

# **DARBELİ KIRMATAŞ KOLON (DKK) YÜKLEME TESTİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **PERFORMANCE ASSESSMENT OF RAMMED AGGEREGATE PIERS**

**Ece KURT BAL<sup>1</sup>**

**Kemal Önder ÇETİN<sup>2</sup>**

### **ABSTRACT**

Within the confines of this paper, monitored performance of rammed aggregate piers (RAP) is compared with the predictions by empirical model studies. The load tests were performed on 19 of the constructed piers in Turkey. Site investigations revealed that the underlying soil profiles is mostly composed of normally consolidated, low-high plasticity, soft to stiff clay (CL-CH) extending to a depth ~ 15m from existing ground level. Below this layer, medium dense to dense gravelly, clayey, silty sand / hard greywacke / very stiff to hard clay are located. The results of impact pier (IP) load tests were summarized in the form of mobilized capacity/subgrade modulus and stiffness versus representative SPT N value of the native soil curves. Also a normalization scheme was introduced which provided a dimensionless and more precise response. Consistent with theoretical expectation, normalization of the mobilized resistance by length of the pier produce better predictions with the observed straining response. Hence, impact piers are concluded to mostly resist to applied load through skin friction/adhesion mechanism. At relatively smaller settlements/strains, mobilized resistance is less sensitive to the shear strength characteristics of the native soil. With increased strain levels, an increase in representative SPT N values produce a higher load capacity for impact piers. Deformation (stiffness) responses of IPs are less predictable than their capacity and involves significant level of uncertainty. For the soil sites studied, modulus of subgrade varies in the range of 30 to 100 MN/m<sup>3</sup> for settlement range of 0.6 – 5.0 cm (1/4 to 2 inches). SPT N values are judged to be poor parameter to predict deformation response of piers. E modulus of piers decrease with increasing mobilized settlements and contrary to expectation, is judged to be not very sensitive to variations in SPT N values in the range studied. Even though some of the conclusions are trivial, with increasing number of field performance test data as introduced in this manuscript, a performance based design framework could be developed, which is the continuing intent of the authors in their future studies.

---

<sup>1</sup> İnş. Yük. & Jeof. Müh., Sentez İnşaat Yazılım Sanayi ve Tic. Ltd. Şirk., ekurt@sentezinsa.com.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, o Cetin@metu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında, darbeli kırmataş kolon (DKK) performansının deneysel çalışmalar ile değerlendirilmesi konu edilmiş olup, altı farklı çalışma bölgesinde imal edilen 19 kolon üzerinde yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Zemin araştırma çalışmaları, yaklaşık 15m derinliklere kadar normal konsolide, düşük-yüksek plastisiteli, yumuşak – orta katı kıvamlı CL-CH birimlerin yer yer siltli kil – killi silt yapısında olduğunu göstermiştir. Bu tabakanın altında ise, orta sıkı – sıkı çakıllı, killi, siltli kum / sağlam grovak / çok katı – sert kil birimlerin devam ettiği görülmüştür. Impact darbeli kırmataş kolon yükleme testi sonuçları, doğal zemin için elde edilmiş temsili SPT N değerlerine karşılık mobilize kapasite / mobilize rijitlik grafiğinin yorumlanmasına dayandırılmıştır. Ayrıca, çalışmalar içerisinde daha duyarlı sonuç verdiği düşünülen normalizasyon yaklaşımına yer verilmiştir. Kolon boyu ile normalize edilen kolon direncinin teorik kabuller ile uyumlu olduğu görülmüş olup, Impact DKK elemanlarının, uygulanan yüke uç direncinin aksine yüzey sürtünmesi / adezyon ile karşı geldiği söylenebilir. Temsili SPT N yaklaşımı için Impact DKK elemanlarında stress seviyesinin artması ile, yük kapasitesinde artış olduğu görülmüştür. Impact DKK elemanlarının rijitlik tahmininin, kapasitelerinin tahminine göre daha doğru sonuçlar verdiği söylenebilir. Saha çalışmaları sonucunda 0.6 cm (1/4 inches) ile 5.0 cm (2 inches) mertebelerindeki oturma değerleri için rijitlik değerlerinin 30 ile 100 MN/m<sup>3</sup> arasında değiştiği söylenebilir. SPT N değerlerinin kolon deformasyon davranışının tahmininde zayıf bir korelasyon üretmesine rağmen, SPT N<sub>ort.</sub> ile SPT N<sub>tem.</sub> değerleri karşılaştırıldığında N<sub>tem.</sub> ile korelasyonun nispeten daha küçük saçılımlar gösterdiği söylenebilir. Kolonun elastisite modülünün artan oturma değerleri için azaldığı ve çeşitli SPT N değerleri için hassas olmadığı görülmüştür. Bazı sonuçların basit ve beklenen davranışı teyit eder mahiyette olduğu bilinmesine rağmen, yazarların uzun vadede amacı bu çalışma kapsamında sunulan arazi testlerinin arttırılması sonraki performansa dayalı yeni bir tasarım yöntemi geliştirmektir.

