Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
18. Ulusal Konferansı

29-30 Eylül 2022
Erciyes Üniversitesi, Kayseri

DOI:10.5505/2022zmgm.SS-17

REZİDÜEL ZEMİNLERDE OTURMA DAVRANIŞINA İLİŞKİN BİR VAKA ANALİZİ

A CASE STUDY ON SETTLEMENT BEHAVIOUR OF RESIDUAL SOILS

Salahaddin Miraç KARADEMİR[1], Zeynep ÇEKİNMEZ BAYRAM[2]

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'de rezidüel zeminler üzerinde imal edilen bir otoyola ait dolguların oturma davranışının belirlenmesine ilişkin gerçekleştirilen geoteknik hesaplara ve saha ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Öncelikle, projelendirme aşamasında gerçekleştirilen saha ve laboratuvar deneyi sonuçlarına göre geoteknik literatürdeki yaklaşımlar kullanılarak oturmaya ilişkin hesap ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yapım sürecinde, kritik olarak seçilen bir lokasyonda, farklı özelliklere sahip test dolguları inşaa edilerek oturma plakaları ile enstrümante edilmiştir. Teorik hesaplar ve saha ölçüm sonuçları kıyaslanarak oturma davranışına ilişkin çıkarımlar yapılmıştır. Öngörülen oturma davranışının teyit edilmesi maksadıyla projenin çeşitli lokasyonlarında imal edilen dolgular enstrümante edilerek takip edilmiştir. Elde edilen verilere göre, rezidüel zeminlerdeki oturma davranışının teorik yaklaşım ile elde edilen oturma miktarından ve süresinden daha az miktarda ve daha kısa sürede gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, özellikle büyük ölçekli projelerde, rezidüel zeminler ile karşılaşılması durumunda, test dolguları ile yapılacak ölçümlerle davranışın belirlenmesinin önemini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Oturma, rezidüel zemin, test dolgusu*

ABSTRACT

In this study, geotechnical calculation and field measurement results are presented for the determination of the settlement behavior of the embankments of a motorway built on residual soils, in Turkey. Primarily, calculations and evaluations regarding settlement were made by using the approaches in the geotechnical literature according to the results of the field and laboratory tests which were carried out during the design phase. Trial embankments with different properties were constructed and instrumented with settlement plates at a location which was selected as critical during the construction phase. Inferences regarding settlement behaviour were made by comparing theoretical calculation and field measurement results. In order to confirm the predicted settlement

[1] İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje, mkarademir@yukselproje.com.tr (Sorumlu yazar)
[2] Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje, e-posta zcekinmez@yukselproje.com.tr

behavior, the embankments constructed in various locations of the project were monitored by instrumentation. According to the obtained data, it was concluded that the settlement behavior in residual soils occurred in less amount and in a shorter time than the amount and duration of settlement obtained by using theoretical approaches. This result shows that it is quite important to determine settlement behavior from measurements of trial embankments, when residual soils are encountered especially in large-scale projects.
Keywords: *Settlement, residual soil, , trial embankment*

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, Türkiye'de rezidüel zeminler üzerinde imal edilen bir otoyola ait dolguların oturma davranışının belirlenmesine ilişkin gerçekleştirilen geoteknik hesaplara ve saha ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir.

Oluşum şekillerine göre zemin birimlerini rezidüel zemin ve tortul zemin olarak ikiye ayırmak mümkündür. Rezidüel zeminler, tabanda yer alan ana kayanın yerinde fiziksel ve kimyasal ayrışması sonucunda oluşurken, tortul zeminler rezidüel zeminlerin dış etkenler ile erozyona uğraması, taşınması, çökelmesi, kendi ağırlığı altında konsolide olması ve tektonik hareketler ile yüzeylenerek, erozyon-taşınma döngüsüne yeniden maruz kalması ile oluşmaktadır.

