



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ATIK MOBİLYA MALZEMESİNİN YÜKSEK PLASTİSİTELİ
KİLLERİN ŞİŞME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Elif Esra BAŞTAN

Danışman
Doç.Dr. Gökhan DEMİR

SAMSUN

2022

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
PROGRAMINIZ



**ATIK MOBİLYA MALZEMESİNİN YÜKSEK PLASTİSİTELİ
KİLLERİN ŞİŞME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Elif Esra BAŞTAN

Danışman

Doç. Dr. Gökhan DEMİR

SAMSUN

2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif Esra BAŞTAN tarafından, Doç Dr. Gökhan DEMİR danışmanlığında hazırlanan “Atık Mobilya Malzemesinin Yüksek Plastisiteli Killerin Şişme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 30.3.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı		
	Üniversitesi		
	Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU		<input checked="" type="checkbox"/>
	Karadeniz Teknik Üniversitesi		Kabul
	İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Gökhan DEMİR		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Mustafa VEKLİ		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet

Hayır

İmza

.../... /

Elif Esra BAŞTAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Mobilya Kaplama Malzemesinin Yüksek Plastisiteli Kil Zeminin Şişme Özelliklerine Etkisi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 09.12.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %12

Tekkaynak oranı :% 3 çıkmıştır.

İmza

... /... / 20...

Doç. Dr. Gökhan DEMİR

ÖZET

ATIK MOBİLYA MALZEMESİNİN YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİLLERİN ŞİŞME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Elif Esra BAŞTAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Ocak/2022
Danışman: Doç. Dr. Gökhan DEMİR

Suya temas ettiklerinde büyük hacim değişikliğine uğrayan zeminler şişen zeminler olarak adlandırılır. Şişen zeminler bu özelliğe sahip olmalarından dolayı bazı geoteknik ve yapısal sorunlara sebep olmaktadır. Bu zeminleri stabilize etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Son yıllarda ise bu alanda katkı maddeleri yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu katkı malzemeleri içinde özellikle çevre dostu atık malzemelerin kullanımı büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada yüksek plastisiteli kil zemini stabilize etmek için atık malzeme olarak mobilya atığı kullanılmıştır. Atık malzeme zemine, ağırlıkça %2,5, %5 ve %7,5 oranında katılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde kıvam limitlerini belirlemek için Atterberg limitleri deneyleri, optimum su muhtevalarını ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerini belirlemek için Proktor deneyi ve şişme potansiyellerini belirleyebilmek için konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Atık malzemenin eklenmesi ile %2,5 atık malzeme içeren numune hariç diğer numunelerde likit limit değerinin azaldığı, bütün numuneler için plastik limit değerinin arttığı ve plastisite indisi değerinin ise azaldığı görülmüştür. Standart Proktor deneyi sonucunda atık malzemenin doğal zemine eklenmesi ile maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı, optimum su muhtevası değerinin ise arttığı görülmüştür. Konsolidasyon deneyi, ASTM D 4546 standardının A yöntemine göre gerçekleştirilmiştir ve deney numuneleri optimum su muhtevasına göre hazırlanıp deneye tabii tutulmuştur. %5 atık malzeme içeren ve şişme yüzdesini %12.59 oranında azaltan numune, şişmeyi azaltmada en etkili karışım olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Şişen zemin, stabilizasyon, atık malzeme, mobilya malzemesi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WASTE FURNITURE MATERIAL ON THE SWELLING PROPERTIES OF HIGH PLASTICITY CLAYS

Elif Esra BAŞTAN
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
M.Sc., January/2022
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan DEMİR

Soils that change enormously in volume when they contact water are defined as expansive soils. Expansive soils cause some geotechnical and structural problems due to this attribute. Many methods are used to stabilize these soils. In recent years, additives have been widely used in this field. Among these additives, the use of environmentally friendly waste materials has gained significant importance.

In this study, furniture waste was used as a waste material to stabilize the high plasticity clay soil. Samples were prepared by adding at the rate of 2.5%, 5% and 7.5% by weight of waste material to the soil. Atterberg limits tests were used to determine the consistency limits on the samples, Proctor test to determine optimum water content and maximum dry unit weight values, and consolidation test to determine swelling potentials. With the addition of waste material, it was observed that the liquid limit value decreased except for the sample containing 2.5% waste material, the plastic limit value increased and the plasticity index value decreased for all mixtures. As a result of the standard Proctor test, it was observed that the maximum dry unit volume weight values decreased and the optimum water content value increased with the addition of the waste material to the natural soil. The consolidation test was carried out according to method A of ASTM D 4546 standard and the test samples were tested after they were prepared according to the optimum water content. The sample that contained 5% waste material and reduced the swelling percentage by 12.59% was determined as the most effective mixture in reducing swelling.

Keywords: Expansive soil, stabilization, waste material, furniture material

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLOLARDİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ŞİŞEN ZEMİNLER	28
3.1. Şişen Zeminlerin Tanımı.....	28
3.2. Şişen Killerin Mineralojisi	29
3.2.1.Kaolin Kil Mineralleri.....	30
3.2.2. Smektit (Montmorillonit) Kil Mineralleri	31
3.2.3. Klorit Kil Mineralleri	32
3.2.4.İllit Kil Mineralleri	32
3.3.Şişme Olayına Etki Eden Faktörler	34
3.3.1. Kil Mineralojisi.....	35
3.3.2. Zemindeki Suyun Kimyasal Bileşimi	35
3.3.3. Zemin Emmesi.....	36
3.3.4.Plastisite	37
3.3.5. Zemin Mikrostrüktürü ve Fabrik	38
3.3.6. Kuru Yoğunluk.....	39
3.3.7. Başlangıçtaki Su Muhtevası	41
3.3.8. Nem Değişiklikleri.....	42
3.3.9. Gerilme Geçmişi.....	42
3.3.10. Yük Yükleme.....	43
3.4.Şişen Zeminleri Tanımlama Yöntemleri.....	44
3.4.1. Mühendislik Sınıflandırma Deneyleri.....	44
3.4.2.Mineralojik Yöntemler	45
3.4.3. Serbest Şişme	46
3.4.4. Potansiyel Hacim Değişimi	47
3.4.5. Şişme İndeksi Deneyi	47
3.4.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)	48
3.4.7.Lineer genişleme katsayısı (COLE).....	48
3.4.8. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi	49
3.2. Şişen Zeminlerin Stabilizasyonunda Kullanılan Yöntemler	51
3.2.1.Kimyasal Katkı Maddeleri	51
3.2.1.1.Kireç ile Stabilizasyon.....	51
3.2.1.2.Çimento ile Stabilizasyon	51
3.2.1.3. Uçucu Kül ile Stabilizasyon.....	52
3.2.1.4. Bitüm İle Stabilizasyon	52
3.2.2.Ön İslatma Yöntemi	53
3.2.3.Sıkıştırma Yöntemi	53
3.2.4.Sürşarj Yükleme	54
3.2.5.Su Muhtevasının Korunması	54

