

Mevcut Silo Temeli Altında Zemin İyileştirmesi

*¹Sedat Sert, ¹Aşkın Özocak ve ¹Ertan Bol

¹Sakarya University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Sakarya, Turkey

Özet

Temel taşıma gücünün üst yapıdan gelen yükleri taşımak için yetersiz olması, toplam/farklı oturumların izin verilen limitleri aşacağıın hesaplanması durumunda ve sıvılaşmanın önlenmesi amacıyla yapı inşa edilecek alanda zemin iyileştirmesi yapılabilmektedir. Zemin iyileştirmesi, problemin inşaat sonrasında tespit edilmesi durumunda mevcut yapıların altında da yapılabilmektedir. Yeterli kalitede olmayan malzemeyle kontrolsüz yapılan dolgular üzerinde inşa edilen yapılarda farklı oturmalardan kaynaklanan problemler, zemin iyileştirmesinin sonradan yapılmasını gerektiren durumlara örnek olarak geniş yer tutmaya devam etmektedir. Jet-enjeksiyonu, sızdırma enjeksiyonu ve telafi enjeksiyonu mevcut temeller altında temel taşıma gücünün artırılması, oturumların azaltılması ve sıvılaşmanın önlenmesi amacıyla kullanılan yöntemlere örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada, mevcut bir silo temeli altında yapılan zemin iyileştirmesi örnek olarak sunulmaktadır. Silonun dairesel temeli inşa edildikten sonra, ortamdaki dolgunun kalitesinden emin olunamadığı için ek çalışma yapılması istenmiş, SAÜ tarafından arazide yapılan plaka taşıma deneyleri ve ayrıntılı laboratuvar deneyleri sonrasında mevcut dolguda silonun doldurulmasından sonra farklı oturumlar gerçekleştirilebileceği hesaplanmıştır. Bu durumda mevcut temel altında jet-grout kolonları ile zemin iyileştirmesi yapılması önerilmiş, yapılan analizlerde 60 cm çapında, 10 m boyunda jet-grout kolonları oluşturularak farklı oturumların önenebileceği belirlenmiştir. İmalat için öncelikle, temelde belirlenen noktalarda mevcut temel kalınlığı boyunca delikler açılarak jet-grout makinesine çalışma ortamı hazırlanmış, sonrasında jet-grout kolonları oluşturularak silonun inşaatına devam edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Silo temeli, dolgu malzemesi, farklı oturma, jet-grout.

Ground Improvement for an Existing Grain Silo Foundation

Abstract

The main aims of ground improvement under existing shallow or deep foundations may be classified as mitigation of the potential impacts of an identified geologic hazard, and enhancement of the capacity of the foundation by changing the load-deformation characteristics of the foundation soil. Grouting techniques such as jet-grouting, compaction grouting or permeation grouting can be said as general techniques to achieve these aims. Typical geological hazards that are mitigated using ground improvement under existing foundations include liquefaction and compaction settlement. It may also be necessary to have ground improvements for buildings which is built on an uncontrolled filling. In this study, a case study for soil improvement under an existing grain silo foundation is presented. After the rigid circular raft foundation of the silo has been built, it was understood that there may be a differential settlement problem regarding the properties of the filling material. After a series of plate bearing tests and comprehensive laboratory tests on filling material, it was decided to improve soil conditions under the existing silo foundation. Jet-grouting technique was recommended to apply after drilling a hole through the whole thickness of the foundation. After analysis, jet-grout columns having a diameter of 60 cm and a length of 10 m were calculated to be enough to limit differential settlements.

Key words: Silo foundation, filling material, differential settlement, jet-grouting.