*Anahtar Kelimeler:* Darbeli kırmataş kolon, yükleme testi, rijitlik, oturma

## 1. GİRİŞ

Kentsel yapılaşma kapsamında ulaşım, hidrolik ve endüstriyel yapılara ihtiyacın artması ile, son yirmi yıldır zemin iyileştirme uygulamalarına ihtiyaç önemli derecede artış göstermiştir. Bu kapsamda, derin temeller ve sıkışabilir zeminin kazılarak yerine daha iyi nitelikli malzeme doldurulması gibi mevcut alternatif yöntemler arasında darbeli kırmataş kolon elemanları da yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, çapı 50 cm olan muhafazalı (Impact yöntemi ile) imal edilmiş darbeli kırmataş kolon elemanları konu edilmiş olup, bu kolonlar üzerinde uygulanan tam ölçekli yükleme testlerinin sonuçları tartışılmıştır. Bu amaçla, Impact yöntemi ile altı farklı bölgede imal edilen 19 adet darbeli kırmataş kolon üzerinde yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Yükleme testi sonuçları tartışılmadan önce, darbeli kırmataş kolon elemanlarının imalat yöntemine ve çalışılan bölgeler için temsili zemin profillerine kısaca yer verilmiştir.

## 2. DARBELİ KIRMATAŞ KOLON (DKK) İMALATI

Bu çalışma kapsamında 19 farklı lokasyonda Impact sistemi ile darbeli kırmataş kolon (DKK) imalatı gerçekleştirilmiş olup, Impact elemanları için imalat adımları aşağıda özetlenmiştir:

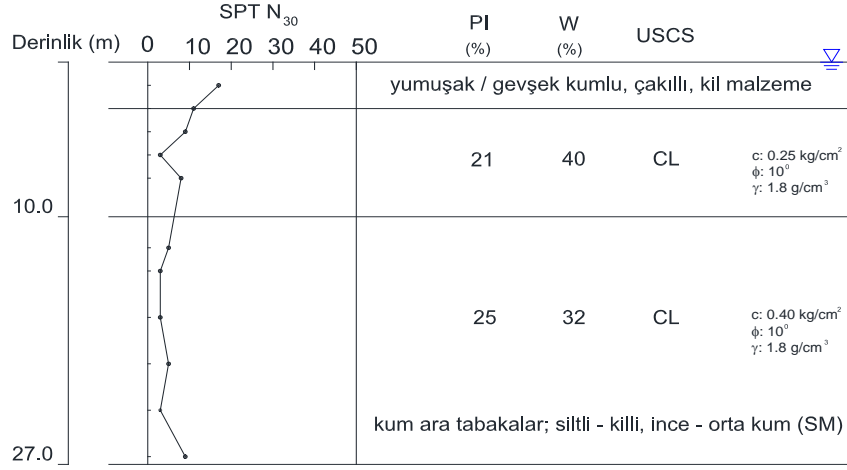
- (1) alt ucu kapalı olan 36 cm çaplı mandrel itme kuvveti ve vibrasyonlu darbe ile tasarım derinliğine kadar indirilir (Şekil 1a).
- (2) mandrel ve hazne kırmataş ile doldurulur (Şekil 1b).
- (3) 100 cm yukarı / 67 cm aşağı itme yöntemi ile düşey vibrasyon uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir (Şekil 1c). 100 cm yukarı / 67 cm aşağı itme yöntemi ile sıkıştırma gerçekleştirildiğinde 36 cm olan çap, 50 cm çapa genişler.



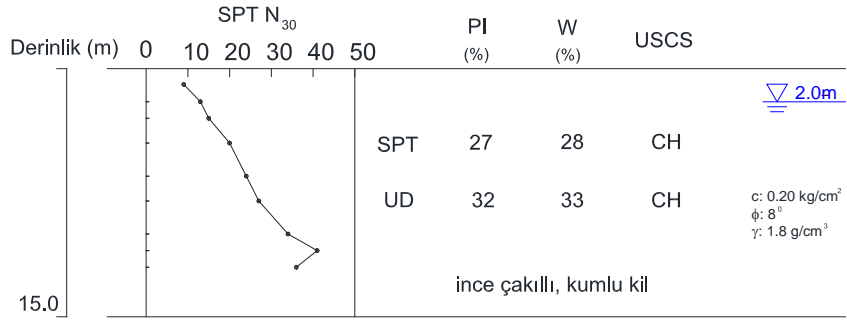
Şekil 1. Impact Sistemi ile Kolon İmalatı

## 3. ZEMİN ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Zemin araştırma çalışmaları kapsamında, 25 – 40 m derinliklere ulaşan sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çeşitli derinliklerde standart penetrasyon testleri yapılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Şekil 2’ de Bursa çalışma sahası için, Şekil 3’de ise Gaziantep çalışma sahası için temsili zemin profili gösterilmiştir. Örselenmiş ve örselenmemiş numunler üzerinde, indeks ve mukavemet deneyleri uygulanmıştır. Zemin araştırma çalışmaları, temsili zemin profilinin yaklaşık 15m derinliklere kadar normal konsolide, düşük-yüksek plastisiteli, yumuşak – orta katı kıvamlı CL-CH birimlerin yer yer siltli kil – killi silt yapısında olduğunu göstermiştir. Bu tabakanın altında ise, orta sıkı – sıkı çakıllı, killi, siltli kum / sağlam grovak / çok katı – sert kil birimlerin devam ettiği görülmüştür. Yer altı su seviyesinin ise 0.0 – 5.0 m derinliklerde olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Temsili Zemin Profili – Bursa



Şekil 3. Temsili Zemin Profili - Gaziantep

### 3. MODULUS YÜKLEME TESTİ

Arazi yükleme testleri Çizelge 1’ de özetlenen prosedür doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yükleme kademelerine % 5 artış ile başlanmış olup, bu artış tasarım yükünün % 150 ‘sine kadar devam ettirilmiştir. Daha sonra boşaltma kademeleri ile devam edilerek, ilgili testler bitirilmiştir.

