

SINIR KAZIK SÜRTÜNME KAPASİTESİ-SPT-N₆₀ KORELASYONUNUN KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ

ESTIMATION OF CORRELATION BETWEEN ULTIMATE SIDE RESISTANCE OF PILES AND SPT-N₆₀ BASED ON PILE LOAD TESTS

Oğuz ÇALIŞAN¹

ÖZET

Kazık kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan sınır çevre sürtünmesi değerleri çeşitli arazi ve laboratuvar deneylerinin sonuçlarına göre hesaplanabilmektedir. Bu amaçla arazi deneylerinden presiyometre (PMT), konik penetrasyon testi (CPT) ve standart penetrasyon deneyi (SPT) sıkça kullanılan deneyler arasında yer almaktadır. Standart penetrasyon testi, bütün sondajlarda belirli aralıklarla yapılıyor olması ve dünyada uzun yıllardır sıklıkla kullanılıyor olması nedeniyle hem veri zenginliği ve hem literatürde mevcut korelasyonların çeşitliliği açısından öne çıkmaktadır. Uygulamaya bağlı hata payı nispeten düşük olan bu deney sonucunda elde edilen SPT-N₆₀ değerlerinden doğrudan sınır kazık çevre sürtünmesinin tahminine ait literatürde değişik korelasyonlar bulunmaktadır. Değişik araştırmacılar tarafından önerilen bu korelasyonların zemin cinsine göre önemli değişiklikler gösteriyor olması, bunların tasarımda kullanılmadan önce kullanılacakları sahadaki zemin koşullarına uygunluğunun teyidini gerektirmektedir. Aksi takdirde güvenli tarafta kalmak için kullanılacak nispeten düşük değerler maliyetlerin ciddi oranda artmasına neden olacaktır. Bu çalışmada Hatay-İskenderun'da inşa edilen bir demir-çelik tesisi kazıklı temellerinin tasarlanmasında esas alınan kazık kapasitelerinin SPT-N₆₀ değerlerine göre nasıl belirlendiği anlatılmaktadır. Tasarım öncesinde, sondaj noktalarının hemen yanında yapılan 3 adet kazık yükleme deney sonuçları kullanılarak söz konusu saha için sınır çevre sürtünmesi ile SPT-N₆₀ arasındaki korelasyon belirlenmiş, tesis kapsamındaki kazık taşıma güçleri belirlenen korelasyon kullanılarak hesaplanmıştır. Uygulama sırasında değişik noktalarda yapılan kazık yükleme deneyleri ile hesaplanan kapasiteler teyit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: fore kazık, kazık yükleme deneyi, sınır çevre sürtünmesi, standart penetrasyon deneyi

ABSTRACT

Ultimate skin friction values used in determining the pile capacities can be estimated according to the results of various field and laboratory tests. Pressuremeter (PMT), cone penetration (CPT) and standard penetration test (SPT) are among the field tests frequently

¹ Dr. İnş. Yük. Müh, eMBA, ÇALIŞAN Geoteknik Hizmetler İnş. ve Tic. Ltd., ocalisan@calisangeo.com



used for this purpose. The standard penetration test stands out in terms of both the richness of data and the diversity of correlations available in the literature, as it is performed at regular intervals in all drillings and has been used frequently throughout the world for many years. There are various correlations in the literature regarding the estimation of ultimate pile skin friction directly from the SPT-N₆₀ values obtained during SPT, which has a relatively low margin of error regarding its application. The fact that the correlations suggested by different researchers vary significantly depending on the soil type, requires confirmation of their suitability for the ground conditions for the site under consideration. Otherwise, relatively low values to be used to stay on the safe side will cause the costs to increase significantly. In this study, the estimation of ultimate skin friction-SPT-N₆₀ correlation for the iron and steel making facility built in Hatay-iskenderun is explained. The correlation between the ultimate skin friction and SPT-N₆₀ for the site in consideration was determined using the results of 3 static pile load tests conducted right next to the drilling points. The pile capacities for the structures in the facility were calculated using the correlation determined by these load tests. The calculated capacities were also confirmed by pile loading tests performed at different locations during the construction of project piles.