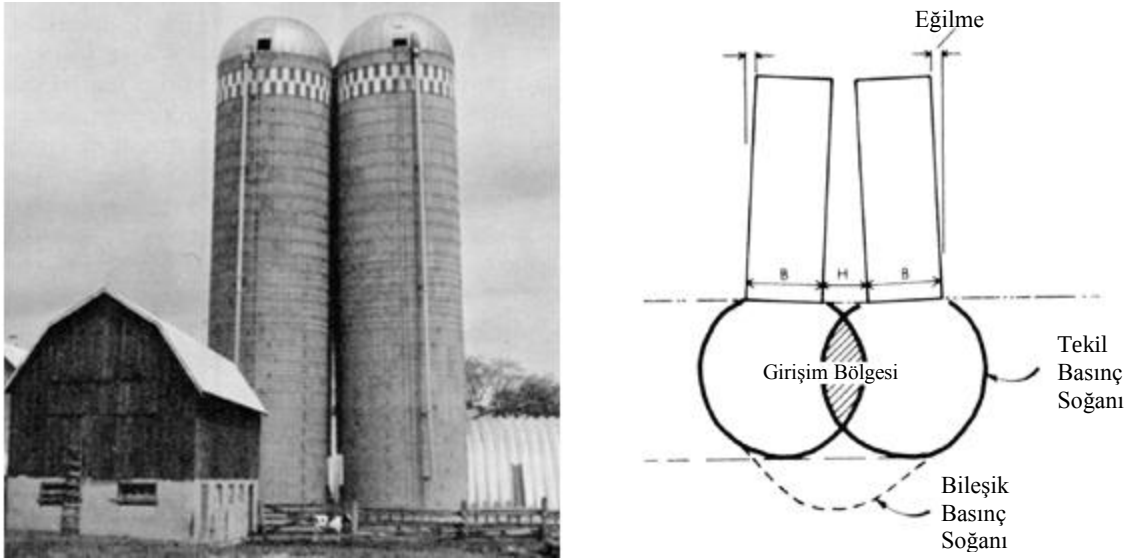
1. Giriş

Temeller, üzerlerine gelen yükleri taşıma güçleri aşılmadan ve kabul edilebilir oturmalarla zemine aktaran yapı elemanları olarak tarif edilmektedirler. Günümüzde toplam ve farklı oturmalarından kaynaklanan problemlerle taşıma gücü problemlerinden daha fazla karşılaşılır hale gelinmiştir. Problem sadece yumuşak zeminlerin olduğu yerlerle sınırlı kalmamakta, eğimli arazilerde bir kısmı kaya, bir kısmı dolgu üzerinde inşa edilen yapılarda da temel altının homojen hale getirilememesi nedeniyle oturma hasarına rastlanmaktadır. Örneğin Adapazarı'nda 1999 depremleri sonrasında üst katmanlarında yumuşak zeminlerin bulunduğu şehir merkezinden 20-30 km kuzeyde oluşturulan yeni yerleşim merkezlerinde ana kayanın yüzeye çok yakın olduğu eğimli arazilerde kamu ve özel kuruluşlarca inşa edilen yapıların bir kısmında farklı oturma nedeniyle hasarlar meydana gelmiştir [1].

Taşıma gücü aşılması ve toplam/farklı oturmalarından kaynaklanan problemlerin gözlemlendiği yapı türlerinden biri de silolardır [2, 3, 4, 5]. Tarımsal ürünleri depolamak üzere inşa edilen siloların temellerine önemli sayılacak büyüklükte yükler gelmekte ve tasarımlarında dikkat edilmezse taşıma gücü kayıpları ve farklı oturma problemleri kaçınılmaz olmaktadır [6]. Morin ve Gervais, Kanada'da 10 yıl süren bir çalışmada yumuşak killi zeminler üzerinde oturan 28 adet tarımsal depolama amaçlı silonun yük altındaki davranışını incelemiş ve taşıma gücüne karşı güvenlik sayısının 2'den küçük olması durumunda büyük miktarda oturma olduğunu ve siloların kaçınılmaz şekilde eğildiğini belirtmiştir. Taşıma gücü aşılması ve oturma hasarının görülmemesi için güvenlik sayısının 2.5'tan büyük alınması önerilmiştir [6].