Çizelge 1. Test Prosedürü

No	Zaman (dk.) (min. / max.)	Yük (%)	No	Zaman (dk.) (min. / max.)	Yük (%)
0	15 / 60	5	8	15 / 60	133
1	15 / 60	16	9	15 / 60	150
2	15 / 60	33	10	N/A	100
3	15 / 60	50	11	N/A	66
4	15 / 60	66	12	N/A	33
5	15 / 60	83	13	N/A	0
6	15 / 60	100	14	N/A	100
7	60 / 240	116 *	15	N/A	0

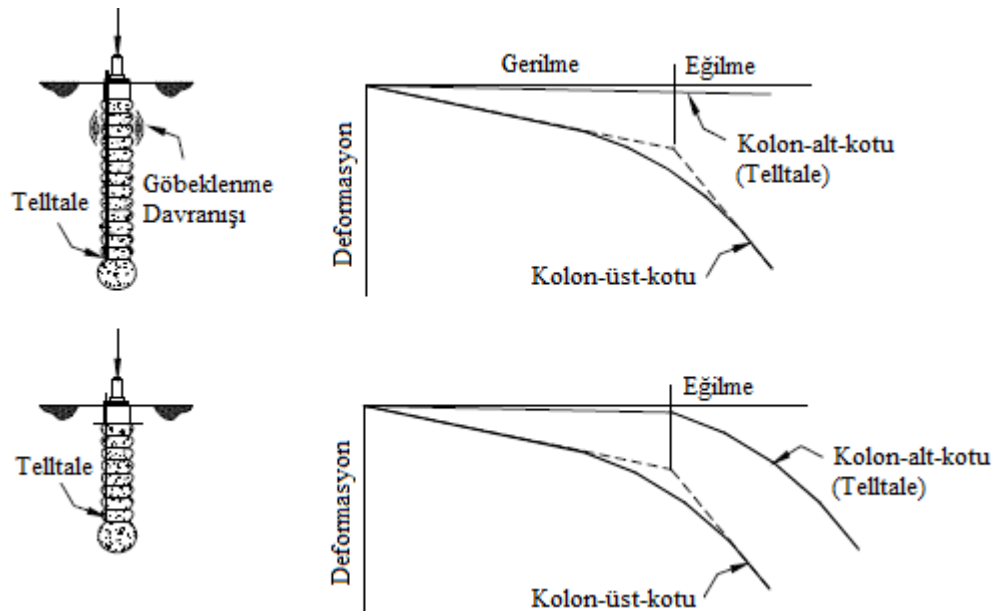
\* Kolon üzerindeki maksimum yükün % 115’ inde, oturma hızı 0.254mm/saat olduğu takdirde yükleme okumaları önerilen maksimum sürede (60dk) sonlandırılıp, bir sonraki kademeye geçilir, aksi halde önerilen maksimum süreye (4 saat) kadar devam edilir.

Yükleme deneyi, ASTM D-1143 standardında tanımlanmış olan kazıkların basınç altındaki davranışlarını ölçen test prosedürüne benzer şekilde yapılmaktadır. Test yükü direkt olarak kolon üzerine uygulanabildiği gibi, zemin ile kolonu içeren hücre üzerine de uygulanabilir. Şekil 4’ de yükleme testi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4. Modulus Yüklemesi Testi

Impact darbeleri kırılma kolon elemanları üzerinde gerçekleştirilen yüklemesi testlerinde, kolonun farklı kotlarına yerleştirilen çubuk (tell-tale) elemanlar kullanılır (Brian et al., 2006). Çubuk elemanı, yatay çelik plaka üzerine yerleştirilen ve pvc boru ile muhafaza edilmiş iki adet demir çubuktan oluşmaktadır. Yüklemesi testi sırasında kolon üst kotunda ve tell-tale plakasında oluşan deplasman kayıt altına alınır. Yüklemesi testleri kolonun taşıma kapasitesi ve rijitliğini bulma amacına yönelik olarak gerçekleştirilir. Bu test, tasarım aşamasında kabul edilen rijitlik parametresinin doğruluğunu teyit etme amacına yönelik olarak gerçekleştirilmiş olsada kolonun zemin içinde davranışının nasıl olduğunu anlamamıza yardımcı olur. Bu davranış kolon alt kotuna yerleştirilen tell-tale plakasında oluşan deplasmanın ölçülmesi ile anlaşılır. Zemin koşullarına ve kolon boyuna bağlı olarak, uygulanan yük altında farklı deplasman modları gözlemlenebilir. Bir DKK, tell-tale elemanı ile donatıldığında kolonda oluşan deplasman modu, yük – oturma eğrisinin davranışı ile tanımlanabilir (Şekil 5).