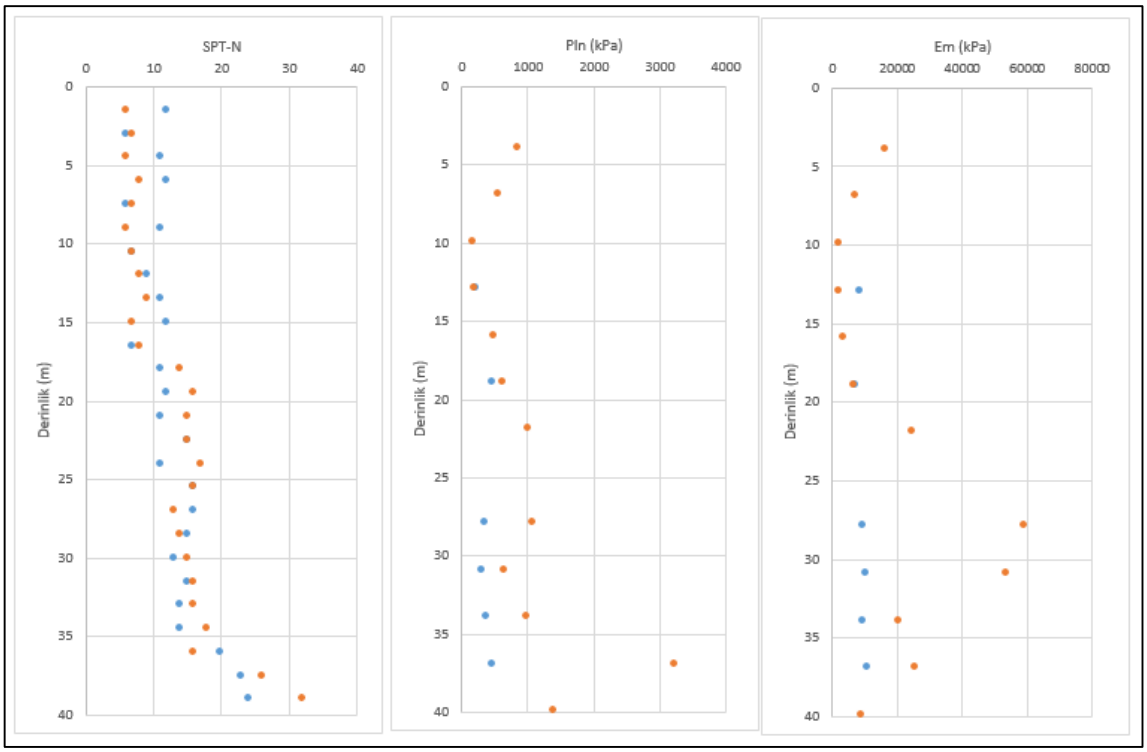
Wesley (2010) rezidüel zeminler ile tortul zeminler arasındaki temel farklılıkları aşağıdaki gibi özetlemiştir:
- Rezidüel zeminler tortul zeminlere göre daha heterojen yapıdadır.
- Taşınma-çökelme süreci ile oluşmadığından rezidüel zeminlerde gerilme geçmişi önemli değildir ve birimler normal konsolide – aşırı konsolide şeklinde kategorilendirilemezler.
- Volkanik kökenli bazı rezidüel birimler, tortul zeminlerde bulunmayan kil mineralleri içerdiğinden sıra dışı özelliklere sahip olabilirler.
- Örselenmemiş durumda rezidüel zeminler, tanecikli bir yapıda olmazken, örselendiklerinde ya da yoğrulduklarında daha küçük daneli bir yapı halini alır.
- Tortul zeminlerde parametrelerin belirlenmesine yönelik geliştirilen deneysel korelasyonlar rezidüel zeminler için geçerli olmayabilir.
- Rezidüel zeminlerde su tablası genellikle göreceli olarak derinde olup, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişkenlik gösterir.
- Rezidüel zeminlerin özelliklerini değerlendirirken laboratuvar testlerinden önce dikkatli bir şekilde saha davranışının gözlemlenmesi önemlidir.

