DSM KOLONLARI İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN ÜZERİNDE ARAZİ YÜKLEME DENEYİNDE GÖZLENEN DAVRANIŞ

FIELD LOADING TEST ON SOIL IMPROVED WITH DSM COLUMNS

Kutay ÖZAYDIN[1]

ÖZET

Kalın alüvyon çökelleri ile kaplı bir sahada Derin Zemin Karıştırma (DSM) kolonları ile zemin iyileştirmesi uygulanmıştır. Tasarlanan yapıların çok geniş boyutlarda olması nedeni ile 45m x 120m boyutlarında bir deneme dolgusu inşa edilmiştir. Dolgu alanında 15m boyda DSM kolonları imal edilmiş, bekleme süresini kısaltabilmek için DSM kolonları arasına 32m boyda fitil drenler yerleştirilmiştir. Test dolgusu altında 9 noktada oturma plakaları, 5 noktada manyetik oturma kolonları ve 5 noktada farklı derinliklerde piyezometreler yerleştirilmiştir. Dolgu belirlenmiş bir hızda imal edilmiş, nihai dolgu yüksekliği yapılardan iletilecek gerilme artışlarını yansıtması dikkate alınarak seçilmiştir. Zemin tabakalarının sıkışmasının ayrı ayrı ölçülmüş olması, temel zemini davranışının yorumlanması açısından çok yararlı olmuştur. İyileştirilmiş tabakanın sürşarj yüküyle orantılı olarak sıkıştığı, nihai yük altında yaklaşık bir rijit blok şeklinde davrandığı gözlenmiştir. İyileştirilmiş tabakanın hemen altındaki orta katı kil tabakasının bir zayıf zon oluşturduğu, nihai dolgu kotuna ulaşıldıktan sonra yaklaşık sabit bir hızda deforme olmaya devam ettiği gözlenmiştir. Daha alt seviyelerde, fitil drenlerin etki derinliği içinde olan ve olmayan tabakaların farklı hızlarda konsolide olmaya devam ettiği gözlenmiştir. Deneme dolgusu gözlemlerinden, arazi zemin profilini oluşturan tabakaların sıkışma-konsolidasyon parametreleri belirlenmiş, proje yapıları altında uygulanacak kolon boylarının seçiminde, bu parametreler kullanılarak gerçekleştirilen oturma hesaplarında elde edilen değerlerin izin verilebilir sınırları aşmaması dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: *DSM Kolonları, İyileştirilmiş Zemin, Yükleme Deneyi*

ABSTRACT

Soil improvement is employed at a site covered with thick alluvial deposits, considering very large dimensions of structures, a test embankment of 45m x 120m dimensions is constructed at a predetermined rate, on an area where soil is improved with 15m long DSM columns, 32m long wick drains installed between DSM columns to reduce waiting period. To measure soil behavior, 9 settlement plates, 5 magnetic settlement columns and at 5 locations piezometers at various depths are installed. Height of embankment is chosen to reflect stress increase in deep soil layers expected to be influenced by the structures. The measured compression rates of different soil layers enabled better understanding of foundation layers. Improved soil body is compressed proportionally with fill height; at final height observed to behave as a rigid body. The medium stiff clay layer underlying the improved layer showed behavior of a weak zone, continued deformation under constant load. The deeper unimproved layers showed consolidation behavior at different rates, depending on being in the influence zone of wick drains or not. Based on test fill observations, settlement parameters are derived to predict the settlements of structures, and permissible values are taken into consideration in final design length of columns.

Keywords: *DSM Columns, Soil Improvement, Test Embankment*

[1] Prof. Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi (Emekli) ozaydin.kutay@gmail.com

1. GİRİŞ

Bursa İli, Gemlik İlçesi, Gençali Mahallesinde yer alan bir proje sahasında temel zeminini teşkil eden kalın alüvyon çökellerinin, inşa edilecek çok geniş alanlar kaplayan yapılar altında, sıvılaşma riskinin bertaraf edilmesi ve meydana gelecek oturmaların sınırlandırılması için, DSM kolonları ile zemin iyileştirmesi uygulanmasına karar verilmiştir. Seçilen DSM kolon yerleşimi ve boyları ile iyileştirilecek zemin üzerine oturacak yapıların oturma-zaman davranışının yerinde aletsel ölçümlerle izlenebilmesi ve analizlerde kullanılan parametrelerin yerinde gözlemlerle doğrulanabilmesi amacı ile geniş boyutlu bir deneme dolgusu imal edilmesine karar verilmiştir. Proje takvimindeki sıkışıklıktan dolayı ve yapılacak DSM imalatlarının ekonomik olarak değerlendirilmesi amacı ile yükleme deneyinin boş bir alanda değil, planlanan bir yapı alanı üzerinde uygulanmasına karar verilmiştir.

2. ZEMİN MODELİ VE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Proje sahası arazi zemin modeli aşağıda özetlenmiştir (Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş., 2020).

