

GÖLBAŞI (ANKARA) YERLEŞİM ALANINI KİLLERİNİN ŞİŞME VE KİREÇ İLE İYİLEŞTİRİLME POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Yusuf Ziya ÖZTÜRK, Nail ÜNSAL, Sami Oğuzhan AKBAŞ

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara
yusufziyaozturk@gmail.com, nunsal@gazi.edu.tr, soakbas@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 09.05.2014; Kabul/Accepted: 14.10.2014)

ÖZET

Bu çalışmada, Gölbaşı (Ankara) yerleşim alanı killerinin şişme potansiyeli ve kireç katkısının bu killerin şişme davranışı üzerindeki iyileştirici etkisi incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, inceleme alanında lokal olarak yüksek şişme potansiyeline sahip killerin yer aldığı, yüksek plastisiteli kil “CH” sınıfına giren numunelerin şişme yüzdelerinin yaklaşık %3.5 - %9.0, şişme basınçlarının ise yaklaşık 65-250 kPa aralıklarında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan düşük plastisiteli kil “CL” sınıfına giren numunelerin ise şişme yüzdesi %0.5 - %1.6, şişme basınçları 6-11 kPa arasındadır. Hafif yapılar için risk oluşturabilecek, şişme potansiyeli yüksek olarak belirlenen “CH” sınıfındaki killere ağırlıkça farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) kireç katılarak şişme basıncı ve şişme yüzdelerindeki değişim incelenmiştir. Kireç yüzdesinin %5 veya daha yüksek olduğu durumlarda şişme yüzdesinin ve şişme basıncının sırası ile ortalama %91 ve %73 oranlarında azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şişen killer; zemin iyileştirme; kireç

ASSESSMENT OF THE SWELLING AND LIME STABILIZATION POTENTIAL OF GÖLBAŞI (ANKARA) RESIDENTIAL AREA CLAYS

ABSTRACT

The swelling potential and the effect of lime as a stabilizing agent on the swelling behavior of clays found in the residential area of Gölbaşı (Ankara) district was investigated. It was determined that, high plasticity clays (CH) that have medium to high swelling potential exists locally in the area with swelling potentials and swelling pressures that range between about 3.5% and 9.0%, and 65 kPa and 250 kPa, respectively. The corresponding values for clays of the area that are classified as CL were determined to be between 0.5% and 1.5%, and 5 kPa and 10 kPa, respectively. Samples of CH clays that pose a threat to lighter structures were treated with the addition of various amounts of lime (from 1% to 9% by weight) and the resulting changes in the swelling pressure and potential were examined. The results indicate that addition of 5% or more lime by weight results in a reduction of swelling potential and the swelling pressure by 91% and 73% respectively.

Keywords: Swelling (expansive) clays, soil improvement, lime stabilization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Suya kısmen doygun killi zeminlerde, su içeriğinde meydana gelen artışa bağlı olarak zeminde ortaya çıkan hacimsel artış “şişme”, bu davranışa sahip killer de “şişen killer” olarak tanımlanmaktadır. Bu tür killerin göstermiş oldukları hacimsel artış engellendiğinde uyguladıkları basınca ise “şişme basıncı” adı verilmektedir. 1938 yılında Oregon’da

Owyhee projesinde çelik bir sifonun temel ile bağlantısında karşılaşılan sorunun şişen zeminden kaynaklandığı belirlendiğinde yapılarda meydana gelen deformasyon bağlantılı hasarların yalnızca oturmalarından dolayı oluşmadığının farkına varılmıştır [1]. Zeminlerin şişme özelliklerinden kaynaklanan temel altı hareketleri, üzerindeki hafif yapının elemanlarının çatlamasına, yapı estetiğinin ve işlevselliğinin bozulmasına ve benzeri istenmeyen

durumların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Şişen zeminler, mineralojik ve kimyasal özellikleri ile çevresel etkilere bağlı olarak değişik şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine sahiptirler. Eğer bu şişme basıncı, zemin üzerine yapı dolayısı ile etkiyen yükü aşarsa, zeminde oluşacak şişme önemli temel hareketlerine ve yapısal sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, üzerine inşaat yapılacak zeminin şişme potansiyelinin bilinmesi, gerekli önlemlerin önceden alınabilmesi için son derece önemlidir.

Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu dünyanın pek çok ülkesinde, özellikle yarı-kurak iklimin yaşandığı bölgelerdeki zeminlerde, şişme-büzülme davranışı yaygın olarak gözlenmektedir. Ülkemizde şişen killi zeminler ile ilgili en önemli problemler genellikle Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında inşa edilen hafif su yapılarında gözlenmiştir. Türkiye'de şişen zeminlerden kaynaklanan ekonomik kayıpların belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde şişebilen zeminlerin hafif yapı ve karayolu kaplamalarında neden olduğu maddi hasarın, ülke çapındaki su baskınlarından, kasırga, hortum ve depremlerden kaynaklanan maddi hasarın iki katından fazla olduğu belirtilmektedir [2].

Ülkemizde şişen killi zeminlerin, özellikle Orta ve Güneydoğu Anadolu ile Batı Anadolu'nun bazı kesimlerinde geniş bir alana yayıldığı dikkate alındığında [örn. 3], hızlı artan kentleşme ve yapılaşmaya bağlı olarak, bu tür problemler zeminlerin daha ayrıntılı incelenmesi gereğinin doğmakta olduğu açıktır. Bu incelemelerin, sonradan oluşacak ekonomik kayıpların önüne geçilebilmesinde önemli bir etken olacağı unutulmamalıdır.