Key Words: bored pile, pile loading test, ultimate skin friction, standard penetration test

1. GİRİŞ

iskenderun/Sarıseki 2. Organize Sanayi Bölgesi içerisinde bir demir çelik üretim tesisi inşa edilmiştir. Yaklaşık 184 dönüm alan üzerine inşa edilen tesis çelikhane, haddehane, slab stok sahası ve yardımcı tesislerden oluşmaktadır. Araziye sondajlar ile arazide belirlenen zemin yapısını alanın belirli bölümlerinde üst seviyelerde yer alan yapay dolgu ve altındaki alüvyon oluşturmaktadır. Gerek zemin yapısı ve gerekse bölgenin depremselliği tesis kapsamındaki deplasmana hassas ağır yapıların kazıklı temeller üzerine inşasını gerekli kılmıştır. Kazıklı temellerin tasarımında kullanılacak birim sürtünme değerlerinin diğer yöntemlere ek olarak SPT-N₆₀ değerlerine göre belirlenebilmesi amacıyla zemin yapısı birbirinden farklı 3 değişik lokasyonda, sondaj noktalarının hemen yanında 3 adet düşey statik kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile bulunan sınır birim çevre sürtünmesi, tasarımda diğer arazi/laboratuvar deney sonuçları ile beraber kullanılmıştır.

2. ZEMİN YAPISI

Zemin yapısı arazinin genelinde büyük değişiklikler göstermektedir. Alanın doğusunda yer alan ürün stok holü alanında zemin araştırma derinliklerine kadar granüler ağırlıklı yapıda olan ve çoğunlukla kum, çakıl, blok ihtiva eden alüvyon içindeki silt ve kil miktarı haddehane binası 14-15 akslarından sonra batıya doğru, zemin yüzeyinden başlayarak 20-25m derinliklere kadar çıkmaktadır. 20-25m'lerin altında alüvyon yeniden ağırlıklı olarak bloklu/çakıllı bir yapı kazanmaktadır. Fırınlık bölgesinin batısında yüzeyden itibaren yer alan siltli kumlu kil ağırlıklı alüvyonun kalınlığı yaklaşık 40m'leri bulmakta, bu derinlikten sonra konglomera ara bantlı killi kumlu blok çakıl tabakası yer almaktadır. Sahadaki nispeten en kötü zemin koşulları slab stok holü alanında yer almakta olup bu bölgede alüvyon yapısı fırınlık bölgesinin batısı ile benzer olmakla birlikte bu bölümde yer alan killer

yumuşak-sıkı kıvamdadır. Slab stok sahasından batıya, slab kesim holü ve döküm holüne doğru gelindiğinde yüzeyden itibaren 4-8m kalınlığındaki yapay dolgu ve killi yapıdan sonra alüvyon, zemin yüzeyinden yaklaşık 18-20m'lere kadar kum/çakıl özelliği kazanmakta ve bu derinliklerden sonra siltli/killi bir yapı yer almaktadır. Benzer şekilde yüzeyden itibaren yaklaşık 35-42m'lerden sonra konglomera ara bantlı kumlu killi blok çakıl tabakası rapor edilmektedir.

Sahaya hâkim olan alüvyon gerek sıklık ve gerekse kompozisyon olarak ciddi farklılıklar göstermektedir. Zemin yapısı ile ilgili diğer önemli bir husus da evvelce yapılmış olan ve +8.5m olan tesis sıfır kotuna erişmek için yapılması gereken yapay dolgulardır.

Yapılan sondajlarda rapor edilen yeraltı su seviyesi memleket kotuna göre ± 0.0 ve +1.0m arasında olup bu seviye deniz seviyesi ve yaklaşık 1.0m üstüne tekabül etmektedir.

