

FARKLI İMALAT YÖNTEMLERİ İLE TEŞKİL EDİLMİŞ RİJİT KOLONLARIN PERFORMANSLARININ YÜKLEME DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ: VAKA ANALİZİ

FIELD LOAD TESTING OF RIGID INCLUSIONS CONSTRUCTED BY DIFFERENT METHODS: A CASE HISTORY

Ece KURT BAL¹, Lale ÖNER², K.Önder ÇETİN³

ABSTRACT

Within the confines of this manuscript, field load test results of 18 rigid column intrusions constructed at the same site by using different construction methodologies, are presented. Test site is composed of 10 m deep fill layer, followed up to 30 meter depth by soft to medium stiff clay layers. Below 30 m, there exist silty sand and sandy clay layers. As rigid inclusions 60 cm diameter Deep Soil Mixing (DSM) and Jet Grouting (JG) columns, 40 cm diameter GeoConcrete® Columns (GCC) and 50 cm diameter Grouted Impact® Piers (GIP) were installed. The results of field load test performed on these 15 m long columns are presented and comparatively discussed.

Keywords: Rigid inclusions, full scale load test, bearing capacity, stiffness

ÖZET

Bu çalışma kapsamında; Yalova ilinde yer alan tersane sahasında çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri ve farklı çimento miktarları kullanılarak imal edilen 18 adet rijit kolonun arazi yükleme deney sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Saha litolojisi 10 m derinliklere kadar dolgu tabakası, bu tabakanın altında ise 30 m derinliklere kadar gevşek - orta sıkı siltli kum ara tabakalı yumuşak - katı kil birimleri sonrasında ise siltli kum / kumlu kil birimlerinden oluşmaktadır. Çalışma alanında; 60 cm çapında Derin Karıştırma (Deep Soil Mixing - DSM) ve Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting - JG) kolonları, 40 cm çapında Forajsız Donatısız Beton Kolon (GeoConcrete® Column - GCC) ve 50 cm çapında Çimentolu Impact Darbeli Kırmataş Kolon (Grouted Impact® Pier - GIP) imal edilmiştir. 15 m boyunda imal edilen bu kolonlar üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneyi sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rijit kolonlar, tam ölçekli yükleme deneyleri, taşıma kapasitesi, rijitlik

¹ İnş. Yük. & Jeof. Müh., Sentez İnşaat Yaz. San. ve Tic. Ltd. Şti., ekurt@sentezinsaat.com.tr (Sorumlu)

² İnş. Yük. & Jeof. Müh., Sentez İnşaat Yaz. San. ve Tic. Ltd. Şti., loner@sentezinsaat.com.tr

³ Prof. Dr., ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, ocetin@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği projelerinde gevşek veya yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek yapı ve dolgu temelleri altında taşıma gücü yetersizliği, aşırı oturma, sıvılaşma ve duraysızlık gibi mühendislik problemlerinin ortadan kaldırılması amacıyla çeşitli yöntemler ile zeminlerin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Proje ihtiyaçlarını karşılayacak uygun tekniğin seçimi; zeminin tipine, yapı türüne, uygulanacak yükün mertebesine, iyileştirme işlemi için ayrılan zamana ve bütçeye bağlıdır. Mevcut zeminin statik ya da dinamik yöntemler ile sıkıştırılması ya da zeminde yer değiştirmeye neden olan ve olmayan yöntemler ile güçlendirilmesi işlemlerine dayalı zemin iyileştirme teknikleri Tablo 1’ de özetlenmiş olup, bu sistemlerin hangi zeminler için uygun olduğu, avantajları, dezavantajları ya da sınırlayıcı yanlarına literatürde genişçe yer verilmiştir (Townsend ve Anderson, 2004).

