

ZEMİNLERİN YANAL ŞİŞME BASINÇLARININ GRANÜLER KOLONLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVEMENT OF LATERAL SWELL PRESSURES OF EXPANSIVE SOILS BY GRANULAR COLUMNS

Timuçin HERGÜL¹, Erdal ÇOKÇA², Orhan EROL³

ÖZET

Bu çalışma kapsamında granüler çakıl kolonlarının şişen zeminlerin yanıl şişme basıncı üzerindeki muhtemel olumlu etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hem granüler kolon ile iyileştirilmiş hem de iyileştirilmemiş şişme potansiyeli yüksek bir zemin numunesi üzerinde ince cidarlı ödometre deneyleri yapılmıştır. Granüler kolonlar, ortasında öngörülen hacimsel iyileştirme yüzdesini sağlayacak çapta açılmış deliklere çakıl yerleştirilmesi yöntemiyle modellenmiştir. Deneylerin tamamında iyileştirme yüzdesinin artırılmasıyla yatay yöndeki şişme basınçlarında kayda değer azalmalar olduğu saptanmıştır. Doğal zemin yüzeyine yerleştirilmiş hafif bir yapı ya da dolgu yükünü temsil etmesi beklenen yükler altında gerçekleştirilen ilave deneylerde ise iyileştirmelerin etkisinin daha da arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yatay Şişme, İnce Cidarlı Ödometre Deneyi, Şişen Zeminlerin İyileştirilmesi, Çakıl Dolgu

ABSTRACT

In this experimental study, it is intended to investigate the possible positive effects of trenches backfilled with granular material on the improvement of lateral swell pressure of expansive soils. Thin wall oedometer tests were performed on untreated and granular fill treated expansive soil samples for this purpose. The granular columns were modeled by opening a hole with a diameter that satisfies the predicted percent column content at the center of the soil samples, which was then backfilled with granular material. The resultant treatment is found to be noteworthy revealing that opening a trench inside soil and backfilling it with a granular material, effectively improves the lateral expansive behavior. The treatment was observed to be more remarkable under the surcharge effect of a lightweight structure or a fill placed on top.

Keywords: Lateral Swell, Thin Wall Oedometer Test, Treatment of Expansive Soils, Granular Fill

¹ Dr. İnş.Yük.Müh., İnfra Mühendislik., thergul@infraproje.com.tr (Sorumlu Yazar)

² Prof.Dr. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ecokca@metu.edu.tr

³ Prof.Dr. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, orer@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yüksek plastisiteli ve düşük nem oranındaki şişen zeminler bünyelerinde tekrarlı şişme-büzülme mekanizmalarına bağlı fisür ve çatlakları barındırmaktadır. Bu koşullardaki zeminler ıslandığında, çatlakların kapanması ve yanal yönde şişmeye imkân tanınması sebebiyle ödometre koşullarından farklı olarak yanal yönde kısmen sınırlandırılmış bir deformasyon izi takip etmekte ve deplasmanlar üç boyutlu ortamda gelişmektedir (Yanıkömeroğlu,1990; Ertekin,1991). Bu durum hem yanal ve düşey şişme basınçlarında, hem de düşey şişme miktarlarında ödometre şişme parametrelerine kıyasla önemli ölçüde azalmalara sebebiyet vermektedir. Literatürde, söz konusu etkiyi dikkate almak için ödometrede elde edilen şişme parametrelerinin yanal sınırlama faktörü olarak tanımlanan bir faktörle düzeltilmesi önerilmektedir (Dhowian vd., 1990; Dhawan vd., 1983). Benzer biçimde bir iyileştirme yöntemi olarak şişen zemin içerisinde boşluk bırakılarak kırmataş kolon yerleştirilmesi yanal deplasmanlara izin vermekte ve düşey şişme miktarlarını azaltmaktadır. (Phanikumar ve Rao,2000; Sharma ve Phanikumar,2005; Jahnavi ve Kumar,2021). Çakıl doldurulmuş kolon hacminin arttırılmasıyla düşey yöndeki şişme yüzdelerinde kayda değer azalmalar olmakta, dolgu altında yer alan şişen kil içinde çakıl doldurularak imal edilmiş kolonların şişme yüzdesi ve şişme basıncı azalmaktadır (Hergül 2012; Hergül vd., 2014, 2016 ve 2018).

Bu çalışmada şişen zeminlerin içerisine granüler çakıl kolonların yerleştirilmesi sonucu yatay şişme potansiyeli üzerinde oluşturduğu muhtemel olumlu etkiler araştırılmıştır.