3. SPT DEĞERLERİ KULLANILARAK KAZIK KAPASİTESİNİN TAYİNİ

Zemin içinde teşkil edilmiş kazıkların sınır kapasiteleri (Q_{ult}) sınır çevre sürtünmesi (Q_s) ve sınır uç direncinin (Q_p) toplamı olarak ifade edilmektedir. Sınır çevre sürtünmesi Q_s ise kazık yüzey alanının (A_s), sınır birim çevre sürtünmesi (q_s) ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Aynı şekilde sınır kazık uç direnci (Q_p) kazık uç alanının birim uç direnci (q_p) ile çarpılması sonucu hesaplanmaktadır. SPT- N_{60} değerleri kullanılarak hesaplanacak sınır birim sürtünme ve uç direncinin belirlenmesi sırasında SPT- N_{60} değerleri belirli korelasyon katsayıları ile çarpılmaktadır. Buna göre sınır birim sürtünmesi ve sınır uç direnci değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir.

Sınır birim çevre sürtünmesi, q_s

$$q_s = \beta \times N_{60} + \alpha \quad (\text{kPa}) \quad (1)$$

Sınır birim uç direnci, q_p

$$q_p = K \times N_{60} \quad (\text{kPa}) \quad (2)$$

Çevre sürtünmesi için β ve α , uç direnci için K olarak anılan korelasyon katsayıları için literatürde verilen değerler Tablo-1 ve Tablo-2'de özetlenmektedir. Tablo-1'de ve Tablo-2'de verilen değerlerin fore kazıklar için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

4. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ İLE KORELASYON KATSAYILARININ TAHMİNİ

Tasarımda kullanılacak β ve K değerlerinin belirlenebilmesi için proje başlangıcında 3 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Daha sonra kazık yükleme deneylerinin sonuçları değerlendirilmiş, test yükü göçme yükü alınarak olası maksimum sürtünme ve uç direnci korelasyon katsayıları belirlenmiş, tasarımda kullanılacak β ve K değerleri literatürde verilen değerlere göre kalibre edilmiştir. Zemin koşullarının tam olarak tanımlı olmasını sağlamak amacıyla kazık yükleme deney lokasyonları sondaj noktalarının hemen yanında seçilmiştir. Özellikle nispeten zayıf zeminlerin yer aldığı Çelikhane bölgesinde 1 adet deney

en zayıf sondajın hemen yanında yapılmıştır. Bu deneyde özellikle göçmenin sağlanabilmesi için kazık daha alt seviyelerde bulunan sağlam tabakalara soketlenmemiştir.

Tablo-1 Fore Kazıklar için SPT-N₆₀ Sınır Çevre Sürtünmesi Korelasyonları

ZEMİN TİPİ	KORELASYON KATSAYISI (β)	α	KOŞUL	REFERANS
Kohezyonsuz	0.67	-	D* < 50cm için	Bazaraa ve Kurkur (1986)
	D/75	-	D* > 50cm için	
	0.96	-	-	Meyerhof (1976)
	1.00	-	-	Findlay (1984), Shioi ve Fukui (1982)
	2.49	-	< 192 kPa	Quiros ve Reese (1977)
	2.82	-	N ₆₀ ≤ 53 için	Reese ve Wright (1977)
	0.21	142	N ₆₀ > 53 için	
	3.30	-	-	Wright ve Reese (1979)
Kohezyonlu	5.0	-	-	Shioi ve Fukui (1982)
	3.3	10	Bentonit ile imal edilen kazıklar	Decourt (1982)
	2.0	-	-	Bazaraa ve Kurkur (1986)
	2.7-3.3	-	-	Tomlinson (1965)

(*) D: cm cinsinden kazık çapı

Tablo-2 Fore Kazıklar için SPT-N₆₀ Sınır Uç Direnci Korelasyonları

ZEMİN TİPİ	KORELASYON KATSAYISI, K	KOŞUL	REFERANS
Kohezyonsuz	135	D < 50cm için	Bazaraa ve Kurkur (1986)
	2.7 x D	D > 50cm için	
	63.8	< 3828 kPa	Reese ve Wright (1971)
	57.45**	< 4309 kPa	Reese ve O'Neil (1988)
	100	-	Shioi ve Fukui (1982)
Kohezyonlu	150	-	Shioi ve Fukui (1982)
	40	-	Bazaraa ve Kurkur (1986)
	45-75	-	Stroud (1974)

(**) 125cm'den küçük çaplı kazıklar için

5. YÜKLEME DENEYLERİ VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tasarım aşamasında birbirinden üç farklı zemin profilinde yapılan fore kazık yükleme deneylerine ait özellikler Tablo-3'te verilmektedir. Deneylerde uç direnci/çevre sürtünmesi ayırımı yapılırken kazığın yaptığı deplasmanlar göz önüne alınmıştır. Kohezyonsuz zeminler için β katsayısı için literatürde verilen en yüksek değer olan $\beta=3.3$ değeri kullanılmıştır. Buna ek olarak α değeri sıfır alınmıştır.