Ankara'nın hızla gelişmekte olan Gölbaşı İlçesi yerleşim alanının önemli bir bölümünün şişme davranışı gösterebilecek killi zeminler üzerinde yer alması ve bölgedeki hafif yapıların bu tür killer üzerinde inşa edilmekte olması, bölge killerinin şişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik bu çalışmanın yapılmasının ana nedenini oluşturmaktadır.

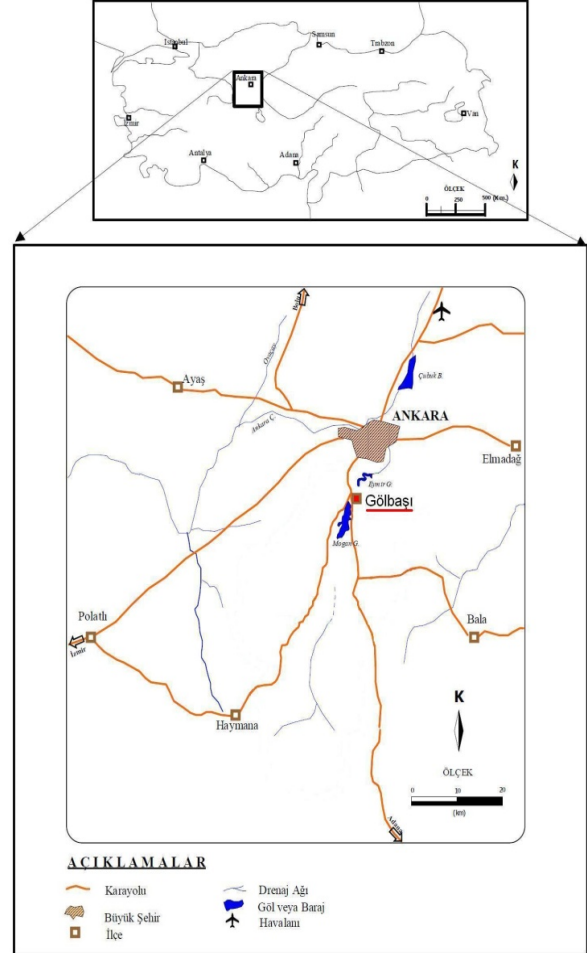
Bu amaç doğrultusunda, çalışma alanının muhtelif yerlerinden alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde endeks özelliklerini, mineralojik bileşimini ve şişme potansiyelini belirlemek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları, çeşitli araştırmacılar tarafından şişme potansiyelinin tespitine yönelik olarak geliştirilmiş olan abak ve eşitlikler kullanılarak kıyaslanmış, örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan ödometre deneyleri ile bölge killerinin şişme potansiyeli incelenmiştir.

Alınan zemin numuneleri arasında, hafif yapılar için risk oluşturabilecek, şişme potansiyeli yüksek olarak belirlenen killere, ağırlıkça (%1, %3, %5, %7, %9)

kireç katılarak, şişme basıncı ve şişme yüzdelilerindeki değişim incelenmiştir.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI (PRESENTATION OF STUDY AREA)

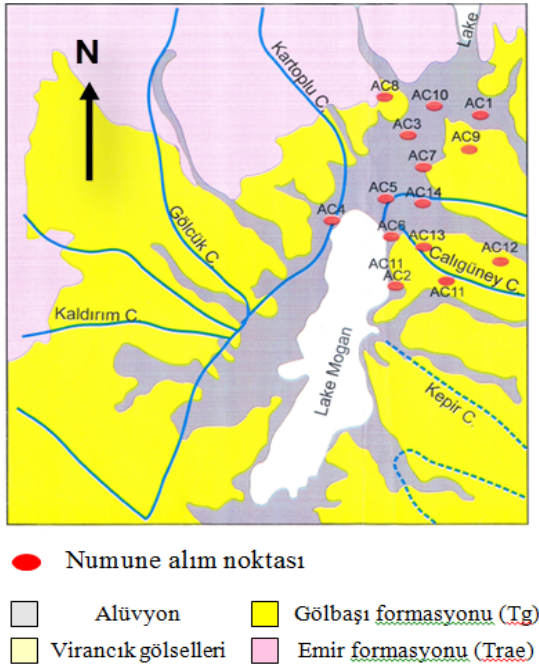
İnceleme alanı, Ankara ilinin 20 km güneyinde yer alan Gölbaşı İlçesi'ne ait yerleşim alanını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Location map of the study area)

İnceleme alanında gözlenen en yaşlı birim Alt Triyas yaşlı Emir Formasyonudur. Emir Formasyonu yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kayalardan oluşan formasyonun kısmen ilksel özelliğini koruyan ve alttan üste doğru metamorfizması azalan kayaç topluluğundan oluşur. Üst kesimlere doğru gittikçe orta ve irileşen bol fosilli Ezmiyen, Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları içerir. Üst Miyosen yaşlı Gerder Volkanitleri ile üst kesimlerde bunlarla yanıl ve düşey geçişli gözlenen Virancık gösellersi daha yaşlı formasyonları uyumsuz örter. Üst Pliyosen yaşlı alüvyon yelpazeleri, yersel göl çökelleri ve akarsu çökellerinden oluşan Gölbaşı Formasyonu daha yaşlı tüm formasyonları uyumsuz örter.