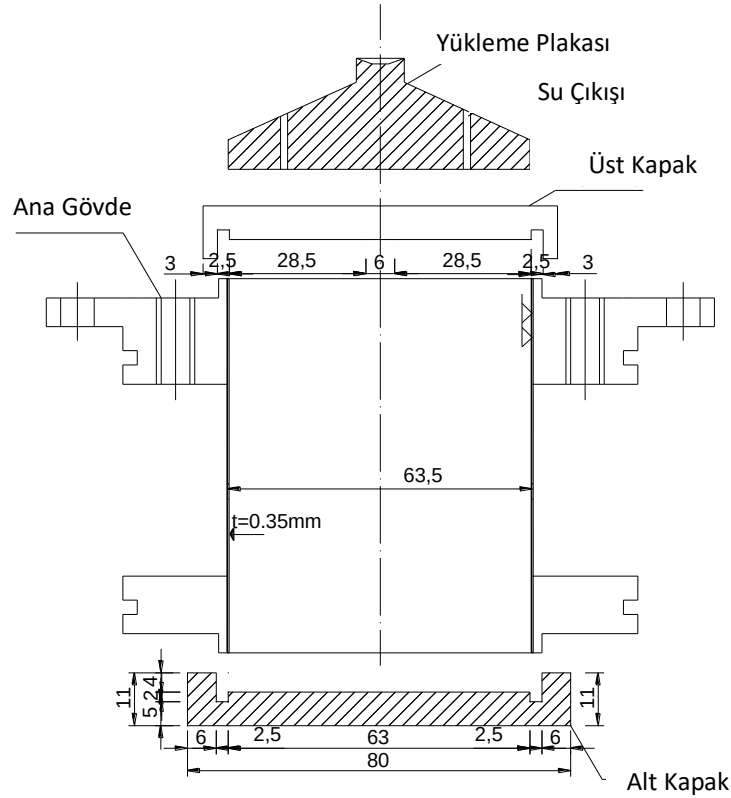
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Araştırma kapsamında hem iyileştirilmemiş hem de granüler kolonla iyileştirilmiş zemin numuneleri üzerinde ince cidarlı ödometre deneyleri yapılmıştır. Kolon iyileştirmesi, numunenin ortasında öngörülen hacimsel iyileştirme yüzdesini sağlayacak çapta açılmış deliklere çakıl yerleştirilmesi yöntemiyle modellenmiştir. Burada alan yer değiştirme oranı; granüler malzemeye doldurulan delik alanının toplam şişen zemin numune alanına oranıdır.

2.1. Deney Düzenegi

Şişme parametreleri, sahaya özgü koşullara duyarlı deneysel ilişkiler kullanılarak bir dereceye kadar tahmin edilebilirken, bu amaç için geliştirilmiş laboratuvar ve büyük ölçekli deneylerle daha gerçekçi sonuçlar alınabilmektedir. Şişme parametrelerinin tayininde gerilme-birim deformasyon kontrollü deney tekniklerinin gerekmesi sebebiyle üç eksenli deney yöntemleri öne çıkmaktadır (Parcher ve Liu, 1965, Dhawan vd., 1983, Fourie,1989, Al-Shamrani ve Al-Mhaidib,2000, Monroy vd.,2015). Bununla birlikte yöntemin büyük ölçekli yerinde davranışı modellemedeki zayıflıkları, yatırım maliyetinin yüksekliği ve zaman alıcı doğası araştırmacıları analitik yöntemler (Skempton, 1961; Jiang ve Qin, 1991; Hong, 2008; İkizler vd., 2014; Liu ve Vanapalli, 2017 ve 2019; Abdollahi ve Vahedifard, 2020) ve farklı deney düzenekleri geliştirmeye zorlamıştır. Tariflenen kısıtlar dahilinde granüler kolonların şişen zeminler üzerindeki olası olumlu etkilerinin araştırılmasında ilk olarak Komornik ve Zeitlen (1965) ile Ofer'in (1980) geliştirdiği, daha sonra Ertekin (1991), Windal ve Shahrour (2002), Avşar (2007), Özalp (2010) ve Abba vd.