Kil 1 Tabakası: idealize zemin profilinde +2.85 ile -2.00m kotları arasında yer aldığı kabul edilen seyrek ince kumlu, orta – yüksek plastisiteli, yumuşak-orta katı-katı kil.

Kum 1 Tabakası: idealize zemin profilinde -2.00m ile -13.00m kotları arasında yer aldığı kabul edilen karbonatlı, kavkılı, siltli, düşük-orta plastisiteli killi, ince-orta taneli yuvarlak-yarı yuvarlak çakıllı, ince-orta taneli, gevşek-orta sıkı kum birimler.

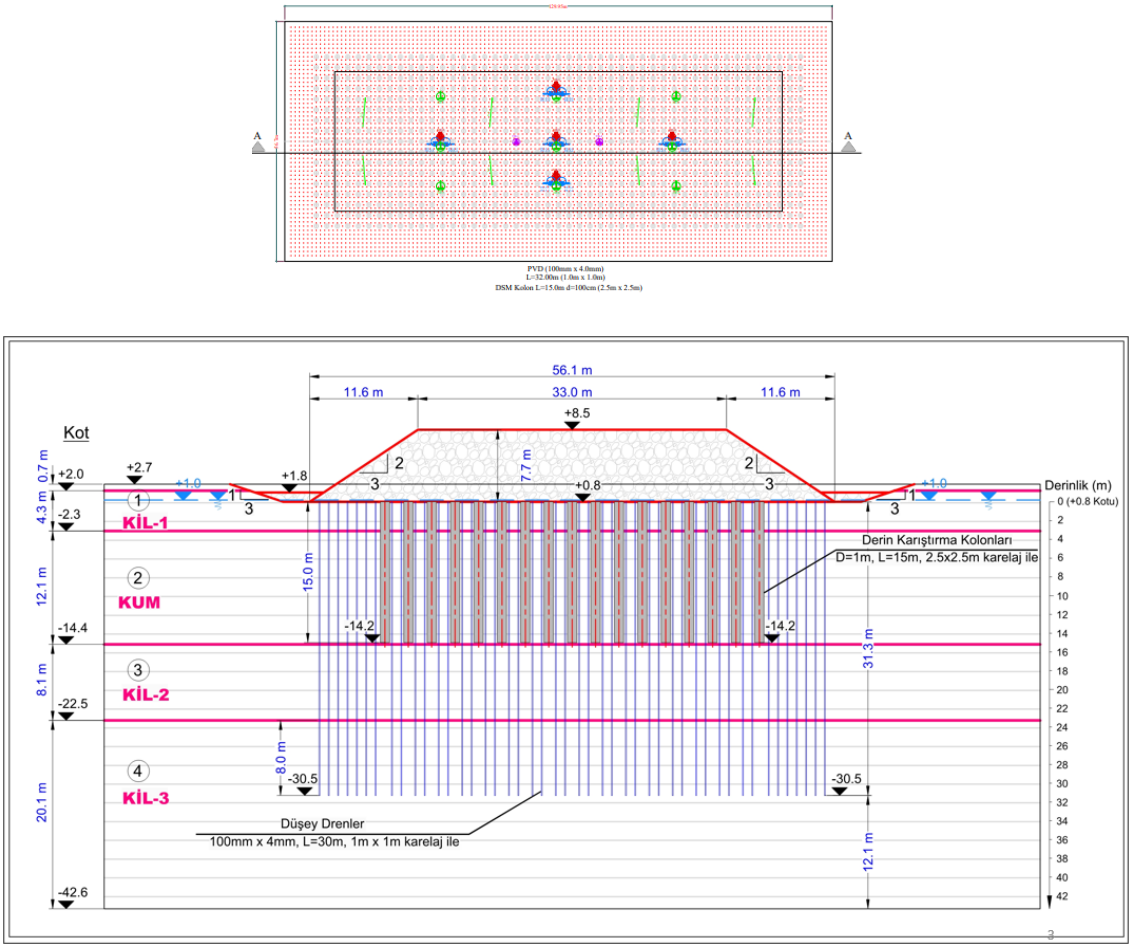
Kil 2 Tabakası: idealize zemin profilinde -13.00m ile -19.00m kotları arasında yer aldığı kabul edilen, yerinde uygulamada -22.50m kotuna kadar devam ettiği gözlenen, karbonatlı, yer yer kavkılı, ince-orta taneli kumlu, siltli, orta-yüksek plastisiteli orta katı-katı kil.

Kil 3 Tabakası: idealize zemin profilinde -19.00m (-22.50m) ile -42.00m kotları arasında yer aldığı kabul edilen karbonatlı, yer yer kavkılı, az ince-orta taneli kumlu, az siltli, yüksek plastisiteli orta katı-sert kil.

3. TEST DOLGUSU

Test dolgusuna ilişkin bilgiler Şekil 1'de gösterilmiş, boyutları ve ölçüm sistemine ilişkin bilgiler ise aşağıda özetlenmiştir.

