

FORE KAZIK VE JET GROUT İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TEMELLERDEKİ YÜK PAYLAŞIMININ GRUP YÜKLEME DENEYİ İLE TESPİTİ

DETERMINATION OF THE LOAD DISTRIBUTION IN FOUNDATIONS REINFORCED WITH COMBINED BORED PILE AND JET GROUT SYSTEM IN GROUP LOADING TEST

Veysel ÖZLÜ¹, Arif ÇINAR², Osman PEKARUN³,
Bora BERK⁴, Kaan DOĞANIŞIK⁵

ÖZET

Bu çalışma, taşıma kapasitesinin artırılması, oturmanın sınırlandırılması ve sıvılaşmanın önlenmesi için birlikte uygulanan fore kazık ve jet grout imalatlarının temel altındaki düşey yük paylaşımını incelemektedir. Radye temel altında birlikte uygulanan fore kazık ve jet grout kolonlarının üstyapı yükleri altındaki yük paylaşımını incelemek için enstrümente edilmiş fore kazık ve jet grout kolonları üzerinde grup yükleme deneyi yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Kazıklı temel sistemini temsilen bir adet L=30 m uzunluğunda fore kazık ve etrafında L=23m uzunluğunda jet grout kolonları rijit bir başlık kirişi altında birlikte yüklenmiştir. Yükleme deneyi reaksiyon kazıkları ve çelik giriş marifeti ile ASTM D1143 standardına göre yapılmıştır. Fore kazığının yüzeyden itibaren 50 cm altına, donatılar üzerine 4 adet gerinim ölçer (SG, strain gauge) yerleştirilerek kazık başındaki birim deformasyonlar ölçülürken jet grout kolonlarının ve fore kazığının kafa bölgesine birer adet toplam 4 basınç ölçer (TPC, Total Pressure Cell) yerleştirilmiş olup deney boyunca gerilme değişimleri ölçülmüştür. Yapılan yükleme deneyinde 1400 ton düşey yük altında maksimum düşey yer değiştirme 2.3 cm olarak belirlenmiştir. Fore kazık ve jet grout kolonlarında biriken yükler deneysel veriler ve teorik yük paylaşımı hesaplamalarıyla ayrı ayrı hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalarda kazık ve kolonların rijitlik oranlarına göre yük dağılımı esas alınmıştır. Deney sonucu tespit edilen SG ve TPC verileri ile teorik hesaplama sonuçları tutarlı çıkmış, sonuçlar tablo ve grafikler ile sunulmuştur. Ayrıca yükleme deneyi deplasman grafiğinden faydalanılarak kazığının nihai taşıma kapasitesi literatürde önerilen beş farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma ile sıvılaşmaya müsait zeminlerde, zemin iyileştirme yöntemi ile derin temel sisteminin birlikte kullanılması konusu irdelenmiş ve saha deneyleri ile literatüre katkı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Grup yükleme deneyi, Enstrümente edilmiş kazık, Rijitlik oranı, Yük paylaşımı

¹ İnş. Yük. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Ltd. Şti., veysel@geobos.com (Sorumlu Yazar)

² Dr. İnş. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Ltd. Şti., arifcinar@geobos.com

³ İnş. Yük. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Ltd. Şti., pekarun@geobos.com

⁴ İnş. Yük. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Ltd. Şti., berk@geobos.com

⁵ İnş. Yük. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Ltd. Şti., kdoganisik@geobos.com

ABSTRACT

This study examines the vertical load-sharing behavior beneath a raft foundation where bored piles and jet grout columns are employed concurrently to enhance bearing capacity, settlement, and reduce liquefaction potential. To evaluate the interaction and load distribution between these composite foundation elements under structural loads, a full-scale instrumented group loading test was conducted. The test configuration consisted of a single 30m-long bored pile surrounded by 23m-long jet grout columns, all integrated beneath a rigid cap beam. The loading test was performed in accordance with ASTM D1143, utilizing reaction piles and a steel beam loading frame. Four strain gauges (SGs) were mounted 0.5m below the pile head to record axial strain variations, while four total pressure cells (TPCs) were embedded at the heads of both the bored pile and jet grout columns to monitor stress transfer during loading. Under a maximum applied load of 1400 tons, the maximum vertical displacement was measured as 2.3cm. The load distribution between the bored pile and jet grout columns was quantified using both experimental measurements and theoretical analyses based on the relative stiffness ratio of the elements. The results obtained from SG and TPC data exhibited good agreement with theoretical predictions, and were presented through comparative tables and load-displacement graphs. Furthermore, the ultimate bearing capacity of the pile was estimated from the load-settlement response using five analytical methods proposed in the literature. The findings contribute to advancing the understanding of hybrid foundation systems combining deep foundations and ground improvement techniques in liquefaction-susceptible soils, supported by comprehensive field-scale evidence.