Çalışma kapsamında, otoyol güzergahının zemin özellikleri açısından kritik bir kesiminde 5 farklı özellikte deneme dolgusu imalatı yapılarak oturma plakaları ile enstrümante edilmiştir. Oturma miktarı, zamana bağlı ilişkisi ve konvansiyonel zemin mekaniği prensiplerine göre gerçekleştirilen hesaplar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. ZEMİN PROFİLİ VE PARAMETRELER

Proje bölgesinde derinlikleri sırası ile 46 ve 50 metre olan iki adet araştırma çalışması gerçekleştirilmiş olup, araştırma kuyularında SPT ve presiyometre yerinde deneyleri yapılırken, elde edilen numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Saha gözlemleri ve laboratuvar deneyleri sonucunda proje bölgesindeki hakim zemin birimininin SPT ortalaması 6-18 arasında değişkenlik gösteren üst seviyeleri göreceli olarak daha zayıf özelliklere sahip düşük plastisiteli siltli kil birimlerden oluştuğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen araştırma çalışmalarının sonuçlarına ait grafikler aşağıda sunulmaktadır.

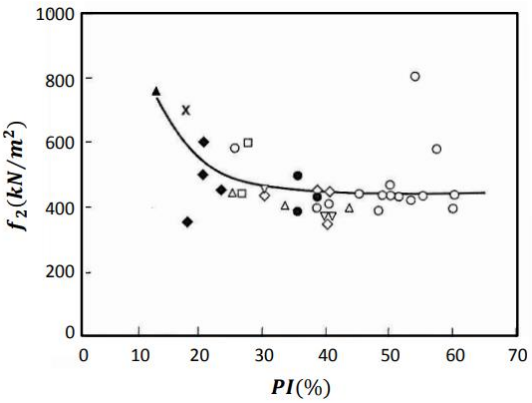


Şekil 1. Saha deneyleri sonuç grafikleri

SPT ve presiyometre deney sonuçlarından faydalanılarak aşağıda detayları verilen, literatürde önerilen yöntemler ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerleri hesaplanmıştır.

$$m_v = \frac{1}{f_2 * N} \tag{1}$$

Burada, f_2 değeri plasitisite indisi (PI) değerine bağlı olarak Stroud (1974) tarafından önerilen aşağıdaki grafik vasıtasıyla belirlenebilmektedir.



Şekil 2. SPT-N – m_v – PI ilişkisi (Stroud, 1974)

Benzer şekilde presiyometre deney sonucunda elde edilen Menard modülü (E_M) kullanılarak Amar vd. (1991) tarafından önerilen bağıntı ile hacimsel sıkışma katsayısı değeri elde edilebilmektedir.

$$m_v = \frac{\alpha_M}{E_M} \tag{2}$$

Burada, α_M değeri Menard faktörü olarak tanımlanmakta olup, zemin türü ve E_M / Pln değeri göz önünde bulundurularak Briaud (1992) referans kaynağından seçilebilmektedir.

Yukarıda sunulan saha deneylerine ek olarak, sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde tek yönlü konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Wesley (2010), rezidüel zeminlerde doğrusal olmayan sıkışma parametreleri yerine doğrusal sıkışma parametrelerinin (m_v) kullanımının daha uygun olacağını vurgulamakta olup, bu sebeple konsolidasyon deneylerinden probleme konu olan gerilme mertebesine bağlı olarak doğrusal sıkışma parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler mertebe olarak SPT korelasyonu ile elde edilen değerlere yakın olmakla birlikte, SPT korelasyonu sonucu elde edilen değerlerden yaklaşık 20% daha düşüktür.