Şekil 5. Darbeli Kırılma Kolon Yüklemesi Deneyi

Yumuşak zeminlerde imal edilen kolonlarda tipik deformasyon modları: göbeklenme (bulging) ve uç (tip deflection) yenilmesinden oluşmaktadır (Wissmann et al., 2001). Göbeklenme ve uç yenilmesine ilişkin grafikler sırası ile Şekil 5’ de gösterilmiştir. Yükleme testleri, her ne kadar kolonun kalite kontrolünü ve zemin ile kolon etkileşimini anlamamıza yardımcı olsada, grup yükleme koşulları düşünüldüğünde, tekil kapasite ve rijitlik parametrelerinin doğrudan kullanımı yanıltıcı olabilir. Ayrıca, eğer tasarım yükleme koşulları yükleme testi sırasında uygulanan noktasal yüklemeden farklı ise (örneğin: geniş ve uzun dolgu yükleri), tekil kolon davranış parametrelerinin yükleme koşullarındaki farklılık için düzeltilmesine gerek duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise, çeşitli yüklemeler altında kolonların davranışı incelenmiş olup, kolon yükleme testi ile tasarım yüklemesi arasındaki farkın doğrulanması araştırılmıştır.

#### 4. YÜKLEME TESTİ SONUÇLARI

Çalışmada, yumuşak – katı kil zeminlerde imal edilmiş 19 tekil kolon üzerinde, taşıma kapasitesinin ve rijitliğinin belirlenmesine yönelik olarak yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Bitmiş çapı 50 cm olan ve boyları 8.0 m ile 16.5 m arasında değişim gösteren Impact darbeli kırmataş kolon elemanları, altı farklı çalışma alanında imal edilmişlerdir. İlerleyen bölümlerde de tartışılacağı üzere bu çalışma kapsamında, kolon boyunun kapasite ve rijitlik değerleri üzerindeki etkisi normalize edilerek araştırılmıştır. Kohezif zeminlerin mukavemetinin belirlenmesinde iki farklı temsili SPT N elde etme yöntemi (ağırlıklı ve basit ortalama) kullanılmıştır.

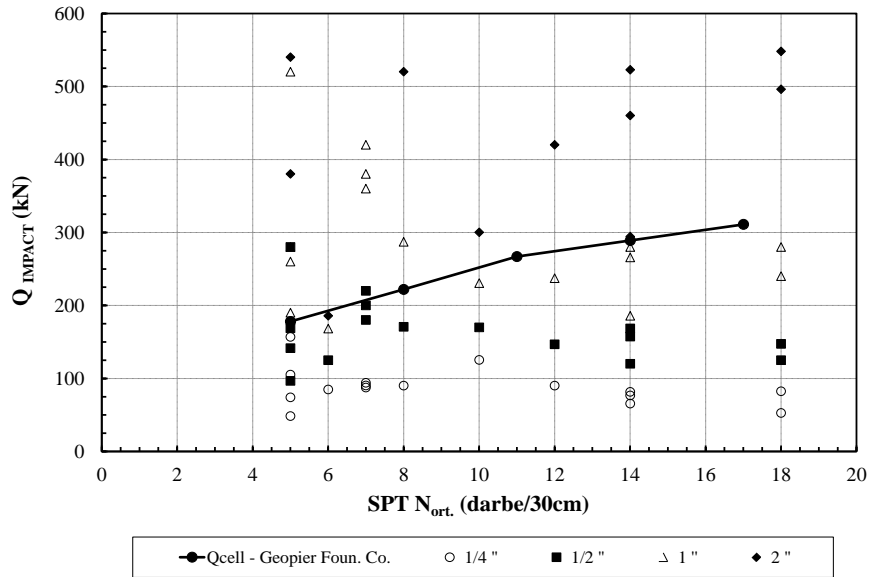
Çizelge 2. SPT N Değerleri, DKK Boyları ve Çalışma Sahaları

No	Çalışma Sahası	N <sub>tem.</sub>	N <sub>ort.</sub>	DKK Boyu (m)
1	Afyon	6	5	16
2	Afyon	5	5	8
3	Yozgat	5	6	10
4	Afyon	3	7	8
5	Afyon	4	7	11
6	Afyon	3	7	16
7	Yozgat	8	8	15
8	Yozgat	11	10	10
9	Istanbul	12	12	10
10	Yozgat	13	14	9
11	Yozgat	13	14	9
12	Yozgat	14	14	9
13	Sivas	9	23	10
14	Gaziantep	17	18	7
15	Gaziantep	17	18	7.5
16	Bursa	6	5	16.5
17	Bursa	6	5	16.5
18	Bursa	3	2	16.5
19	Bursa	3	2	16.5