3.2.6. Isı İle İyileştirme.....	55
3.2.7. Elektrokimyasal Yöntemler.....	55
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	56
4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	56
4.1.1. Doğal Zemin.....	56
4.1.2. Atık Malzeme	58
4.2. Deneyler.....	59
4.2.1. Atterberg Limitleri Deneyleri.....	60
4.2.1.1. Likit Limit Deneyi.....	60
4.2.1.2. Plastik Limit Deneyi.....	61
4.2.2. Standart Proktor Deneyi.....	61
4.2.3. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi	62
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
5.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deney Sonuçları	64
5.2. Proktor Deneyi Sonuçları.....	65
5.3. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları	69
6. SONUÇLAR.....	72
7. ÖNERİLER.....	74
KAYNAKÇA.....	75
EKLER.....	82
ÖZ GEÇMİŞ.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Å	:Ansgtrom
AASHTO	:American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	:American Standard Test Method
BET	:Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı
CBR	:Kaliforniya Taşıma oranı
CH	:Yüksek Plastisiteli İnorganik Kil
CL	:Düşük plastisiteli kil
COLE	:Lineer Genişleme Katsayısı
CWCT	:Crushed waste ceramic tile
DTS	:Diferansiyel Temel Analiz
EI	:Genişleme İndisi
HDPE	:High Density Polyethylene
ICP-MS	:Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
I _p	:Plastisite İndisi
KDK	:Kasyon Değişim Kapasitesi
LEP	:Doğrusal Genişleyebilirlik Yüzdesi
LL	:Likit Limit
MFSI	:Modifiye Serbest Şişme İndisi
MKBA	:Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
OSM	:Optimum Su Muhtevası
PET	:Polietilen tereftalat
PG	:Fosfojips
PI	:Plastisite İndisi
PL	:Plastik Limit
PP	:Polipropilen Lifleri
PVC	:Potansiyel Hacim Değişimi
RHA	:Pirinç Kabuğu Külü
RHP	:Pirinç Kabuğu Unu

SEM	:Elektron Mikroskobu Analizi
s_w	:Şişme Yüzdesi
USCS	:Unified Soil Classification System
VHP	:Virgin homopolymerpolypropylene
w_{opt}	:Optimum Su İçeriği
XPS	:X-Ray fotoelektron Spektroskopisi
XRD	:X Işını Difraksiyon Yöntemi
γ_{kmax}	:Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Kil minerallerini oluşturan silika ünitesi a) Tetrahedron b) Tetrahedral tabaka	29
Şekil 3.2.	Kil minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi c) Oktahedron d) Oktahedral tabaka	30
Şekil 3.3.	Kaolin mineralinin mineralojik yapısı	31
Şekil 3.4.	Montmorillonit mineralinin mineralojik yapısı	32
Şekil 3.5.	Klorit mineralinin mineralojik yapısı	32
Şekil 3.6.	İllit mineralinin mineralojik yapısı	33
Şekil 3.7.	Başlangıç zemin emmesi ile şişme yüzdesi arasındaki ilişki.....	37
Şekil 3.8.	Killerde muhtemel tane dizilim şekilleri: (a) dispers ve defloküle edilmiş (b) kümelenmiş ve defloküle edilmiş (c) Köşe – yüz flokülleşmiş ve dispers. (d) Köşe –köşe flokülleşmiş fakat ayrık. (e) Köşe – yüz flokülleşmiş ve kümelenmiş. (f) Köşe –köşe flokülleşmiş ve kümelenmiş. (g) Köşe – yüz ve köşe – köşe flokülleşmiş ve kümelenmiş.....	40
Şekil 3.9.	Kuru birim hacim ağırlığının hacim değişimine etkisi	41
Şekil 3.10.	Su muhtevasının hacim değişimine etkisi.....	42
Şekil 3.11.	Şişme yüzdesi- sürşarj yük ilişkisi	43
Şekil 3.12.	Deformasyon- düşey gerilme grafiği, A yöntemi	49
Şekil 3.13.	Deformasyon- düşey gerilme grafiği, B yöntemi	50
Şekil 3.14.	Deformasyon- düşey gerilme grafiği, C yöntemi	50
Şekil 4.1.	Çalışmada kullanılan zemin	56
Şekil 4.2.	Kullanılan zeminin alındığı yerin konumu	57
Şekil 4.3.	Zemin sınıfının plastisite grafiğindeki gösterimi.....	58
Şekil 4.4.	Çalışmada kullanılan atık malzeme	59
Şekil 4.5.	Kıvam limitleri.....	60
Şekil 5.1.	Atterberg limitlerinin değişimi.....	65
Şekil 5.2.	Doğal zemine ait kompaksiyon eğrisi.....	66
Şekil 5.3.	%2,5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi	66
Şekil 5.4.	%5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi	67
Şekil 5.5.	%7,5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi	68
Şekil 5.6.	Hazırlanan numunelere ait optimum su muhtevası değerleri	68
Şekil 5.7.	Hazırlanan numunelere ait maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri.....	69
Şekil 5.8.	Numunelere ait şişme yüzdeleri değişimi	71
Şekil 5.9.	Numunelerin şişme miktarının zamanla değişimi	71

TABLÖLARDIZİNİ

Tablo 3.1.	Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri	33
Tablo 3.2.	Killerin şişme potansiyelini etkileyen zemin özellikleri	34
Tablo 3.3.	Killerin şişme potansiyelini etkileyen çevresel faktörler	34
Tablo 3.4.	Kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri.....	35
Tablo 3.5.	Kil minerallerinin özgül yüzey değerleri	35
Tablo 3.6.	Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması	38
Tablo 3.7.	Çeşitli killerin aktivite değerleri	38
Tablo 3.8.	Şişen zeminlerin tanımlanmasında kullanılan laboratuvar deneyleri.....	44
Tablo 3.9.	Koloid miktarı, plastisite indisi ve rötre limitine bağlı olarak şişen zeminlerin sınıflandırılması	45
Tablo 3.10.	Plastisite indisine göre sınıflandırma.....	45
Tablo 3.11.	Plastisite indisi ve büzülme indisine göre şişme derecesi	45
Tablo 3.12.	Modifiye serbest şişme indisi ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki	47
Tablo 3.13.	PVC oranlarına göre şişme kriterleri	47
Tablo 3.14.	Şişme indeksi değerlerine göre zeminlerin şişme potansiyelleri	48
Tablo 3.15.	Şişme-büzülme potansiyelinin doğrusal genişleyebilirlik katsayısı ve doğrusal genişleyebilirlik yüzdesine bağlı olarak sınıflandırılması	49
Tablo 4.1.	Doğal zemine ait indeks özellikleri	57
Tablo 4.2.	Atık mmalzemeye ait özellikler.....	59
Tablo 4.3.	Şişme potansiyelinin değerlendirilmesi	63
Tablo 5.1.	Numunelerin kıvam limitleri değerleri.....	64
Tablo 5.2.	Numunelerin w_{opt} ve γ_{kmax} değerleri.....	65
Tablo 5.3.	Konsolidasyon sonrası numunelerin şişme yüzdesi ve boşluk oranı değerleri	70
Tablo 5.4.	Şişme potansiyelindeki değişiklik	70

1.GİRİŞ

Dünya üzerinde şişen zeminler genellikle yağışın az buharlaşmanın fazla olduğu yerlerde görülmektedir. Çoğunlukla içinde kil içeren bu zeminler, bünyelerine su alarak büyük hacim değişikliğine uğrarlar. Hacim değiştirme kapasitesine sahip olmalarından dolayı düşey hacim değişimi meydana gelir ve bazı yapısal hasarlara sebep olurlar. İstinat duvarlarında, karayollarında, boru hatlarında, binalarda, havalimanlarında tasarım ve yapısal problemlere rastlanılabilmektedir.

Şişme olayı, kil mineralinin cinsine, permeabiliteye, şişen zeminin su muhtevasına, şişen zeminin üstüne etkiyen yüklere, büyük ölçüde bağlıdır. Şişmeye etki eden faktörlerin sayısının fazla olmasından dolayı oluşabilecek hasarları ve şişme miktarını belirlemek güçleşmektedir.