(2015) tarafından benzer prensipler dahilinde üretilen ve kullanılan iki farklı ince cidarlı ödometre deney düzeneğinden faydalanılmıştır. Her iki düzeneğin ana gövdesi yüksek kaliteli alaşımlı çelikten yapılmıştır. Ertekin (1991) tarafından geliştirilen gövdenin iç çapı 63,5 mm (Ring-1), Avşar (2007) tarafından geliştirilen gövdenin iç çapı ise 54,5 mm'dir (Ring-2). Her iki gövdenin et kalınlıkları 0.35 mm, Ertekin (1991)'in halkasının yüksekliği 78 mm, Avşar'ın (2007) ise 66 mm'dir (Şekil 1). Yanal şişme basınçlarının ölçümü için ince cidarlı ödometre gövdesinin dışına 90°'lik açıda Wheatstone Köprüsü yöntemiyle konumlandırılmış dört adet elektriksel gerinim ölçer ve bunlara bağlı taşınabilir bir veri toplama ünitesinden faydalanılmıştır (Şekil 2)



Şekil 1. İnce cidarlı ödometre yanal şişme basıncı deney ölçüm cihazı (Ertekin,1991)



Şekil 2. İnce cidarlı ödometre gövdesinde konumlu gerinim ölçer ve veri toplama kablosu

2.2. Numune Hazırlama

Çalışmada Esenboğa Havaalanı, Çubuk ilçesi civarından alınan yüksek şişme potansiyeline sahip doğal kil numunesi kullanılmıştır. Ödometre numunelerinin ortasında açılan delikler kötü derecelenmiş çakıl ile doldurulmuştur. Kil numunesine ait özellikler Tablo 1’de, çakıl kolonuna ait özellikler Tablo 2’de verilmiş, dane dağılım eğrileri Şekil 3’te sunulmuştur. Araştırmada serbest şişme deneylerinin yanı sıra yük altında şişme deneyleri de gerçekleştirilmiş, doğal zemin üzerine inşa edilmiş hafif bir yapı ya da dolgu yükünün muhtemel iyileştirmeler üzerindeki olumlu etkileri incelenmiştir. Serbest şişme deneyleri 7 kPa, yük altındaki şişme deneyleri ise hafif bir yapı ya da dolgu yükünü temsil etmesi açısından 25 kPa basınç altında yapılmıştır.

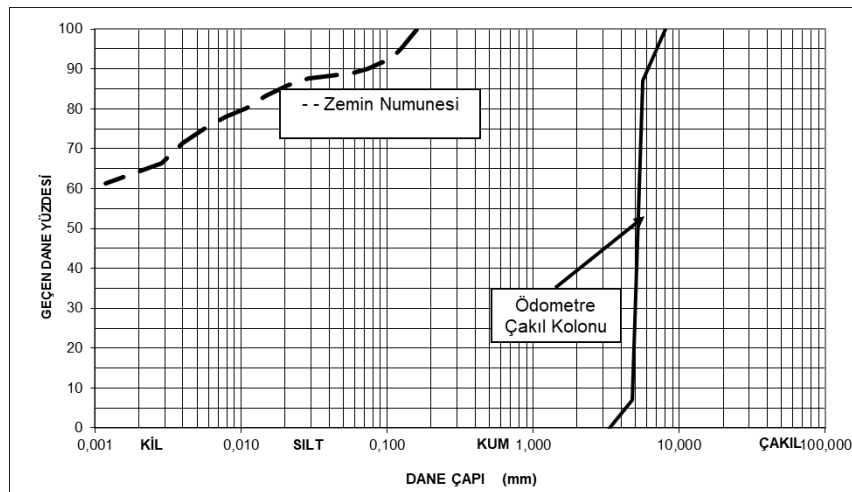
Tablo 1. Şişen kil numunesine ait özellikler

LL (%)	PL (%)	PI (%)	G _s	%<#200 Elek	Kil (%)	Aktivite	w _{opt} (%)	Y _{dmax} (Mg/m ³)	USCS
127	37	90	2,68	99	62	1,45	34,9	1,23	CH

Tablo 2. Çakıl kolonuna ait fiziksel özellikler

USCS	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	C _u	C _c	e _{max}	e _{min}	G _s
GP	4,78	4,98	5,30	1,11	0,98	1,06	0,57	2,67

Şişme potansiyeline sahip kil numuneleri %15 başlangıç su içeriğinde karıştırılmış, 1.2 Mg/m³ kuru birim hacim ağırlık verecek şekilde kompaksiyon kalıbında sıkıştırılarak ödometre kalıbına aktarılmıştır. Numunelerin ortasında pratikte taş kolon uygulamalarında sıkça tercih edilen yer değiştirme alan oranı %10, 20 ve 30 mertebelerini sağlayacak çapta, el burgusu yardımıyla silindirik bir delik açılarak, köşeli çakıl malzeme ile doldurulmuş, bağıl yoğunlukları RD=%40 olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Kil numunesi ile çakıl kolonunda kullanılan malzemenin dane dağılım eğrileri