Keywords: Group loading test, Instrumented pile, Stiffness ratio, Load sharing

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirme ve derin temel sistemlerinin birlikte kullanımı, özellikle taşıma kapasitesinin artırılması, oturmaların sınırlandırılması ve sıvılaşma riskinin azaltılması açısından son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu kapsamda, fore kazıklar yüksek yük taşıma kapasitesiyle derin taşıyıcı elemanlar olarak görev yaparken, jet grout kolonları zemin rijitliğini artırarak temel altındaki gerilme dağılımını iyileştirmekte ve oturma farklarını azaltmaktadır. Bu iki sistemin birlikte çalışması, özellikle sıvılaşmaya yatkın veya düşük taşıma gücüne sahip zeminlerde güvenli ve ekonomik çözümler sunmaktadır.

Son yıllarda yapılan saha ve laboratuvar araştırmaları, kazıklı temellerde grouting uygulamalarının yük transfer mekanizması üzerindeki etkilerini detaylı biçimde incelemiştir. Zhang vd. (2024) çalışmasında, kazık uç ve yan grout uygulamalarıyla taşıma kapasitesinde %30-40 oranında artış ve oturmalarda belirgin azalma gözlenmiştir. Benzer biçimde, Wang vd. (2023) araştırmasında, enjeksiyon basıncı ve grout hacmi parametrelerinin kazık performansını doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Jet grout kolonlarının oluşturulması sürecinde çevre zemine etki eden yatay deformasyonlar da Yao vd. (2024) tarafından saha gözlemleriyle ortaya konmuştur. Bu bulgular, zemin iyileştirme ile derin temel sistemlerinin birlikte tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadır.

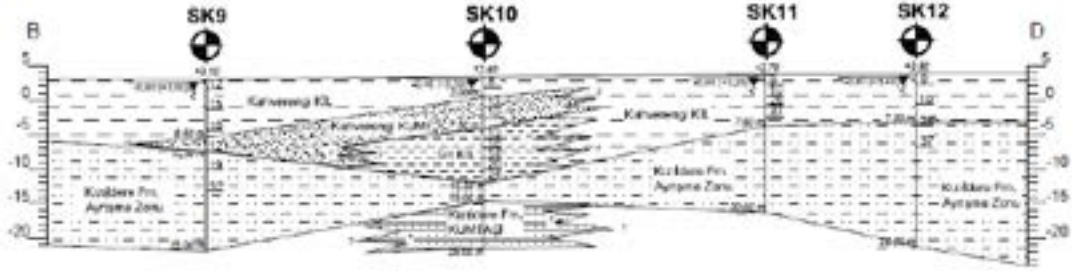
Fore kazık ve jet grout kolonlarının birlikte çalıştığı saha ölçekli grup yükleme deneyleri literatürde oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmalar genellikle tek kazık veya yalnızca jet grout kolonları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, iki farklı rijitlikteki taşıyıcı elemanın (fore kazık ve jet grout kolonları) yükleme kırılganlığının altında yük paylaşım davranışının deneysel olarak değerlendirilmesi literatürde önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bu çalışma, saha ölçeğinde enstrümente edilmiş bir grup yükleme deneyi aracılığıyla bu etkileşimi incelemekte; deneysel sonuçları rijitlik oranına dayalı teorik hesaplamalarla karşılaştırarak, hem mühendislik uygulamaları hem de araştırma alanı için özgün katkılar sunmaktadır.