Şişen zemin problemleri 1930'lu yılların sonuna kadar zemin mühendisleri tarafından fark edilmemiştir. İlk kez 1938 yılında ABD Su İşleri Teşkilatı Owyhee Projesinde çelik sifon temelinde ters yönde çalışan yer değiştirmelerin meydana geldiğini gözlemlemiştir. (Chen,1975). Bu olaydan sonra şişen zemin problemleri tanımlanmıştır ve yapıların tasarımında şişen zeminlere uygun tasarım ölçütleri belirlenmiştir. Ancak 1940'lı yıllardan sonra hızlıca zemin üzerine direkt beton yapıların inşa edilmesiyle şişen zeminlerin sebep olduğu hasarlarda artmıştır.

Şişen zeminlerin şişme potansiyellerini en aza indirmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların arasında kimyasal yöntemler, inşaat başlamadan önce ön ıslatmanın yapılması, sıkıştırma kontrolü ile zemindeki boşluk oranının azaltılması, sürşarj yükü yükleme gibi zemin iyileştirme yöntemleri sayılmaktadır. Son yıllarda ise özellikle çevreye zarar vermeyen atık malzemelerle zemin iyileştirme önem kazanmaya başlamıştır. Bu amaçla genellikle polipropilen lifleri, cam tozu, plastik şişe atıkları, uçucu kül, mermer tozu gibi malzemeler kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik laboratuvarında deney çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada yüksek plastisiteli bir zemin, atık malzeme ile karıştırılarak şişme potansiyelinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Kullanılan katkı malzemesi mobilya atığı olup 1 cm uzunluğunda ve 0,5 cm genişliğinde kesilmiştir. Katkı oranı, zemin kuru ağırlığının %2,5, %5 ve %7,5'i olarak belirlenmiştir. Hazırlanan katkılı ve katkisiz numuneler hazırlanarak Atterberg limitleri deneyi, standart Proktor

deneyi ve konsolidasyon (ödometre) deneyi gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon deneyi ASTM D456 standardının A yöntemine göre yapılarak numunelerin şişme potansiyeli belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen veriler birbirleri ile ilişkilendirilerek karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aqra (2021) çalışmasında şişen zeminleri iyileştirmek için pomza, kireç ve mermeri kullanmıştır. USCS'ye göre CH olarak sınıflandırılan zemine, %5 ~ %25 arasında pomza, %3, %5, %6 ve %8 oranında kireç, %5, %7, %12 ve %15 oranında mermer katıp numuneleri hazırlamıştır. Şişen zeminin özelliklerini belirleyebilmek için elek analizi, hidrometre analizi, Atterberg limitleri, geçirimsizlik, özgül ağırlık, kompaksiyon, serbest basınç dayanımı ve tek boyutlu şişme deneylerini gerçekleştirmiştir. Çalışmasını iki aşamadan oluşturmuş olup birinci aşamada tüm katkı malzemelerinin zeminle birlikte karışımlarının kıvam limitleri üzerindeki etkilerini incelemek için Taguchi optimizasyon yöntemini kullanmıştır. İkinci aşamada ise bu yöntemle her bir katkı malzemesi için en uygun oranlar belirlenmiş ve bu oranlarla hazırlanan numunelerle, şişme parametreleri, serbest basınç dayanımı ve kompaksiyon değerleri üzerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Deney sonucunda ise %25 pomza,%6 kireç ve %15 mermer içeren karışımların plastisite indisini %86,34 ve şişme basıncını %96,91 azaltmıştır. %25 pomza, %8 kireç ve %12 mermer içeren karışım 28 günlük kür süresi sonundan dayanımı %1252,9 oranında artırırken şişme yüzdesini de %99,18 oranında azaltmıştır.

Koloğlu (2021) tarafından yapılan çalışmada deniz kabuğu, kireç ve zeolit malzemeleri kullanılarak şişen zemin stabilize edilmeye çalışılmıştır. Yüksek plastisiteli kil zemin, ağırlıkça %3 ~ %8 oranında kireç, %5 ~%20 oranında zeolit ve %8 ~%16 oranında deniz kabuğu ile karıştırılmıştır. İlk olarak Taguchi yönteminin orthogonal matrisine göre (L25) elde edilmiş numuneler için Atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Taguchi yöntemine göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda en iyi sonucun deniz kabuğu için %12 ve %14, kireç için %5 ve %6, zeolit için ise %5 ve%10 olduğu belirlenmiştir. Bu yüzdelere kullanılarak Taguchi yönteminin orthogonal matrisine (L4) göre belirlenmiş 4 adet deney seti hazırlanmıştır ve hazırlanan numunelerin kıvam limitleri, kompaksiyon parametreleri, şişme potansiyelleri ve serbest basınç mukavemeti değerleri bulunmuştur. Serbest basınç mukavemeti için 1, 7 ve 28 gün kür süresi belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda %6 kireç, %14 deniz kabuğu ve %5 zeolit içeren karışımın, zemini stabilizasyonunda en etkili sonucu verdiği bulunmuştur.

Dağlı (2021), biri yüksek (B) biri düşük (S) plastisiteli kil zeminleri F sınıfı uçucu kül (FA) ve kireç (L) ile stabilize etmiştir. Uçucu kül % 5, % 10, % 15, % 20, kireç % 3, % 5 ve % 7 oranlarında zeminlere ayrı ayrı katılmıştır. Ayrıca hem kireç hem uçucu külün etkisini görmek için %30 uçucu kül katkısına %3, %5 ve %7 kireç eklenmiştir. Killerin ve katkıların özelliklerini belirlemek için özgül ağırlık, hidrometre, kompaksiyon ve limit deneyleri yapılmıştır. Devamında optimum su içeriğinde hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç, ani taşıma indeksi, dolaylı çekme, CBR, nemlilik şartları, lineer şişme ve donma çözülme deneyleri uygulanmıştır. Dolaylı çekme ve serbest basınç deneyi için kür süresi 0,7 ve 28 gün, CBR, lineer şişme deneylerinde ve donma çözülme deneyinde ise 28 gün olarak belirlenmiştir. Donma çözülme deneyinde 2,4, 6,8 ve 12 donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Ek olarak ise 28 günlük küre tabii tutulan numunelerle SEM, XRD, XRF, TGA analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre sadece F sınıfı uçucu kül eklendiğinde istenilen sonuçlar gözlemlenememiştir. Sadece kireç eklenen numunelerin değerleri uçucu küle göre iyi çıkmıştır. Fakat bazı numuneler CBR deneyinde beklenen sonuçtan daha düşük sonuçlar vermiştir. Uçucu kül ve kireç karıştırılan numunelerde ise sonuçlar sadece kireç içeren karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Ekonomik ve standartlar açısından en etkili dayanımın, hem düşük plastisiteli zemin hem de yüksek plastisiteli zemin için %30 uçucu kül ve %5 kireç içeren numunede olduğu sonucuna varmıştır.

Dehghanian (2021) atık malzeme olan uçucu külü kullanarak killi zeminlerin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bunun için elek analizi, su içeriğinin belirlenmesi, Atterberg limitleri, Proktor deneyi ve üç eksenli kesme deneylerini yapmıştır. İllit kili %0 ila %25 arasında değişen oranlarda uçucu küle karıştırılmıştır. Deney sonuçlarında illit kili orta plastik kil olarak sınıflandırılmıştır. Uçucu kül katkısının artmasıyla PI değerinde %18,18'ten %9,53'e bir düşüş görülmüştür. Üç eksenli kesme deneyinde ise kohezyon değeri 77,15'ten 33,9 kPa düşmüştür. %5 uçucu kül içeren numune içsel sürtünme açısı %44'lük bir artış görülmüştür. Bütün sonuçlar değerlendirildiğinde uçucu kül için %5 optimum değer olarak belirlenmiştir.