Temel boyutları 33.0m x 107.0m olan bir proje binası alanı üzerinde dolgu yapılması tasarlanmıştır. Arazi kotu +2.70m olan bölgede +0.60m kotundan itibaren 15.0m boyda, 1.0m çapında, 2.50m x 2.50m yerleşimli DSM kolonları (alt kotu -14.40m) imal edilmiştir. Üzerine 1.0m kalınlıkta drenaj malzemesi serilen DSM kolonlar arasına 1.0m x 1.0m yerleşimli 32.0m boyda (üst kotu +1.80m ve alt kotu -30.20m) fitil drenler yerleştirilmiştir. Deneme dolgusu kenarları 3(Y):2(D) eğimli, DSM kolonları ve fitil drenler temel boyutları dışına taşacak şekilde imal edilmiştir. Dolgunun kademeler halinde ve belirlenmiş bir hızda (yaklaşık=0.50m/gün) imal edilmesi öngörülmüş, dolgu yüksekliği geniş oturum alanlarına sahip yapılardan (temel taban basıncı tasarım aşamasında 110 kPa olarak verilmiştir) özellikle alt kil tabakalarına iletilecek gerilme artışına eşit gerilme artışına yol açacak şekilde seçilmiştir. İlk tasarımda +8.70m olması öngörülen nihai dolgu üst kotu +8.50m olacak şekilde tamamlanmıştır.



Şekil 1. Test Dolgusu Boyutları, Zemin Kesiti ve Ölçüm Sistemleri

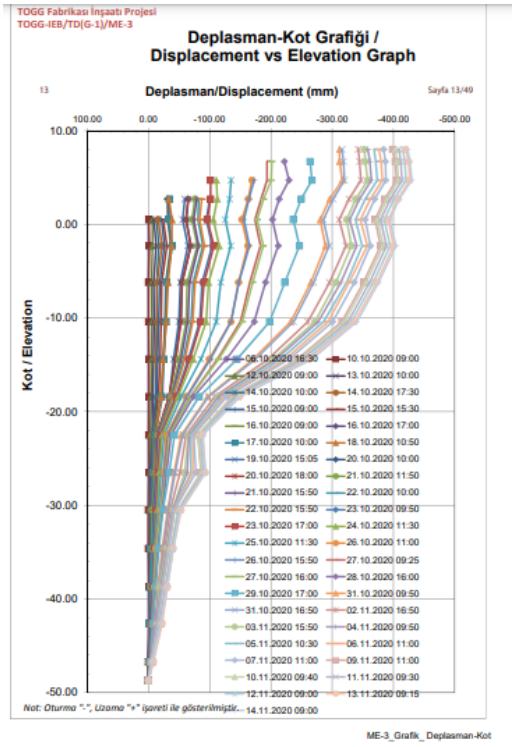
Dolgu yükü altında zeminin oturma davranışını ölçümlerle izleyebilmek için, Şekil 1'de gösterilen 9 noktada oturma plakaları (OP1-OP9), 5 noktada manyetik oturma kolonları (ME1-ME5) ve 5 noktada derinlikle boşluk suyu basıncı değişimlerini ölçmek için piyezometreler (PZ1-PZ-5) yerleştirilmiştir. Bu bildiride yükleme alanının merkezindeki OP-5, ME-3 ve PZ-3 ölçümleri değerlendirilmiştir. Manyetik oturma kolonlarının alt uç (referans) ölçüm kotu -48.70m olarak seçilmiş, düzenli düşey aralıklarla yerleştirilen örümcek magnetlerle temel zemini içinde -46.70m, -42.50m, -38.70m, -34.60m, -30.50m, -26.50m, -22.50m, -18.40m, -14.40m, -10.40m, -6.20m, -2.30m ve +0.50m kotlarında düşey deplasman ölçümleri alınmıştır. Piyezometre kuyularında ise -7.40m, -15.25m, - 21.90m ve -33.25m kotlarında boşluk suyu basıncı değişimleri ölçülmüştür.

4. TEST DOLGUSUNDA GÖZLENEN DAVRANIŞ

Manyetik oturma kolonları ile ölçülen düşey deplasman değişimlerine ilişkin bir örnek olarak ME-3 kolonu ölçümleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekilde yer alan düşey deplasman grafikleri göz önüne alındığında, zeminin oturma davranışı açısından gözlenen hususlar:

- İyileştirilmiş zemin tabakası olan +0.50m ile -14.40m kotları arasındaki tabakanın dolgu nihai kotuna ulaşıncaya kadar uygulanan sürşarj yüküyle orantılı olarak sıkıştığı ve daha sonra yaklaşık bir rijit blok şeklinde davrandığı,

- İyileştirilmiş tabakanın hemen altında -14.40m ile -22.50m kotları arasında yer alan tabakanın bir zayıf zon oluşturduğu ve dolgu nihai kotuna ulaştıktan sonra hemen hemen sabit bir hızda deforme olmaya devam ettiği,
- Fitil drenlerin etki derinliği içinde olan -22.50m kotu ile -30.50m kotu arasındaki tabakanın drenlerin yardımı ile konsolide olmaya devam ettiği,
- Fitil drenlerin etki derinliği altında -30.50m ile -42.50m arasındaki tabakanın da konsolide olmaya devam ettiği.