2. İNCELEME ALANI VE ZEMİN PROFİLİ

Çalışma sahası, Adana ili Yumurtalık ilçesi sınırlarında bir liman bölgesinde yer almaktadır. Alan, genç alüvyon birimleri üzerinde, yer yer Kızıldere Formasyonu (Kumtaşı-Kıltaşı ardalanması) ile geçişli bir stratigrafiye sahiptir. Sahada 22.50 m derinliğe kadar yapılan SPT, presiyometre, MASW ve laboratuvar deneyleri ile zemin profili belirlenmiştir. SPT N_{ort} = 4-13 olan Alüvyon (Kum-Kil) birimler yer almaktadır. Laboratuvar sonuçlarına göre drenajsız kohezyon değeri (c_u) 45-50 kPa, presiyometre deneyi sonuçlarına

göre 55-64 kPa aralığındadır. Alüvyon birimin altında ise Kumtaşı-Kiltaşı a ait Ayrışma Zonu ve Kızıldere Formasyonuna ait Kumtaşı-Kiltaşı birimleri yer almaktadır. Yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinden ortalama 1,0–1,5 m derinliktedir. Çalışma sahasına ait jeolojik kesit Şekil 1’de verilmiştir.

Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen parametrelerin değerlendirilmesinde TS EN ISO 22476-3 (2012), TBDY (2019), Bowles (1996) ve NAVFAC DM 7.01 (1982) korelasyonları esas alınmıştır. Yüzeyden itibaren yaklaşık 20–22 m kalınlığında gevşek-orta sıkı alüvyon tabakası altında yarı kayalaşmış Kumtaşı-Kiltaşı birimleri bulunur. Sıvılaşma analizi, TBDY (2019) esas alınarak Seed & Idriss (1971) yöntemiyle yapılmıştır. Yer altı suyu seviyesi altındaki gevşek kumlu-siltli tabakalarda lokal olarak sıvılaşma riski öngörülmektedir. Jet grout kolonlarının uygulanmasıyla bu tabakalarda drenaj koşulları ve kayma mukavemetinde önemli artış elde edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasına ait jeolojik kesit

3. DENEY METODOLOJİSİ

3.1. Fore Kazık ve Jet Grout Grup Yükleme Deney Düzeneği

Deney düzeneği, kazık ve jet grout kolonlarının yük taşıma kapasitelerini ve davranışlarını incelemek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. Bu düzeneğin kurulumu sırasında, deney kazığına yüzeyden itibaren 50 cm altına 4 adet SG yerleştirilmiştir. Jet grout kolonlarının ve fore kazığın üstüne birer adet TPC yerleştirilmiştir. Deney boyunca bu hücreler, uygulanan yüklerin zemin içerisindeki dağılımını ve yük paylaşımını izlemek için sürekli veri sağlamıştır. TPC'ler, özellikle yük transferi ve zemin-kazık etkileşimini anlamak için önemli bir role sahiptir. Deneyin hazırlanışına ait görseller Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Deney hazırlık aşaması