Tablo 1. Zemin iyileştirme teknikleri

Sıkıştırma		Güçlendirme	
Statik	Dinamik	Zeminde yer değiştirmeye neden olanlar	Zeminde yer değiştirmeye neden olmayanlar
Kompaksiyon	Dinamik Kompaksiyon (ağırlık düşürme)	Kompaksiyon Enjeksiyonu	Penetrasyon Enjeksiyonu
Düşey Dren	Vibro Kompaksiyon	Jet Enjeksiyonu	Katkı Malzemesi ile Stabilizasyon
Ön Yükleme	Vibro Yerdeğiştirme	Darbeli Kırmataş Kolonlar	Geotekstil - Geosentetikler ile Güçlendirme
-	Vibro Çekiç	Rijit Kolonlar (displacement)	Derin Karıştırma
-	Patlatma	Kum Kolonlar (displacement)	Zemin Dondurma
-	-	-	Rijit Kolonlar (replacement)
-	-	-	Kum Kolonlar (replacement)

Bu bildiri de, rijit kolonlarla zemin güçlendirme/iyileştirme yöntemleri kapsamında zeminde yer değiştirmeye neden olan ve olmayan imalat teknikleri ile teşkil edilen rijit elemanlar konu edilmiştir. Bu kapsamda, Yalova ilinde yer alan tersane sahasının bu çalışma için ayrılmış güney kısmında, çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri ile farklı çimento miktarları kullanılarak her biri 15 m boyunda olan 18 adet kolon imal edilmiş olup, bu kolonlar taşıma kapasitesi ve rijitlik açısından karşılaştırılmıştır. Kolonların performansının anlaşılmasına yönelik olarak 18 adet kolon üzerinde arazi yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yükleme deney sonuçları yük - normalize oturma davranışı şeklinde sunulmuş olup, rijit kolonların imalatı için seçilen yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Derin Karıştırma (Deep Soil Mixing - DSM)
- Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting - JG)
- Forajsız Donatısız Beton Kolon (GeoConcrete® Column - GCC)
- Çimentolu Impact Darbeli Kırmataş Kolon (Grouted Impact® Pier - GIP)

Bildiri kapsamında çalışma alanının tanıtılmasının ardından, kolonların imalat yöntemlerine ilişkin kısa bir bilgi paylaşımı sonrası, yükleme deneyi sonuçları sunulacaktır.

