

DARBELİ KIRMATAŞ KOLONLAR (DKK) İLE İYİLEŞTİRİLEN BİR SAHADA OTURMA DAVRANIŞININ GÖZLEMLENMESİNE İLİŞKİN BİR VAKA ANALİZİ

A CASE HISTORY ON PERFORMANCE MONITORING OF RAMMED AGGREGATE PIERS (RAP_S)

Ece KURT BAL¹ Lale ÖNER² Mehmet M. BERİLGİN³ İ. Kutay ÖZAYDIN⁴

ABSTRACT

This paper presents the performance assessment of Rammed Aggregate Pier® (RAP) system used as a ground improvement solution under a 60 kPa of surface loading founded on hydraulic fill and soft to medium stiff clays. All RAP elements were constructed to a final diameter of 50 cm with lengths of 16m and spacing of 1,5m to improve liquefaction mitigation, bearing capacity, settlement responses and accelerate the time rate of settlement (i.e.: consolidation) at the project site. The ultimate consolidation settlement is evaluated based on the observed settlement by using Asaoka, 1978 method. Settlement predictions are compared with actual measurements, which revealed that the RAP improved foundation soils have an increased bearing capacity, decreased compressibility compared to the unimproved site and minimized the differential settlements.

Keywords: *Rammed aggregate pier, monitoring, Asaoka method, consolidation settlement*

ÖZET

Bu bildiriye, denizden taranan malzemenin depolanması ile kazanılmış dolgu sahasının Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) elemanları ile iyileştirilmesi sonrası yük altında oturma davranışı konu edilmiştir. Seçilen vaka örneğinde bir liman konteyner stok alanı olarak kullanılacak bölgede, yüzeyden 16m derinliğe kadar yer alan birimlerde rijit DKK elemanları ile sıvılaşmaya karşı direnci artırılmış bir tabaka oluşturulması, statik ve deprem yükleri etkisinde oturma miktarlarının azaltılması ve farklı oturmaların minimize edilmesi hedeflenmiştir. Arazide yapılan oturma ölçümü verileri kullanılarak Asaoka (1978) yöntemi ile nihai konsolidasyon oturmaları tahmin edilmiştir. Saha ölçümlerinin bu şekilde değerlendirilmesi sonucunda konteyner yüklemesi altında sahada oluşan oturmaların uniform olarak gerçekleştiği, toplam ve farklı oturmaların önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Darbeli kırmataş kolon, saha ölçümü, Asaoka yöntemi, konsolidasyon oturması*

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

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

³ Prof. Dr., YTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, berilgen@yildiz.edu.tr

⁴ Prof. Dr., YTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozaydin@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde gevşek veya yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek yapı / dolgu temelleri için çeşitli iyileştirme yöntemleri ile zemin güçlendirmesi işine ihtiyaç artmıştır. Gevşek veya yumuşak zemin üzerine oturtulacak yapılar için derin temeller ya da sıkışabilir zeminin kazılarak yerine daha nitelikli malzeme doldurulması gibi mevcut yöntemlerin uygulama gücü ve/veya pahalı olduğu durumlarda, bu yöntemlere alternatif olarak darbeli kırmataş kolon uygulaması uygun çözümlerden birini oluşturmaktadır. Darbeli kırmataş kolonlar, zemine itilen ucu kapalı bir muhafaza borusu yardımı ile zemine yerleştirilen kırmataş malzemenin mekanik enerji (darbe) ile sıkıştırılması sonucu imal edilirler. Bu kolonların imalatı sırasında, ucu kapalı muhafaza borusunun zemine itilmesi yanında kırmataşın mekanik enerji ile sıkıştırılması matris zeminde ekstra iyileşme oluşmasını sağlamaktadır. Bu avantajının yanında imalatta kırmataş olarak doğal malzeme kullanılması ile çevre kirliliğine yol açılmaz.