Özsoy (2021), iki önemli atık malzemenin, taş tozu ve tuğla tozunun geoteknik özellikleri araştırmıştır. Bu çalışmada, atık taş tozuna, toplam kuru karışım ağırlığının %5, %10, %20, %30, %40 ve %50'si oranında tuğla tozu ilave edilerek

numuneleri hazırlamıştır. Tuğla tozu eklenmesinin şişme indeksi üzerinde oldukça etkili bir azaltmaya yardımcı olduğunu bulmuştur. Özellikle %5 tuğla tozunun en yüksek serbest basınç dayanımına sahip olduğunu bulmuştur.

Duman (2020) çalışmasında düşük plastisiteli bir zeminle, Midyat taşı atığı ve kireci karıştırmıştır. Midyat taşı atığı %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında, %6 kireç ve kireçsiz olacak şekilde numuneleri hazırlamıştır. Deneylerden elde edilen veriler sonucunda Midyat taşı atığının tek başına dayanım üzerinde etkisinin pek olmadığı fakat kireçle beraber kullanılmasının etkili olduğunu bulmuştur.

Shah ve Modha (2020), alt temel tabakasının, bakterilere ayrışmayan bir plastiğin kullanımı ile dayanım parametrelerini araştırmak için yapmıştır. Geocell ve geogrid, plastik şişe atığından yapılmıştır. Plastik atık geogrid için 1,5x3 cm; geocell için 1x2 cm boyutlarında kesilmiştir. Geogrid ve geocell, CBR deneyinde kullanılan silindirik kabın üst kısmından 2,5 cm, 5 cm ve 7,5 cm aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Zemin sınıfı ise SM (siltli kum) olarak belirlenmiştir. Yapılan CBR deneyi sonucunda geocell katkısının, geogride göre daha etkili olduğu görülmüştür. 7,5 cm derinliğine yerleştirilen geocell, saf zeminin dayanımını % 250 oranında artırmışken bu derinlikte geogrid katkısı %22 oranında arttırmıştır. Zemine geocell ve geogrid katkılarının eklenmesi, kesme bölgesi etkisi sebebiyle özellikle derinde daha etkili olmuştur.

Duggal vd.(2020), esnek yol kaplamasının plastik atık malzemesinin eklenmesi ile değişen özelliklerini incelemişlerdir. Kuru ve ıslak karıştırma şeklinde iki farklı numune hazırlama yöntemi seçilmiştir. Kuru karışım için agrega 170 °C'de ve bitüm 160 °C'de ısıtılmıştır. Sonrasında toplam karışımın %5, %10 ve %15'i olacak şekilde plastik atık karışıma eklenmiştir. Islak karışım için ise plastik atık önce ısıtılmış sonrada eritilmiştir. Plastik atık sadece %6 ve %8 oranlarında eklenmiştir. Bitüm için süneklik, yumuşama noktası ve penetrasyon deneylerini; agregalar için yassılık ve uzama, su emme, darbe, aşınma ve Marshall deneylerini yapmıştır. Karışımdaki plastik atık miktarının artmasıyla bitüm ve agregaların özelliklerinde gelişmeler olmuştur. Optimum plastik atık kullanımı ise, deney sonuçlarına göre %10 olarak belirlenmiştir.

Demir (2019) çalışmasında, yüksek plastisiteli bir kile %6 kireç ve %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında mermer atığı ve endüstriyel bir atık olan silis

dumanını eklemiştir. Kıvam limitleri, Proktor deneyi, serbest basınç dayanımı deneyi, donma-çözülme periyodu deneyi yapılmıştır. Ayrıca kür süresinin dayanıma olan etkisini de incelemiştir. Doğal zemine kireç ilavesiyle PI ve LL değerlerinin düştüğünü PL değerinin arttığını, maksimum kuru yoğunluğunun azaldığını ve optimum su içeriğinin arttığını bulmuştur. Serbest basınç dayanımında ise kireç ilavesinin yaklaşık 5 kat dayanımı artırdığını tespit etmiştir. Yapılan karışımlarda en yüksek serbest basınç dayanımı doğal zemin, kireç ve silis dumanı karışımında gözlemlenmiştir. %15 silis dumanı karışımına kadar dayanım değerlerinde artış gözlemlenirken bu değerden sonra düşüşlerin olduğunu belirlemiştir. Donma-çözülme çevrimi deneyi sonrasında ise en yüksek dayanımın 28 günlük kürde ve %6 kireç ve %15 silis dumanı karışımında olduğu görülmüştür.

Şentürk (2019), bentonit zemine, bentonit ağırlığının %5, %10, %15 ve %20 oranlarında atık malzeme olan yüksek fırın cürufunu ilave ederek, 1,7, 14 ve 28 gün kür süreleri sonunda çeşitli deneyler yapmıştır. Kesme kutusu deneyini yaparak zeminin içsel sürtünme açısını ve kohezyonunu bulmuştur. Ayrıca serbest basınç dayanımı deneyini ve şişme deneylerini de gerçekleştirmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda, 28 günlük kür süresi sonunda; kohezyon ve içsel sürtünme açısının, saf numune değerlerine göre arttığını, %5 oranında eklenen yüksek fırın cürufu numunesinin serbest basınç değerinin ise yaklaşık 6 kat arttığını bulmuştur. Şişmenin ise %10 katkılı numunede en az olduğunu ve 7 günden sonraki kür sürelerinin şişme basıncından bir değişime sebep vermediğini tespit etmiştir.

Dayan (2019), çalışmasında %5 kireç ile iyileştirilmiş kaolin kiline silis dumanı ve polipropilen lif ekleyerek bu katkı maddelerinin kilin dayanımına ve donma-çözülme davranışına olan etkilerini araştırmıştır. Polipropilen lifleri, kaolin kilinin kuru ağırlığının %0,25 ila %1 oranı arasında; silis dumanı ise %2,5 ila %10 oranı arasında kaolin kiline karıştırılmıştır. 2, 5 ve 8 gün kür süresi sonunda, hazırlanan numuneler serbest basınç deneyine tabii tutulmuşlardır. Kireçle iyileştirilmiş CL sınıfı kaolin kiline eklenen silis dumanı ve polipropilen lif katkıları, numunelerin serbest basınç dayanımını ve donma-çözünme döngülerine olan dayanımını artırmıştır. Maksimum dayanım %10 silis dumanı ve %0,25 fiber içeren kireçle iyileştirilmiş kil numunelerinde görülmüştür. Fiber oranının artmasıyla basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir.

Ocakbaşı (2019), killi bir zeminin serbest basınç mukavemetine rastgele dağıtılmış bazalt fiber katkısının etkilerini incelemiştir. Bazalt fiberleri 6 mm, 12 mm, 24 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında zemine eklenmiştir. Standart Proktor enerjisiyle karışımlar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış zeminden 4 numune alınmıştır ve bunlar üzerinde serbest basma deneyi (UC) yapılmıştır. Ayrıca doğal zemin ve bazalt fiberleri ile hazırlanan numuneler üzerinde SEM analizi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, bazalt fiber katkı malzemesinin bütün uzunluk ve oranlarında kayma direncinin arttığını ve en etkili sonucun %2 fiber içeren numunede meydana geldiğini belirlemiştir.