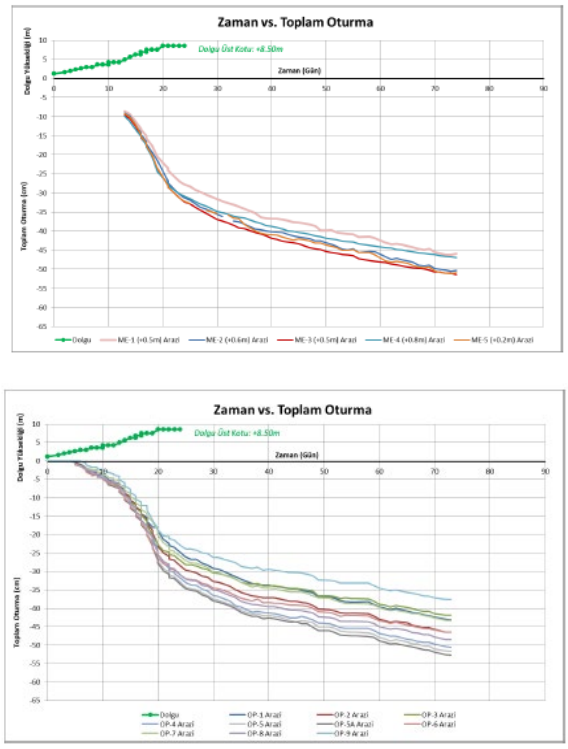


Şekil 2. Dolgu Merkezinde Yer Alan Manyetik Oturma Kolonu Ölçüm Grafikleri

Test dolgusu altında meydana gelen zamana bağlı oturmaların yakından değerlendirilmesi, üretim tesisi yapıları altında meydana gelecek oturmaları öngörebilmek açısından büyük önem taşımaktadır. Yerinde yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin ayrıntılı değerlendirilmesi ile oturma-zaman davranışını modellemek için kullanılacak parametrelerin daha sağlıklı belirlenmesi mümkün olmuştur.

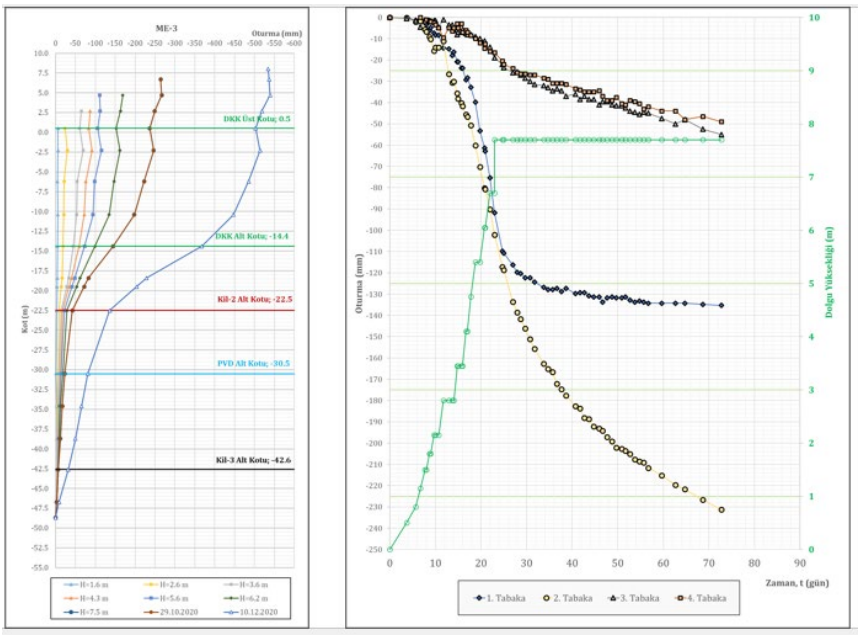
Şekil 3'te dolgu yükü altında, dolgu üst kotu artışına bağlı olarak, üstte manyetik oturma kolonları ve altta yüzey oturma plakaları ile ölçülen, toplam oturmanın zamana bağlı değişimi gösterilmiştir (Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş., 2020). Dolgunun nihai kotuna ulaştığı tarihten itibaren oturmaların yavaşlayan bir hızda devam ettiği görülmektedir. Ancak toplam oturma davranışı yanında, yukarıda değinilen farklı katmanların oturma davranışının daha yakından incelenmesi ile değişik temel zeminini oluşturan farklı katmanlar için gerçekçi oturma parametrelerinin belirlenmesini mümkün olmuştur.