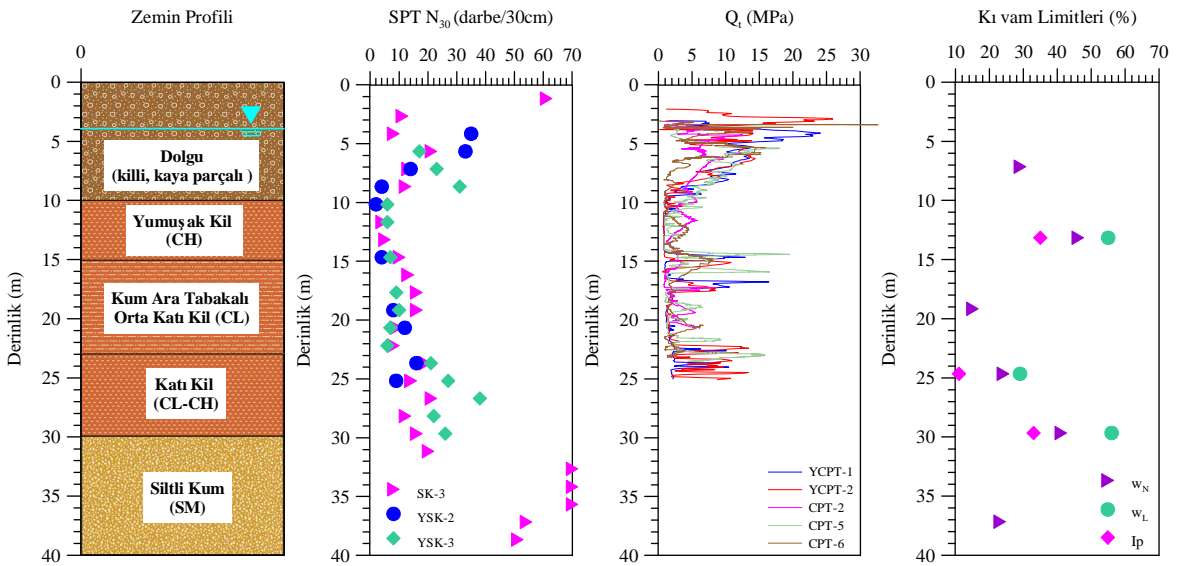
2. ÇALIŞMA ALANI ve ZEMİN PROFİLİ

Bildiride konu edilen ve tersane sahası olarak kullanılan çalışma alanı, Yalova il merkezi ile Topçular İskelesi arasında, Yalova - İzmit Karayolunun kuzeyinde yer almaktadır. Kuzeyinde Marmara Denizi yer alan tersane sahasının bir bölümü denizden kazanılmış dolgu alanından oluşmaktadır. Deneme imalatlarının yapıldığı bölge Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Zemin araştırma çalışmaları kapsamında, 40 m derinliklere ulaşan sondaj çalışmaları, 25 m derinliklere ulaşan CPT çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çeşitli derinliklerde standart penetrasyon testleri yapılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Arazi zemin profili, koni penetrasyon deneyinden elde edilen düzeltilmiş uç direnci (Q_t), standart penetrasyon deneyinden elde edilen N_{30} (darbe/30cm), likit limit (w_L), plastisite indisi (I_p) ve doğal su muhtevası (w_N) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 2’ de gösterilmiştir. Bu verilere göre zemin yüzeyinden 10 m derinliklere kadar dolgu tabakası, bu tabakanın altında ise 30 m derinliklere kadar gevşek - orta sıkı siltli kum ara tabakalı yumuşak - katı kil birimler yer almaktadır. Bu tabakanın altında ise siltli kum/kumlu kil birimler devam etmektedir. Yeraltı su seviyesi 4 m derinlikte ölçülmüştür.



Şekil 2. Temsili zemin profili

Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting - JG)

150 kg/m³ ve 300 kg/m³ dozajlardaki çimento/su oranı 1:1 olan karışımının yüksek basınç altındaki enjeksiyonu ile 15 m boyunda ve 60 cm çapında 4 adet JG kolonu imal edilmiştir. JG kolonlarının imalatında Jet-1 sistemi kullanılmıştır.

Forajsız Donatısız Beton Kolon (GeoConcrete® Column - GCC)

Özel olarak dizayn edilmiş bir mandrel ve darbeleme kafası, dinamik düşey darbeleme enerjisiyle birlikte statik bir güçle zemine çakıldıktan sonra C8 ve C25 sınıfı beton mandrel borusuna doldurulmuş ve basınç kontrolü ile mandrelin zemin üst kotuna kadar geri çekilmesiyle 15 m boyunda ve 40 cm çapında 4 adet GCC imalatı yapılmıştır.

Çimentolu Impact Darbeli Kırmataş Kolon (Grouted Impact® Pier - GIP)

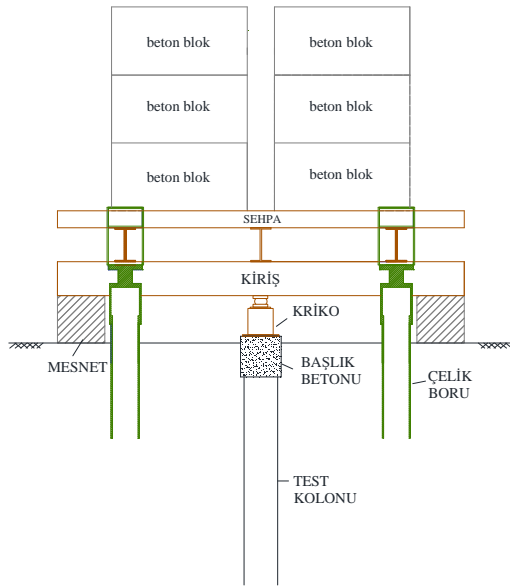
Alt ucu kapalı olan mandrelin baskı ve vibrasyonlu darbe ile tasarım derinliğine kadar indirilmesinin ardından, içi boş olan mandrele önce çimento/su karışımı ve ardından kırmataş doldurulmuş ve 100 cm yukarı / 67 cm aşağı itme yöntemi ile düşey vibrasyon uygulanarak sıkıştırma işlemi zemin üst kotuna kadar uygulanarak 15 m boyunda ve 50 cm çapında 4 adet GIP imalatı tamamlanmıştır.