Bu çalışmada, denizden kazanılan heterojen zemin özelliklerine sahip bir dolgu sahasında sıvılaşmaya karşı direnci artırılmış bir tabaka oluşturulması, statik ve deprem yükleri etkisinde oturma miktarlarının azaltılması ve farklı oturmaların minimize edilmesi için gerçekleştirilen darbeli kırmataş kolonlar ile iyileştirme sonrasındaki oturma davranışının arazi gözlemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Hedeflenen amaçların gerçekleşmesini yerinde kontrol etmek amacı ile alınan oturma ölçümleri kullanılarak, Asaoka Yöntemi ile nihai oturma miktarları ve gerçekleşme süresi tahmin edilmiştir.

1.1. Asaoka Yöntemi

Asaoka yöntemi, arazi oturma verilerinin kullanıldığı, gerek nihai konsolidasyon oturmalarının gerekse de konsolidasyon katsayısının tahmininde yaygın olarak kullanılan grafiksel bir yaklaşımdır (Asaoka, 1978).

Bu yöntemde nihai oturma miktarını belirlemek için kullanılan grafiği çizmek için aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Saha ölçümlerini yansıtan oturma - zaman grafiği üzerinden eşit zaman aralıkları ($\Delta t = 30 \sim 100$ gün) için t_1, t_2, \dots, t_N zaman okumalarına karşılık gelen oturma miktarları, $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N$ belirlenir.
2. Belirlenen oturma değerleri δ_{i-1} ile δ_i eksen takımı kullanılan grafik üzerinde işaretlenir. Ayrıca, aynı grafik üzerinde $\delta_i = \delta_{i-1}$ doğrusu (45°) oluşturulur (Şekil 5).
3. İşaretlenmiş oturma noktaları üzerinden en uygun doğru geçirilerek, 45° doğrusu ile kesiştirilir. Kesişim noktasından nihai konsolidasyon oturması miktarı δ_{100} bulunur.
4. Oluşturulan doğrunun eğimi (β) kullanılarak, konsolidasyon katsayısı (c_v) da tespit edilebilir.

$$c_v = \left(\frac{H^2}{6\Delta t} \right) \ln \beta \quad (\text{çift yönlü drenaj için}) \quad [1.1]$$

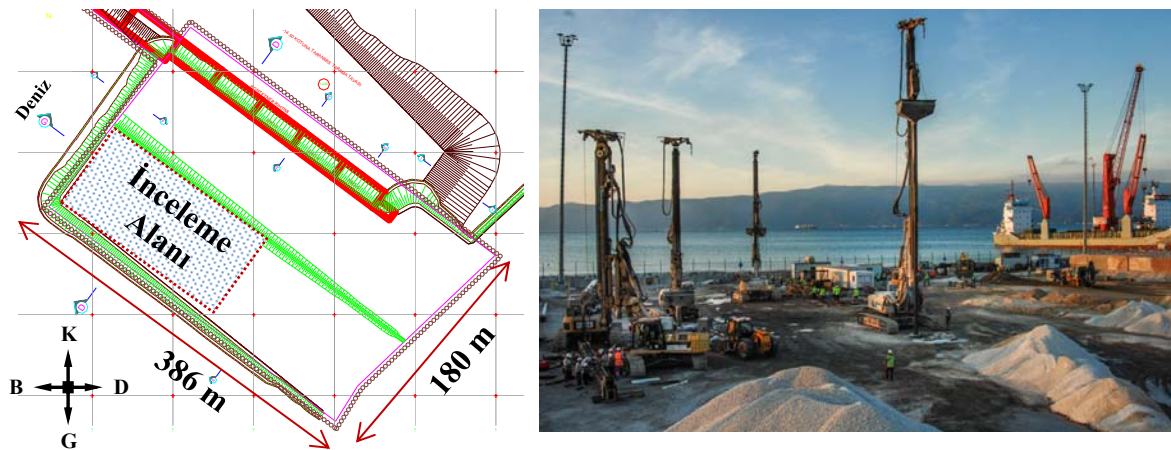
$$c_v = \left(\frac{H^2}{2\Delta t} \right) \ln \beta \quad (\text{tek yönlü drenaj için}) \quad [1.2]$$

Burada, Δt seçilen sabit zaman aralığı, H ise sıkışabilir tabaka kalınlığıdır.