Alanda gözlenen en genç oluşuklar ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. İnceleme alanı ve yakın civarının jeoloji haritası ile numune alınan noktalar Şekil 2' de verilmiştir [4].



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Geological map of the study area) [4]

3. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI (STUDIES OF FIELD AND LABORATORY)

Gölbaşı ilçesi yerleşim alanında, jeolojik istiflenme ve arazi yapısı dikkate alınarak belirlenmiş muhtelif lokasyonlardan, üzerlerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirmek için örselenmiş (D) ve örselenmemiş (UD) zemin numuneleri alınmıştır. Ayrıca, çalışma alanında yer alan hafif yapılarındaki (yol, kaldırım, bahçe duvarı, az katlı binalar vb.) mevcut hasarlara ilişkin incelemelerde bulunulmuş ve zeminin şişme özelliğinin bu duruma etkisi irdelenmiştir.

Kepçe ile açılan araştırma çukurlarından, birimi temsil eden seviyelerden düşey yönde 86 mm çapında, ince cidarlı silindirik Shelby tüpleri ile örselenmemiş numuneler alınmıştır. Gölbaşı ilçesi yerleşim alanında toplamda 19 adet araştırma çukuru açılmış olup, bunlardan on adedinden hem örselenmemiş hem de örselenmiş numune, dört adedinden ise sadece örselenmiş numune alınmış olup, beş tanesinde ise yapay dolgu ile karşılaştırılması veya doğal zeminde granüler malzeme miktarının fazla olması nedeniyle örnekleme yapılmasına gerek görülmemiştir.

İnceleme alanında, zemin şişmesinin neden olduğu hasarlar tek katlı binalarda ve özellikle bahçe duvarlarında yer yer kendini göstermektedir.

Gözlenen hasarların büyük bir bölümü duvarlarda oluşan çatlaklar şeklinde gelişmiştir (Şekil 3). Yapılarda görülen çatlakların bir kısmının, temel altındaki zemindeki şişme kaynaklı ve üzerindeki yükün bir fonksiyonu olan hacim değişimi ve buna bağlı olarak farklı miktarda gelişen deformasyonların bir sonucu olduğu düşünülmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Bahçe duvarlarında gözlenen çatlaklara bir örnek (An example of the cracks observed on the garden walls)



Şekil 4. Yapılarda zemindeki şişmeye bağlı oluşması muhtemel hasarlara bir örnek (An example of the damage on the buildings due probably to swelling of the clay)

Gölbaşı yerleşim alanı killerinin şişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik inceleme alanından alınan numuneler üzerinde birtakım laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, mineralojik analizler ve zemin mekaniği laboratuvar deneyleri olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir.

3.1. Mineralojik Analizler (Mineralogical Analyses)

Çalışma alanından alınan üç adet zemin numunesi üzerinde M.T.A Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında X-ray difraksiyon analizleri yapılmıştır. Örneklerin içerdiği mineraller ve bunların frekans sırasına göre dizilişi Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de verilen sonuçlara göre, çalışma alanının çeşitli yerlerinden alınmış numuneler, içerdikleri mineraller açısından

Tablo 1. Numunelerin XRD yöntemiyle bulunan mineral içerikleri
(Determination of mineral contents of samples by XRD method)

Araştırma Çukuru No	Mineraller
AÇ-1	Kuars (%39), Montmorillonit (%29) , Albit (%19), Allophan (%6), Sodalit (%4)
AÇ-2	Kuars (%38), Anorthit (%21), Montmorillonit (%9) , Piemontit (%9), Kalsit (%9), İllit (%6), Sodalit (%5)
AÇ-3	Kuars (%35), İllit-Montmorillonit (%26), Polyolithionit (%13), Klorit-Serpantin (%9), Montmorillonit (%8) , Albit (%3), Lizardit (%2)

farklılıklar göstermekle birlikte, tümünün zemin hacminde yüksek değişikliğe neden olma potansiyeli sunan kil minerali “montmorillonit” ihtiva etmeleri nedeniyle, çalışma alanı killerinin şişme özelliklerinin irdelenmesi önem kazanmaktadır.

3.2. Laboratuvar Deneyleri (Laboratory Experiments)

İnceleme alanından alınan numuneler üzerinde, zeminin sınıflandırma ve endeks özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deneylerin toplu sonuçları Tablo 2’ de verilmiş ve Tablo 3’de özetlenmiştir. Gölbaşı yerleşim alanından alınan 14 adet numunenin birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre, 8 adedi CH (yüksek plastisiteli kil), 2 adedi CL (düşük plastisiteli kil) ve 4 adedi SC (killi kum) zemin sınıfı içerisinde yer almaktadır. Zeminin şişme özelliği göstermesi için birleştirilmiş zemin sınıflama sisteminde muhtemelen CH ya da CL sınıfına ait olması gerektiği bilinmektedir. Bununla beraber bazı ML, MH ve SC sınıfına dâhil zeminler de şişebilmektedir [5]. Kil numunelerinin, doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları ile doğal su muhtevaları, şişme deneyleri için hazırlanan örselenmemiş numuneler kullanılarak elde edilmiştir.