Şekil 4. Test kolonları imalatından görüntüler a) DSM b) JG c) GCC d) GIP imalatları

4. YÜKLEME DENEYLERİ

Yükleme deneyleri, ASTM D-1143 standardında tanımlanmış olan kazıkların basınç altındaki davranışlarını belirleyen deney aşamalarına benzer şekilde yapılmıştır. Şekil 5' de bu çalışma kapsamında kullanılan yüklemeye deneyi düzeneği gösterilmiş olup, karşı ağırlık olarak 38cm çapındaki dört adet çelik boru ve altı adet 2 m x 2 m x 1 m boyutlarında beton blok kullanılmıştır. Yük ölçüm manometresi, sertifikalı hidrolik kriko ile karşılıklı kalibre edilmiş ve deformasyon enine kirişe bağlanmış üç adet komparatör ile ölçülmüştür. Bu kirişin mesnet noktalarının test kolonuna olan uzaklığının kolon çapının 4 katından daha büyük olması sağlanmıştır. Kolon üst seviyesine, gerilmeleri aktarmak amacıyla 60 cm çapında başlık betonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5. Yüklemeye deneyi düzeneği

Deney yükü doğrudan kolon üzerine uygulanabildiği gibi, zemin ve kolondan teşkil edilen birim hücre üzerine de uygulanabilmektedir. Test okumalarına yükleme durumunda 20 dk - 60 dk, boşaltma durumunda ise 15 dk beklenilerek devam edilmiştir. Tüm test kolonları 200 ton mertebelerine kadar yüklenmeye çalışılmış olup, istenilen yüklemeye ulaşamayan durumlarda ilgili testler sonlandırılmıştır. İlgili kolonlar için yükleme deneyleri sırasındaki yük artışları (ulaşılabilen maksimum yüke kadar) Tablo 3’ de gösterilmiştir.

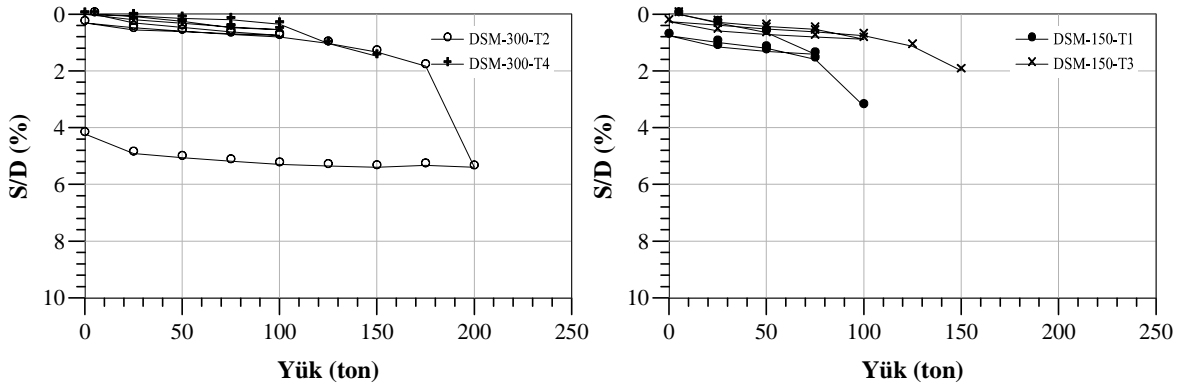
Tablo 3. Test kolonları üzerine uygulanan yük miktarları