Turan (2019), son yıllarda oldukça kullanılan bor mineralinin atık kilini kullanarak yüksek plastisiteli kili iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Eti Maden Bigadiç, Kırka ve Kestelek İşletme Müdürlüklerinden bor atık kilini temin etmiştir. Bor atık killeri ve doğal zemin Los Angeles aşındırma cihazında öğütülmüştür. Bu işlemde sonra doğal zeminin ve bor atık killerin mühendislik özelliklerini belirlemek için kıvam limitleri, standart Proktor, serbest basınç, şişme basıncı ve geçirimsizlik deneyleri ile mineralojik analizlerini yapmıştır. Yapılan kıvam limitleri deneyi sonucunda hem bor atık killerin hem de doğal zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre CH sınıfına girdiğini bulmuştur. Bor atık killeri %10, %30, %50 ve %70 oranlarında zemine eklemiştir. Hazırladığı karışımlar için de kıvam limitleri, standart Proktor, serbest basınç, şişme basıncı, geçirimsizlik deneylerini gerçekleştirmiştir. Bor atık killerin eklenmesiyle doğal zeminde meydana gelen kimyasal ve yapısal değişiklikleri incelemek için atık killeriyle zemini %50 oranında karıştırarak XRD, SEM, ICP-MS analizini, XPS, BET, Zeta potansiyeli analizlerini yapmıştır. Deneylerin sonucunda doğal zemine katılan Kestelek ve Kırka bor atık kil katkısının oranının artmasıyla LL ve PL değerlerinin azaldığını, Bigadiç bor atık kilinin ise yüzdesindeki artışla LL değerinin azalırken, PL değerinin arttığını gözlemlemiştir. Proktor deneyinin sonuçlarından ise Kestelek bor atığı kilinin OSM değerinde azalma meydana getirdiğini MKBA değerinde önemli bir değişim meydana getirmediğini, Kırka atık kili için ise OSM değerinde artış, MKBA değerinde pek bir değişikliğin olmadığını görmüştür. Bigadiç bor atığı kilinde ise kil yüzdesinin artmasıyla OSM değerinde düşüş gözlemlemiştir. Serbest basınç dayanım değerlerinde ise Kestelek ve Bigadiç bor atık kili dayanımı artmıştır. Kırka bor atığı ise dayanım değerlerini düşürmüştür. Yani Kırka bor atığının

dayanımında olumlu etkisi olmamıştır. Her 3 bor atık kilinin şişme basıncı üzerinde azaltıcı bir etkisi olmuştur. Ayrıca doğal kile, %50 oranında bor atık kilinin eklenmesinin ardından yapılan yapısal analizler sonucunda, doğal kilin içinde bulunan bazı minerallerin kaybolduğunu veya yüzdesinin değiştiğini tespit etmiştir. Bütün deneylerin sonucunu değerlendirdiğinde bor atığı killerin, yüksek plastisiteli killerin stabilizasyonunda kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Diallo (2019), kil zemini, kireç, uçucu kül ve inşaat yıkıntı beton atıkları ile iyileştirmek için deneyler yapmıştır. Kireç oranı bütün numunelerde toplam karışımın %2'si olacak şekilde sabit tutulmuştur. Numuneleri ise kil-kireç-uçucu kül, kil-kireç-beton atığı ve kil-kireç-uçucu kül-beton atığı olacak şekilde üç farklı şekilde hazırlamıştır. Zeminin sınıfını belirlemek için Granülometri analizini ve Atterberg analizlerini yapmıştır. Zemin sınıfı CH olarak belirlenmiştir. Optimum su miktarı, kireç katkısı ile artmış, uçucu kül katkısı ile azalmış ve inşaat yıkıntı atığı ile de azalmıştır. Maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise, kireç katkısı ile azaldığı, uçucu kül katkısı ve inşaat yıkıntısı atığı ile arttığı görülmüştür. Yüksek plastisiteli kile %2 kireç, %20 uçucu kül ve %25 inşaat yıkıntı atığı eklenmesiyle serbest basınç dayanımında en etkili değeri bulmuştur. İnşaat yıkıntı atığı ile sıkıştırılmış zeminin şişme yüzdesi %3,4'ten %0,35'; uçucu külde ise %0,08'e düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sebeple hem inşaat yıkıntı atığının hem de uçucu külün birlikte kullanılmasının şişme potansiyelini azaltacağı belirlenmiştir.

Çağlar (2019), atık kızıl çamur ve atık uçucu külü şişen killi zemini stabilize etmek için kullanmıştır. Şişen killi zemin, %85'i kaolin %15'i bentonit kili içermektedir. Kızıl çamur ve uçucu kül toplam karışımın %15'i, kireç ve çimento ise toplam karışımın %5'i oranında zemin numunesine ayrı ayrı eklenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde tane boyutu dağılımları, kıvam limitleri, şişme hızları, şişme yüzdeleri, tek eksenli basınç dayanımı, direkt ve yarma çekme dayanımları testleri uygulanmıştır. Şişme, serbest basınç ve direkt kesme deneyleri için 0,7 ve 28 gün kür süresi belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda kızıl çamur, uçucu kül ve çimento eklenmesiyle, zeminin şişme yüzdesinin 3 kat azaldığı, şişme süresinin 4 kat arttığı, drenajsız kayma mukavemetinin ise 4 kat arttığı ve kür süresinin dayanımda etkili olduğu belirtilmiştir.

Acar (2019), yüksek plastisiteli killi zeminlerin, termik santral atığı olan uçucu kül ile karıştırmıştır. %5,%10, %15, %20, %25 oranlarında uçucu kül, kil zemine eklenmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırdığı kil-uçucu kül karışımlarını 1,8,16 ve 32 gün küre tabii tutmuştur. Kür süreleri bittikten sonra üç eksenli basınç deneyini, konsolidasyonsuz ve drenajsız koşullarda yapmıştır. Ayrıca SEM ve XRD analizlerini de gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak ise %5 -%20 arasındaki oranlarda uçucu kül içeren numunelerde mukavemet değerlerinde önemli artışlar görülmüştür.

Balaban (2019), yaptığı elek analizi sonucunda sınıfının yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu belirlenen zemine, ağırlıkça %5, %10, %20, %30, %40, %60 ve %80 oranlarında kurşun-çinko maden atığını, %5, %10 ve %20 oranlarında uçucu külü ve %1, %2, %3 ve %5 oranlarında çimentoyu kil zemine katkı olarak eklemiştir. Hidrometre deneyi, kompaksiyon deneyi, özgül ağırlık deneyi, serbest basınç deneyi, üç eksenli basınç deneyi, kesme deneyi ve ödometre deneyi yapılmıştır. Ayrıca zeminin içyapısını oluşturan bileşenlerinin yapısal ve dokusal özellikleri hakkında detaylı bilgiyi öğrenmek için SEM analiziyle kil mineralojisini öğrenmek için XRD analizini yapmıştır. Deney sonuçlarında ise %20 kurşun-çinko maden katkılı, %20 kurşun-çinko - %5 uçucu kül katkılı, %20 kurşun-çinko - %3 çimento ve %20 kurşun-çinko - %5 uçucu kül - %2 çimento katkılı kil numunelerde en yüksek mukavemet değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca çinko ve kurşun katkılı kil numunelerinde, katkı oranı arttıkça şişme basıncı ve boşluk oranında düşmenin olduğunu gözlemlemiştir. Sonuç olarak ise kurşun çinko maden atıklarının zemin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Küçükosmanoğlu (2019), çalışmasında bazalt fiberlerinin zemin iyileştirmesindeki etkisini araştırmıştır. Bazalt fiberlerini 6 mm,12 mm ve 24 mm uzunluğunda kesmiştir. Doğal zemine, %2, %1,5 , %1, %0,20 , %0,15 , %0,10 ve %0,05 oranlarında bazalt fiberi rastgele karıştırıp numuneleri hazırlamıştır. Öncelikle zemin sınıfını belirlemek için elek analizi, kıvam limitleri deneyini yapmıştır ve zemin sınıfını TS1500'e göre orta plastisiteli (CI) olarak belirlenmiştir. Bunların dışında hidrometre analizi, özgül ağırlık deneyini, Proktor deneyini ve CBR deneyini gerçekleştirmiştir. CBR deneyi sonucunda en iyi iyileştirmeyi doğal zemine göre %3,3 kat daha fazla iyileştiren 6mm uzunluğunda, %0,20 katkı içeren numunede olduğunu bulmuştur.