3.2. Deneyin Yapılışı

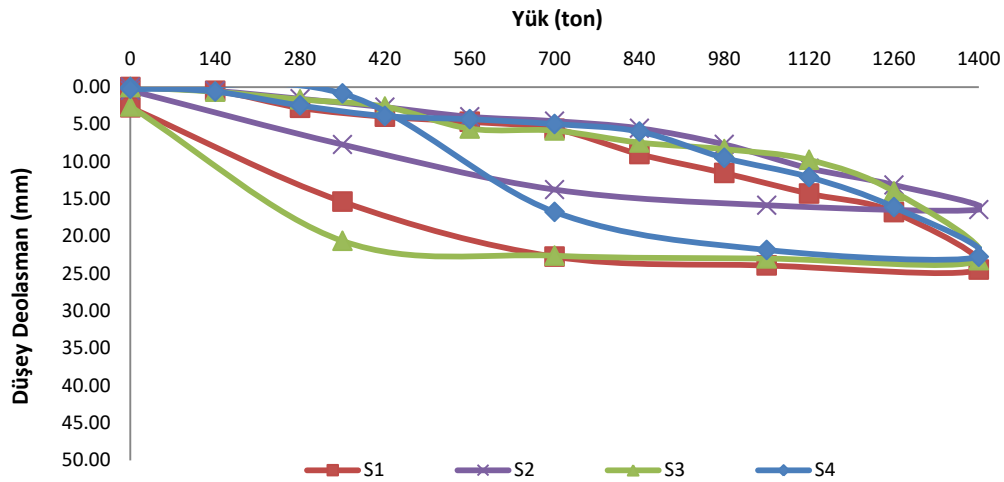
Yükleme deneyi tek kademeli yükleme döngüsünde $L=30,0$ m boyunda ve $D_{FK}=80$ cm çapında fore kazık etrafında kazık merkezinden 1,0 m mesafede $L=23,0$ m boyunda $D_{JG}=80$ cm çapında 4 adet jet grout kolonunu kapsayan $B=2,0$ m, $L=2,0$ m $h=1,2$ m boyutlarında başlık kirişi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yükleme deney programı ASTM D 1143 / D1143M- 07 / D1143M- 20’de yer alan yükleme deney prosedürlerine göre hazırlanmıştır. Proje tasarım yükü 700 ton olup deney yükü olarak maksimum %200 yüke tekabül eden 1400 tona kadar % 10’luk yük dilimi artışları ile yükleme yapılmıştır. Maksimum yük değerlerine ulaşıldıktan sonra yine kademeli olarak boşaltılmıştır. Yükleme ve boşaltma kademelerinde belirli zaman aralıklarında mekanik komparatör okumaları yapılarak deney kolonlarındaki düşey deformasyonlar tespit edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneği

4. DENEY SONUÇLARI

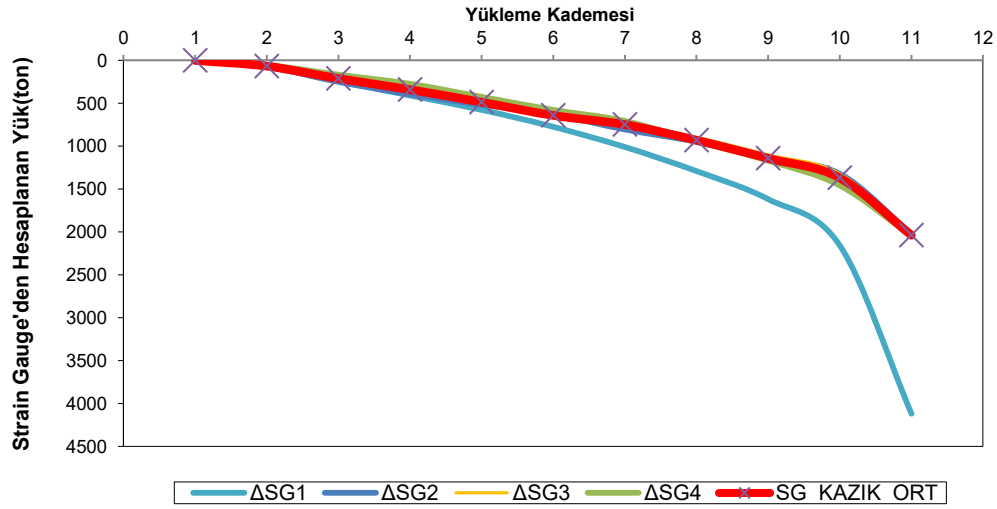
4 ayrı komparatörde okunan yük değerlerinin ayrı ayrı gösterimi Şekil 4'te sunulmuştur. 1400 ton yükleme kademesinde deney kazığında meydana gelen ortalama düşey deplasman değeri $\delta_{\max} = 2,3$ cm'dir. Oluşan plastik deplasman değerinde ise yükleme deneyinin boşaltma kademelerinde pistondan kaynaklanan arıza nedeniyle doğru veri elde edilemediği düşünülmektedir.