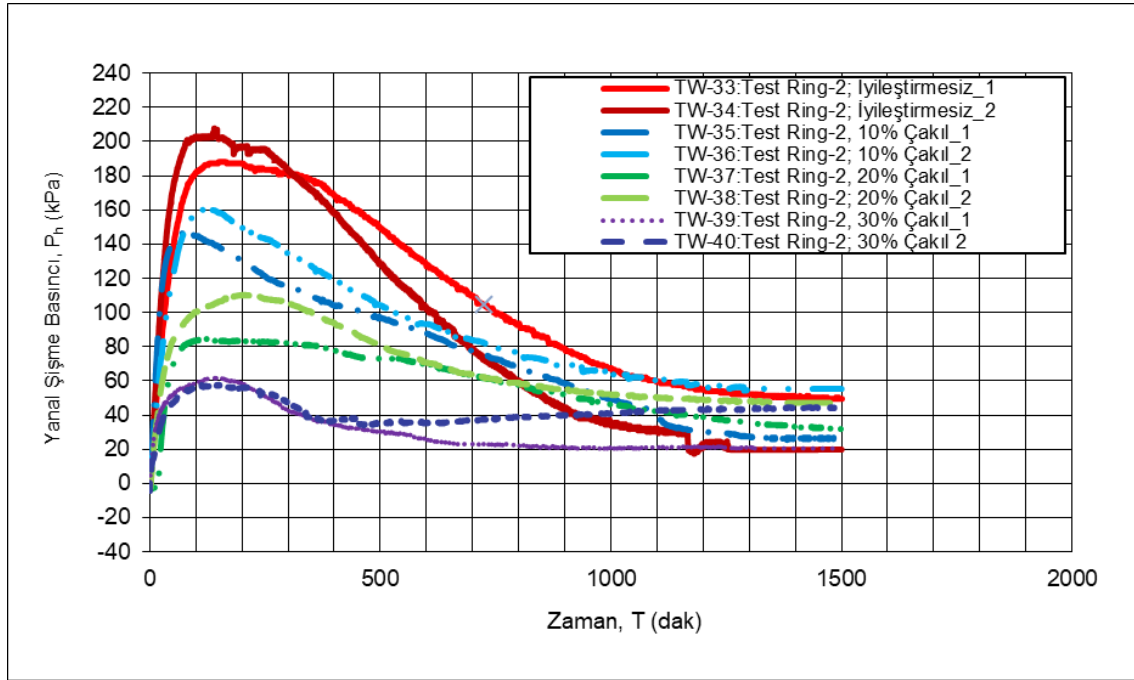
Şekil 4. Kil numunesinin ortasında çakıl kolonla teşkil edilmiş hali

2.3. Deney Sonuçları

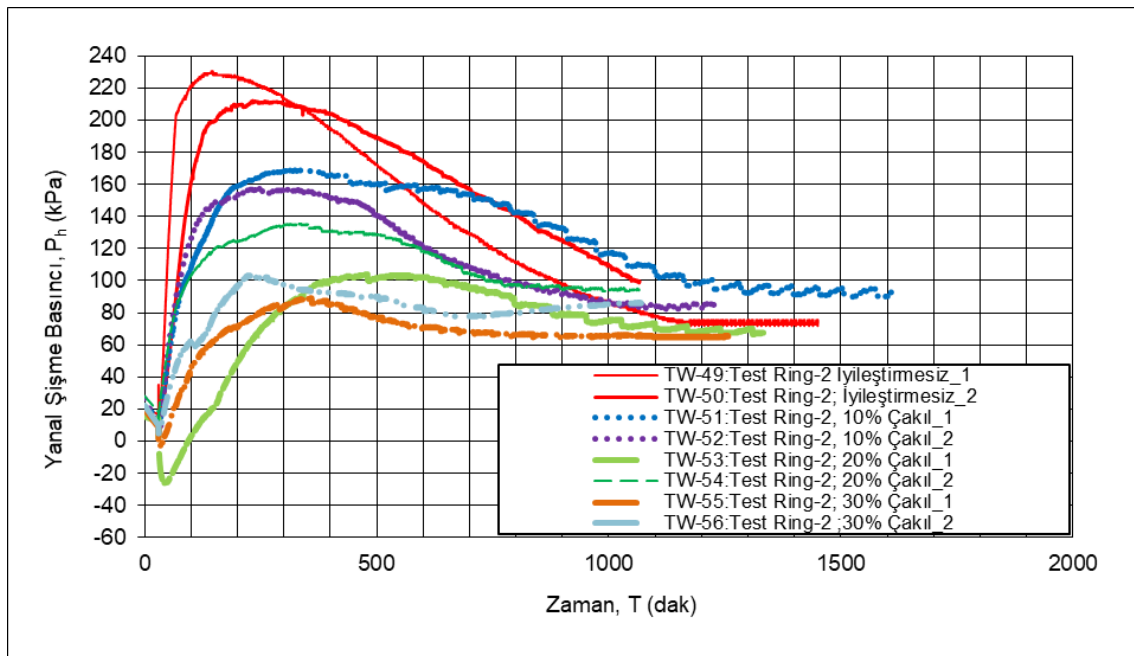
Çakıl kolonu ile %10, 20 ve 30 yer değiştirme oranlarında iyileştirilen numunelere ait serbest ve 25 kPa düşey gerilme altında şişme deney sonuçları Ring-2 (Avşar, 2007) için Şekil 5 ve Şekil 6'da, her iki deney düzeneği için Tablo.3'te verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan yer değiştirme oranına bağlı yanal şişme basıncı değişimi ise Şekil 7'de sunulmuştur.