DSM				JG				GCC				GIP			
150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
50	100	100	100	50	100	-	-	50	100	100	100	50	100	100	100
25	75	75	75	25	75	-	-	25	75	75	75	25	75	75	75
0	50	50	50	0	50	-	-	0	50	50	50	0	50	50	50
25	25	25	25	25	25	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25
50	0	0	0	50	0	-	-	50	0	0	0	50	0	0	0
75	25	25	25	75	25	-	-	75	25	25	25	75	25	25	25
100	50	50	50	100	50	-	-	-	50	50	50	100	50	50	50
125	75	75	75	125	75	-	-	-	75	75	75	125	75	75	75
150	100	100	100	150	100	-	-	-	100	100	100	150	100	100	100
125	125	125	125	125	125	-	-	-	125	-	125	125	125	125	125
100	150	150	150	100	150	-	-	-	150	-	150	100	150	150	150
75	175	-	-	75	-	-	-	-	175	-	175	75	175	-	175
50	200	-	-	50	-	-	-	-	200	-	200	50	200	-	200
25	175	-	-	25	-	-	-	-	175	-	175	25	175	-	175
0	150	-	-	0	-	-	-	-	150	-	150	0	150	-	150
-	125	-	-	-	-	-	-	-	125	-	125	-	125	-	125
-	100	-	-	-	-	-	-	-	100	-	100	-	100	-	100
-	75	-	-	-	-	-	-	-	75	-	75	-	75	-	75
-	50	-	-	-	-	-	-	-	50	-	50	-	50	-	50
-	25	-	-	-	-	-	-	-	25	-	25	-	25	-	25
-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	0	-	0

5. YÜKLEME DENEYİ SONUÇLARI

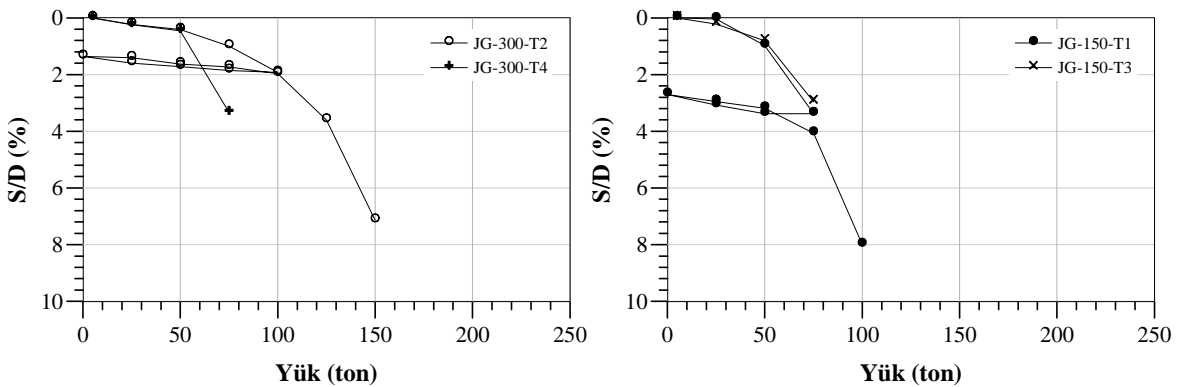
Farklı dozaj miktarları kullanılarak imal edilen 60 cm çapındaki DSM ve JG kolonları, 40 cm çapındaki GCC ve 50 cm çapındaki GIP elemanları üzerinde gerçekleştirilen yükleme testi sonuçlarına göre elde edilen yük - normalize düzlemde oturma ilişkisi Şekil 6 - 9' da gösterilmiştir. Burada, oturma (S), kolon çapı (D) ile normalize edilerek sunulmuştur.