Şekil 4. Dört ayrı komparatörden okunan değerlere göre yük deplasman eğrisi

Yükleme kazığına enstrümante edilen 4 adet strain gauge'lerden okunan strain değerlerinden literatürde yer alan formüller doğrultusunda yük mertebesine ulaşılmıştır. Fore kazığının elastisite modülü, hem beton karot deneyleri hem de TS500 (2000) bağıntısı kullanılarak belirlenmiştir. Deneyel olarak alınan karot numunelerinde ortalama basınç dayanımı $q_{u \text{ beton karot}} = 28.4$ MPa elde edilmiştir. TS500 (2000) Madde 3.2'de verilen bağıntı ($E_c = 3250 \cdot (f_{ck})^{0.5} + 14000$) kullanılarak, betonun elastisite modülü $E_c = 3250 \cdot (28.4)^{0.5} + 14000 \approx 31500$ MPa hesaplanmıştır. Muhafaza borulu imalattan dolayı fore kazık çapı $D=0.88$ m kabul edilmiştir.

Strain gauge'lerden okunan strain değerleri SG 2, SG 3 ve SG 4'te deney yüklemesi sırasında birbirleri içinde tutarlılık söz konusuyken SG 1 verilerinde 700 t yükleme kademesinden sonra tutarsızlık/uyumsuzluk tespit edilmiş olup ortalamaya katılmamıştır. Deney yüküne göre strain gauge verilerinden yükleme kademelerine göre hesaplanan yük grafiği Şekil 5'te sunulmuştur.

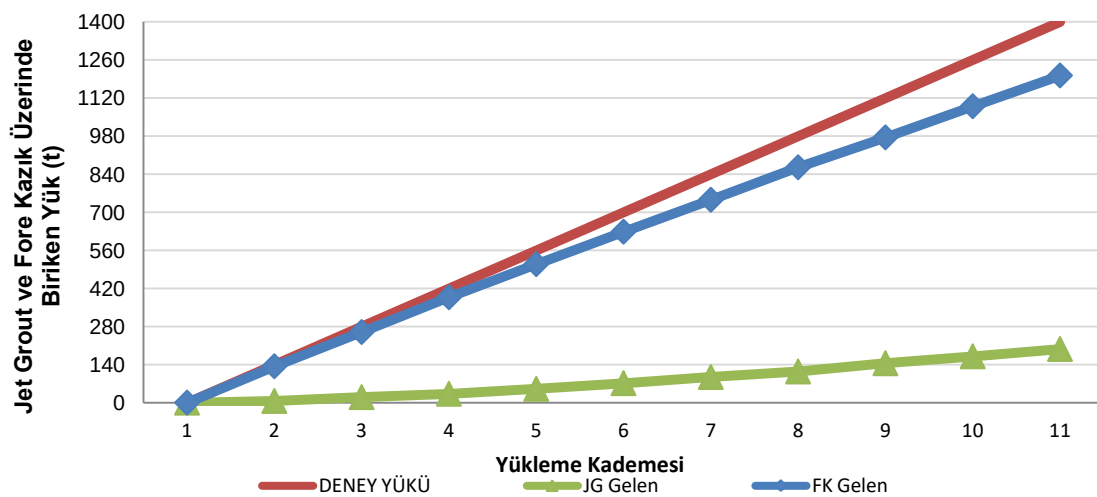


Şekil 5. Deney yükleme kademesi-strain gauge'den hesaplanan yük grafiği

Jet groutlara yerleştirilen TPC'lerden okunan basınç değerleri ise jet grout alanına bölünerek jet groutlarda biriken yük mertebelerine ulaşılmıştır. Jet groutlara TPC yerleştirilirken jet grout başına kum tabakası serilip üzerine TPC'ler konumlandırılmıştır. Ancak TPC-3 'ün yerleştirildiği Jet grout başı deney seviyesinin altında yer aldığından jet grout ekseninde olacak şekilde zemine yerleştirilmiştir.

Kazığa yerleştirilen TPC verilerinden elde edilen verilerin doğruluğundan şüphe edilmiş olup yalnızca Jet grout TPC verileri kullanılmıştır. Yükleme kademelerindeki deney yükünden jet groutların toplamında biriken yükün çıkarılması ile kazıkta biriken yük mertebelerine ulaşılmıştır.