4. ÇALIŞMA SAHASI KİLLERİNİN ŞİŞME POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ (ASSESSMENT OF SWELLING POTENTIAL OF STUDY AREA CLAYS)

4.1. Nitel (Dolaylı) Yöntemler (Qualitative Methods)

Chen [5,6], şişme potansiyelini tahmin etmek için 200 numaralı elekten geçen dane boyutunun ağırlıkça yüzdesi, likit limit (LL) ve SPT darbe sayıları (N) arasında bir ilişkiye işaret etmiştir (Tablo 4). Ayrıca, sadece plastisite indisine (PI) bağlı olarak da bir sınıflandırma önermiştir. Chen tarafından önerilen ilişki kullanıldığında, inceleme alanındaki killer için

ortalama değerler olan 200 numaralı elekten geçen malzeme oranı % 88 ve likit limit LL= % 69 göz önünde bulundurularak, muhtemel şişmenin % 3-%10, şişme basıncının 250-1000 kPa aralığında, şişme potansiyelinin “yüksek-çok yüksek” olarak beklenmesi gerektiği görülmektedir.

Chen tarafından önerilen plastisite endeksine bağlı sınıflandırmaya göre ise, inceleme alanındaki killerin ortalama plastisite indisi değeri PI = % 47 alındığında, şişme potansiyeli “çok yüksek” olarak belirlenmektedir.

Holtz ve Gibbs [7], şişme derecesini, düşük ve çok yüksek arasında, kolloid içeriği, plastisite indisi ve rötre limitine bağlı olarak sınıflandırmışlardır. Holtz ve Gibbs tarafından önerilen sınıflandırma kullanılırsa, inceleme alanındaki killer için ortalama değerler olan; kolloid içeriği (<0,001 mm) % 39, plastisite indisi PI=% 47 göz önünde bulundurularak, muhtemel şişme >% 30, şişme derecesi ise “çok yüksek” olarak tahmin edilebilir.

Mitchell ve Gardner [8], likit limit ve doğal kuru birim hacim ağırlık parametrelerini kullanarak, zeminleri şişebilen (düşük, orta, yüksek, çok yüksek şişme) ve çöken olarak sınıflandıran bir abak geliştirmişlerdir. Bu abağa göre, inceleme alanındaki killer için elde edilen ortalama değerler olan; likit limit LL= % 69, yerinde kuru birim hacim ağırlık $\gamma_d=13.5 \text{ kN/m}^3$ kullanıldığında, inceleme alanı killerinin “çok yüksek” oranda şişebilen zeminler sınıfına girdiği görülmektedir.

Dakshanamurty ve Raman [9], zeminlerin şişme potansiyelinin tahmin edilmesinde plastisite abağından yararlanmışlardır. Bu abağa göre, inceleme alanındaki killer için ortalama değerler olan; likit limit LL= % 69, plastisite indisi PI=% 47 göz önünde bulundurulduğunda, inceleme alanı killerinin “yüksek”

Tablo 2. Zeminin sınıflandırma ve indeks özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deneylerin toplu sonuçları (Results of laboratory index and classification tests)

Araştırma Çukuru No	Derinlik (m)	W _n (%)	ρ _n (Mg/m ³)	ρ _d (Mg/m ³)	G _s	Dane çapı dağılımı (%)					Kıvam limitleri (%)			Aktivite	Zemin sınıfı
						Kolloid	Kil	Silt	Kum	Çakıl	LL (%)	PL (%)	PI (%)		
AÇ-1	1,5-2,0 m	45,7	1,74	1,19	2,79	58	62	32	6	0	116	25	91	1,47	CH
AÇ-2		40,2	1,71	1,22	2,50	17	22	40	38	0	47	22	25	1,14	CL
AÇ-3		26,5	1,97	1,56	2,64	29	38	53	9	0	54	23	31	0,82	CH
AÇ-4		-	-	-	2,63	14	18	25	55	2	48	21	27	-	SC
AÇ-5		28,5	1,98	1,54	2,71	16	24	64	12	0	34	19	15	0,63	CL
AÇ-6		33,2	1,79	1,34	2,67	56	63	35	2	0	83	22	61	0,97	CH
AÇ-7		34,6	1,74	1,29	2,64	33	38	56	6	0	58	22	36	0,95	CH
AÇ-8		-	-	-	2,67	8	10	19	66	5	26	17	9	-	SC
AÇ-9		31,2	1,83	1,40	2,73	36	42	46	12	0	82	22	60	1,43	CH
AÇ-10		38,0	1,89	1,37	2,79	36	43	46	11	0	68	21	47	1,09	CH
AÇ-11		-	-	-	2,71	13	16	24	55	5	33	19	14	-	SC
AÇ-12		-	-	-	2,65	5	7	17	70	6	23	15	8	-	SC
AÇ-13		37,5	1,81	1,31	2,73	52	59	33	8	0	73	27	46	0,78	CH
AÇ-14		33,5	1,76	1,32	2,61	48	53	35	12	0	78	25	53	1,00	CH

oranda şişebilen zeminler sınıfına girdiği görülmektedir.

Snethen vd. [6], likit limit ve plastisite indisinin, potansiyel şişmenin en iyi göstergesi olduğu sonucuna varmışlar ve şişen zeminlerin sınıflandırılmasında (zemin örtü yükü altında) kullanılmak üzere, likit limit, plastisite indisi ve doğal su muhtevası değişkenlerine bağlı tabloyu geliştirmişlerdir. Bu tablo kullanılırsa, inceleme alanındaki killer için ortalama değerler olan likit limit LL= % 69 ve plastisite indisi PI=% 47 alındığında, potansiyel şişmenin > %1.5, şişme derecesinin “yüksek” olduğu görülmektedir.