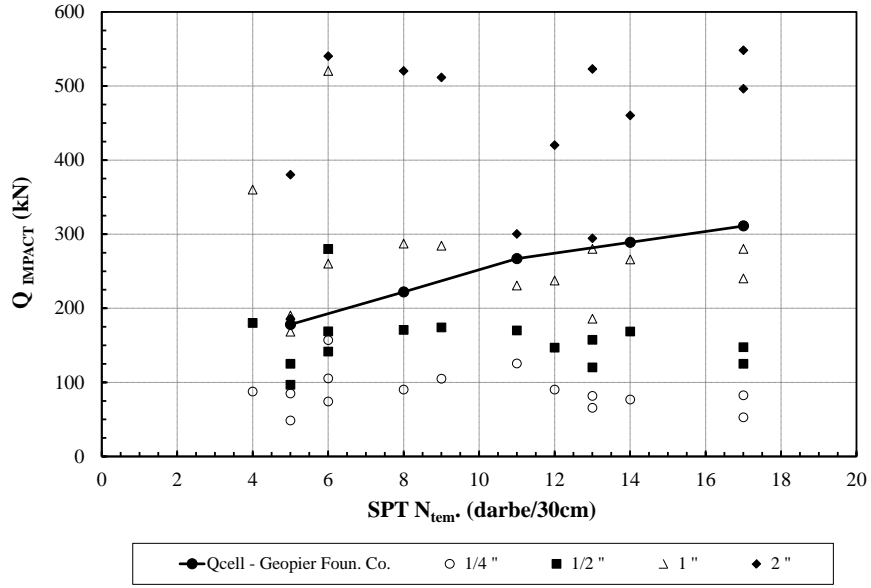
$N_{ort.}$  değerleri, kolon boyunca karşılık gelen derinlikteki eşit ağırlıklı SPT N değerlerinin ortalaması kullanılarak elde edilmiştir. Kolon ile zemin arasındaki sürtünmenin yüzeye yakın kesimlerde daha çabuk mobilize olduğu bilindiğinden ağırlıklı ortalama yönteminde yüzeye yakın SPT N değerlerine daha fazla söz hakkı verilerek, daha açık ifade ile zemin yüzeyinde 1 olan ağırlık faktörü, kolon alt kotunda 0 olacak şekilde doğrusal azaltılarak kullanılmıştır. Bu etki ayrıca, çeşitli derinliklere yerleştirilen tell-tale plakaları ile incelenmiştir. Ağırlıklı ortalama kullanılarak elde edilen temsili SPT N değerleri ( $N_{tem.}$ ) olarak ifade edilmiş ve basit ortalama ile elde edilen,  $N_{ort.}$  değerleri ile birlikte, Çizelge 2’ de özetlenmiştir.

#### 4.1 Mobilize Kapasite

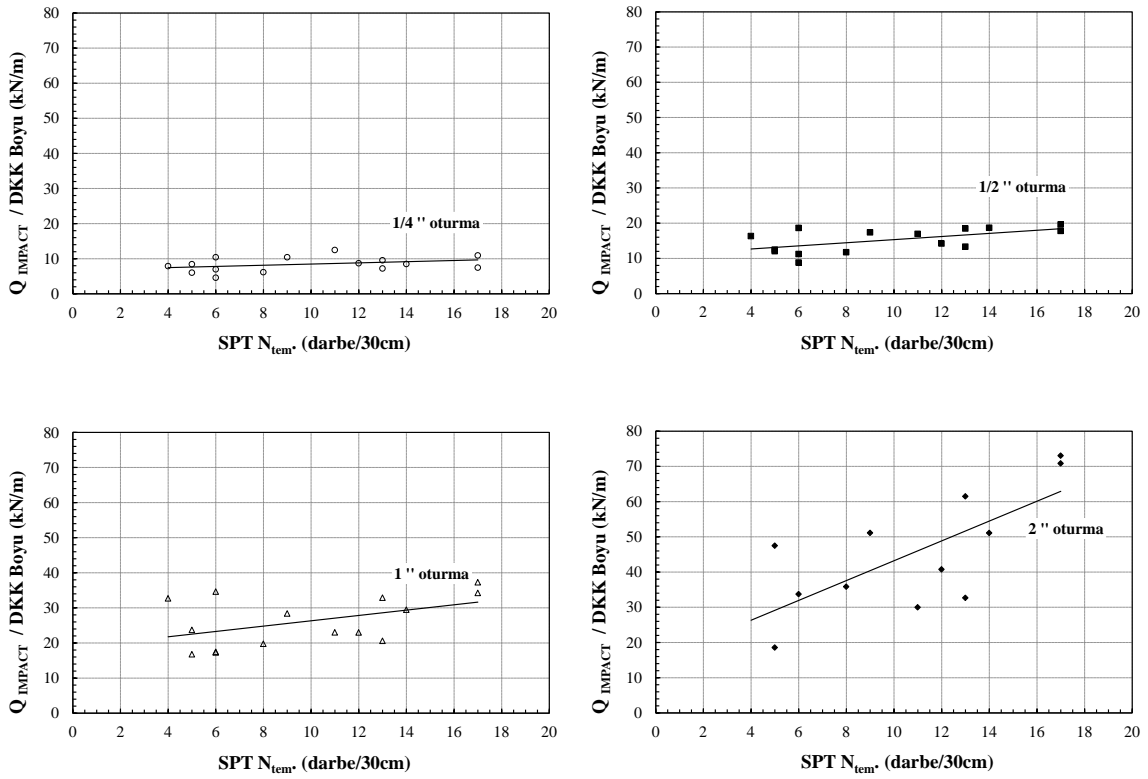
Tüm testler için yük – oturma grafikleri kullanılarak, 0.6 cm (1/4 inches), 1.27 cm (1/2 inches), 2.54 cm (1 inch) ve 5.0 cm (2 inches) oturma miktarlarına karşılık gelen kolon üstündeki gerilme ( $q_{IMPACT}$ , kPa) değerleri okunmuştur. Kolon üzerindeki gerilmeyi kolon yüküne çevirmek için ( $Q_{IMPACT}$ , kN), gerilme değerleri kolon alanı (örneğin: 50 cm çaplı Impact DKK elemanının alanı) ile çarpılmıştır. Kolon üzerine uygulanan yük noktasal olduğundan bazı basit yaklaşımlar kullanılabilir. Şekil 6 ve Şekil 7’ de, çeşitli oturma değerleri için elde edilen kolon üzerindeki yüke karşılık gelen SPT  $N_{ort.}$  – SPT  $N_{tem.}$  grafikleri gösterilmiştir. Ayrıca, Geopier teknik tasarım klavuzunda (Fox and Cowell, 1998) önerilen değerler karşılaştırma amacıyla, kalın çizgi ile gösterilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’ de verilen veriler ışığında farklı izin verilebilir oturma değerleri için farklı kolon kapasite değerlerinin kullanılması gerektiği aşikardır.