Literatürde, bir boyutlu konsolidasyon deneylerinden elde edilen zaman-oturma verilerinin; logaritma-zaman yöntemi ($\delta - \log t$), karakök-zaman yöntemi ($\delta - \sqrt{t}$) ve hiperbolik yöntem (Sridharan et al., 1987) gibi bilinen ve sıklıkla kullanılan yaklaşımlar ile tahmin edilen nihai konsolidasyon oturması (δ_{100}) ve konsolidasyon katsayısı (c_v) verilerinin, Asaoka Yöntemi ile karşılaştırılmasını (Prakash et al., 2013) içeren ya da bu yöntem ile elde edilen sonuçlarda kripi etkisinin ihmalinden kaynaklı hata payının değerlendirilmesini (Sasar, 2012) içeren çeşitli araştırmalar yer almaktadır. Mesri ve Huvaj (2009) tarafından yapılan çalışmada İsveç'teki Skå-Edeby test sahasında kum drenli ve drensiz durumlardaki arazi gözlemleri verileri kullanılarak, Asaoka Yöntemi ile her iki drenaj durumu için oturma tahminleri yapılmıştır. Asaoka Yöntemi göz önüne alınarak yapılan bir çok çalışma bu yöntem ile yapılan oturma tahminlerinin birincil konsolidasyon için oldukça gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışmada Asaoka Yöntemi kullanılarak, DKK ile iyileştirilmiş killi tabakalar üzerinde oluşturulmuş bir kıyı dolgusunun oturma davranışının, arazi gözlemleri ile elde edilen oturma verileri kullanılarak incelenmesi ve olası oturma miktarlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. GÖZLEM SAHASI

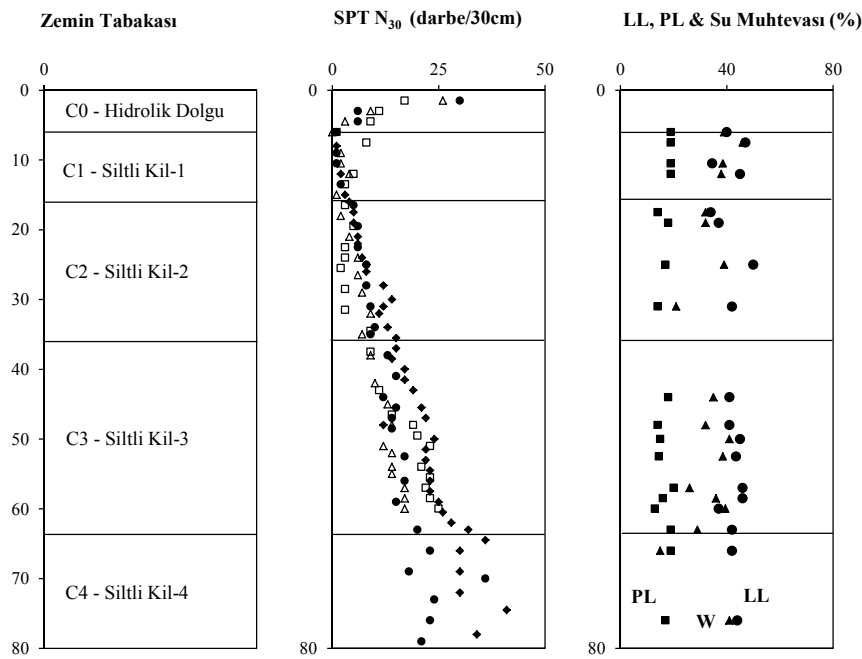
Bildiride konu edinilen gözlem sahası, Marmara Denizi kıyısında geniş bir düzlükte yer almakta olup, dolgu ile denizden kazanılan alan yaklaşık 180m x 386m boyutlarındadır. Bu sahanın doğu tarafında çok amaçlı rıhtım ve ağırlıklı olarak konteyner gemileri için de kullanılan kazıklı bir iskele yapısı, kuzey ve batı kenarlarında ise anroşmanlı kıyı koruma yapıları bulunmaktadır (Şekil 1). Denizden taranan malzeme ile doldurulan bu alanın doğu tarafında yapılan stok yükleme sonucu kazıklı rıhtım yapısında denize doğru hareketler oluşması üzerine, diğer yarısında da konteyner depolanması durumunda ortaya çıkabilecek olası olumsuzlukları (stabilite, oturma ve sıvılaşma) ortadan kaldırmak için Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) imalatı ile zemin iyileştirmesi uygulanmıştır.