TPC verilerine göre, jet grout kolonları üzerinde biriken yükün deney kademelerine göre oranları hesaplanmıştır. Bu kapsamda jet grout kolonları üzerine gelen minimum yük oranı %5 değeri ile 2. kademede ($Q_{\text{deney 2. yükleme}} = 6.3 \text{ t}$) meydana gelirken, maksimum yük oranı ise %14 değeri ile 10. ve 11. yük kademelerinde ($Q_{\text{deney 11. yükleme}} = 197 \text{ t}$) meydana gelmiştir. Yükleme kademesine bağlı olarak fore kazık ve jet grout kolonlarına gelen yükler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. TPC verilerine göre deney yükünün jet grout ve fore kazıkta paylaşım grafiği

İnceleme alanında imal edilen jet groutlardan alınan karot numunelerden elde edilen $\sigma_{JG} = 8 \text{ MPa}$ değeri ile jet grout kolonunun içsel kapasitesi hesaplanmış olup yaklaşık 400 t mertebesindedir. Jet grout kolonlarına ait serbest basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

$$T_{JG_{all}} = \sigma_{JG} * A_{JG} = 8 \text{ MPa} * 0,503 \text{ m}^2 \approx 400 \text{ t} \quad (1)$$

Tablo 1. Jet grout tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Numune Adı	Numune Tipi	Tek Eksenli Basınç		Numune Adı	Numune Tipi	Tek Eksenli Basınç	
		Dayanımı, MPa				Dayanımı, MPa	
1	Karot	10.2		9	Karot	18.1	
2	Karot	11.3		10	Karot	14.4	
3	Karot	16.7		11	Karot	10.3	
4	Karot	8.6		12	Karot	11.7	
5	Karot	13.1		13	Karot	14.3	
6	Karot	14.8		14	Karot	10.9	
7	Karot	11.9		15	Karot	8.1	
8	Karot	15.5		16	Karot	11.6	
Minimum Basınç Dayanımı ($\sigma_{c, \min.}$) = 8.1 MPa, Ortalama Basınç Dayanımı ($\sigma_{c, \text{ort.}}$) = 12.6 MPa							

Grup yükleme deneyi için teorik olarak yük paylaşımı kontrol edilerek deney verileriyle uyumları incelenmiştir. Teorik yük paylaşımı hesabı, projelendirilen fore kazık ve etrafında yer alan 4 adet jet grout kolonunun deney yükünü paylaşması prensibine dayanmaktadır. Jet groutlar ve fore kazığın rijitliklerinin zeminin rijitliğine oranının fazlalığından dolayı zeminin rijitliği ihmal edilmiş olup fore kazığın ve jet groutların yük paylaşımı incelenmiştir. Bu kapsamda;

- 1 adet Fore kazık $D_{FK} = 88 \text{ cm}$, $A_{FK} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,608 \text{ m}^2$
- 4 adet Jet kolonu $D_{JG} = 80 \text{ cm}$, $A_{JG} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,503 \text{ m}^2$
- $A_{TOPLAM} = A_{FK} + 4A_{JG} = 2,62 \text{ m}^2$ göre fore kazık için alan değiştirme oranı:
- $a_{FK} = \frac{A_{FK}}{A_{toplam}} = \frac{0,608}{2,60} = \%23$ olarak hesaplanıp yükleme kademelerindeki deney yüklerine göre fore kazıkta biriken yük hesaplanmıştır.

Teorik yük paylaşımı hesabı, hesaplanan fore kazığın alan değiştirme oranına göre elastisite modülü oranı doğrultusunda hesaplanmaktadır. Jet groutların elastisite modülü kabulünde inceleme alanında imal edilen jet groutlardan alınan karot numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinden basınç dayanımı elde edilmiştir.

Jet grout elastisite modülü : $E_{JG} = (150 - 900) * \sigma_{JG}$ (Durgunoğlu,T. 2004). Elde edilen $\sigma_{JG} = 8 \text{ MPa}$ değeri ile yukarıdaki formülasyona göre seçilen 200 katsayısı kullanılarak jet grout elastisite modülü hesaplanmıştır. Buna göre, $E_{JG} = 200 * \sigma_{JG} = 200 * 8 = 1600 \text{ MPa}$ olarak kabul edilmiştir. Fore kazığın elastisite modülü ise ilgili bölümde aktarılmış olup 31500 MPa değerindedir.