Van der Merwe [10] ise plastisite indisi ve kil yüzdesine bağlı bir şişme potansiyeli kartı geliştirmişlerdir. Bu kart kullanılarak, inceleme alanındaki killerin ortalama değerleri olan; likit limit LL= % 69 ve kil içeriği (<0,002 mm) % 44 kullanılarak, şişme potansiyelinin “çok yüksek” olduğu tahmin edilebilmektedir.

Seed vd. [11] standart Proctor sıkılığında ve optimum su muhtevasından sıkıştırılmış killerin, 6.9 kPa (1 psi) sürşarj yükü altında şişme karakteristikleri üzerine yaptıkları çalışmada, aktivite ve kil boyutlu tanelerin yüzdesine dayanan bir sınıflandırma geliştirmişlerdir. Bu sınıflandırmaya göre, inceleme alanındaki killer için ortalama değerler olan, aktivite = 1.03, kil içeriği (<0,002 mm) % 44 kullanıldığında, şişme potansiyelinin “yüksek” ile gösterilen sınırlar içerisinde kaldığı, aynı zamanda şişme potansiyelinin “çok yüksek” ile tariflenen bölgeye de çok yakın olduğu görülmektedir.

Killerin şişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik çeşitli ampirik yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Seed, standart Proctor sıkılığında ve optimum su muhtevasında sıkıştırılan, 6.9 kPa sürşarj yükü altında şişmeye bırakılan killerin şişme potansiyelinin belirlenmesinde Eş.1’i, Seed, Woodward ve Ludgren ise Eş. 2’ deki formülü önermişlerdir [1,11]. Eş. 1’in yalnızca %8 - %65 arasında kil içeren zeminler için geçerli olduğu ve hesaplanan değerlerin %33’ lük bir hata payına sahip olduğu ifade edilmiştir.

Tablo 3. Kil numunelerinin çeşitli indeks özellikleri (Some index and classification properties of clay samples)

Özellik	Değişim aralığı		Aritmetik ortalama
	En düşük	En yüksek	
Su muhtevası, W_n (%)	26,5	45,7	~ 35
Doğal yoğunluk, ρ_n (Mg/m ³)	1,71	1,98	1,82
Kuru yoğunluk, ρ_d (Mg/m ³)	1,19	1,56	1,35
Özgül ağırlık, G_s	2,50	2,79	2,68
Kil (%)	22	63	44
Silt (%)	32	64	44
Kum (%)	2	38	12
Çakıl (%)	0	0	0
Kolloid (%) (<0,001 mm)	16	58	39
# 200' den geçen (%)	62	98	88
Likit limit, LL	34	116	69
Plastik limit PL	19	27	23
Plastisite Endeksi	15	91	47
Aktivite, A	0,63	1,47	1,03

Tablo 4. Şişme potansiyelinin arazi ve laboratuvar deney sonuçları ile korelasyonu [5,6].
(Correlation of swelling potential with the field and laboratory test results)

Laboratuvar ve arazi verileri			Şişme derecesi		
200 no'lu elekten geçen yüzde	Likit Limit (%)	SPT N değeri	Muhtemel Şişme (%)	Şişme Basıncı (kPa)	Şişme Potansiyeli
< 30	< 30	< 10	< 1	50	Düşük
30 ~ 60	30~40	10~20	1 ~ 5	120~250	Orta
60 ~ 95	40~ 60	20~30	3 ~ 10	250~1000	Yüksek
> 95	> 60	> 30	> 10	> 1000	Çok Yüksek

$$S = 3.6 \cdot 10^{-5} \cdot A^{2.44} \cdot C^{3.44} \quad (1)$$

$$S = 3.6 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot PI^{2.44} \quad (2)$$

Burada, S = şişme yüzdesi (%), A = Aktivite, C = kil yüzdesi (%), ve M = sabit, (doğal zeminler için 60, yapay zeminler için 100)'tir.

Eş. 1'e göre, inceleme alanındaki killer için ortalama değerler olan aktivite= 1.03, kil içeriği (<0,002 mm) % 44 alındığında, numunenin standart Proctor sıkılığında ve optimum su muhtevasında sıkıştırılması ve 6.9 kPa sürşarj yükü altında şişmeye bırakılması durumu için şişme potansiyeli % 17.4 olarak hesaplanmaktadır.

Eş. 2 kullanıldığında ise, inceleme alanındaki killerin ortalama plastisite indisi değeri PI=% 47 kullanılarak doğal zemin için şişme potansiyeli % 26 olarak hesaplanmaktadır.

Yukarıda verilen değerlendirmeleri özetleyen Tablo 5' den de görüleceği üzere, inceleme alanı killerinin, 10 adet kil numunesi üzerinde gerçekleştirilen nitel sınıflama sonuçlarına göre; % 10' u "düşük şişme potansiyeline", % 10' u "orta seviyede şişme potansiyeline", % 20' si "orta - yüksek seviyede şişme potansiyeline", % 60' ı ise "yüksek yada çok yüksek şişme potansiyeline" sahiptir. Dolayısıyla inceleme alanının büyük bir kısmında şişebilen zeminlerin mevcudiyeti söz konusudur. İnceleme alanı killeri, lokal olarak şişme potansiyeli olan killerdir.