Şekil 6.  $Q_{IMPACT}$  – DKK Üzerindeki Yük – SPT  $N_{ort.}$



Şekil 7.  $Q_{IMPACT}$  – DKK Üzerindeki Yük –  $SPT N_{tem}$ .



Şekil 8.  $Q_{IMPACT} / DKK$  Boyu –  $SPT N_{tem}$ .

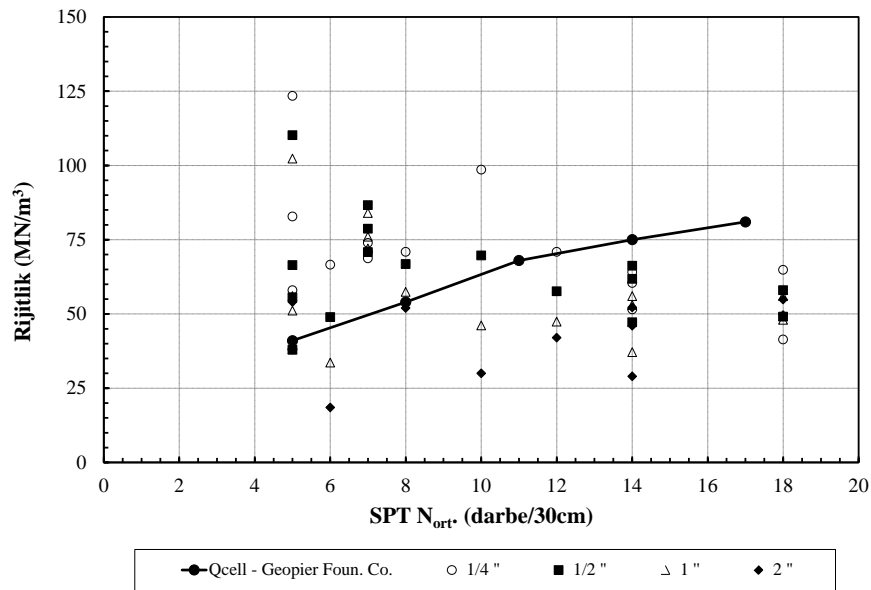
Geopier teknik tasarım klavuzunda sunulan kapasite değerlerinin, arazi çalışmaları sonucu 1.27 - 2.54 cm (1/2 – 1 inch) oturmaya karşılık gelen değerler (Fox and Cowell, 1998) olduğu unutulmamalıdır. İlgili şekiller incelendiğinde, kolon boyu ile normalize edilen yaklaşımın teorik kabuller ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sonuçta, Impact DKK elemanlarının, uygulanan yüke uç direncinin aksine yüzey sürtünmesi / adezyon ile karşı



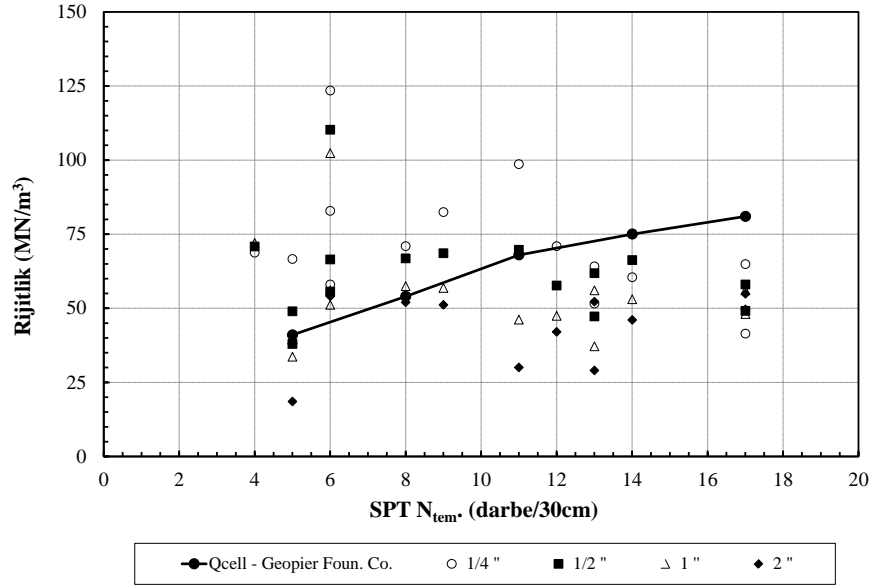
geldiği söylenebilir. Ayrıca, temsili SPT N yaklaşımı için Impact DKK elemanlarında stres seviyesinin artması ile yük kapasitesinde artış olduğu görülmüştür (Şekil 8).