Şekil 1. İnceleme Alanı Planı ve DKK İmalatından Bir Görünüş

2.1 Arazi Zemin Durumu

DKK elemanları ile iyileştirilen bölgede iyileştirme öncesi zemin profili ve özelliklerini belirlemek için 60m-79m derinliklere ulaşan sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çeşitli derinliklerde standart penetrasyon deneyleri yapılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Zemin araştırma çalışmalarından elde edilen temsili zemin profili Şekil 2’ de gösterilmiş olup, bu verilere göre arazide deniz tabanı zemin yapısının esas olarak killi zeminlerden oluştuğu, killi zemin tabakaları arasında kumlu ara tabakaların yer aldığı anlaşılmaktadır. Bu taban üzerinde bir hidrolik dolgu yerleştirilmiş olup, bu dolgu genel olarak siltli killi, gevşek kum niteliğindedir. Yüzeyde ise ortalama 2m kalınlığında kumlu, çakıllı, kireçtaşı mıcırli bir malzeme ile yapılmış kontrollü dolgu tabakası mevcuttur. Yeraltı su seviyesi bu kontrollü dolgunun altında yer almaktadır.



Şekil 2. Temsili Zemin Profili, SPT N₃₀, LL, PL ve Doğal Su Muhtevası Derinlik İlişkisi

2.2 Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) Uygulaması

Mevcut dolgu alanının çok amaçlı rıhtım tarafındaki batı yarısının konteyner depolama amacıyla kullanılacağı ve mevcut dolgu yüzeyine 60 kPa sürşarj yükü uygulanacağı belirtilmiştir. Arazi zemin koşulları dikkate alındığında, konteyner depolama alanı olarak kullanılacak proje sahasında, sıvılaşmaya bağlı riskler dışında zemin iyileştirmesi yapılması zorunluluğu bulunmadığı değerlendirilmekte birlikte, zemin profili içinde yer alan hidrolik dolgu tabakası (C0) ile onun altındaki yumuşak kil tabakasının (C1) üst seviyelerinin düşük mukavemet ve yüksek sıkışabilirliğe sahip, çok yumuşak-yumuşak zemin özelliğinde olmasından kaynaklanabilecek risklere işaret edilmiştir. Bu tabakalarda olası bir deprem sırasında sıvılaşma/mukavemet ve rijitlik kaybına karşı direncin artırılması, oturmaların azaltılması ve farklı oturmalar yanında olası yatay zemin hareketlerinin mevcut rıhtım yapısı üzerinde oluşturabileceği riskleri minimize etmek için, 1,5m aralıklı kare yerleşim ile zemin yüzünden yaklaşık 16m derinliğe kadar zemin iyileştirmesi yapılmıştır. Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) elemanlarının imalatı Impact

Sistem (muhafazalı) ile gerçekleştirilmiş olup, bu sistem için imalat adımları şu şekilde özetlenmiştir:

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

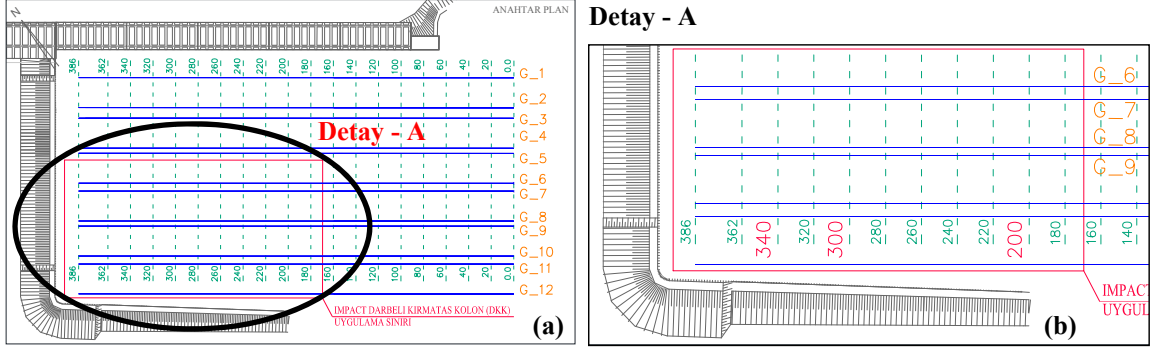


Şekil 3. Impact Sistemi ile Darbeli Kırmataş Kolon İmalatı

3. OTURMA ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

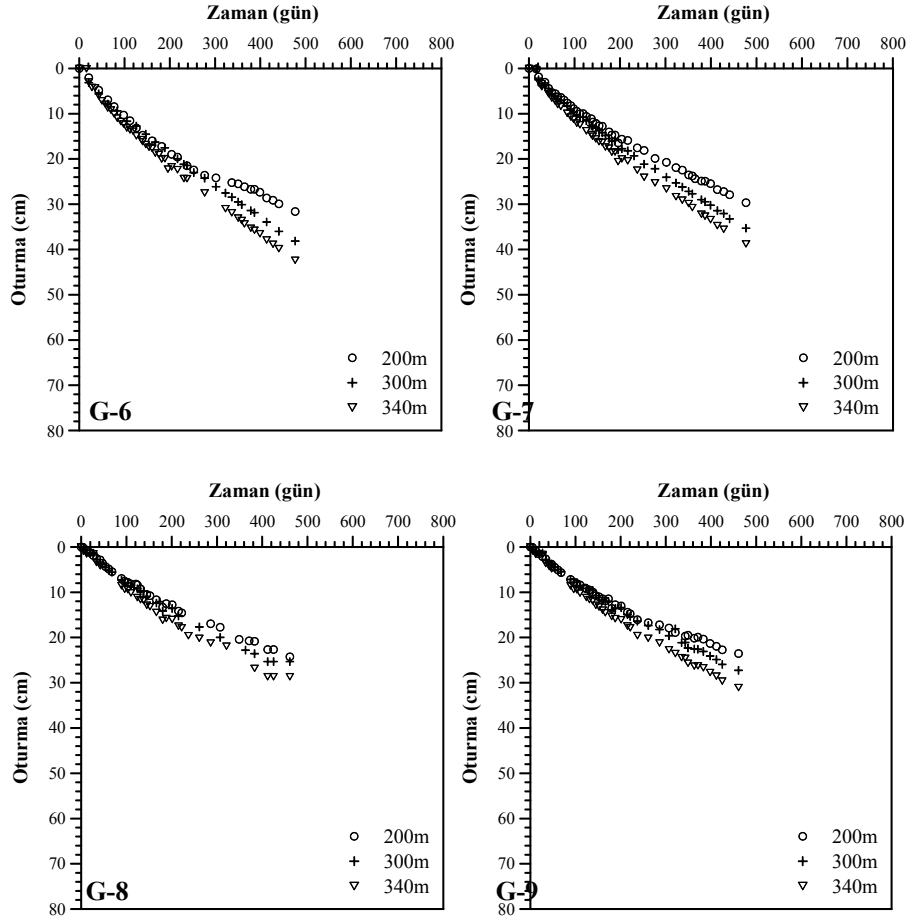
Darbeli Kırmataş Kolon imalatı yapılan saha bir liman konteyner depolama sahası olup, bu sahanın oturma davranışı beş adet 386m uzunluğundaki kirişler üzerinde belirlenen noktalarda jeodezik ölçümlerle izlenmiştir. 16 ay boyunca alınan jeodezik ölçümler kullanılarak Asaoka (1978) yöntemi ile sahanın nihai konsolidasyon oturmaları tahmin edilmiştir.