Tablo 5. İnceleme alanı killerin şişme potansiyelinin nitel yöntemler ile değerlendirilmesi
(The evaluation of swelling potential of the clay with qualitative methods)

Numune No.	Zemin Sınıfı	Yöntem										Genel Değerlendirme	
		Chen(1975)	Chen (1975) (PI)	Holtz ve Gibbs (1956)	Mitchell ve Gardner (1975)	Dakshina-namurtı ve Raman (1973)	Sneathen vd. (Nelson ve Miller (1992))	Van der Merwe (1964)	Seed vd. (1962)	Eş. 1	Eş. 2		
AÇ-1	CH	Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	%135	%130	ÇY
AÇ-2	CL	Y	O-Y	O	O	O	D	O-Y	D-O	D-O	%2,1	%5,6	O
AÇ-3	CH	Y	O-Y	Y	Y	O	O	Y	O-Y	O-Y	%6,0	%9,4	O-Y
AÇ-5	CL	O	D	D	D	D	D	O	D	D	%0,7	%1,6	D
AÇ-6	CH	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	%51,7	%49,1	ÇY
AÇ-7	CH	Y	Y	Y-ÇY	Y	O-Y	O-Y	Y-ÇY	O-Y	O-Y	%8,6	%13,5	O-Y
AÇ-9	CH	Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	ÇY	Y-ÇY	Y-ÇY	%33,1	%47,1	ÇY
AÇ-10	CH	Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	ÇY	Y	Y	%18,5	%26,0	Y-ÇY
AÇ-13	CH	Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	ÇY	Y-ÇY	Y-ÇY	%24,3	%24,6	Y-ÇY
AÇ-14	CH	Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y-ÇY	Y	ÇY	Y-ÇY	Y-ÇY	%30,7	%34,8	Y-ÇY
Ortalama Parametreler Kullanıldığında													
ORTALAMA		Y-ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	ÇY	Y-ÇY	Y-ÇY	%17,4	%26,0	Y

D: Düşük, O: Orta, Y: Yüksek, ÇY: Çok Yüksek

Tablo 6. İnceleme alanı killere ait zemin sınıfı ve şişme parametreleri
(Soil classification and swelling parameters of the clay)

Numune No	Zemin sınıfı	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kPa)	Nitel Değerlendirme
AÇ-1	CH	8,0	169	Ç.Y
AÇ-2	CL	1,6	11	O
AÇ-3	CH	3,4	65	O - Y
AÇ-5	CL	0,5	6	D
AÇ-6	CH	6,3	243	Ç.Y
AÇ-7	CH	3,7	67	O - Y
AÇ-9	CH	6,8	111	Ç.Y
AÇ-10	CH	8,1	168	Y - Ç.Y
AÇ-13	CH	8,2	91	Y - Ç.Y
AÇ-14	CH	9,2	108	Y - Ç.Y
Ortalama değerler	CL	1,1	9	
	CH	6,7	128	

4.2. Nicel (Doğrudan) Yöntemler (Quantitative (Direct) Methods)

İnceleme alanı killerin şişme potansiyelini doğrudan tespit için, örselenmemiş numuneler üzerinde, ödometre deney aleti kullanılarak, ASTM D 4546-Metot A standardına uygun deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan tüm deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Uygulamalı Jeoloji ve Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Araziden UD tüpü kullanılarak alınan her iki ucu parafinli örselenmemiş zemin numuneleri, laboratuara getirilerek, hidrolik kriko yardımıyla, belirli çap ve yükseklikteki ödometre ringleri içerisine aktarılmıştır.

Deneyler sonucundan tüm numuneler için elde edilen şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerleri Tablo 6'da

verilmiştir. İnceleme alanındaki yüksek plastisiteli kil "CH" sınıfına giren numunelerin şişme yüzdesi % 3.4 – 9.2 aralığında, ortalama % 6.7, şişme basınçları 65-243 kPa aralığında, ortalama 128 kPa olarak bulunmuştur.

Düşük plastisiteli kil "CL" sınıfına giren numunelerin ise şişme yüzdesi ve şişme basınçları sırası ile % 0.5–1.6 ve 6–11 kPa aralıklarında tespit edilmiştir.

CL sınıfındaki numunelere ait değerler, beklenildiği gibi diğer numunelere ait şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerinden bariz şekilde düşüktür. Bu durumun varlığı, şişme potansiyelini belirlemeye yönelik yapılan nitel sınıflamada da kendini göstermektedir.

İnceleme alanında CH olarak sınıflandırılan killer için bulunan 128 kPa ortalama şişme basıncı değeri, Wayne vd. [8] tarafından hazırlanan, hasar boyutu ile şişme yüzdesi ve şişme basıncı arasındaki ilişkiyi sınıflandıran çizelgeye göre, hafif yapılarda orta derecede hasar oluşturabilecek bir değerdir. Bu durum bölgedeki hafif yapılarda gözlenen hasarları açıklayıcı niteliktedir.