Sert ve Önalp (2010), komşu yapıların birbirine olan etkilerinin göz ardı edilmesi durumunda istenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilirdiğini belirtmişlerdir [7]. Yapı altında toplam ve farklı oturmaları azaltmak için yayılı temeller kullanılsalar da Şekil 1'de gösterilen birbirine çok yakın inşa edilmiş iki komşu silonun basınç soğanlarının girişim yaptığı bölgede daha derinlere ulaşan bileşke basınç soğanları siloların farklı oturmasına, dolayısıyla birbirlerine doğru eğilmesine sebep olmuştur.

Jet-grout yöntemi taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması amacıyla kullanılan yöntemlerden en önde geleni olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntem, ülkemizde son 20 yılda, özellikle de 1999 depremlerinden sonra yaygın kullanım alanı bulmuştur [8]. Yöntemde silindirik şekilli yüksek modüllü kolonlar, mevcut zeminin önce özel delgi makinesi ile delinmesi ve bilahare yüksek basınçta 400-500 bar çimento şerbetinin jetlenerek, zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde teşkil edilmektedir.



Şekil 1. Silo Temelinde Farklı Oturmalar

Jet-grout yöntemi, boş arazilerde uygulanabildiği gibi mevcut temellerin altındaki zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla da kullanılabilir. Turba üzerine yapılmış dolgu üzerine inşa edilen sürekli temelli bir fabrika yapısında aşırı oturmaların olması üzerine oturmaları azaltmak amacıyla jet-grout kolonlarının inşa edildiği ve alınan ölçümlerde oturmaların durduğunun belirlendiği bildirilmiştir [9].

2. Silo Temeli ve Arazinin Durumu

Bu çalışmada, Sakarya ili Ferizli İlçesinde, yaklaşık 10 dönümlük bir sanayi alanında farklı kalınlıkta dolgu üzerinde inşa edilmiş silo temeli altındaki ortam için yapılan geoteknik değerlendirme, önerilen zemin iyileştirmesi ve uygulaması sunulmaktadır.

Alanda daha önce hazırlanmış olan ve araştırma çukuru, plaka yükleme deneyi ile sismik çalışmaya dayanan zemin ve temel etüt raporu bulunmaktadır. Silonun dairesel temeli bu rapor doğrultusunda inşa edildikten sonra, ortamdaki dolgunun kalitesinden emin olunamadığı için ek çalışma yapılması istenmiş, SAÜ tarafından yürütülen ek çalışma kapsamında ise önce arazide mevcut durum gözlemlenmiş, bunu izleyerek dolgu kontrolü yapılması, araştırma çukuru açılması ve plaka yükleme deneylerinin yapılmasını içeren arazi çalışması yürütülmüştür. TS 1900-1 [10] ve TS 1900-2 [11] uyarınca gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin parametrelerinin kullanımı ile analizler tamamlanmış, mevcut silo temeli için geoteknik değerlendirme ve öneriler yapılmıştır [12].

2.1. Alanda Mevcut Durum

Çalışma alanı yeni hazırlanmakta olan Ferizli Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır. Eğimli bir topoğrafyaya sahip olan OSB alanı idarece tesviye edilerek inşa çalışmaları için elverişli bir alana çevrilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında mal sahibinin yaptırdığı çalışma ile

parsel bazında tesviye yapılmıştır. Bu işlem sürecinde dışarıdan herhangi bir dolgu malzemesi alınmamış, alanın yüksek kesiminden kazılan malzemenin eğim aşağı kısma sıkıştırılarak doldurulduğu beyan edilmiştir. İnşası planlanmış iki silo yapısının temelleri bu tesviye edilmiş ortam üzerine inşa edilmiş durumdadır (Foto 1).



Foto 1. Dolgu alanı ve silo temelleri

2.2. Dolgunun Durumu

Çalışma alanı iki yöne doğru eğimli bir bölgede yer almaktadır. Parsel üst sınırına yakın bölgede yapılan tıraşlama çalışması (Foto 2) ile elde edilen malzeme parsel alt sınırına doğru yerleştirilmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda dolgu kalınlığının değişken olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda parsel üst sınırına yakın bölgede doğal ayrılmış kaya yüzlek verirken alt sınıra doğru ilerledikçe dolgu kalınlığı ve bunun altındaki doğal kalıntı zemin kalınlığı artmaktadır. Foto 3’de doğal killi zeminlerin yüzeye yakın olduğu dolgu bölgesinde açılmış bir araştırma çukuru görüntülenmektedir.