Tablo 3. İnce cidarlı ödometre deney sonuçları

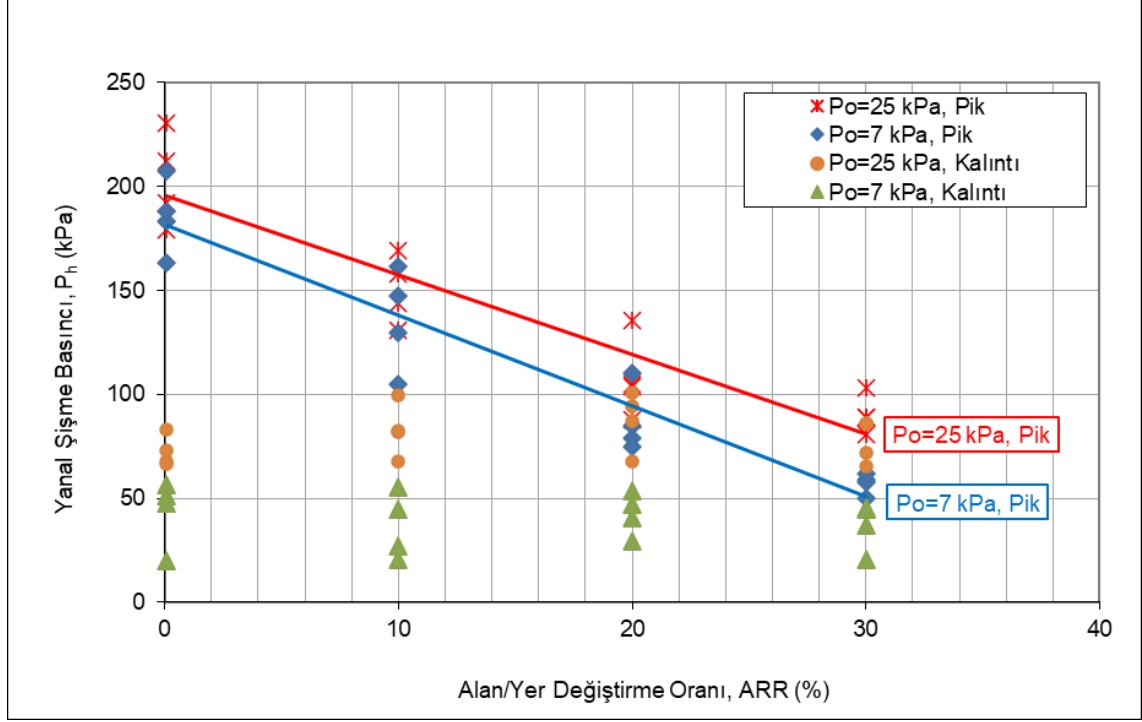
Önyükleme Basıncı, P_o (kPa)	Alan/Yer Değiştirme Oranı, ARR (%)	Ortalama Yanal Şişme Basıncı, $P_{h(av)}$ (kPa)			
		Ring-1		Ring-2	
		Pik	Kalıntı	Pik	Kalıntı
7	0	173	54	198	34
	10	117	33	154	41
	20	77	47	97	38
	30	54	41	60	33
25	0	186	75	221	70
	10	137	75	163	91
	20	96	94	120	81
	30	85	79	96	76



Şekil 5. Ring-2 İnce cidarlı ödometre değişik iyileştirme oranları için zamana bağlı yanıl şişme basıncı değışimi ($P_o=7$ kPa)