150 kg/m³ çimento dozajı kullanılarak Derin Karıştırma sistemi ile imal edilen kolonların 75 ton yük altında 5,3 mm - 8,5 mm ve 300 kg/m³ çimento dozajı ile imal edilen DSM kolonlarında ise 100 ton altında 3,3 mm - 4,5 mm, 150 ton altında 8 mm - 9mm mertebelerinde deformasyon ölçülmüştür (Şekil 6).



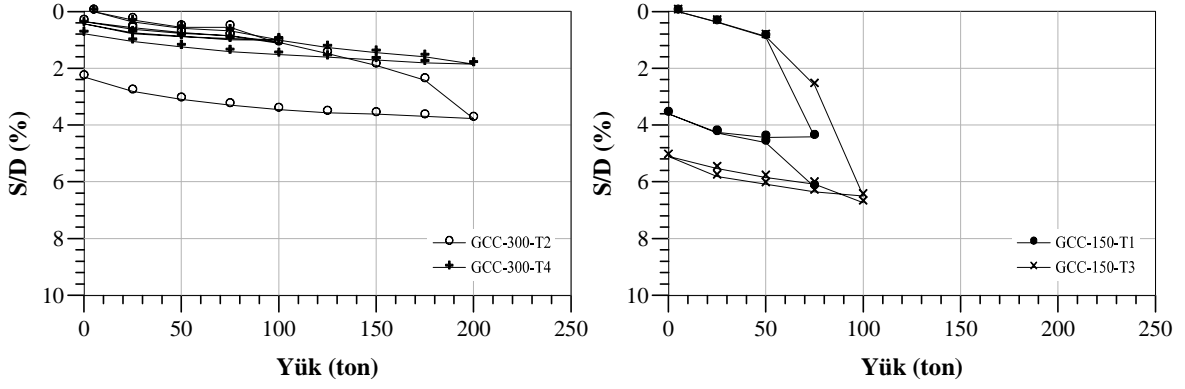
Şekil 6. DSM kolonları yük - normalize düzlemde oturma grafikleri

150 kg/m³ çimento dozajı ve Jet Enjeksiyonu yöntemi ile imal edilen kolonların benzer davranışta olduğu ve 75 ton yük altında 17 mm - 20 mm mertebelerinde deformasyon gösterdiği görülmüştür. 300 kg/m³ çimento dozajı ile imal edilen JG kolonlarından birinde 50 ton yükleme sonrasında 20 mm mertebelere ulaşan deformasyon gözlenmiş, diğer kolonda ise 100 ton altında 11,5 mm mertebelerinde deformasyon ölçülmüştür (Şekil 7).