Konteyner stok sahası olarak düzenlenen 386m uzunluğundaki bölge 2 kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1). Kara tarafında denize doğru ilk 170m uzunluğundaki kesim elverişli zemin koşullarına sahiptir ve iyileştirme uygulamasına gerek duyulmamıştır. DKK imalatı 170-386 m'ler arasında yapılmıştır. Yeni konteyner stok alanı bölgesinde oturma takibi yapılmıştır. Bu oturma takibi, Şekil 4a' da gösterildiği üzere G-1 ila G-12 kirişlerinde 0m - 386m' ler arasında yapılmıştır. 170m'den itibaren iyileştirme uygulanan bölgedeki oturma durumu G-6 ila G-10 kirişlerindeki okumalar ile takip edilmiştir (Şekil 4b).



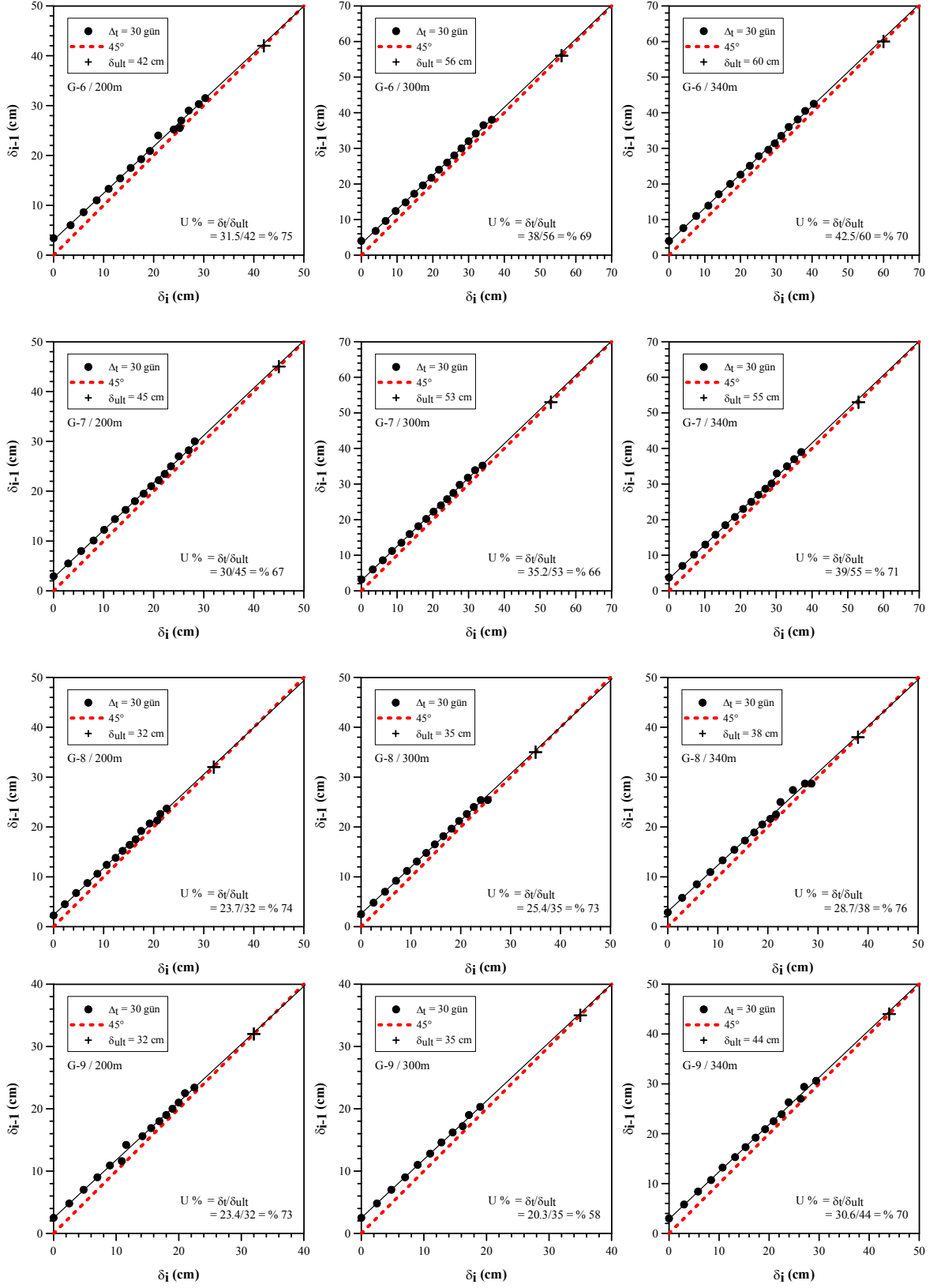
Şekil 4. DKK Uygulanan Sahanın Vaziyet Planı