Tablo-3 Tasarım Aşamasında Yapılan Yükleme Deneyleri

TEST NO	LOKASYON	ÇAP (cm)	BOY (m)	EN YAKIN SONDAJ	TEST YÜKÜ (kN)	TEST YÜKÜNDE DEPLASMAN (mm)	KALICI DEPLASMAN (mm)	KAZIK ÜST KOTU(m)
1	HADDANE/ÜRÜN STOK HOLÜ	80	20	HBH-30	8000	6.02	2.45	+8.0
2	ÇELİKHANE	100	30	ÇBH-6	6500	82.04	43.02	+5.4
3	ÇELİKHANE	100	25	ÇBH-13	8000	17.28	11.26	+4.0

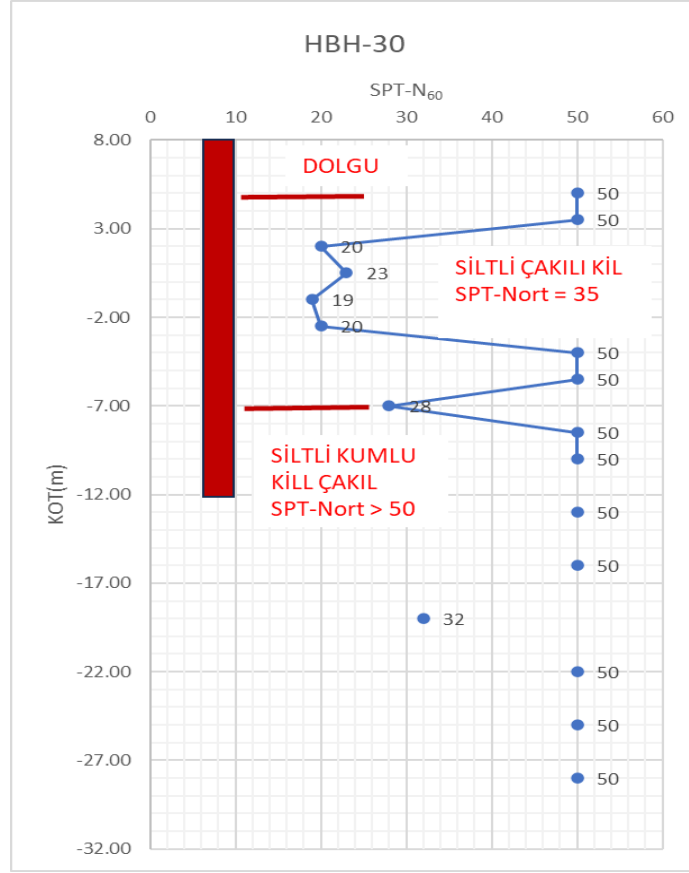
Test-1 Haddehane/Ürün Stok Holü

Testin yapıldığı yerde mevcut HBH-30 sondajına göre zemin yapısı 3.0m kalınlığındaki dolgu, altında yer alan 12.0m kalınlığındaki siltli kil (CL) ve 15.0m derinlikten itibaren siltli kumlu killi çakıl tabakalarından oluşmaktadır. HBH-30 sondajının memleket kot sistemine göre sondaj ağız kotu +7.97m'dir (tesis 0.0m kotu =+8.5m memleket kotu). HBH-30 sondajına göre 20m kazığın geri analizinde Tablo-4'te verilen profil kullanılmış olup Şekil-1'de HBH-30 sondajında kaydedilen SPT-N₆₀ değerlerinin derinlikle değişimi gösterilmiştir. Geri analizde emniyetli tarafta kalmak için 3.0m kalınlığındaki dolguda da kil ile aynı miktarda çevre sürtünmesi olduğu kabul edilmiştir. Test yükü olan 8000 kN 'da kalıcı deplasmanın sadece 2.45mm olması nedeniyle uç direncinin gelişmediği düşünülmüş, kazık göçmemesine rağmen 8000kN göçme yükü, bir nevi toplam sınır çevre sürtünmesi olarak alınmıştır. Kazık kapasite hesaplarında kullanılan β değerleri ve oluşan sınır sürtünmeler de Tablo-4'te özetlenmiştir. Bu deney sonucuna göre hesaplanan β değeri bir alt limit olarak kabul edilebilir.