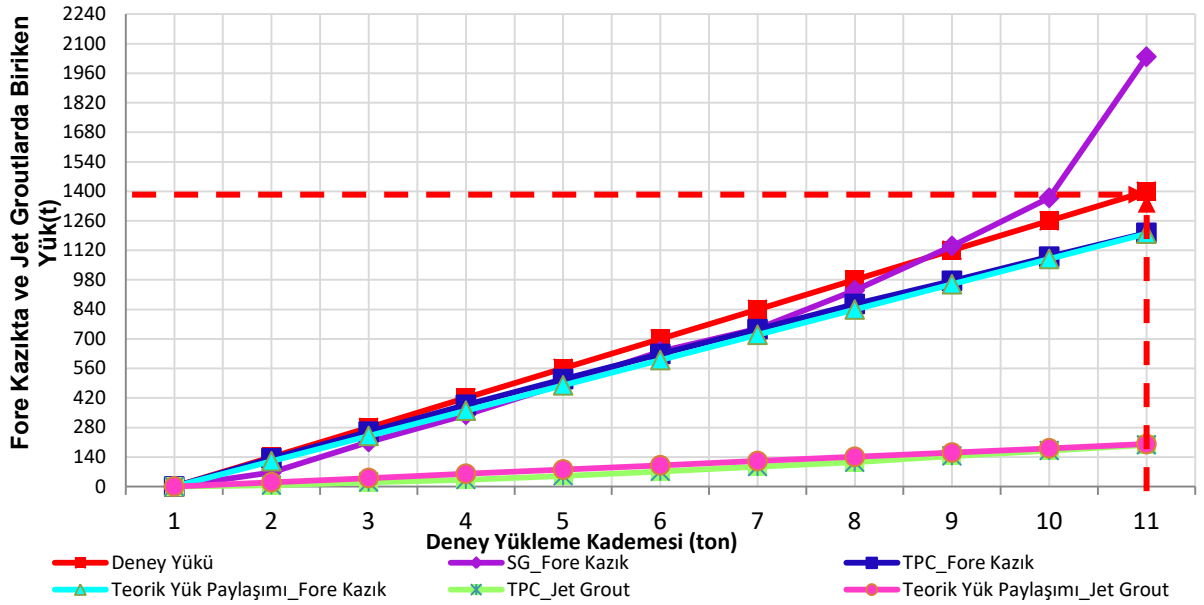
Fore kazık ve jet grout kolonlarının birlikte çalıştığı temellerde yük paylaşımı hesabı, şekil değiştirme uyumu (strain compatibility) esasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, kazık ve kolon sisteminin aynı rijit yükleme kırışi altında bulunması nedeniyle tabanda oluşan düşey deformasyonların eşit olacağı varsayılmıştır. Yani kazık ve kolon elemanları, farklı rijitlikte olsalar dahi aynı miktarda düşey yer değiştirmeye maruz kalırlar (Poulos&Davis,1980). Yukarıda açıklanan biriken yük değeri için “ŞEKİL DEĞİŞTİRME UYUMU” eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki formülasyon ile fore kazıkta biriken yük, yükleme kademelerine göre hesaplanmıştır.

$$Q_{FK} = \frac{\frac{\text{Deney Yüğü}}{A_{toplam}}}{a_{FK} + \frac{E_{JG}}{E_{FK}} * (1 - a_{FK})} \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde A_{toplam} ; 4 Jet kolonu ve 1 fore kazığın toplam kesit alanı, a_{Fk} ; 1 fore kazık kesit alanının toplam kesit alanına oranı, E_{JG} ; Jet kolonu elastisite modülü, E_{FK} ise fore kazık elastisite modülünü ifade etmektedir.

Yapılan yükleme deneyi sonucunda elde edilen Strain gauge ve TPC verilerinden ayrı ayrı yukarıdaki bölümlerde açıklandığı üzere fore kazıkta ve jet groutlarda biriken yükler hesaplanmıştır.