Foto 2. Dolgu malzemesinin alındığı doğal yamaç ve tabanda serilmiş dolgu

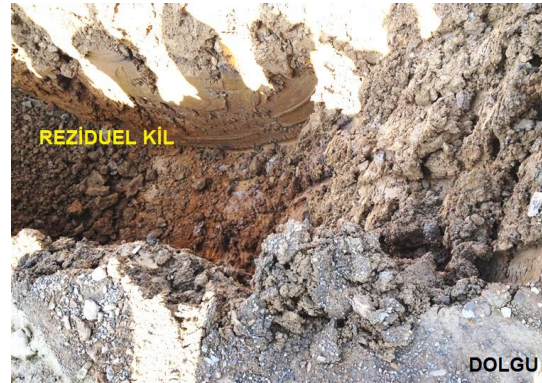


Foto 3. Dolgu kalınlığının az olduğu bölgede bulunan doğal reziduel (kalıntı) kil

Arazide mevcut halde bulunan dolgunun iki farklı yerinden numune alınarak Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'na getirilmiştir. Burada yapılan sınıflandırma ve kompaksiyon deneyleri ile zeminin sınıfı ve sıkıştırma özellikleri incelenmiştir. Her iki noktadan alınan numunelerin ikisi de TS 1500/2000'e göre GC-Killi Çakıl ve Az Kum sınıfındadır [13]. Bununla birlikte dolgu malzemesi olarak kullanılan bu gereç içinde irili ufaklı bloklar içermekte olup, bu iri bloklar ıslatıldığında hızla eriyerek kile dönüşmektedirler (Foto-4).



Foto 4. Dolgudan alınan bloğun kuru ve suda bekletilmiş hali

Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan kompaksiyon deney sonuçlarına göre 1 nolu numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 17.56 kN/m^3 , optimum su muhtevası % 13.69; 2 nolu numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 17.64 kN/m^3 , optimum su muhtevası % 15.05 değerinde bulunmuştur. Dolgu yüzeyinde yapılan arazi sıkışma kontrolü çalışmasına göre sıkışma oranı ortalama % 85 olarak belirlenmiştir. Arazide yapılan sıkıştırma kontrolleri doğal olarak dolgunun en sıkı olduğu en üst seviyelerde yapılmaktadır. Bu durumda laboratuvar sonuçlarına ancak % 85 oranında yaklaşabilen bu üst seviyelerdeki sıkılık durumunun aşağı seviyelerde daha da düşeceği açıktır.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılabileceği üzere başlangıçta Killi Çakıl (GC) olarak sınıflandırılan dolgu malzemesi suyu gördüğünde tamamen bozunarak orta plastisiteli bir kile dönüşmektedir. Bu durumda dolgu, üzerine uygulanacak yükler altında beklenenden daha farklı bir davranış sunacaktır. Ayrıca dolguda açılan araştırma çukurlarından çıkartılan malzemeler incelendiğinde çok iri blokların rastgele olarak dolgu içinde bulunduğu anlaşılmıştır (Foto 5). Sıkıştırma etkisinin bu iri blokların etrafında bulunan daha ince malzemeye ulaşmayacağı ve bu bakımdan; dolguda kullanılan malzeme ve söz konusu malzemenin sıkıştırılmış durumunun taşıma gücü ve oturmalar açısından problem oluşturacağı düşünülmüştür.

Söz konusu dolgu malzemesi laboratuvarında standart proktor enerjisi ile hesaplanan maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerlerinde sıkıştırılarak, bu numuneden konsolidasyon ve üç eksenli deney için örnek alınmıştır. TS 1900/2006 uyarınca yapılan deney sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.