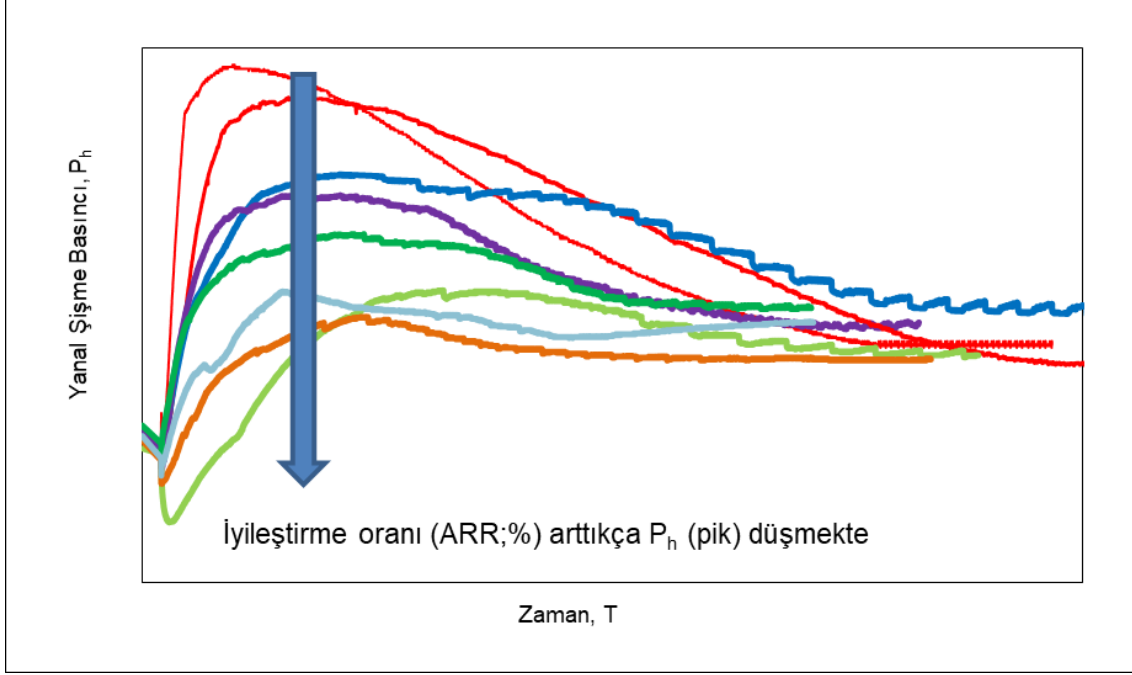
Şekil 6. Ring-2 İnce cidarlı ödometre değışik iyileştirme oranları için zamana bağlı yanıl şişme basıncı değışimi ($P_o=25$ kPa)



Şekil 7. Alan/Yer Değıştirme oranına karşılık yanıl şişme basıncı değışimi

Tablo 3 ve Şekil 7'den görüldüğü üzere granüler kolonlarla iyileştirilmiş numunelerde gerçekleştirilen serbest şişme deneylerinde %10, %20 ve %30'luk yer değıştirme oranlarında pik yanıl şişme basınçlarında sırasıyla %27, %54 ve %69 ortalama iyileştirme yüzdeleri elde edilmiştir. 25 kPa'lık gerilme altında gerçekleştirilen şişme deneylerinde ise pik yanıl şişme basınçlarındaki iyileştirme yüzdeleri sırasıyla %26, %47 ve %55 mertebelerindedir. Kalıntı yanıl şişme basıncında tespit edilen değışiklikler $\pm$ %20 civarında olup, bu araştırma kapsamında kullanılan alan-yer değıştirme oranları için etkisizdir.

Deneyler, alan yer değıştirme oranı ile pik yanıl şişme basıncı arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu, iyileştirme oranı olarak tariflenen bu değerin artması ile pik yanıl şişme basınçlarının da düştüğünü göstermiştir. Öte yandan bu değışimin kalıntı dayanım üzerindeki etkisi ihmal edilebilir seviyelerde tespit edilmiştir (Şekil 8). Deneyin başlangıcında oluşturulan floküle yapı, genleşmeyi izotropik olmaya zorlamakta, birbirine neredeyse eşit yanıl ve düşey şişme basınçlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Hendeklerin açılması ve granüler malzeme ile doldurulması ertesi şişmenin erken aşamalarında kilin oluşturulan bu boşluklara hareketine sebep olmaktadır. Su içeriği arttıkça, kil parçacıkları kendilerini daha dağınık bir konfigürasyonda yeniden düzenleme eğilimine girmektedir. Kilin bu boşluklara hareketi, azaltılmış bir pik yanıl şişme basıncı ile yanıl yönde mevcut boşluklar boyunca daha fazla genişleme ve dispersif bir yapı ile sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak, boşlukların hacmi arttıkça, pik yanıl şişme basıncı azalmakta, kilin dispersif yapıya doğru yeniden oryantasyonunu takiben, pik yanıl şişme basıncı bir dereceye kadar neredeyse sabit olan bir kalıntı basınç değeri düşmektedir. Boşluk hacminde daha fazla artışın pik yanıl şişme basınçlarını daha da düşürmesi beklenecektir.