Teorik yük paylaşımı ile yapılan yükleme deneyi doğrultusunda alan değiştirme oranı ile biriken yükler tespit edilmiştir. 3 farklı şekilde elde edilen biriken yük mertebeleri Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Deney yükleme kademesine göre fore kazıkta ve jet groutlarda biriken yük

Grafikten görüleceği üzere, 7. yük kademesine kadar ($Q_{\text{deney 7. yükleme}} = 840 \text{ t}$) SG, TPC ve teorik yük paylaşımları, hem fore kazık hem de jet grout kolonlarında uyumlu görülmektedir. 7. yük kademesinden sonra SG ile hesaplanan yük değeri dışındaki diğer yöntemler uyum içerisindeyken strain gaugeden elde verilen değerler 10. Yük kademesinden sonra deney yükünden daha fazla değer elde edilerek doğruluktan sapmaktadır. Genel olarak, deneysel ve teorik yük paylaşımı değerlerinin yükleme kademelerine göre uyumu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Yapılan grup yükleme deneyi sonucunda, fore kazık ve jet grout kolonlarının birlikte çalıştığı temel sisteminde yük–oturma davranışı elastik sınırlar içinde dengeli bir şekilde gelişmiştir. Deney sırasında ölçülen düşey deformasyon ve gerinim değerleri, teorik şekil değiştirme uyumu esasına göre yapılan hesaplamalarla tutarlı sonuçlar vermiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, yük paylaşımı büyük oranda eleman rijitlik oranlarına bağlı olarak gerçekleşmiş, fore kazık sisteminin yükün büyük kısmını, jet grout kolonlarının ise zemin iyileştirme ve oturma kontrolü görevini üstlendiği belirlenmiştir. Bu davranış, Poulos & Davis (1980), Randolph (1994) ve Fleming vd. (2008) tarafından bildirilen benzer kazıklı temel sistemlerindeki eğilimlerle uyum göstermektedir.

Deneyisel bulgular, hem deformasyon hem de taşıma gücü açısından literatürdeki hibrit temel sistemlerinin performans sınırları içinde yer almaktadır. Fore kazık ile jet grout kolonlarının birlikte kullanımı, taşıma kapasitesini artırırken oturmaya sınırlamak açısından etkili bir çözüm sunmuştur. Çalışma sonuçları, jet grout iyileştirmesiyle birlikte kullanılan kazıklı temel sistemlerinin performansını sahadan alınan verilerle doğrulayarak literatüre katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Resmî Gazete Sayı: 30364 (Mükerrer), Ankara.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2020). Standard test methods for deep foundations under static axial compressive load (ASTM D1143 / D1143M-07 / D1143M-20). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Bowles, J. E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Durgunoğlu, T. (2004). *Zemin İyileştirme Yöntemleri*. Teknik Yayınlar, İstanbul.
- Fleming, W. G. K., Weltman, A. J., Randolph, M. F. & Elson, W. K. (2008). *Piling Engineering*, 3rd Edition, Taylor & Francis, London.
- NAVFAC. (1982). Design Manual 7.01: Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures, Naval Facilities Engineering Command, Department of the Navy, Alexandria, VA.
- Poulos, H. G. & Davis, E. H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
- Randolph, M. F. (1994). Design Methods for Pile Groups and Pile Rafts, Proceedings of the 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), New Delhi, Vol. 5, pp. 61–82.
- Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9), 1249–1273.
- Tang, Q., Li, J., & Zhou, P. (2023). Effect of base grouting on the bearing capacity of bored piles. Sustainability, 15(5), 4148. <https://doi.org/10.3390/su15054148>
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2000). TS 500: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Ankara: TSE.
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2012). TS EN ISO 22476-3: Geoteknik Araştırma ve Deneyler – Arazi Deneyleri – Bölüm 3: Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Ankara.
- Wang, L., Zhao, H., & Gao, S. (2023). Experimental study on post-grouting pile vertical bearing performance considering different grouting methods and parameters in cohesive soil. Applied Sciences, 13(22), 12175. <https://doi.org/10.3390/app132212175>
- Yao, Y., Wang, M., & Liu, Z. (2024). Lateral effects of jet grouting on surrounding soil and circular diaphragm walls. Buildings, 14(11), 3587. <https://doi.org/10.3390/buildings14113587>
- Zhang, Y., Liu, J., & Chen, X. (2024). Field test and numerical simulation study of bearing characteristics of combined post-grouted piles for railway bridges. Applied Sciences, 15(1), 335. <https://doi.org/10.3390/app15010335>