Tablo-4 Test-1 için Kullanılan Zemin Profili ve Kazık Kapasite Hesabı

ZEMİN TİPİ	ZEMİN SINIFI	KALINLIK (m)	SPT-N ₆₀	β	K	qs (kPa)	Qs (kN)
DOLGU	-	3	-	4.5	-	157.5	1186.92
KİL	CL	12	35	4.5	-	157.5	4747.68
KİLLİ ÇAKIL	GM	5	50	3.3	-	165.0	2072.4

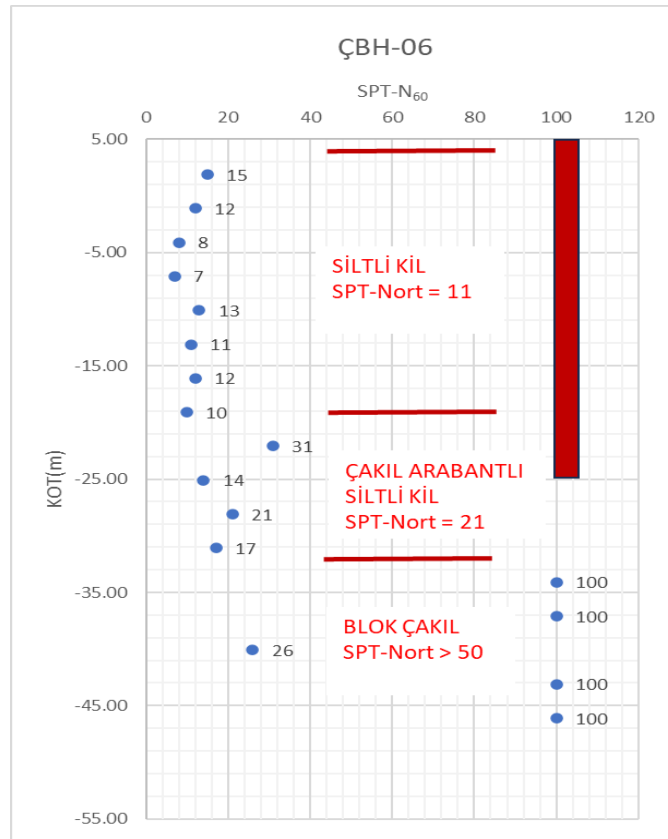
$$Q_{ult} \text{ (kN)} = 8007$$



Şekil-1 HBH-30 Sondajı SPT-N Değerlerinin Derinlikle Değişimi ve Kazık Profili

Test-2 Çelikhane

Testin yapıldığı yerde mevcut ÇBH-6 sondajına göre zemin yapısı 1.5m kalınlığındaki dolgu, altında yer alan 21.5m kalınlığındaki siltli kil (CL), altında 13m kalınlığındaki çakıl ara bantlı siltli kil ve 36.0m derinlikten itibaren konglomera ara bantlı kumlu killi blok çakıl tabakalarından oluşmaktadır. ÇBH-6 sondajının memleket kot sistemine göre sondaj ağız kotu +5.0m'dir (tesis 0.0m kotu =+8.5m memleket kotu). Şekil-2'de ÇBH-06 sondajında kaydedilen SPT-N₆₀ değerlerinin derinlikle değişimi gösterilmektedir. Geri analizde emniyetli tarafta kalmak amacıyla mevcut 1.5m kalınlığındaki dolguda da kil ile aynı miktarda çevre sürtünmesi olduğu kabul edilmiştir. Test yükü olan 6500 kN'de deplasmanların yüksek olması nedeniyle uç direncinin tam olarak mobilize olduğu düşünülmüş, göçme yükü 6500 kN olarak alınmıştır. ÇBH-6 sondajına göre 30m kazığın geri analizinde Tablo-5'te verilen profil kullanılmış ve yapılan hesaplar Tablo-5'te sunulmuştur.