5. İNCELEME ALANINDA BULUNAN ŞİŞME POTANSİYELİNE SAHİP KİLLERİN KİREÇ KATKISI İLE STABİLİZASYONU (LIME STABILIZATION OF THE EXPANSIVE CLAYS IN THE STUDY AREA)

İnceleme alanından alınan zemin numuneleri arasında, hafif yapılar için risk oluşturabilecek, şişme potansiyeli yüksek olarak belirlenen, yüksek plastisiteli kil sınıfına giren AÇ-1, AÇ-3, AÇ-6, AÇ-7, AÇ-9, AÇ-10, AÇ-13, AÇ-14 no.lu "CH" grubu killere, (Tablolar 5 ve 6), ağırlıkça farklı (%1, %3, %5, %7 ve %9) oranlarda kireç katılarak, şişme basıncı ve şişme yüzdelerindeki değişim incelenmiştir.

Geoteknik literatüründe şişen killerin kireçle stabilizasyonunda kullanılması önerilen ağırlıkça kireç oranları yaklaşık olarak: "CL" killeri için % 5-10, "CH" killeri için % 3-12 aralığında verilmiştir [5,12].

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı kireç katkı madde oranları (%1, %3, %5, %7, %9) seçilerek, kireç katkı oranının şişme yüzdesi ve şişme basıncında meydana getirdiği değişim yorumlanmıştır.

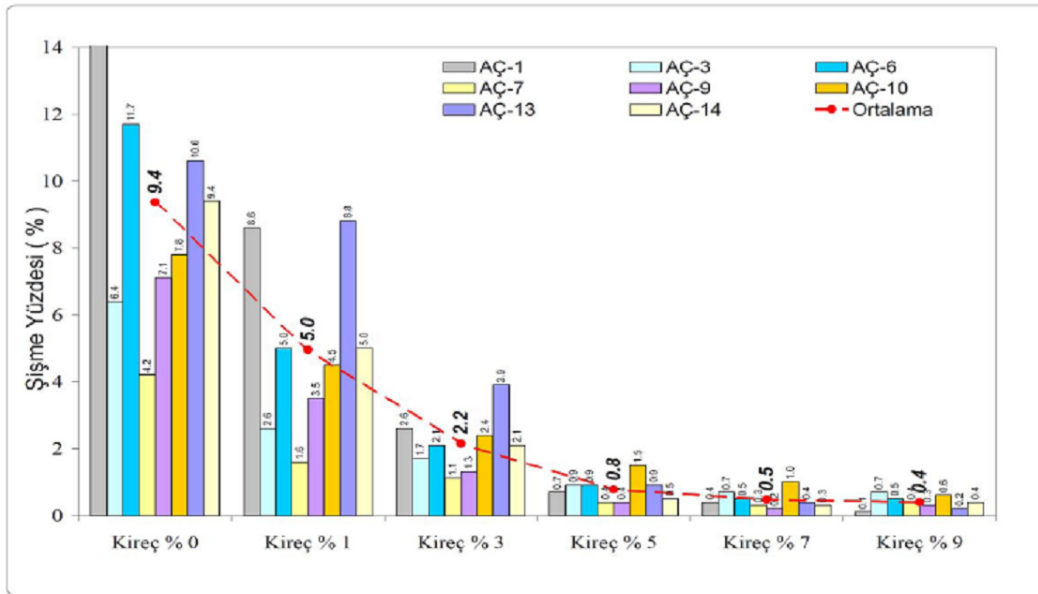
Etüvde kurutulan zemin numunelerine, ağırlıkça değişik oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) sönmüş kireç katılarak karışımlar hazırlanmıştır.

Her numunenin farklı kireç oranlarındaki karışımları ve katıksız numune (%0 kireç) için TS 1900-1 standardına [13] uygun standart Proctor deneyleri yapılarak maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir.

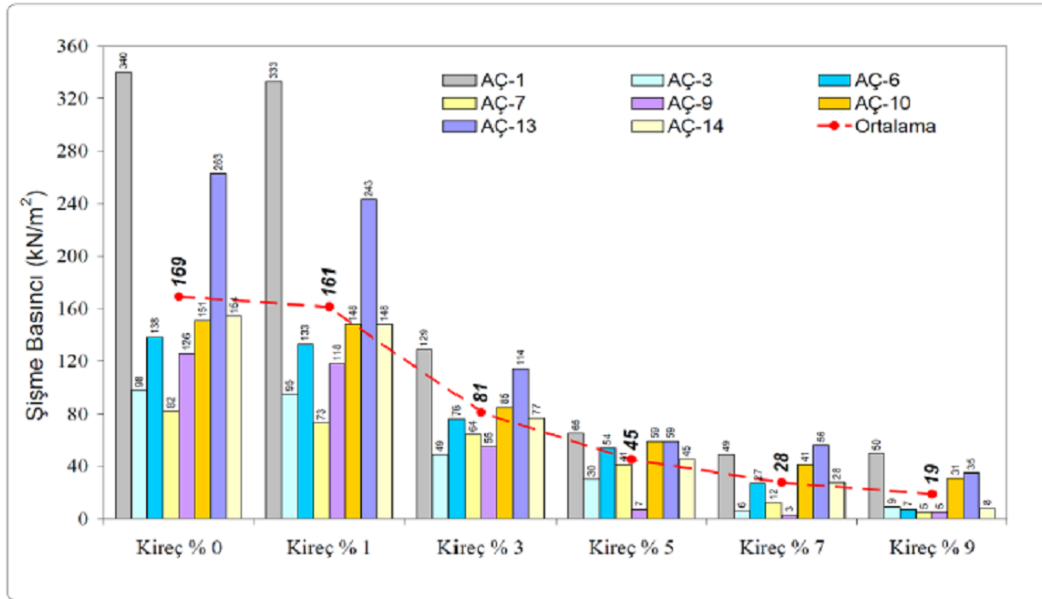
Ardından, incelenen zemin numuneleri-kireç karışımlarının şişme yüzdelerinin ve şişme basınçlarının belirlenmesi amacıyla bir boyutlu ödometre deneyleri yapılmıştır [14].