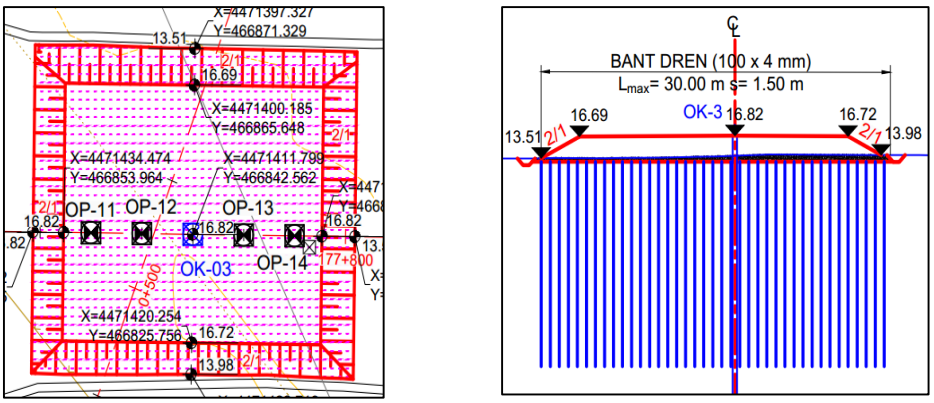
3. DENEME DOLGULARI VE ENSTRÜMANTASYON SONUÇLARI

Proje bölgesinde farklı özelliklere sahip toplamda 5 adet deneme dolgusu imalatı yapılarak oturma plakaları ile enstrümante edilmiştir. Deneme dolgularının 3 adetinde olası oturmaları hızlandırmak ve daha erken oturma davranışına ilişkin veri elde edebilmek amacıyla prefabrik düşey drenler kullanılmıştır. Deneme dolgularına ilişkin detaylar aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 1. Deneme dolguları ve özellikleri

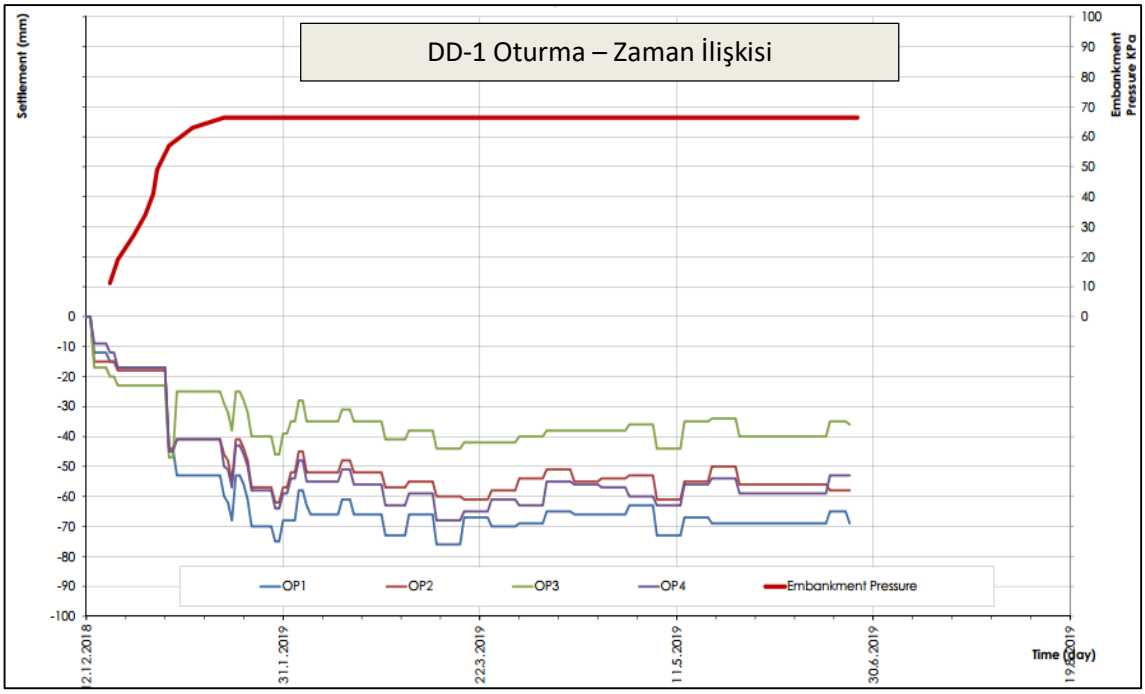
Deneme Dolgusu #	Dolgu Yüksekliği (m.)	Düşey Dren Uygulaması
DD-1	3	Yok
DD-2	3	PVD, L =20 m s=2.5 m
DD-3	3	PVD, L =30 m s=1.5 m
DD-4	8	Yok
DD-5	3	PVD, L =30 m s=2.5 m

Örnek bir deneme dolgusuna ilişkin plan ve kesit görünümü aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.