Diallo ve Ünsever (2019), araziden alınan kil zemin üzerine toplam karışımda sabit %2 kireç ve %5 ila %35 arasında değişen oranlarda inşaat yıkıntı beton atıklarını katarak zemini stabilize etmişlerdir. Öncelikle zeminin sınıfının belirlemek için, elek analizi, Atterberg limitleri ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda zeminin CH (yüksek plastisiteli kil) sınıfına ait olduğu bulunmuştur. Kireç ve inşaat yıkıntı atıklarının eklenmesiyle hazırlanan numunelere Proktor deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda elde edilen optimum su içeriğine göre serbest basınç deneyi için numuneler hazırlanmıştır. 3, 7 ve 28 gün kür süresinden sonra serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, katkı malzemelerinin eklenmesi ile zeminin optimum su muhtevasının azaldığı görülmüştür. %2 kireç ve farklı oranlardaki inşaat yıkıntı atığı içeren numunelerin serbest basınç dayanımında artışlar gözlemlenmiştir. %2 kireç ve %20 inşaat yıkıntı atığı en etkili katkı oranı olarak belirlenmiştir. Ayrıca kür süresinin dayanımın artışında az bir etkisinin olduğunu ve bunun sebebinin ise inşaat yıkıntı atığının içindeki çimentonun çoğunluğunun daha önce puzolanik reaksiyona girmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Barışoğlu (2019), atık malzeme olarak kum, kırık taş, kırık tuğla ve kırık betonu kullanmıştır. Ayrıca, çalışmada atık malzeme içeriği, su/yüksek fırın cürufu çimento oranı, kürlenme süresi ve sıcaklık etkisini araştırmıştır. Çimento katkılı zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için serbest basınç deneyini ve serbest rezonans deneylerini yapmıştır. Kür süresi olarak 28, 60, 90 ve 120 gün olarak belirlemiştir. Su/ yüksek fırın cürufu oranını 0,7 ve 0,9 olarak belirlemiştir ve 0,9 oranına sahip numunelerin dayanımı, 0,7 oranında hazırlanan numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Sonuç olarak ise kürlenme süresindeki artış ile serbest basınç dayanımını arttırdığını bulmuştur.

İkizler ve Angın (2018) şişme basıncında ve indeks özelliklerinde farklı katkı malzemelerinin özelliklerini araştırmak için yüksek şişme potansiyeline sahip şişen zeminle kapsamlı bir laboratuvar çalışması yapmışlardır. Katkı malzemesi olarak kireç, kum, multifilamentli lif ve elyaf lifini seçmişlerdir. Kireç, kum ve lifle şişen zemine sırasıyla %0~7, %0~80 ve %0~0,5 oranlarında zemine katılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde Atterberg limitler, kompaksiyon ve şişme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda, şişme basıncı-zaman ilişkisi, birkaç başlangıç veri noktası

ile nihai şişme yüzdesinin tahminini kolaylaştırmak için oluşturulmuş dikdörtgen bir hiperbol ile değiştirilmiştir. Bu yaklaşımla en etkili katkı ve optimum içerik belirlenmiştir.

Tran vd.(2018), mısır püskülü atığının zeminin özelliklerini olan etkisini incelemiştir. Atık malzeme, zemin kuru ağırlığının %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında zemine eklenmiştir. Malzemeyi ise 10, 30 ve 50 mm uzunluğunda kesmişlerdir. Malzemenin boyutları özellikle 10 mm ve 30 mm uzunluğunda atık malzeme, numunelerin basınç dayanımlarını oldukça etkilemiştir. Ayrıca Tran vd.(2018) başka bir çalışmada %4, %8 ve % 12 oranlarında çimento katılan zemine, atık malzeme olan mısır püskülünü, kuru zeminin ağırlığının %0, %0,25, %0,5 ve %1 oranında ekleyerek numunelerini hazırlamışlardır. Kür süresi olarak ise 7, 14 ve 28 günü belirlemişlerdir. Sonuçta ise 3 farklı çimento içeriğine sahip numunelerin hepsinde, eklenen atık malzemenin oranın artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıkta azalma, optimum su içeriğinde ise artma meydana geldiğini belirlemişlerdir. %4 çimento ve %0,25 atık malzeme içeren numunenin 7 günlük kür süresi sonucunda dayanımının %117 oranında arttığını tespit etmişlerdir ve genel olarak %0,25 oranında atık malzeme içeren numunelerde dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu iki çalışma sonucunda mısır püskülü atığının, stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Alami (2018), çalışmasında kırıntı lastik parçalarını kum zemin ve kil zemin ile karıştırılıp lastik parçalarının dayanımdaki etkisini incelemiştir. Birinci bölümde % 100,% 80,% 70 ve% 60 kaolini kili, %0, % 20, % 30 ve %40 oranlarındaki kum ile karıştırılmıştır. Ayrıca %5 kireç eklenerek kirecin etkisine de bakılmıştır. Proktor deneyinden sonra optimum su içerikleri belirlenip bu değerlere göre hazırlanan numuneler 28 gün desikatörde bekletilmiştir. Sonrasında ise serbest basınç dayanım deneyi yapılmıştır. İkinci aşamada ise % 100,% 80,% 70 ve % 60 oranında kaolin kilini % 0,% 20,%30 ve% 40oranlarında kum ile karıştırmıştır ve zemine %0,%1, %2 ve %4 oranlarında lastik parçaları katılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra serbest basınç dayanımı yapılmıştır. Birinci aşamanın sonunda kil-kum-%5 kireç içeren numunelerin %146 oranında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca bu artış oranının, numunenin içindeki kum oranı azaldıkça azalmakta olduğunu gözlemlemiştir. İkinci aşamanın sonunda ise lastik parçaları için optimum değer %2 olarak tespit edilmiştir.

Alpyürür (2018), inşaat yıkıntı atığı olarak düşünülen gaz betonu (GB) zemin stabilizasyonunda kullanmıştır. Gazbetonu öğütmüştür ve zemin kuru ağırlığının % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25'i oranlarında zeminlere eklenmiştir. Çalışmada yüksek plastisiteli kil(CH) , düşük plastisiteli kil (CL) ve kum zemin ayrı ayrı GB ile karıştırılmıştır. Elek analizi, hidrometre deneyleri, Harvard minyatür kompaksiyon deneyi, kesme kutusu, serbest basınç, CBR ve şişme deneyleri numuneler üzerinde uygulanmıştır. Şişme deneyleri sonucunda yüksek plastisiteli kil ile %25 GB karışımı şişmeyi %54 oranında azaltmıştır. Düşük plastisiteli kil ve %10 GB karışımı dayanımı % 68 oranında artırmıştır. Çalışma sonucunda öğütülmüş gazbetonun düşük mukavemete sahip ve yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerde oldukça etkili olduğunu saptamıştır.

Biondi vd.(2018), düşük plastisiteli bir kil zemine, cam tozu eklemiştir. Zemine, zemin kuru ağırlığının %0,% 3,% 6,% 9, % 12, %15, %20 ve %25 oranında olacak şekilde cam tozu eklendikten sonra hazırlanan numuneler 7,28,91 gün küre tabi tutulmuştur. Ayrıca kontrol yapabilmek için hem katkısız hem de %6 çimento katkılı zemini kullanmışlardır. SEM ve EDX analizleri yapılarak zemini mikro yapısı incelenmiştir. Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarında dayanım, numunelerin 91 günlük kür süresi sonunda en yüksek çıkmıştır. Fakat 28 günden sonra kayda değer bir yükselme meydana gelmediği tespit edilmiştir.