Foto 5. Dolgu içinde bulunan iri bloklar

Tablo 1. Laboratuvarda Sıkıştırılmış Dolgu Numunesi Deney Sonuçları

Renk	w_n	w_L	w_p	I_p	% İnce	Sınıf	e_o	$\rho_n (kN/m^3)$	$c_u (kPa)$	c_c	c_r
Yeşil Kahve	3	37	20	17	45	GC	0.60	18.98	354	0.361	0.017

Tablo 1'e bakıldığında laboratuvarda standart şekilde sıkıştırılmış dolgunun drenajsız kayma direncinin 354 kPa gibi oldukça yüksek bir değere ulaşacağı görülmektedir. Bunun yanında sıkışma katsayısı değeri 0.361 gibi görece yüksek bir değerde ölçülmüştür.

2.3. Plaka Taşıma Deneyleri

Söz konusu parselde mevcut dolgu tabakası üzerinde iki farklı noktada plaka taşıma deneyleri gerçekleştirilmiştir (Foto-6). Deney sonuçlarından hesaplanan güvenli gerilme 143 kPa düzeyindedir. Depremlı durumda silo temellerinde oluşacak maksimum gerilme üstyapıcı tarafından 214 kPa olarak belirtildiğinden dolgunun temel zemini görevini yeterince yapamayacağı ortaya çıkmaktadır.



Foto 6. Alanda yapılmış plaka taşıma deneyi

2.4. Araştırma Çukuru Numuneleri

Silo temellerinin geoteknik açıdan değerlendirilmesi amacıyla biri silo temellerinin yanı başında diğeri de temellerin bitim noktasından 15 metre kadar aşağıda iki adet araştırma çukuru açılmıştır. Bu çukurların birincisinde 2 metre derinliğe kadar dolgu tabakası ile karşılaşmış, bu tabakanın altında ise çukur sonu olan 4 metre derinliğe kadar kalıntı kil tabakası geçilmiştir. Bu kil tabakasından alınan blok numune denenmek üzere laboratuvara getirilmiştir. İkinci araştırma çukurunda ise kazı derinliği 4 metre boyunca dolgu tabakası devam etmiş, doğal zemine rastlanılmamıştır. Bu durum değerlendirildiğinde bir metre gömme derinliğine sahip olan silo temellerinin dolgu tabakasına oturduğu anlaşılmış, temelleri inşa eden firmanın beyanı da bu doğrultuda olmuştur.

Bir nolu araştırma çukurundan alınan blok numune SAÜ Geoteknik laboratuvarında fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulmuş olup deney sonuçları özeti Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Blok Numune (Doğal) Deney Sonuçları

AÇ	z (m)	Renk	w _n	w _L	w _p	I _p	I _L	% İnce	Sınıf	e _o	ρ _n (kN/m ³)	c _u (kPa)	c _c	c _r	σ _c (kPa)
1	2.00	Yeşil Kahve	28	40	21	19	0.37	95	CI	0.87	17.89	88	0.265	0.046	250

Deney sonuçlarına bakıldığında doğal kil numunesinin drenajsız kayma direnci 88 kPa olarak ölçülmüştür. Skempton yöntemine göre bu durumda güvenli taşıma gücü;

$$\sigma_{em} = \frac{c \times N_c}{G.S.} = \frac{88 \times 6.4}{3} = 187 \text{ kPa} \quad (1)$$