Bu çalışma kapsamında, G-6 ila G-9 kirişlerindeki 200m, 300m ve 340m' ler değerlendirmeye alınmış olup, 60 kPa yüzey yüklemesi altında gözlenen zaman – oturma grafikleri Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5. G-6, G-7, G-8 ve G-9 Kirişleri İçin Oturma-Zaman Grafikleri

Proje kapsamında G-6 ila G-9 aralığındaki kirişler üzerinde yer alan 200m, 300m ve 340m' ler için; $\Delta t = 30$ gün kabulü ile δ_{i-1} ve δ_i eksenlerine karşılık gelen oturma noktalarından geçen en uygun doğrunun, $\delta_i = \delta_{i-1}$ doğrusu ile kesiştirilmesi sonucu tahmin edilen nihai konsolidasyon oturması miktarlarını gösteren grafikler Şekil 6' da sunulmuştur.



Şekil 6. Asaoka (1978) Yöntemi ile Nihai Konsolidasyon Oturması Tahmini

Saha genelinde G-6 ve G-7 kirişlerinin yüklendiği, G-8 ve G-9 kirişlerinde henüz bir yükleme olmadığı bilinmekte olup, yapılan analizler sonucunda, nihai konsolidasyon oturması miktarlarının kara tarafından denize doğru 300m' ye kadar olan bölgede, yükleme yapılan kesimde maksimum 40cm-45cm, yükleme yapılmayan kesimde ise maksimum 30cm-35cm mertebelerinde gerçekleşmesi, 300m' lerden sonra yaklaşık 40m boyunca yükleme yapılan kesimde 55cm-60cm mertebelerine, yükleme yapılmayan kesimde ise 35cm-45cm mertebelerine ulaşması beklenmektedir. Bu oturma farklarının yükleme yapılan alandaki gerilme etkisinden kaynaklı olduğu ve gelecekte G-8 ve G-9 kirişlerinin yüklenmesiyle buna bağlı oturma farklarının kapanacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, analizlerde tüm sahanın eşit zamanda uniform olarak yüklenmesi durumunun dikkate alınmasına karşın, çalışma alanında uniform bir yükleme söz konusu olmadığından, tahmin edilen bu değerlerde yanılma payının olabileceği düşünülmektedir.