Mai vd.(2017) alt temel tabakasını plastik şişe atığı olan PET ile iyileştirmek için, PET katkısını %1 ve %2 oranlarında zemine katmıştır. Özgül ağırlık, elek analizi, Proktor sıkıştırma deneyini, şişme indeksi deneyini, kesme kutusu deneyini, serbest basınç dayanımı ve CBR deneyini yapmışlardır. PET katkısının boyutlarını 1mm x 10 mm olacak şekilde kesmiştir. Bütün sonuçlarda %2 PET içeren numunenin değerleri yüksek çıkmıştır. Alt temel tabakasını iyileştirmek için PET katkısının uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Khazaei ve Moayedi (2017) tarafından yapılan çalışmada petrokimya tesisinde suyu yumuşatma sürecinde kullanılan bir atık ve sönmemiş kireç kullanılmıştır. Her iki katkı da karışımın %4, %6, %8, %10 ve %12'si olacak şekilde hazırlanmıştır. Zemin ise CL (düşük plastisiteli kil) olarak sınıflandırılmıştır. Numuneler üzerinde kompaksiyon, şişme deneyi, Atterberg limitleri ve serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Şişme deneyi ASTM 4546 standardına göre yapılmıştır ve deney

sonucunda atığın eklenmesi şişme potansiyelinin üzerinde kireç kadar etkili olmamıştır. Örneğin doğal zemininin şişme potansiyeli %14 iken % 6 atık içeren numunenin şişme potansiyeli %15,85 aynı oranda kireç içeren numunede ise bu değer %4,85 çıkmıştır. Serbest basınç dayanım sonuçlarında ise %8 kimyasal atık içeren numunelere kadar değerler artmış, %8'den sonraki sonuçlarda ise azalma gözlemlenmiştir. Kür süresinin artmasıyla, atıkla güçlendirilmiş örneklerin dayanım değerleri artmıştır. Kireç katkısında ise kür süresiyle birlikte kireç oranının artmasıyla dayanımda artış görülmüştür. Sonuç olarak ise her iki katkı için de optimum katkı oranı %8 olarak belirlenmiştir.

Yılmaz (2015) çalışmasında, endüstriyel bir atık olan BT (Bayburt taşı) atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yeşil, beyaz ve sarı renkteki BT atıklarını, kireçsiz ve %6 kireç ekleyerek yüksek plastisiteli bir zeminle karıştırmıştır. Yaptığı tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucunda %10 beyaz BT ve kireç katkılı numunenin zemini iyileştirmede en etkili sonuçları verdiğini bulmuştur. Sonucunda ise yeşil, beyaz ve sarı renkteki BT atıklarının, kireçle birlikte zemin stabilizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Saygılı vd.(2016) çalışmalarında %5 kireç eklenmiş kaolin kilinin serbest basınç dayanımını artıracak silis dumanı ve sentetik lif katkısının dayanımda meydana getirdiği etkileri incelemişlerdir. Sentetik lif katkısı, 12 mm uzunluğunda %0, %0,25, %0,5 ve %1,0 oranlarında; silis dumanı ise %0, %2,5, %5 ve %10 oranlarında, kireçle zenginleştirilmiş numuneye eklenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. 28 günlük kür sonunda gerçekleştirilen deneylerde %5 silis dumanı ve %0,25 polipropilen lif katkısının yaklaşık 6 kat, 90 günlük kür süresi sonunda ise %2,5 silis dumanı ve %1 polipropilen lif katkısının ise yaklaşık 10 kat dayanımı artırdığını tespit etmişlerdir.

Çimen vd.(2016), yüksek plastisiteli bir kili, inşaat atıkları ile stabilize etmişlerdir. İnşaat atığı olarak kullanılan malzeme 0-12 mm boyutlarındaki beton atığıdır. Bu malzeme No.40 elekten elenerek zemine, %2, %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranlarında karıştırılmıştır ve hazırlanan numuneler üzerinde limit deneyleri ve kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Bunların dışında ise optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerinde sıkıştırılan katkısız zemin ve %5,

%10, %20 ve %30 katkılı numuneler üzerinde sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneylerini yapmışlardır. İnşaat atığı katkısının artmasıyla, plastisite indisi, optimum su muhtevası sabit hacimli şişme basıncı azalmış; maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve serbest basınç mukavemeti artmıştır. İdeal katkı oranı olarak ise %10-%20 içerik belirlenmiştir.

Peddaiah vd.(2016) zemin iyileştirmesinde plastik şişe atıklarının kullanımını ve davranışını araştırmışlardır. Plastik atık 15 mm genişliğinde, 15,25, 35 mm uzunluğunda kesilmiş ve %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 oranlarında doğal zemine katılmıştır. Öncelikle kompaksiyon deneyini gerçekleştirilip optimum su içerikleriyle maksimum kuru birim hacim değerleri bulunmuştur. Sonra kesme kutusu deneyi ve Kaliforniya taşıma oranı testi yapılmıştır. Zemin sınıfı siltli kum olarak belirlenmiştir. Proktor deneyi sonucunda, plastik atıkla güçlendirilen zeminlerde, maksimum kuru birim hacim ağırlık en yüksek %0,4 içerikli ve 15mm x 15mm boyutlarında kesilmiş numunede görülmüştür.%0,6 ve %0,8 atık içeren numunelerde ise bu değer azalmıştır. Optimum su içeriğinde ise bu durumun tersi gerçekleşmiştir. Direkt kesme deneyi sonuçlarında ise hem kohezyon hem içsel sürtünme açısı %0,4 katkılı ve 15 mmx15 mm numunede yüksek çıkmıştır. Katkı oranı arttıkça kesme parametrelerinde düşüş görülmüştür. Aynı şekilde CBR testinden elde edilen sonuçlarda da %0,4 katkı içeren numune dayanımı daha çok artırmıştır. Ayrıca 35 mm uzunluğunda atık malzeme içeren numune CBR değerini daha çok düşürmüştür. Bu durum, alt tabakanın kalınlığının yaklaşık 30 cm'ye kadar azaltılabileceğini bunun da kaplama maliyetini düşüreceğini göstermiştir. Sonuç olarak ise 15 mmx15 mm boyutlarındaki plastik atık malzemesinin %0,4 oranında zemine eklenmesiyle zemin özelliklerinin iyileştirilebileceğini bulmuşlardır.

Fauzi vd.(2016) yüksek yoğunluklu polietilen olan HDPE plastik atığını ve kırılmış cam atığını alt temel tabakasında katkı malzemesi olarak kullanmıştır. Çalışma kapsamında elek analizi, Atterberg limitleri, standart kompaksiyon deneyi, 4 gün suda bekletilmiş numunelerle Kaliforniya Taşıma Oranı ve kesme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Katkılar zeminin toplam kuru ağırlığının %4, %8 ve %12'si olacak şekilde katılmıştır. Killerin kimyasal yapısını öğrenmek için ise SEM ve X-Ray analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Zemin sınıflandırma testleri sonunda AASHTO sınıflandırma sistemine göre birinci zeminin yüksek (A-7-6), ikincisinin

ise orta derecede plastisiteli kil (A-6)olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, HDPE ve cam atıklarının miktarının artmasıyla killi zeminlerin CBR ve mühendislik özelliklerinde artışlar olduğunu göstermiştir.