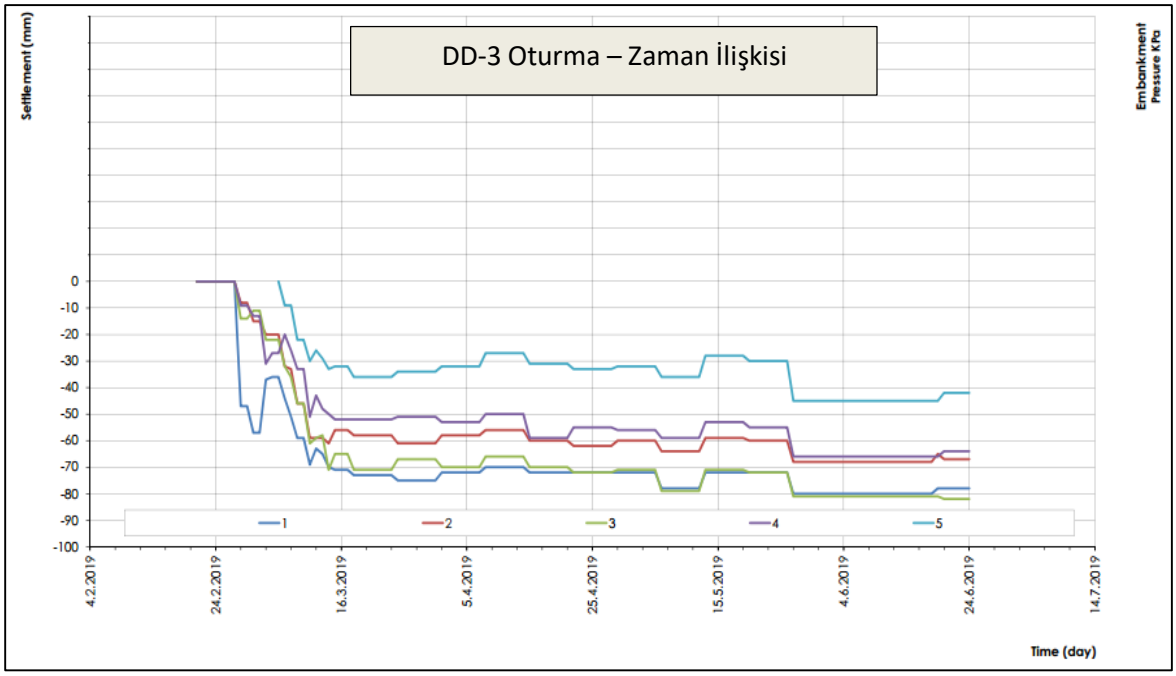


Şekil 3. Deneme dolgusu uygulama plan ve kesiti (DD-3)

