ölçüm sonucu sırasıyla 9, 9 ve 10 olup ortalaması 9.33 olmuştur. Dolayısıyla bu DCP-n değerine göre GS 1.413'den yüksektir ve sedde güvenlidir. Şekil 2'de saha deneyleri sırasında çekilen bir fotoğraf sunulmaktadır.



Şekil 4. ϕ' = 41.4^o ve c' = 0 için GS

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir şev stabilite analizinde kullanılan mukavemet parametrelerinin DCP deneyi ile nasıl doğrulanabileceği vaka çalışması üzerinden gösterilmiştir. Deney, prensip olarak 8 kilogramlık bir ağırlığın 57.5 cm yükseklikten serbest düşüşü neticesinde oluşan enerjinin 60°'lik DCP konisini zemine ne kadar penetre ettirdiğinin ölçümüne dayanır. DCP deneyi, sadece dolgu kalitesi kontrolünde kullanılan Utility-DCP deneyi ile karıştırılmamalıdır. Utility-DCP deneyi, DCP deneyinin daha hafif ve basit bir uyarlamasıdır.

DCP deneyi sonucunda, dinamik koni penetrasyon indeksi (DPI) milimetre/Darbe sayısı (mm/DS) cinsinden veya 10 cm penetrasyon değerine karşılık gelen darbe sayısı (DCP-n) ölçülür. Bu değerleri kullanarak, literatürde atfedilen çeşitli bağıntılar vasıtasıyla, zeminlerin mukavemet parametrelerini, serbest basınç ve kesme dayanımlarını, taşıma güçlerini ve özellikle de Kaliforniya taşıma oranını (CBR) tahmin etmek mümkündür. DPI üzerinden elde edilen değerler daha çok mukavemet yöntemi olarak adlandırılırken, DCP-n değeri üzerinden gidilen yöntem ise bir kalite-kontrol değerlendirme yöntemi olarak adlandırılmaktadır (Look, 2007).

DCP deneyinin birçok avantajı vardır. En büyük avantajları basit, ekonomik, hızlı ve kolayca taşınabilir olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı detaylı ve komplike test aletlerine erişimin kısıtlı olduğu yerlerde geoteknik mühendislerine büyük kolaylıklar sağlar. DCP deneyi için önerilen maksimum dane çapının 38-50 mm civarında olması ve 1 metre civarındaki sığ derinliklere kullanılabilmesi de (uzatma olmadan) deneyin en büyük dezavantajı olmaktadır. Bu nedenle DCP deneyinin başka deney ve geoteknik metotlar ile beraber kullanılması tavsiye edilmektedir.

Vaka çalışması olarak bir maden sahasındaki çözelti havuzunun seddesi seçilmiştir. Seddenin maksimum kret yüksekliği 34.5 metre olup depolama derinliği 26 metredir. Sedde kret genişliği ise 4.5 metredir. Seddenin tasarım dokümanlarına göre mukavemet parametrelerinin doğrulanabilmesi için DCP-n değerinin en fazla 10 olması gerekmektedir. Sahada bulunan depolama alanının kreti üzerinde en az üçer set deney yapılmıştır. 3 adet ölçüm sonucu sırasıyla 9, 9 ve 10 olup ortalaması 9.33 olmuştur. Geri analiz sonuçları ile beraber değerlendirildikten sonra seddenin güvenli olduğu anlaşılmaktadır.

Daha önceki paragraflarda da belirtildiği gibi DCP deneyi sadece 1 m derinliğe kadar, uzatma ile de beraber en fazla 2 metre derinliğe kadar yapılabilmektedir. Seddenin 1 metre altındaki dolgunun kendi ağırlığından dolayı daha fazla sıkışmış olacağı düşünüldüğünden, elde edilen sonuç güvenli taraftadır.

Sedde kontrolü için Tablo 1'den elde edilen DCP-n 10 (darbe sayısı/100mm) değerine karşılık ϕ' 41.4^o olurken, 1 nolu denklemden DPI=10 mm/darbe değerine karşılık gelen ϕ' 38.7^o olarak hesaplanmıştır. 1 nolu denklemden elde edilen verilere göre seddenin GS değeri yine 1.0'dan büyük olmakla beraber görece olarak Tablo 1'den elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan GS değerlerinin bir miktar altında kalmıştır.

KAYNAKLAR

Arman, A., Samtani, N., Castelli, N. ve Munfakh, G. (1997), "Subsurface Investigations", FHWA HI-97-021.

Farrag, K., Vetter, D., Hill, B. ve Esposito, R. (2005), "Evaluation of Soil Compaction Measuring Devices", Gas Research Institue, Illinois.

Hamid, A.M. (2015), "The Dynamic Cone Penetration Test: A Review of Its Correlations and Applications", International Conference on Advances in Civil and Environmental Engineering, Universiti Teknolgi MARA, Pulau Pinag.

Look, B.G. (2007), "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables", Taylor and Francis Group, London.

Memiş, M.A. ve Keskin, İ. (2025), "Dynamic Cone Penetration Testing (DCP) in Geotechnical Design: Applications, Limitations, and Innovations for Infrastructure Assessment", DOI: 10.5281/zenodo.

Mohammadi, S.D., Nikoudel, M.R., Rahimi, H. ve Khamehciyan, M. (2008), "Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for Determination of the Engineering Parameters of Sandy Sandy Soils", Engineering Geology, 101,195-203.

Salgado, R. ve Yoon, S. (2003), "Dynamic Cone Penetration Test (DCPT) for Subgrade Assessment", JTRP Technical Report, Purdue University.

SEMBOL LİSTESİ (14 PUNTO, KOYU)

Sembol	**Açıklama**	**Sembol**	**Açıklama**
ϕ'	Drenajlı içsel sürtünme açısı		