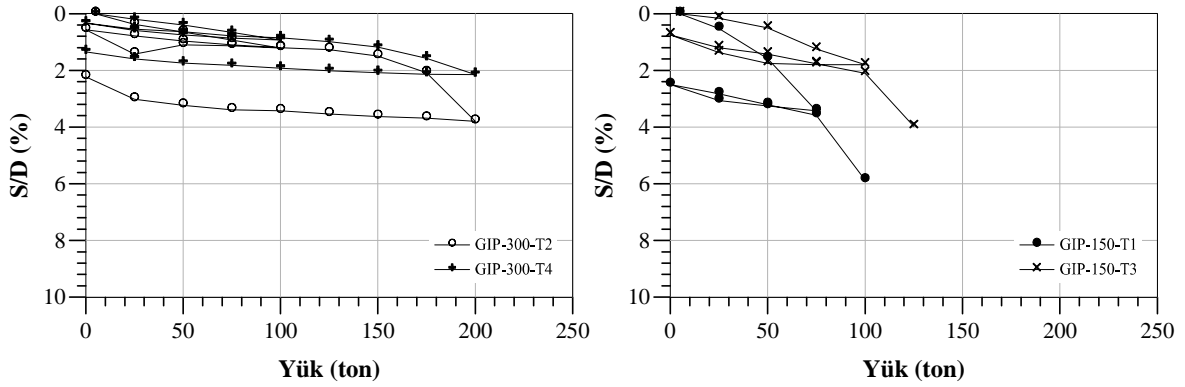


Şekil 7. JG kolonları yük - normalize düzlemde oturma grafikleri

Forajsız Donatısız Beton Kolon sistemi ile imal edilen kolonlardan 150 kg/m³ lük beton ile imal edilen kolonlarda 75 ton yük altında 10 mm - 17 mm mertebelerinde deformasyon gözlenmiştir. 300 kg/m³ lük beton ile imal edilen GCC kolonlarının ise 175 ton mertebelerinde halen lineer davrandığı ve o seviyede ölçülen deformasyon miktarının 6 mm - 9,6 mm mertebelerinde olduğu görülmüştür (Şekil 8).



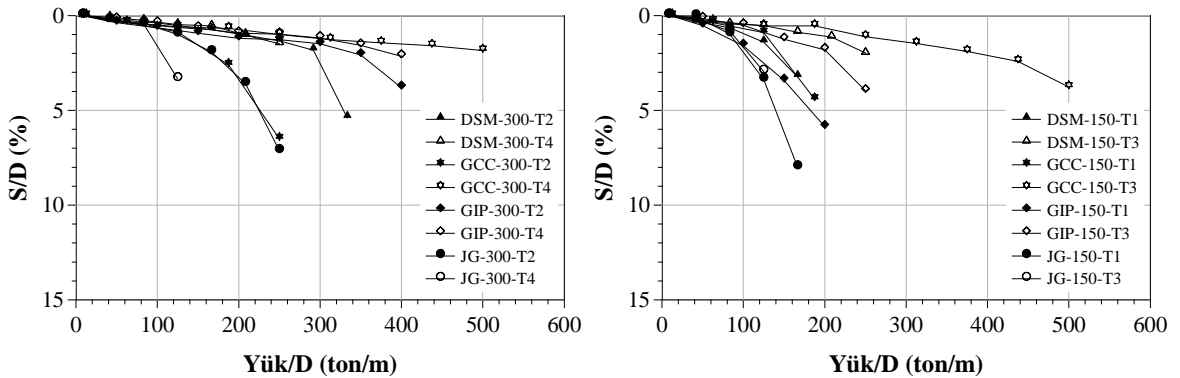
150 kg/m³ ve 300 kg/m³ çimento dozajları kullanılarak Çimentolu Impact Darbeli Kırmataş Kolon sistemi ile imal edilen kolonların 100 ton yük altında sırasıyla 9 mm - 29 mm ve 4 mm - 6 mm mertebelerinde deformasyon gösterdiği görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. GIP kolonları yük - normalize düzlemde oturma grafikleri

6. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Yükleme deney sonuçları normalize S/D ve Yük/D uzayında karşılaştırmalı olarak Şekil 10' da sunulmuştur. İlgili şekilden de anlaşılacağı üzere dört farklı imalat yöntemi ile teşkil edilen kolonlardan, en yüksek kapasiteye ulaşan ve en rijit davranışı gösteren DSM ve GCC kolonlarıdır. Benzer şekilde GIP kolonları da ölçülen üst değere yakın kapasite ve rijitlik performansı göstermiştir. Bu imalat yöntemlerine göre, en düşük kapasite ve rijitlik performansı ise JG kolonlarında gözlenmiştir.



Şekil 10. Test sonuçlarının S/D - Yük/D düzleminde karşılaştırılması

7. KAYNAKLAR

ASTM D1143 – Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load.
Townsend, F.C., Anderson J.B. (2004), “A Compendium of Ground Modification Techniques)”, University of Florida, Department of Civil & Coastal Engineering, Gainesville, FL.

TEŞEKKÜR

Kendi sahalarında bize çalışma imkanı veren Tersan Tersanesi’ne ve değerli tecrübelerini bizimle paylaşan Geopier Foundation Company’ye teşekkürlerimizi sunarız.