Şekil 8. İyileştirme oranının pik yanal şişme basıncı üzerindeki etkisi (şematik)

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada granüler çakıl kolonlarının şişen zeminlerin yanal şişme basıncı üzerindeki muhtemel olumlu etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hem granüler kolon ile iyileştirilmiş hem de iyileştirilmemiş şişme potansiyeli yüksek bir zemin numunesi üzerinde ince cidarlı ödometre deneyleri yapılmıştır. Araştırmalar neticesinde aşağıda sıralanan bulgulara ve sonuçlara ulaşılmıştır:

Granüler kolonlarla iyileştirilmiş numunelerde gerçekleştirilen serbest şişme deneylerinde farklı iyileştirme oranları için pik yanal şişme basınçlarında %27- 69 aralığında, hafif bir yapı ya da dolgu yükünü temsil etmesi beklenen 25 kPa'lık gerilme altında gerçekleştirilen şişme deneylerinde ise %26-55 aralığında ortalama iyileştirme yüzdesi elde edilmiştir. Bu şekliyle deneylerin tamamında iyileştirme yüzdesinin arttırılmasıyla yatay yöndeki pik şişme basınçlarında kayda değer azalmalar olduğu saptanmıştır. Deneyler arasındaki ihmal edilebilir farkların numune hazırlığı, kolonların imali sırasında oluşan örselenme ve deney koşullarından kaynaklandığı düşünülmüştür. Kalıntı şişme basıncında tespit edilen değişiklikler ise bu araştırma kapsamında kullanılan alan-yer değiştirme oranları için etkisizdir.

Deneyler, alan yer değiştirme oranı ile pik yanal şişme basıncı arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu, iyileştirme oranı olarak tariflenen bu değer artması ile pik yanal şişme basınçlarının da düştüğünü göstermiştir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen iyileştirmenin ağırlıklı olarak şişen zeminin yatay deformasyon kabiliyetinin ortasına yerleştirilen malzemenin boşluk oranına bağlı olarak arttırılmasıyla oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bu özellik, şişen zeminin pasif göçme durumuna daha düşük pik yanal şişme basınçlarında ulaşmasına sebebiyet vermiştir.

Granüler çakıl kolonu iyileştirme uygulamasının şişme potansiyeline sahip zeminler üzerinde olumlu bir performans sergilediği gözlemlenmiş olup, sahada pratik çözümler sunması olasıdır. Bu durumun sahada gerçekleştirilecek büyük çaplı deneylerle teyidi bu bulguyu destekleyecektir.

KAYNAKLAR

- Abbas, M.F., Elkady, T.Y., and Al-Shamrani, M.A., (2015), "Evaluation of Strain and Stress States of a Compacted Highly Expansive Soil Using Thin-Walled Oedometer", Eng.Geol.,193, 132-145.
- Abdollahi, M. Ve Vahedifard, F. (2020), "Prediction of Lateral mSwelling Pressure in Expansive Soils", ASCE GeCongress 2020, GSP 319, pp.367-375.
- Al-Shamrani, M.A., Al-Mhaidib, A.I., (2000), "Swelling Behavior Under Oedometric and Triaxial Loading Conditions", in Shackelford, C.D., Houston, S.L., Chang, N.Y. (eds.), Advances in Unsaturated Geotechnics, Geotechnical Special Publication, ASCE, Vol. 99, pp. 344– 360.
- Avşar, E., (2007), Investigation of Swelling Anisotropy in Ankara Clay, M.Sc. Thesis in Geological Engineering, Hacettepe University, Ankara, Turkey.
- Dhawan, P.K., Mathur, R. and Lal, N.B. (1983), "Effect of Lateral Confinement on Swell Pressure in Expansive Soils," Highway Research Bulletin, New Delhi, 17, pp. 49-60.
- Dhowian, A.W., Erol, A.O. and Youssef, A.F. (1990), Evaluation of Expansive Soils and Foundation Methodology in the Kingdom of Saudi Arabia, published by General Directorate of Research Grants Program, King Abdul-Aziz City for Science and Technology, Riyadh.
- Erol O.(1992), "In-Situ And Laboratory Measured Suction Parameters For Prediction Of Swell", 7th Int. Conf. on Expansive Soils, Dallas, Texas, Vol. 1, pp.30-33.
- Ertekin, Y.(1991), Measurement of Lateral Swell Pressure with Thin Wall Oedometer Technique, M.S. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Fourie, A.B., (1989), "Laboratory Evaluating of Lateral Swelling Pressure", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, No. 1, pp. 1481-1485.
- Hergül, T. (2012), An Experimental Study On The Treatment Of Expansive Soils By Granular Materials, PhD Thesis, 322 pages, September 2012, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Hergül, T., Çokça, E. ve Erol, O. (2014), "Şişen Zeminlerin Granüler Kolonlar ile İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 15. Ulusal Kongresi, Cilt 2, sf. 641-650, ODTÜ, Ankara.
- Hergül, T., Çokça, E. ve Erol, O. (2016), "Farklı Şişme Potansiyeline Sahip Zeminlerin Granüler Kolonlarla İyileştirilmesi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Cilt 2, sf. 889-898, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Hergül, T., Çokça, E. ve Erol, O. (2018), "Silt ve Granüler Kolonların Zeminlerin Şişme Potansiyeli Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Hong, G. T. (2008). Earth pressures and deformations in civil infrastructure in expansive soils. Ph.D. dissertation, Texas A&M Univ., College Station, TX.