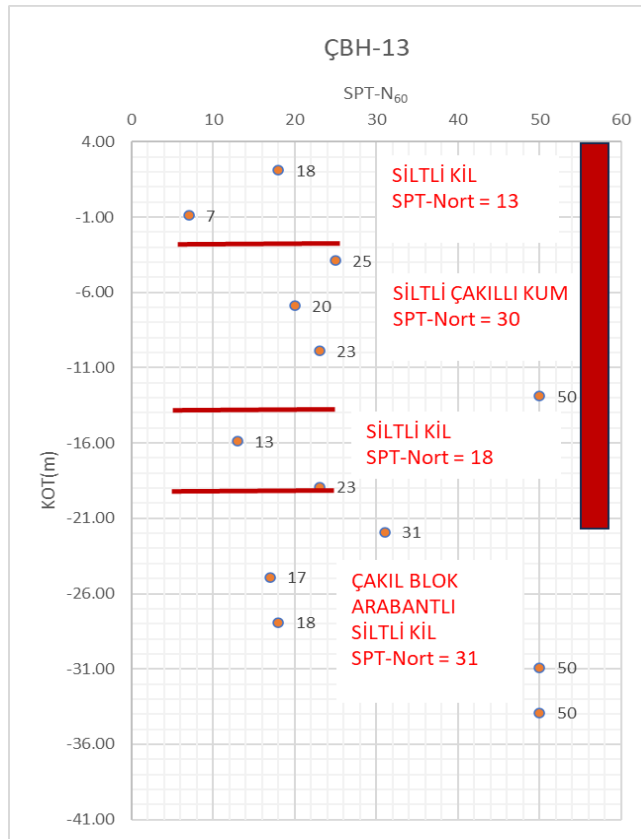
Şekil-2 ÇBH-06 Sondajı SPT-N Değerlerinin Derinlikle Değişimi ve Kazık Profili

Tablo-5 Test-2 için Kullanılan Zemin Profili ve Kazık Kapasite Hesabı

ZEMİN TİPİ	ZEMİN SINIFI	KALINLIK (m)	SPT-N ₆₀	β	K	qs (kPa)	Qs (kN)	Qp (kN)
DOLGU	-	1.5	-	4.7	-	51.7	243.507	
KİL	CL	22.5	11	4.7	-	51.7	3652.605	
KİL	CL	6	21	4.7	45	98.7	1859.508	741.825
							Q _{ult} (kN)=	6497

Test-3 Çelikhane

Testin yapıldığı yerde mevcut ÇBH-13 sondajına göre zemin yapısı 1.0m kalınlığındaki dolgu, altında yer alan 5.5m kalınlığındaki çakıl arabantlı siltli kil (CL), altında 10.5m kalınlığındaki siltli çakıllı kum, 5.0m kalınlığındaki siltli kil ve 22.0m derinlikten itibaren çakıl blok arabantlı siltli kil tabakalarından oluşmaktadır. Şekil-3'te ÇBH-13 sondajında kaydedilen SPT-N₆₀ değerlerinin derinlikle değişimi gösterilmektedir. Geri analizde emniyetli tarafta kalmak amacıyla mevcut 1.0m kalınlığındaki dolguda da kil ile aynı miktarda çevre sürtünmesi olduğu kabul edilmiştir. Kazık yüklemesi sırasında 8,000kN test yükünde göçme olmamıştır. Test yükü olan 8,000kN'de kalıcı deplasmanların 11.0mm mertebelerinde olmasına rağmen uç direncinin tam olarak mobilize olduğu düşünülmüş, göçme yükü olarak test yükü (800ton=8000kN) alınmıştır. ÇBH-13 sondajına göre 30m kazığın geri analizinde Tablo-6'da verilen profil kullanılmış ve yapılan hesaplar Tablo-6'da sunulmuştur.