#### 4.2 Mobilize Olmuş Rijitlik

Mobilize rijitlik, 0.6 cm, 1.27 cm, 2.54 cm ve 5.0 cm otuma miktarlarına karşılık gelen düşey gerilme – otuma eğrisinin eğimi olarak açıklanabilir. Mobilize rijitliğe karşı SPT  $N_{ort.}$  ve SPT  $N_{tem.}$  değerleri farklı oturma değerleri için Şekil 9 ve Şekil 10’ da gösterilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla yönelik olarak Geopier teknik tasarım klavuzunda önerilen değerler (Fox and Cowell, 1998) aynı şekillerde sunulmuştur. İlgili şekillerden açıkça görülebileceği gibi, Impact DKK elemanlarının rijitlik tahmininin, kapasitelerinin tahminine göre daha doğru sonuçlar verdiği söylenebilir. Tahminlerdeki belirsizlik önemli seviyelerde olmasına rağmen, saha çalışmaları sonucunda 0.6 cm ile 5.0 cm mertebelerindeki oturma değerleri için rijitlik değerlerinin 30 ile 100 MN/m<sup>3</sup> arasında değiştiği söylenebilir. Son olarak, SPT N değerlerinin kolon deformasyon davranışının tahmininde zayıf bir korelasyon üretmesine rağmen, SPT  $N_{ort.}$  ile SPT  $N_{tem.}$  değerleri karşılaştırıldığında  $N_{tem.}$  ile korelasyonun nispeten daha küçük saçılımlar gösterdiği söylenebilir. Sonuçta  $N_{tem.}$  değerleri, kolonun kapasitesinin ve rijitliğinin tahmininde kullanılabilir bir parametre alternatifi olarak kullanılabilir.

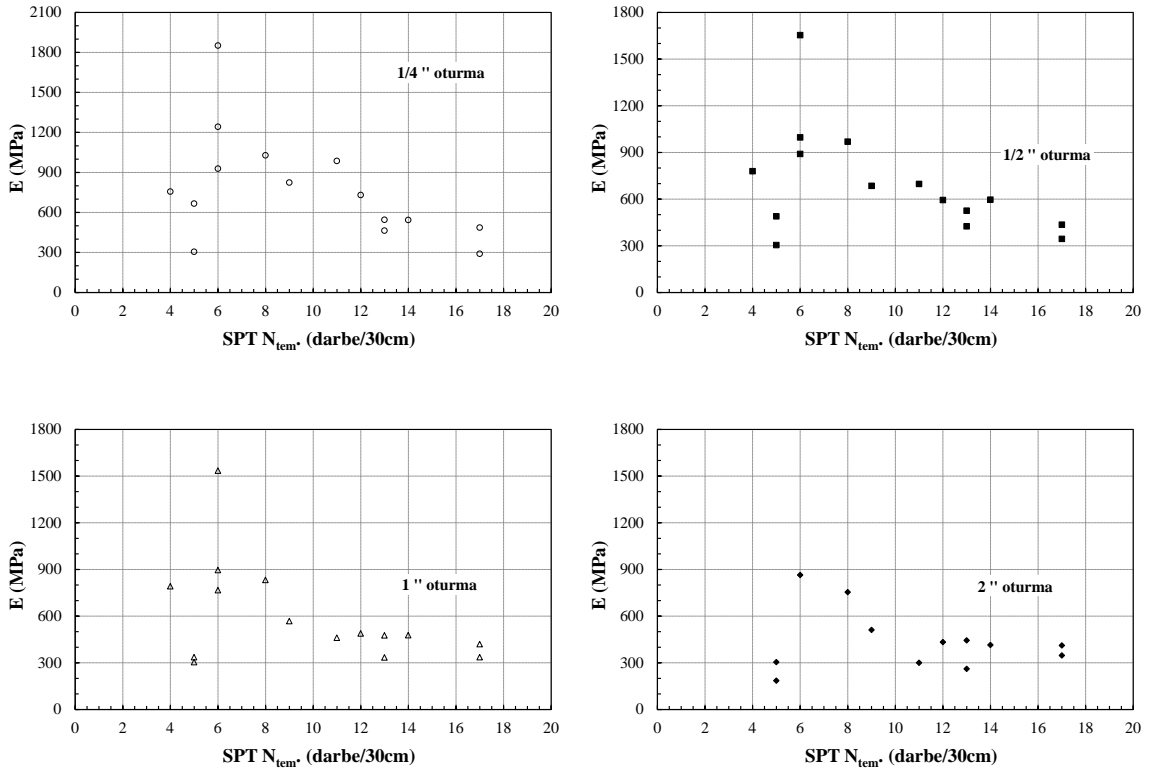


Şekil 9. Rijitlik - SPT  $N_{ort.}$



Şekil 10. Rijitlik - SPT  $N_{tem}$ .