Şekil 3'te gösterilen oturma grafiklerinden değişik katmanların sıkışmasının toplam oturmaya katkısını belirmek mümkün olmamaktadır. Şekil 4'te, toplam oturmanın derinlikle değişimi yanında, yukarıda tanımlanan dört farklı katmanın oturma-zaman davranışı ayrı ayrı gösterilmiştir (Erol, O. ve Çekinmez, Z., 2020). En üste yer alan iyileştirilmiş zemin katmanında dolgu nihai kotuna ulaştıktan sonra yaklaşık 10 gün içinde sıkışmasının hemen



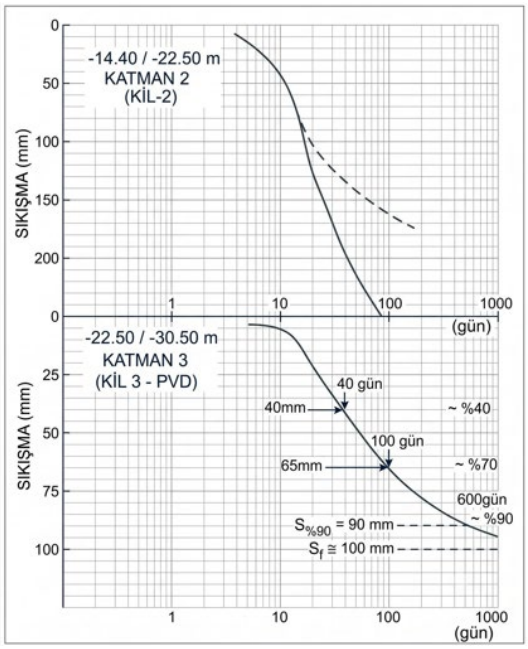
Şekil 3. Dolgu Altında Gözlenen Toplam Oturma- Zaman Davranışı

hemen sonlandığı gözlenmektedir. İyileştirilmiş tabakanın hemen altındaki zayıf zemin tabakasında (Katman 2 - Kil 2) ani olarak gelişen sıkışmanın çok az yavaşlayarak ilerlediği gözlenirken, Kil 3 olarak tanımlanan alt katmanlarda ise oturmanın klasik konsolidasyon davranışına benzer şekilde devam ettiği gözlenmektedir. Kil 3 tabakasının üst seviyeleri Katman 3 (fitil drenleri içeren seviye) ve Kil 3 tabakasının alt seviyeleri Katman 4 (fitil drenlerin altında kalan seviye) olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Değişik Katmanlarda Gözlenen Sıkışma- Zaman Davranışı

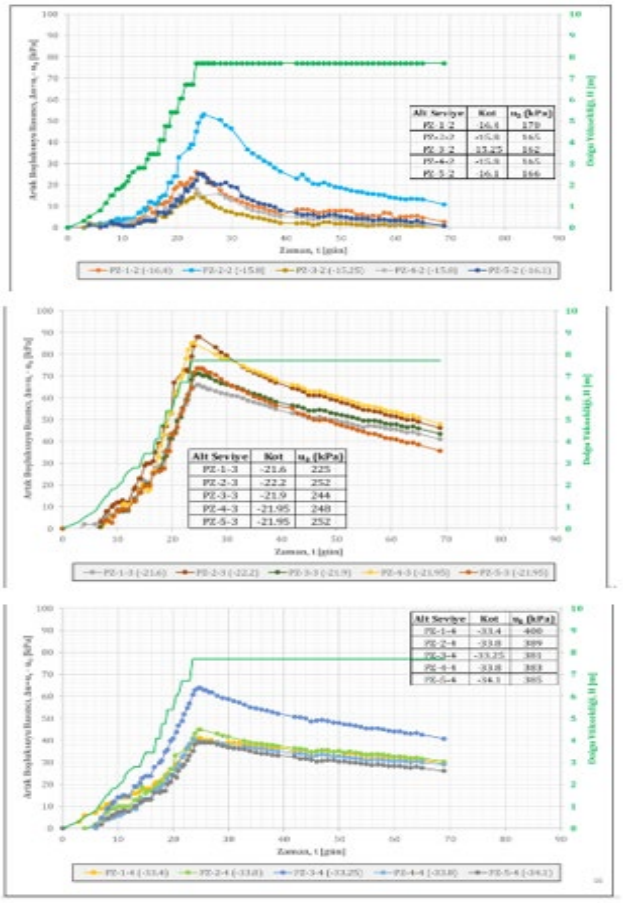
Şekil 5'te iyileştirilmiş tabakanın hemen altındaki zayıf tabaka (Katman 2) ile onun altındaki fitil drenlerin etkili olduğu Kil 3 tabakasının üst seviyelerinde (Katman 3) oluşan oturma davranış yarı logaritmik çizimde gösterilmiştir. Birincil konsolidasyon sonunun tespitinde sıkça kullanılan bu eğrilerden, zayıf zon olarak nitelendirilen ikinci katmanın sıkışmasını tam olarak konsolidasyon davranışı şeklinde açıklamak mümkün gözükmemekte, onun altındaki katmanın ise tipik konsolidasyon davranışı gösterdiği gözlenmektedir.