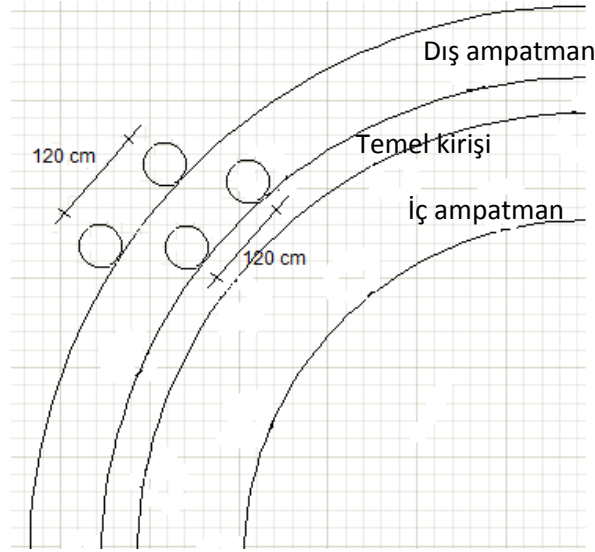
olarak hesaplanmaktadır. Plaka taşıma deneylerini teyit eden bu değer de depremli durumda oluşacak taban basınçlarını karşılayacak seviyede değildir. Bunun yanında temellerin iki ana görevinden biri oturmaların izin verilebilir değerlerin altında tutulmasını sağlamaktır. Arazi gözlemi ve araştırma çukuru çalışmalarından anlaşılabileceği üzere silo temelleri yaklaşık bir metreden başlayıp artan kalınlıktaki dolgu tabakası üzerine oturmaktadır. Plaka taşıma deneylerinden elde edilen deney sonuçlarına ve dolgu malzemesinin deney sonuçlarına bakıldığında silo yapılarının toplam ve farklı oturma değerlerinin eşitlik 2’de gösterildiği gibi kabul edilemez seviyede çıkacağı anlaşılmaktadır:

$$S_{\infty} = H_0 \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\bar{\sigma}_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} = 200 \frac{0.361}{1 + 1} \log \frac{20 + 145}{20} = 33 \text{ cm} \quad (2)$$

3. Değerlendirme, Zemin İyileştirmesi Önerisi ve İmalat

Arazi ve laboratuvar deneyleri değerlendirildiğinde silo temelleri altındaki tabakalarda iyileştirme çalışması yapmanın gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Temeller inşa edildiğinden ve halka

şeklindeki temelin içine iyileştirme uygulaması amacı ile girmek mümkün olmadığından silo dış cidarı dışında kalan temel pabucu üzerinden ve temel dış sınırından uygulama yapmak gerekli olmuştur. Önerilen iyileştirme temel dış ampattan üzerinde bir sıra ve temel dış sınırında bir sıra olmak üzere 60 cm çapında, şaşırtmalı 120 cm aralıklı jet grout kolonlarının 10 metreden fazla olmamak üzere sağlam zemin tabakası derinliğine kadar teşkil edilmesidir (Şekil 2).



Şekil 2. Silo temelleri jet grout uygulama aralıkları

Jet-gout kolonlarının önerilen şekilde imal edilebilmesi için öncelikle dış ampattanda jet-grout makinesinin çalışabilmesi için temel kalınlığı boyunca karotiyerle delikler açılmış ve sonrasında imalat bu deliklerden aşağıya inilerek tamamlanmıştır (Foto 7 ve Foto 8). Karotiyerle delme öncesinde temele verilecek zararın minimumda tutulması amacıyla donatı yerleri tespit edilmiş ve gerektiği durumlarda delikler donatı yoğunluğunun en az olduğu yerlere kaydırılmıştır.



Foto 7. Temelde jet-grout öncesi karotiyerle delme işlemi

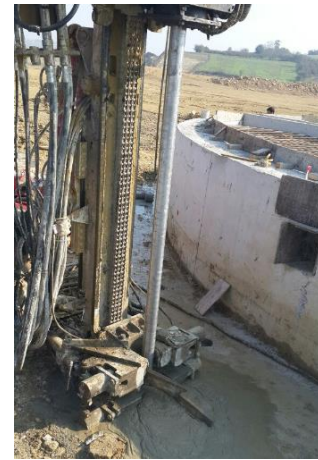


Foto 8. Jet-grout uygulaması

İmalattan bir hafta sonra kepçe yardımıyla jet-grout kolonlarından bir tanesinin etrafı açılmış ve jet-grout kolonunun oluştuğu teyit edilmiştir. Foto 9'da denenen oluşmuş jet-grout kolonu ve bu kolondan alınan örnekler görülmekte olup, enjeksiyonun kolon oluşturma yanında iri blokları da birbirine bağladığı tespit edilmiştir. Karotiyerle oluşmuş jet-grout kolonundan alınan örnekler laboratuvarında basma deneyine tabi tutulmuş ve basma dayanımlarının 3.5-6.0 MPa arasında olduğu görülmüştür. Bu değerler 88 kPa'lık bir drenajsız kayma direncine sahip doğal killi zemin ile karşılaştırıldığında iyileştirmenin istenen sonuca ulaştığı şeklinde yorumlanmıştır.