Şekil-3 ÇBH-13 Sondajı SPT-N Değerlerinin Derinlikle Değişimi ve Kazık Profili

Tablo-6 Test-3 için Kullanılan Zemin Profili ve Kazık Kapasite Hesabı

ZEMİN TİPİ	ZEMİN SINIFI	KALINLIK (m)	SPT-N ₆₀	β	K	q _s (kPa)	Q _s (kN)	Q _p (kN)
KİL	CL	6.5	13	4.3	-	55.9	1141	
KUM	SM	10.5	30	3.3	-	99	3264	
KİL	CL	5	18	4.3	-	77.4	1215	
KİL	CL	3	31	4.3	45	133.3	1256	1095

$$Q_{ult} \text{ (kN)} = 7971$$

6. SONUÇLAR

Tablo-1'den görülebileceği için kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için değişik araştırmacılar tarafından verilen korelasyon katsayıları çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Her üç testte elde edilen sınır taşıma gücü değerlerine karşılık gelen β değerleri Tablo-7'de özetlenmektedir. Buna göre üç testte de kil için elde edilen β değerleri $\beta=4.3-4.7$, kum için $\beta=3.3$ 'tür. Bu değerler killer için Shioi ve Fukui,1982, kumlar için Wright ve Reese,1979 tarafından verilen ve korelasyonların üst sınırını oluşturan β değerlerine yakındır. Bununla beraber tasarımda, sahadaki alüvyonel yapının getirdiği belirsizlikler nedeniyle aşağıda verilen daha düşük β değerlerinin kullanılması yoluna gidilmiştir.

Tablo-7 Proje Başlangıcında Yapılan Yükleme Deneyleri Geri Analizinden Elde Edilen Sürtünme Katsayısı (β) Değerleri

TEST NO	ÇAP (cm)	BOY (m)	GERİ ANALİZ SONUCUNDA ELDE EDİLEN β DEĞERİ		TEST YÜKÜ (kN)	KAZIK GÖÇME DURUMU	TEST YÜKÜNDE DEPLASMAN (mm)	KALICI DEPLASMAN (mm)
			KİL	KUM				
1 (Haddane)	80	20	4.5	3.3	8,000	YOK	6.02	2.45
2 (Çelikhane)	100	30	4.7	-	6,500	VAR	82.04	43.02
3 (Çelikhane)	100	25	4.3	3.3	8,000	YOK	17.28	11.26

$$q_s = \beta \times N_{60} \text{ (kPa)}$$

($\beta=2.81$ Kumlu-Çakıllı Zeminler)

($\beta=3.0$ Killi Zeminler)

$$q_p = 64 \times N_{60} \quad \text{Kumlu-Çakıllı Zeminler}$$

$$q_p = 45 \times N_{60} \quad \text{Killi Zeminler}$$

KAYNAKLAR

- Barker, R.M., Duncan, J.M., Rojiani, K.B., Ooi, P.S.K., Tan, C.K., Kim, S.G., (1991), "Manuals for The Design of Bridge Foundations" Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program Report No. 343.
- Clayton, C.R.I. (1995), "The Standard Penetration Test(SPT):Methods and Use", Construction Industry Research Information Association, CIRIA, Report 143.
- GEA Geoteknik Mühendislik Mimarlık (2020), "İskenderun Organize Sanayi Bölgesi Demir Çelik Tesisleri Projesi Kazık Yükleme Deney Raporu-1"
- GEA Geoteknik Mühendislik Mimarlık (2020), "İskenderun Organize Sanayi Bölgesi Demir Çelik Tesisleri Projesi Kazık Yükleme Deney Raporu-2"
- GEA Geoteknik Mühendislik Mimarlık (2020), "İskenderun Organize Sanayi Bölgesi Demir Çelik Tesisleri Projesi Kazık Yükleme Deney Raporu-3"
- McGregor, J.A., Duncan, J.M. (1998) "Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice", Virginia Polytechnic Institute and State University, Center for Geotechnical Practice and Research.