Şekil 5. Katman 2 ve Katman 3 Tabakalarında Sıkışma-Log(zaman) Davranışı

Katman 2 olarak isimlendirilen tabakada zamanla oturma hızında beklenen hızda yavaşlama gözlenmemekte, bir limit gerilme değerinin aşılması ile sabit hızda deformasyon (plastik) meydana geldiği gözlenmektedir. Deneme dolgusunda, gerçek boyutları çok büyük olan proje yapıları altında iyileştirilmemiş tabakalarda meydan gelmesi beklenilen mertebelerde gerilme artışı sağlayabilmek için seçilen dolgu yüksekliği, bu zayıf tabakada aşırı gerilme artışına yol açmış görünmektedir. Katman 3 olarak nitelendirilen tabakada (Kil 3 - fitil drenler içeren) ölçülen sıkışma davranışının konsolidasyon davranışına benzer olduğu gözlenmiş ve tahmini nihai sıkışma miktarından hesaplanan konsolidasyon yüzdeleri grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deneme dolgusu altında, zemin profilini oluşturan katmanlar içinde farklı derinliklere yerleştirilen piyezometrelerle boşluk suyu basıncı değişimleri ölçülmüştür. Ölçülen basınçlardan statik su basıncı değerleri çıkarılarak, dolgu yüklemesi altında oluşan artık boşluk suyu basıncı değerleri ve dolgu yüksekliği nihai kota ulaştıktan sonra, sabit gerilme altında artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesi izlenmiştir. Şekil 6'da farklı katmanlarda artık boşluk suyu basıncının zaman bağlı sönümlenmesi gösterilmiştir (Erol, O. ve Çekinmez, Z., 2020). En üstteki grafiklerde, Katman 2'de artık boşluk suyu basıncının hızla sönümlendiği gözlenmekte, sıkışma davranışı ile uyumlu olarak, deneme dolgusu gözlem süresinde oluşan sıkışmanın, konsolidasyon davranışından ziyade plastik deformasyon kaynaklı olduğuna işaret etmektedir. Diğer bir açıklama, DSM kolonlarının zemine gömülmesi ile oluşan ani düşey yer değiştirmeyi takiben, altında kalan kesimin sıkışmaya devam etmesi olabilir.



Şekil 6. Değişik Katmanlarda Artık Boşluk Suyu Basıncı Sönümlenmesi

Şekil 6'da ortada ve altta gösterilen artık boşluk suyu sönümlenmesi grafikleri, sırası ile Katman 3 üst seviyelerinde (fitil dren içeren) ve Katman 3 alt seviyelerinde (fitil drenlerin alt kotundan daha aşağıda yer alan) ölçülen artık boşluk suyu sönümlenmelerini göstermektedir. Fitil drenler içeren seviyelerde sönümlenme hızının biraz da hızlı olduğu, ancak hemen altındaki tabakada gözlenen davranışın da piyezometrenin fitil drenlerin alt kotuna yakın (-33.50m kotunda) yerleştirilmiş olmasından dolayı, fitil drenlerden etkilendiği gözlenmektedir. Piyezometre okumalarından, bekleme süresine bağlı olarak ulaşılan konsolidasyon yüzdeleri hesaplanmıştır.

5. KONSOLİDASYON PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bildiride, deneme dolgusunda aletsel ölçümlerle gözlenen davranışın, zemin ve temel mühendisliğinin temel kavramları çerçevesinde yorumuna ve konsolidasyon parametrelerinin belirlenmesine ilişkin değerlendirmelere yer verilmesi ile yetinilecektir**.** Davranışın ayrıntılı nümerik modellemeler ve analizlerle de incelenebileceği açıktır.

Deneme Dolgusu Altında Gerilme Artışları

Basit yaklaşımlarla (veya nümerik analizlerle) deneme dolgusu altında, farklı derinliklerde meydana gelecek ortalama gerilme artışları hesaplandığında, yukarıda tanımlanan dört farklı katmanın ortasında, efektif düşey jeolojik gerilmeler, deneme dolgusu sürşarj yükünden kaynaklanacak gerilme artışları ve piyezometre ölçüm noktalarında etkiyen düşey gerilme artışları hesaplanabilir.

KİL 2 Tabakasında Gözlenen Davranışın Değerlendirilmesi

DSM kolonları altında, tasarım aşamasında -19.00m kotuna kadar olduğu varsayılan, yerinde gözlenen davranışa göre yaklaşık -22.50m kotuna kadar devam ettiği gözlenen Kil 2 tabakasının deneme dolgusu yükü altında aşırı yüklendiği anlaşılmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilen oturma- zaman ve oturma-log(zaman) eğrilerinden bu tabakanın davranışının tam olarak konsolidasyon teorisi ile açıklanmasının mümkün olmadığı gözlenmektedir. Bu tabakanın orta seviyesinde dolgu yükünden kaynaklanan ortalama düşey gerilme artışı 102 kPa olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, bu tabaka üzerinde yapılan değişik deneylerde elde edilen drenajsız kayma dayanımının 25-35 kPa mertebelerinde olduğu tespit edilirken, normal konsolide bir zemin olması durumunda maruz kaldığı efektif jeolojik düşey basınç değerine göre de 35-40 kPa civarında olması beklenilebilir. Bütün bunlar dikkate alındığında, tabaka ortasında düşey gerilme/drenajsız kayma dayanımı oranının $(\Delta\sigma_v/c_u) \sim$ 2.50-3.50 arasında yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Katmanın üst seviyelerinde (DSM kolonlarının hemen altında) bu oranın daha da yüksek değerlere ulaştığı varsayılabilir.