Her deney numunesi ödometre ringleri içerisine standart Proctor deneyi su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında sıkıştırılmıştır.

Tüm numuneler üzerinde, sadece üst poroz blok ve yükleme başlığının oluşturduğu 1 kPa başlangıç sürşarj yükü uygulanmış ve klasik konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekiller 5 ve 6'da özetlenmiştir.



Şekil 5. Farklı numune ve kireç yüzdeleri için şişme yüzdesi ve ortalama şişme yüzdesi değerleri (Percent expansion and mean percent expansion values for samples with different amounts of lime)



Şekil 6. Farklı numune ve kireç yüzdeleri için şişme basıncı ve ortalama şişme basıncı değerleri (Swelling pressure and mean swelling pressure values for samples with different amounts of lime)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Ankara iline bağlı Gölbaşı İlçesi yerleşim alanı killerin şişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik bu çalışmada, inceleme alanının muhtelif yerlerinden alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde, zemin endeks özelliklerini, minerolojik bileşimini ve şişme potansiyelini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılarak, elde edilen veriler şişme potansiyelinin tespitine yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş abak ve formüllerle kıyaslanmış, şişme potansiyeli yorumlanmıştır.

Rastgele alınan numunelerin %60'ının yüksek ya da çok yüksek şişme potansiyeline sahip olması, inceleme alanında önemli oranda şişebilen zemin mevcudiyetinin söz konusu olduğunu göstermektedir. Bu alanda yer alan killerin kimyasal stabilizasyonunda kullanılacak optimum kireç miktarına ait literatürde herhangi bir bilgi yer almamakta olması, çalışmanın sonuçlarının önemini artırmaktadır.

Alınan numunelerden, CH sınıfına girenlerin şişme yüzdesi % 3.4–9.2 aralığında, ortalama % 6.7, şişme basınçları 65–243 kPa aralığında, ortalama 128 kPa olarak bulunmuştur. CL sınıfına giren numunelerin şişme yüzdeleri ve şişme basınçları ise sırası ile % 0.5 ve % 1.6 ile 6–11 kPa arasında belirlenmiştir. CH sınıfına giren killere ait bulunan 128 kPa (örselenmemiş numuneler için) ortalama şişme basıncı değeri hafif yapılarda orta derecede hasar oluşturabilecek bir değerdir ve bu durum bölgedeki hafif yapılarda gözlenen hasarları açıklayıcı niteliktedir.

Hafif yapılar için risk oluşturabilecek, şişme potansiyeli yüksek olarak belirlenen “CH” killere ağırlıkça farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) sönmüş kireç maddesi katılarak şişme basıncı ve şişme yüzdelerindeki değişim incelenmiştir. Tüm deney numuneleri için ağırlıkça kireç katkısının %5 olduğu durumlarda şişme yüzdesinin ve şişme basıncının sırası ile ortalama yaklaşık %91 ve % 73 oranlarında azaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chen, F.H., **Foundations on Expansive Soils**, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1975.
2. Jones, D.E. ve Holtz, W.G., “Expansive Soils – The Hidden Disaster”, **Civil Engineering**, ASCE, Cilt 43, No 8, 49-51, 1973.
3. Küçükali, Ö., **Kireç ve Jipsin, Üst Pliyosen Yaşlı Yüksek Plastisiteli Killerin (Ankara) Şişme ve Dayanım Özelliklerine Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
4. Yağbasan, Ö., **Modeling of Mogan and Eymir Lakes Aquifer System**, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
5. Coduto, D.P., **Foundation Design: Principles and Practices**, Prentice Hall, New Jersey, 1994.
6. Nelson, J.D. ve Miller, D., **Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement**, John Wiley & Sons, New York, 1992.
7. Holtz, W.G. ve Gibbs, H.J., “Engineering Properties of Expansive Clays”, **ASCE Transactions**, Cilt 121, 641-663, 1956.

8. Wayne, A.C., Osman M.A. ve Elfatih M.A., "Construction on Expansive Soils in Sudan", **J. Construction Engineering and Management**, ASCE, Cilt 110, No 3, 359-379, 1984.
9. Dakshanamurthy, V. ve Raman, V., "A Simple Method of Identifying Expansive Soil", **Soils and Foundations**, Cilt 13, 97-104, 1973.
10. Van der Merwe, D.H., "The Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percentage Clay Fraction of Soils", **Civil Engineers in South Africa**, Cilt 6, 103-107, 1964.
11. Seed, H.B., Woodward, R.J., ve Lungreen R., "Predicting of Swelling Potential of Compacted Clays", **J of Soil Mechanics and Found. Div. ASCE**, Cilt 88, 53-87, 1962.
12. Küçükali, Ö., Kılıç, R. ve Ulaş, K., Effect of Lime and Gypsum on Stabilization of high Plasticity Clay Stabilization, **3. New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference**, 369-375, 2012.
13. **TS 1900-1**, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar DeneYeri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2006.
14. **ASTM D 4546-03**, "Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Percent of Cohesive Soils", Annual Book of ASTM Standards, 1993