- Ikizler, S. B., Vekli, M., Dogan, E., Aytekin, M., Kocabas, F. (2014), "Prediction of swelling pressures of expansive soils using soft computing methods" J. Neural Computing and Applications, 24(2): 473-485.
- Jahnavi, T. And Kumar, K.V.K., (2021), "Comparison of EPS Geofoam and Stone columns in heave reduction of expansive soils", 3rd International Conference on Design and Manufacturing Aspects for Sustainable Energy, E3S Web Conf., V.309.
- Jiang, Z.X., Qin, X.L. (1991), "A new method for calculating lateral swell pressure in expansive soil" Proceedings of 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, Texas, USA, 1, 233–238.
- Komornik, A. and Zeitlen, J.G., (1965), "An Apparatus for Measuring Lateral Soil Swelling Pressure in the Laboratory", Proceedings of 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, Canada, pp. 278-281.
- Liu, Y., Vanapalli, S. K. (2017). "Influence of lateral swelling pressure on the geotechnical infrastructure in expansive soils". J. Geotech. Geoenviron. Eng. 143 (6).
- Liu, Y. and Vanapalli, S. K. (2019). "Load displacement analysis of a single pile in an unsaturated expansive soil". J. Computers and Geotechnics, 106, 83-98, ISSN 0266-352X.
- Monroy R, Zdravkovic L, and Ridley AM (2015), "Mechanical behavior of unsaturated expansive clay under KO conditions", Eng. Geol. 197:112–131.
- Jahnavi, T. And Kumar K. (2021), "Comparison of EPS Geofoam and Stone column in heave reduction of expansive soils", E3S Web Conferences, 309, 01192, ICMED 2021.
- Ofer, Z., (1980), "Instruments for Laboratory and In - Situ Measurements of Lateral Swelling Pressure of Expansive Clays", Proceedings of 4th International Conference on Expansive Soils, Denver, Colorado, pp. 45-53.
- Özalp, H.K., (2010), Determination of Lateral Swelling Pressure, Ph.D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey.
- Parcher, J.V. and Liu, P.C., (1965), "Some Swelling Characteristics of Compacted Clays", J.ASCE, Soil Mechanics and Foundation Div., Vol.91, No:SM-3, Part I, pp.1-18.
- Phanikumar, B.R. and Rao, N.R. (2000), "Increasing Pull-Out Capacity of Granular Pile Anchor in Expansive Soils Using Base Geosynthetics", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, pp. 870-881.
- Sharma, R.S. and Phanikumar, B.R. (2005), "Laboratory Study of Heave Behavior of Expansive Clay Reinforced with Geopiles", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 131, No. 4, pp. 512-518.
- Skempton, A.W. (1961), "Horizontal stresses in an over consolidated Eocene clay", Proceeding of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 1, 351–357.
- Windal, T. and Shahrour, I., (2002), "Study of the Swelling Behavior of a Compacted Soil Using flexible Odometer", Mechanics Research Communications, Vol. 29, No. 5, pp. 375-382..
- Yanıkömeroğlu, K. (1990), Effect of Lateral Confinement on Swelling Behavior, M.Sc. Thesis in Civil Engineering, METU, Ankara, Turkey