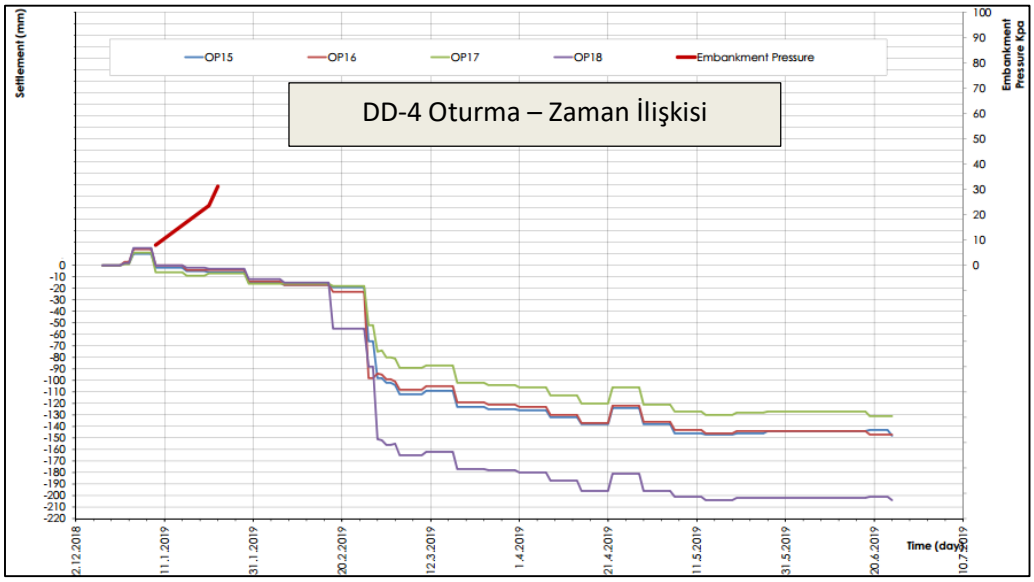
İmal edilen deneme dolguları, oturma plakaları ile yaklaşık 6 ay boyunca periyodik olarak takip edilmiş ve dolgu yüküne bağlı olarak zaman içerisinde gelişen oturma miktarları grafikselleştirilmiştir. Deneme dolgularından elde edilen sonuçlar, DD-1, DD-3 ve DD-4 için aşağıdaki şekillerde sırası ile sunulmaktadır.



Şekil 4. Deneme Dolgusu 1 (DD-1) ölçümlerinden elde edilen oturma – zaman ilişkisi



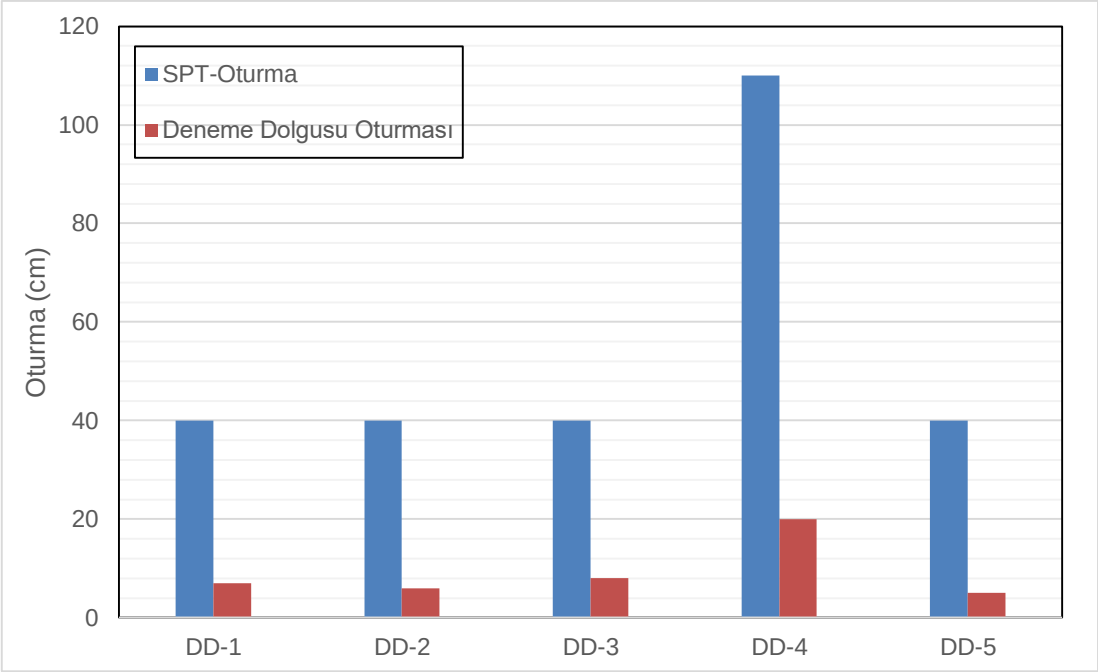
Şekil 5. Deneme Dolgusu 1 (DD-3) ölçümlerinden elde edilen oturma – zaman ilişkisi