Mevcut bilgiler bu tabakada dolgu yükünden kaynaklanan gerilme artışları etkisinde plastikleşme limitlerinin aşıldığına işaret etmektedir. Bu durumda, DSM kolonları uçlarının zemine battığı(gömüldüğü) anlaşılmaktadır. Proje yapıları altında zemin iyileştirme amacı ile imal edilecek kolon boylarının seçiminde, bu tabakada meydana gelecek gerilme artışlarının zeminde plastikleşme limitinin aşılmasına yol açmayacak mertebelerde olmasına dikkat edilmiştir. Plastik davranış sınırlarına ulaşılmaması durumunda, oturma hesaplarında bu tabaka için sıkışma parametreleri olarak $E_{oed} = 4\,MPa$ ve C_c = 0.25 yaklaşık değerlerinin kabul edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KİL-3 Tabakasında Gözlenen Davranışın Değerlendirilmesi

Klasik konsolidasyon teorisine göre değerlendirmeye en uygun tabakanın Katman 3 (Kil 3 tabakasının -22.00m ile -30.50m kotları arası üst kesimi) olduğu görülmektedir. Bu tabakada ölçülen boşluk suyu basıncı değişimi ve ulaşılan konsolidasyon yüzdesi değerleri, fitil drenler uygulanan deneme dolguları davranışı ile uyumlu olduğu gibi, gözlenen oturma- log (zaman) davranışının da beklenildiği gibi olduğu görülmektedir. Her bir piyezometre ölçüm noktasında sürşarj yükü altında oluşacak başlangıç boşluk suyu basıncı artışı o noktada etkiyen düşey gerilme artışına eşit kabul edilebilir ($u_{z,0} = \Delta\sigma_v$) ve her bir noktada herhangi bir t zamanında ulaşılan konsolidasyon yüzdesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$U_z(t) = \left\{1 - \frac{u_{z,t}}{u_{z,0}}\right\}$$

Katman 3 için hesaplanan konsolidasyon yüzdesinde oluşan oturma miktarından (ölçülen noktadaki boşluk suyu basıncından hesaplanan konsolidasyon yüzdesinin yaklaşık olarak tabakanın ortalama konsolidasyon yüzdesine, U(t) eşit olduğu kabul edilirse) nihai oturma miktarı, $s_f = \frac{s(t)}{U(t)}$ ilişkisinden hesaplanabilir. Aynı şekilde, Şekil 5'te gösterilen sıkışma-zaman eğrisinden de bu katmanın nihai oturma miktarı yaklaşık 100 mm olarak hesaplanarak, nihai konsolidasyon oturması değerinden ödometrik sıkışma modülü ($E_{oed} =$ 8.0 MPa) ve zeminin normal konsolide olduğu kabul edilirse, sıkışma indisi ($C_c = 0.20$) değerlerine ulaşılmıştır.

İyileştirilmiş Tabakanın Sıkışması- Kolon Batması Yaklaşımı

DSM kolon uçları sağlam bir tabakaya oturmadığı durumlarda kolonların zayıf zemine batması (gömülmesi) söz konusu olabilmektedir. Chai vd. (2010) ve Pongsivasathit vd. (2013) tarafından önerilen yöntemde zayıf zona gömülme miktarı ayrı olarak hesaplanmakta, kolonların gömülen kısımları hariç tabaka iyileştirilmiş tabaka olarak kabul edilmektedir. Gömülme miktarı, kolonları gömülmemiş kısmını içeren tabakanın sıkışması ve zayıf tabakanın konsolidasyon oturması ayrı ayrı hesaplanarak, toplam oturma miktarının hesaplanabileceği öngörülmektedir. Bu basit yaklaşımla, zayıf tabaka (Kil-2) ortasında gerilme artışının 102 kPa, kilin drenajsız kayma dayanımının $c_u = 40$ kPa kabul edilmesi durumunda gömülme miktarı yaklaşık 50 cm ve $c_u = 50$ kPa alınırsa, gömülme miktarı yaklaşık 15 cm olarak hesaplanabilmektedir.

6. SONUÇLAR

Kalın alüvyon çökelleri üzerinde inşa edilecek çok geniş alanlar kaplayan yapılar altında, sıvılaşma riskinin bertaraf edilmesi ve meydana gelecek oturmaların sınırlandırılması için, DSM kolonları ile zemin iyileştirmesi uygulanmasına karar verilmiştir. Yapıların oturma-zaman davranışının öngörülebilmesi için, geniş boyutlu bir deneme dolgusu imal edilmesine ve iyileştirilmiş zeminin davranışının yerinde aletsel ölçümlerle izlenebilmesi kararlaştırılmıştır.