Ayrıca, saha çalışmaları sonrasında elde edilen eğriler yardımı ile gerilme seviyelerinin ortalama stres değerleri ile normalize edilmesi (örneğin: oturma / kolon boyu), düşey mobilize rijitlik,  $E - SPT N_{tem}$  grafikleri incelenmiştir. Bu şekillerde sunulduğu üzere, kolonun elastisite modülünün artan oturma değerleri için azaldığı ve üzerinde çalışılan çeşitli SPT N değerleri için hassas olmadığı görülmüştür.



Şekil 11. E - SPT  $N_{tem}$ .

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, 19 adet kolon üzerinde uygulanan tam ölçekli arazi yükleme testi sonuçları kapasite ve deformasyon açısından analiz edilmiş olup, Impact darbeli kırmataş kolon elemanları aşağıdaki aşamalar ile imal edilmiştir:

- (1) alt ucu kapalı olan 36 cm çaplı mandrel itme kuvveti ve vibrasyonlu darbe ile tasarım derinliğine kadar indirilir (Şekil 1a).
- (2) mandrel ve hazne kırmataş ile doldurulur (Şekil 1b).
- (3) 100 cm yukarı / 67 cm aşağı itme yöntemi ile düşey vibrasyon uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir (Şekil 1c). 100 cm yukarı / 67 cm aşağı itme yöntemi ile sıkıştırma gerçekleştirildiğinde 36 cm olan çap, 50 cm çapa genişler.

Yükleme testi, ASTM D-1143 standardında tanımlanmış olan kazıkların basınç altındaki davranışlarını ölçen test prosedürüne benzer şekilde yapılmaktadır. Test yükü direkt olarak kolon üzerine uygulanabildiği gibi, zemin ile kolonu içeren hücre üzerine de uygulanabilir. Arazi yükleme testleri sırasında yükleme kademelerine % 5 artış ile başlanmış olup, bu artış tasarım yükünün % 150' sine kadar devam ettirilmiştir. Ayrıca, Impact elemanları üzerinde gerçekleştirilen yükleme testlerinde, kolonun alt kotuna yerleştirilen tell-tale elemanları kullanılmıştır (Brian et al., 2006).

Impact darbeli kırmataş kolon yükleme testi sonuçları, SPT  $N_{tem}$  değerlerine karşılık mobilize kapasite/mobilize rijitlik değerleri kullanılarak tartışılmış olup, elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kolon boyu ile normalize edilen kolon direncinin teorik kabuller ile uyumlu olduğu görülmektedir.
- Impact DKK elemanlarının, uygulanan yüke uç direncinin aksine yüzey sürtünmesi / adezyon ile karşı geldiği söylenebilir.
- Temsili SPT N yaklaşımı için Impact DKK elemanlarında stres seviyesinin artması ile, yük kapasitesinde artış olduğu görülmüştür.
- Impact DKK elemanlarının rijitlik tahmininin, kapasitelerinin tahminine göre daha doğru sonuçlar verdiği söylenebilir.
- Saha çalışmaları sonucunda 0.6 cm ile 5.0 cm mertebelerindeki oturma değerleri için rijitlik değerlerinin 30 ile 100 MN/m<sup>3</sup> arasında değiştiği söylenebilir.
- SPT N değerlerinin kolon deformasyon davranışının tahmininde zayıf bir korelasyon üretmesine rağmen, SPT  $N_{ort}$  ile SPT  $N_{tem}$  değerleri karşılaştırıldığında  $N_{tem}$  ile korelasyonun nispeten daha küçük saçılımlar gösterdiği söylenebilir.
- Kolonun elastisite modülünün artan oturma değerleri için azaldığı ve çeşitli SPT N değerleri için hassas olmadığı görülmüştür (üzerinde çalışılan aralık için).

Bazı sonuçların basit ve beklenen davranışı teyit eder mahiyette olduğu bilinmesine rağmen, yazarların uzun vadede amacı bu çalışma kapsamında sunulan arazi testlerinin arttırılması sonrası performans dayalı yeni bir tasarım yöntemi geliştirmektir.

## **KAYNAKLAR**

- ASTM D1143 – 81 (Reapproved 1994), Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load, Annual Book of ASTM Standards.
- Brian, C.M., FitzPatrick, B.T. and Wissman, K.J., (2006), Specifications for Impact® Rammed Aggregate Pier Soil Reinforcement, Geopier® Foundation Company, Inc., Mooresville, NC.
- Fox, N.S. and Cowell, M.J. (1998), Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual, Geopier Foundation Company Inc., Scottsdale, AZ.
- Wissmann, K.J., Moser, K. and Pando, M.A. (2001), Reducing Settlement Risks In Residual Piedmont Soils Using Rammed Aggregate Pier Elements, Proceedings, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, Virginia.
- Wissman, K.J., (1999), Bearing Capacity of Geopier-Supported Foundation Systems. Technical Bulletin No. 2, Geopier® Foundation Company, Inc., Mooresville, NC.