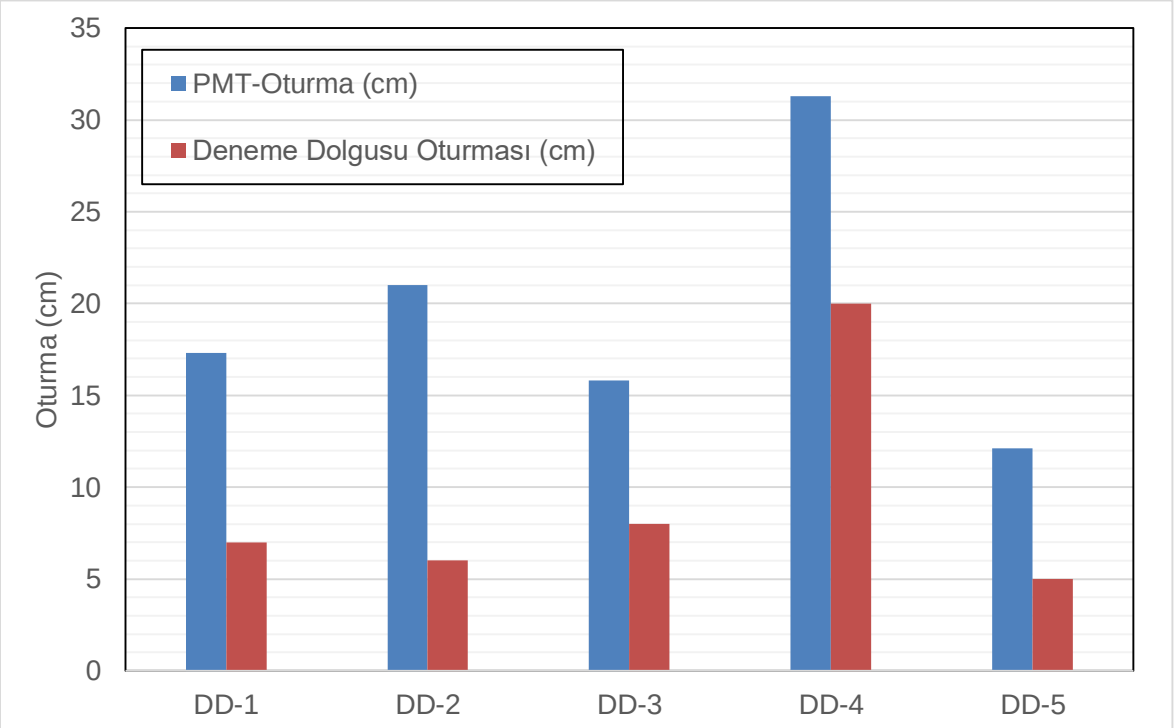
Şekil 6. Deneme Dolgusu 1 (DD-4) ölçümlerinden elde edilen oturma – zaman ilişkisi

Yukarıdaki grafiklerden hareketle, aynı yükleme koşulları altında düşey dren uygulamasının etkisini saptamak ve aynı taban zemini koşullarında farklı yükleme seviyelerinin etkisini saptamak hedeflenmiştir.

Sahadan elde edilen nihai oturma değerleri, bir önceki bölümde tariflenen SPT ve presiyometre korelasyonları ile belirlenen hacimsel sıkışma katsayısı değerlerinin kullanımı ile hesaplanan oturma değerleri ile kıyaslanmış olup, aşağıdaki şekillerde sırası ile sunulmaktadır. Her iki deney sonucuna göre hesaplanan nihai oturma miktarlarının sahada ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Saha ölçümleri ile tahmin edilen (SPT) oturmaların karşılaştırması



Şekil 8. Saha ölçümleri ile tahmin edilen (Presiyometre) oturmaların karşılaştırması