Foto 9. Jet grout kolonu, alınan numuneler ve kırılmış halleri

4. Sonuç

Bu çalışmada taşıma gücü ve oturma şartlarını sağlayamayacak değişken kalınlıklı bir dolgu üzerinde inşa edilmiş bir silo temeli altında jet-grout kolonları ile iyileştirme çalışması işlenmiştir. Mevcut yapılar altında zemin iyileştirmesi boş arazide yapılanlara göre zorluklar

taşımaktadır. Bu örnekte de görüldüğü gibi en büyük zorluk, mevcut temele zarar vermeden temel altında iyileştirme yapabilmektir. Silo yapılarının geçmişten bugüne farklı oturmalarından zarar gördüğü bilindiğinden silonun inşaatı öncesinde zemin iyileştirmesi yapılması gerektiği arazi gözlemini izleyen dolgu kontrol çalışması, araştırma çukuru açılması ve plaka yükleme deneylerini içeren arazi çalışması ve geniş bir laboratuvar çalışması sonrasında kararlaştırılmıştır. Deneysel verilere göre taşıma gücü ve oturma açısından problem beklendiğinden silo temellerinin dış ampatmanı üzerinde bir sıra ve temel dış sınırında bir sıra olmak üzere 60 cm çapında, şaşırtmalı 120 cm aralıklı jet grout kolonlarının 10 metreden fazla olmamak üzere sağlam zemin tabakası derinliğine kadar teşkil edilmesi önerilmiş ve imalat mevcut temelde karotiyerle delikler açıldıktan sonra tamamlanmıştır. İmalattan bir hafta sonra yapılan kontrolde jet-grout kolonlarının oluştuğu, iri blokların olduğu yerlerde bunların birbirine bağlanmış olduğu görülmüş ve alınan numuneler üzerinde yapılan basma deneyleri istenen iyileştirmenin elde edildiğini göstermiştir. Sonuç olarak jet-grout yönteminin bloklar içeren zeminler için de iyileştirme tekniği olarak kullanılabileceği yönünde bulgular elde edildiği söylenebilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Sert S. Settlement problems of buildings partially built on filling at the slope. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering. Abstract Book, p. 485, 25-29 Ekim 2014, Antalya, Türkiye.
- [2] Morin JP, Gervais R. Settlement record of tower silos built on Champlain clays. Canadian Geotechnical Journal. 1987, 24, pp. 490-498.
- [3] Eden WJ, Bozozuk M. Foundation failure of a silo on varved clay. Engineering Journal. 1962, 45, 9, pp. 54-57.
- [4] Bozozuk M. Foundation failure of the Vankleek Hill tower silo. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Purdue University. 1972, 1, 2, pp. 885-902.
- [5] Bozozuk M. Bearing capacity of clays for tower silos. Canadian Agricultural Engineering. 1974, 16, 1, pp. 13-17.
- [6] Morin PJ, Bozozuk, M. Performance of concrete tower silos on clays in Quebec, Canadian Agricultural Engineering. 1983, 25, 1, pp. 81-88.
- [7] Önalp A, Sert S. Geoteknik Bilgisi III: Bina Temelleri, Genişletilmiş 2. Baskı, Birsan Basım Yayın, 426 sayfa, İstanbul, 2010.
- [8] Durgunoğlu, HT. Yüksek modüllü kolonların temel mühendisliğinde kullanımı. Türkiye Mühendislik Haberleri. 2004, 431, 39-52.
- [9] Sert S, Önalp A. Turba üzerine yapılmış rijit platformun oturmaları ve kontrolü. ZMTM 1. Özel Konulu Sempozyumu: Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 2007, sayfa: 181-185, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [10] TSE. TS1900-1. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Ankara, 2006.
- [11] TSE. TS1900-2. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara, 2006.
- [12] SAÜ, Geoteknik Rapor, 2014.
- [13] TSE. TS1500 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Ankara, 2000.