16m boylarındaki DKK elemanları ile iyileştirilen kompozit bölge altında sıkışabilir tabakanın 60m derinliklere kadar devam ettiği düşünülürse, siltli kil tabakasında çift yönlü drenaj durumunda, ilgili grafiklerden $\beta = 42^{\circ}$ için; $c_v = - (22^2 / 6 \times 30) \times \ln 0.9 = 0,28 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak elde edilmiştir. Buna bağlı olarak nihai konsolidasyon oturmalarının; $t_{90} = (0,848 \times 22^2) / 0,28 = 4 \text{ yıl}$ içinde tamamlanacağı hesaplanmıştır. Ön tasarım aşamasında ise, 60 kPa uniform yayılı yük altında sıkışabilir tabakalarda konsolidasyon oturmasının 35cm-40cm mertebelerinde gerçekleşeceği ve bu oturmaların % 90' ının 4,5 yıl ($c_v = 0,25 \text{ m}^2/\text{gün}$ – kumlu kil birim için seçilen değer) içerisinde tamamlanacağı öngörülmüştür. Arazi ve yükleme koşullarındaki değişkenlikler göz önünde bulundurulduğunda tahmin edilen bu sonuçların bir miktar yanılma payı ile arazi ölçüm verileri kullanılarak hesaplanan mertebeler ile uyumlu olduğu gözlenmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, 16m boylarındaki, 1,5m kare yerleşimli Darbeli Kırmataş Kolon elemanlar ile iyileştirilmiş bir hidrolik dolgu sahasının davranışının arazi ölçümleri ile incelenmesi konu edilmiştir. Bu amaç için konteyner stok alanı olarak kullanılan bu bölgede, 16 ay boyunca alınan oturma okumaları değerlendirilmiş, gözlenen zaman-oturma verileri Asaoka Yöntemi ile yapılan analizlerle incelenmiştir. Yukarıda ayrıntısı verilen bu analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Analiz sonuçlarına göre uniform oturmaların gözlendiği kapama seddesinden yeterince uzak bölgede nihai oturmaların yüklenmiş kesimlerde 40-45cm, henüz yüklenmemiş kesimlerde 30-35cm mertebelerinde gerçekleşeceği, kapama seddesine 55m mesafeden itibaren olan bölgede ise nihai oturmaların yükleme yapılan kesimde 55-60cm mertebelerine ve henüz yükleme yapılmayan kesimde 35-45cm mertebelerine ulaşacağı öngörülmektedir. Yüklenmemiş kesimlerde konteyner stoklanmamış olsa da konteyner sevki yapılmakta olmasının meydana gelen oturmalar üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir.
2. Oturma-zaman grafikleri incelendiğinde, iyileştirme uygulanan bölgede genel olarak uniform oturma davranışı gözlenirken, kapama seddelerinden 55m mesafeden itibaren oturmaların artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu artışın, kapama seddesine doğru oluşan yanal zemin hareketlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kapama seddesi altında ve önünde yanal zemin hareketlerini

engelleyici bir önlem alınmamış olmamasından dolayı, bu hareketleri düşey yük altında meydana gelen oturmalarından ayrı değerlendirmek gerekmektedir.

3. Asaoka Yöntemi ile hazırlanan grafikler incelendiğinde saha genelinde % 50 ila % 70 oranında konsolidasyon oturmalarının gerçekleştiği tahmin edilmektedir.
4. Sonuç olarak, deprem etkisinde sıvılaşma olasılığı yüksek hidrolik dolgu tabakasının DKK ile iyileştirilmesi sonucunda genelde uniform bir yüzey oturması davranışı gösterdiği gözlenmiştir. Sahada yer alan 386m uzunluğa sahip temel kirişlerinin üzerinde çalışan yüksek tonajlı vinçlerde sorun çıkmaması bu durumu desteklemektedir. Buna göre DKK'ların tasarımda amaçlanan sıvılaşma direncinin artırılması ve farklı oturmaların minimize edilmesi amaçlarına ulaşıldığına inanılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu bildirin yazılması için gerekli mevcut bilgi ve belgeleri paylaşan Borusan Lojistik'ten Tekin Balık ve Aşkın Büyükdere, 2ER Müh. ve Müş.Ltd. Ştd'den Sedat Öztürk, Özgür Güngördü ve Yasin Demirtürk'e teşekkürü borç bilir.

KAYNAKLAR

- Asaoka, A. (1978), Observation procedure of settlement prediction, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 4, 87-101.
- Fox, N.S., Cowell, M.J. (1998), Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual, Geopier Foundation Company Inc. Scottsdale, AZ.
- Mesri, G., Huvaj-Sarihan, N. (2009), The Asaoka method revisited, Proc. 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 5-9 October 2009, Egypt, Vol 1, 131-134.
- Sasar, M., Haeri, S.M. (2012), Improving Final Settlement Predictions of the Observational Method, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol 166, 601-609.
- Prakash K., Sridharan A. ve Sheshashayana, M. (2013), Appraisal of Observational Method for Consolidation Analysis, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Paper 1300006.