4. SONUÇLAR

Proje bölgesinde yer alan zemin birimlerinin oturma karakteristiğinin belirlenmesine yönelik araştırma çalışmalarından faydalanılarak gerçekleştirilen hesaplara ek olarak, sahanın belirli lokasyonlarında deneme dolguları tesis edilmiş ve entrümante edilerek takip edilmiştir. Enstrümantasyon verileri neticesinde rezidüel zemin özelliğindeki birimlerde saha deneylerinin gerçek davranışı gösteremeyebileceği sonucuna varılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, Failmezgar vd. (1999), konuyla ilgili olarak "Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçları zemin birimlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmakla beraber, rezidüel zemin davranışında gerçekçi sonuçlar vermemektedir." ifadesine yer vermiştir. Aynı kaynakta "Penetrasyondan kaynaklı dinamik etki rezidüel zeminlerin yapısını bozarak, zemini yoğurulmuş hale getirmektedir. Bu nedenle düşük SPT-N verileri elde edilebilmekte ve zeminin sıkışabilirliği gerçekten çok daha yüksek olarak yorumlanmaktadır." ifadesi ile saha davranışındaki farklılık açıklanmıştır. Benzer şekilde Lacey (2015) tarafından bu davranış "Rezidüel zeminlerde zemin mekaniği kuramları özellikle sıkışabilirlik, yer altı suyu seviyesi üzerinde boşluk suyu basıncı dağılımı ve ampirik korelasyonlar konularında geçerliliğini yitirmektedir." olarak açıklanmıştır.

Gerçekleştirilen deneme dolguları sonuçlarına göre, yukarıdaki referans kaynaklarda araştırmacıların vardığı sonuçlara benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Standart penetrasyon deneyi (SPT) sonuçlarından deneysel bağıntı kullanılarak tahmin edilen hacimsel sıkışabilirlik katsayısından elde edilen ödometrik deformasyon modülü ile zeminin gerilme – deformasyon ilişkisini doğrudan belirleyen presiyometre deneyinden elde edilen deformasyon modüllerinin arasındaki farklar göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar rezidüel

zeminin standart penetrasyon deneyi sırasında öreselenmesi ve yoğurulması sonucunda olduğundan daha düşük sonuçlar vermesine neden olduğu anlaşılmaktadır.

Oturma miktarlarının sahada daha düşük saptanmasına ek olarak, oturmanın zamana bağlı olan ilişkisi incelendiğinde oturmaların öngörülenden çok daha kısa bir sürede sönümlendiği saptanmıştır.

Proje genelinde, bu araştırma çalışmasında sunulan enstrümante edilmiş dolgulara benzer şekilde, başka lokasyonlarda da deneme dolgusu tesis edilmesi öngörülmüş olup, farklı lokasyonlarda da benzer davranışlar saptanmıştır. Bu sonuçlar, özellikle büyük ölçekli projelerde rezidüel zemin birimlerinin gerçek saha davranışının belirlenmesinin önemini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Amar S., Clarke B.G.F., Gambin M.P. ve Orr T.L.L. (1991). "The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe" A state of the art report by ISSMFE European Technical Committee on Pressuremeters, A.A. Balkema, Rotterdam

Briaud J.L. (1992). "The Pressuremeter" A.A. Balkema, Rotterdam

Failmezger, R.A., Rom, D., Ziegler, S.B., (1999), "SPT? - A better approach to site characterization of residual soils using other In-Situ tests", Geotechnical Special Publication.

Lacey, D.W., (2015), "Assessment of some engineering properties and testing methods of residual soil and highly weathered rock materials in QLD, Australia", PhD Thesis, The University of Queensland, Australia.

Stroud, M. A. (1974) "The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Softrock" Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, 2(2): 367 - 375.

Wesley, L.D. (2010), "Geotechnical Engineering in Residual Soils", Jonh Wiley & Sons Inc, New Jersey.

SEMBOL LİSTESİ

Bildiride kullanılan semboller iki sütunlu tablo halinde 10 punto kullanılarak listelenmelidir.

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
m_v	Hacimsel sıkışma değeri	f_2	Deneysel katsayı
SPT	Standard penetrasyon testi	Pln	Net limit basınç
E_M	Menard modülü	N	SPT darbe sayısı
PI	Plastisite indisi	α_M	Menard faktörü
DD	Deneme Dolgusu	PVD	Prefabrik düşey dren
PMT	Presiyometre deneyi		