Temel zemini profilinin, ortalama 11.0m kalınlığında siltli, killi, ince-orta taneli, gevşek-orta sıkı kum birimler altında, 8.0m kalınlığında karbonatlı, yer yer kavkılı, ince-orta kumlu, orta-yüksek plastisiteli orta katı-katı siltli kil (Kil 2) ve en altta yer yer kavkılı, az ince-orta kumlu, yüksek plastisiteli orta katı-sert siltli kil (Kil 3) birimlerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

Deneme dolgusu, 15.0m boyda, 1.0m çapında, 2.50m x 2.50m yerleşimli DSM kolonları ile zemin iyileştirilmesi uygulanmış ve DSM kolonlar arasına 32.0m boyda fitil drenler yerleştirilmiş bir alanda inşa edilmiştir. Dolgu yüksekliği, geniş oturum alanlarına sahip olacak proje yapılarından, özellikle alt kil tabakalarına iletilecek gerilme artışına eşit gerilme artışına yol açacak şekilde seçilmiştir. Dolgu altıda, 9 noktada oturma plakaları, 5 noktada manyetik oturma kolonları ve 5 noktada farklı derinliklerde piyezometreler yerleştirilmiştir.

Yerinde yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile oturma-zaman davranışını modellemek için kullanılacak parametrelerin daha sağlıklı belirlenmesi mümkün olmuştur. Temel zemini profilinde yer alan en üstteki iyileştirilmiş zemin katmanında dolgu nihai kotuna ulaştıktan sonra yaklaşık 10 gün içinde sıkışmasının hemen hemen sonlandığı, kolon uçlarının girdiği onun altındaki zayıf zemin tabakasında (Kil 2) ani sıkışmayı takiben deformasyonun yaklaşık sabit hızda devam ettiği ve çok az yavaşlayarak ilerlediği gözlenirken, Kil 3 olarak tanımlanan katmanlarda ise oturmanın klasik konsolidasyon davranışına benzer şekilde devam ettiği gözlenmiştir

Kil 2 tabakasının deneme dolgusu yükü altında aşırı yüklendiği, plastikleşme limitlerinin aşıldığı, DSM kolonları uçlarının zemine battığı(gömüldüğü) sonucuna varılmıştır. Temel zemini basıncının deneme dolgusunda uygulanan gerilmenin yaklaşık yarısı kadar olması beklenilen proje yapıları altında zemin iyileştirme amacı ile imal edilecek kolon boylarının seçiminde, bu tabakada meydana gelecek gerilme artışlarının zeminde plastikleşme limitinin aşılmasına yol açmayacak mertebelerde olmasına da dikkat edilmiştir.

Kil 3 tabakasının fitil drenlerin etkisindeki üst seviyelerinde artık boşluk suyu basınçlarının daha hızlı sönümlendiği ve bir miktar daha yüksek konsolidasyon yüzdesi değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Genel olarak, Kil 3 tabakasında ölçülen oturma-zaman davranışı ve artık boşluk suyu basıncı sönümlenmesinin klasik konsolidasyon davranışı ile uyumlu olduğu gözlenmiş, ulaşılan konsolidasyon yüzdesinde oluşan oturma miktarından, nihai oturma miktarının ve zeminin sıkışma modülü değerlerinin hesaplanması mümkün olmuştur.

KAYNAKLAR

Chai, J.C., Miura, N., Kirekawa, T., and Hino, T. (2010). "Settlement Prediction for Soft Ground Improved By Columns." Ground Improvement 163(G12), 109−119.

Erol, O. ve Çekinmez, Z. (2020) "Aletsel Gözlem Sonuçlarına Göre Test Dolgusu Değerlendirme Raporu ile İlgili Görüş Raporu" 26.12.2020.

Pongsivasathit, S., Chai, J.C., and Ding, W.Q. (2013). "Consolidation Settlement of Floating-Column-Improved Soft Clayey Deposit."Ground Improvement 166(GI1), 44−58.

Özaydın, K. (2020) "Test Dolgusu Davranışına İlişkin Ön Değerlendirme Raporu" 25.11.2020

Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş.(2020) "Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu, Üretim Tesisi İnşaat Projesi, Aletsel Gözlem Sonuçlarına Göre Test Dolgusu Değerlendirme Raporu".

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
C_c	Sıkışma indisi	U(t)	Tabakanın t zamanındaki ortalama konsolidasyon yüzdesi
c_u	Drenajsız kayma dayanımı	$U_z(t)$	z noktasında t zamanındaki konsolidasyon yüzdesi
E_{oed}	Ödometrik sıkışma modülü	$u_{z,0}$	z noktasında başlangıç boşluk suyu basıncı artışı
s(t)	t zamanında ölçülen oturma miktarı	$u_{z,t}$	z noktasında t zamanındaki artık boşluk suyu basıncı
s_f	Nihai oturma miktarı	$\Delta\sigma_v$	Düşey gerilme artışı
t	Zaman	$\Delta\sigma_v/c_u$	Düşey gerilme artışı / drenajsız kayma dayanımı oranı