Mallikarjuna ve Mani (2016), yüksek şişme potansiyeline sahip siyah pamuklu toprağa, plastik sandalyelerden elde edilen plastik atığı %2, %4, %6 ve %8 oranlarında katmıştır. Kompaksiyon deneyi ve CBR deneyini yapmışlardır. Maksimum kuru birim hacim ağırlık değerı, optimum su içeriği ve CBR sonuçları %4 katkı içeren numuneden sonra düşmüştür. Bu yüzden %4 katkı içeriğini optimum katkı içeriği olarak belirlemişlerdir.

Dhatrak vd.(2016), plastik şeritleri kullanarak esnek kaplamanın yapımı için alt temel tabakasını iyileştirme amaçlı çalışma yapmışlardır. Deneysel alışmalar kompaksiyon deneyini, kesme dayanımını ve CBR deneyini kapsamaktadır. CBR deneyi için numuneler hem kuru hem de suda 4 gün bekletildikten sonra kullanılmıştır. Plastik şişe atığı %0,5, %1, %1,5, %2 ve %2,5 oranlarında rastgele zemine katılmıştır. Islak ve kuru numunelerde yapılan CBR deneyi sonuçlarında maksimum iyileştirme %2 atık içeren numunede olmuştur. Islak ve kuru CBR değerlerinde, zemin iyileştirmede rastgele dağıtılan plastik atıklar sebebiyle, sırasıyla %30 ve %40'a kadar artış gözlemlenmiştir.

Yeşilçiçek (2016), yüksek plastisiteli killi yol taban zemini, bor minerali olan kolemanitin işlenmesi sırasında açığa çıkan atık malzemesini ve kireci kullanarak zemin stabilizasyonunu araştırmıştır. Deneyleri 2 aşama olarak planlamıştır. Birinci aşamada öğütölmüş kolemanit atığı ve 4 No.lu elekten geçen kolemanit atığı; ikinci aşamada ise öğütölmüş kolemanit atığı ve kireç birlikte kullanılmıştır. Hem kolemanit atığı hem de kireç, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eklenmiştir. Her iki katkının birlikte kullanıldığı numunelerde ise oranlar her bir katkı için ayrı ayrı %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında hazırlanmıştır ve CBR deneyi yapılmıştır. Deneyler gerçekleştirildikten sonra, yüksek plastisiteli zeminin iyileştirmesi için, plastisite, işlenebilirlik, dayanım ve sıkışma yönünden bakıldığında en uygun karışımın %10 öğütölmüş kolemanit atığı ve %10 kireç içeriğinde olduğunu bulmuştur. Bu iki katkının karışımı sonucunda oluşan numunelerin mühendislik özellikleri, sadece kolemanit atığı içeren numunelere göre daha iyi fakat sadece kireç içeren numunelere göre daha az iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Hassan (2016) çalışmasında kırılmış atık seramik karoları (CWCT) kullanarak killi bir zeminin stabilizasyonunu incelemiştir. Kıvam limitleri, sıkıştırma, CBR, tek eksenli sıkışma dayanımı, tek eksenli ödometre deneyi ve direkt kesme deneylerini yaparak CWCT'nin stabilizasyona olan etkilerini incelemiştir. Zemin kuru ağırlığının %5,%10, %15, %20 ve %30 oranlarında belirlenen şekilde CWCT eklenmiştir. Deneylein sonucunda ise, zeminin sınıfının CL(düşük plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. CWCT'nin eklenmesiyle PL, LL ve PI değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Sıkıştırma deneyi sonucunda, CWCT'nin eklenmesiyle optimum su içeriğinde azalma, maksimum kuru ağırlıkta ise bir artış gözlemlenmiştir. CBR deneyi için numuneler suya batırılmıştır. Kil zemine %30 CWCT eklenmesiyle CBR değeri %4,94'ten %11,03'e çıkmıştır. Doğal zeminle kıyaslandığında, numunenin kuru ağırlığının %30'una kadar CWCT içeren karışımlar, şişme potansiyelini %65 oranında düşürmüştür. Çalışmanın sonunda CWCT katkısının, zeminin bazı özelliklerini iyileştirebileceğini belirtmiştir.

Işık vd.(2015) yaptıkları çalışmada yüksek plastisiteli kili, (CH) içerisinde atık tavuk tüyünün zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmak için donma-çözölmeye maruz bırakmışlardır. Ayrıca donma- çözölmeye maruz bırakılmayan numuneler üzerinde de serbest basınç dayanımı yapmışlardır. Atık tavuk tüyünü, telek ve tüy lifi olarak iki kısma ayırmışlardır. Her iki kısım da %1 ve %2 oranında kil zemine eklenmiştir. Telek 4 mm ve 8 mm olacak şekilde, tüy lifi ise gelişigüzel bir şekilde kesilmiştir. Hazırlanan numuneleri 5 ve 10 donma-çözölmeye çevrim sayısına maruz bırakmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda 4 mm telek içeren numunelerin serbest basınç dayanımında olumlu etkisinin olmadığını, 8 mm telek içeren numunelerde ise dayanım değerlerinde önemli bir artış olmadığını gözlemlenmişlerdir. Tüy lifi içeren numunelerde tüm donma-çözölmeye çevrimlerinde katkının oranı arttıkça serbest basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir. Donma-çözölmeye maruz bırakılmamış katkısız numunenin dayanımı 199 kPa iken %2 tüy lifi katkılı numunenin değeri 277 kPa'a çıkmıştır. Sonuçta ise donma-çözölmeye çevrim sayısı arttıkça gerilmede azalmanın meydana geldiğini ve donma-çözölmeye çevrimlerine maruz bırakılan katkılı ve katkısız numunelerin serbest basınç dayanımlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir

Pal vd.(2015), CL sınıfı olarak belirlenen zemini, atık polipropilen liflerini kullanarak iyileştirmek için direkt kesme deneyi ve serbest basınç deneyini yapmışlardır. Polipropilen lifleri 10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunluğunda kesilmiş ve zemin kuru ağırlığının %0,15 , %0,25 , %0,35'i oranlarında zemine eklenmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlıkta polipropilen eklenmesiyle önemli düşüş görülmüştür. Direkt kesme kutusu parametreleri, 20 mm uzunluğunda ve %0,35 polipropilen lif içeren numune, kohezyonu %46,88, içsel sürtünme açısını %25,18 kat artırmıştır. Serbest basınç dayanım sonuçlarında ise 20 mm uzunluğunda ve %0,25 lif içeren numunede dayanım %52,80 kat artmıştır.

Özkan (2015), fosforik asit üretiminde ortaya çıkan atık olan fosfojipsi, kireci ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunu stabilizasyon malzemesi olarak kullanmıştır. Fosfojips, %5 ila %25 arasında değişen oranlarda zemine eklenmiştir. Tane büyüklüğü dağılımı, kıvam limitleri, şişme oranları ve şişme yüzdesi değerleri bulunmuştur. Fosfojipsin kullanımının şişme potansiyelini azaltmıştır. Fakat %20 ve %25 oranında fosfojips eklenmesi şişme potansiyelini etkilememiştir. Bu sebeple optimum fosfojips içeriği %15 olarak belirlenmiştir. Ayrıca fosfojips, kireç ve öğütülmüş granül ile karıştırılmıştır. %15 PG ve % 15 GGBFS içeren numune şişme potansiyelini % 43,16'dan % 9,16'ya düşürmüştür ve kür süresi arttıkça şişme potansiyeli azalmıştır.

Poweth vd (2014) zemin özelliklerinde plastik parçalarının etkisini araştırmışlardır. Çalışma zayıf zemini, şişelerin üretimi için kullanılan liflerle iyileştirmek için yapılmıştır. 3 mm x 2 mm boyutlarında ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranlarında plastik atıklar hazırlanmıştır. Doğal zemin ve katkılı zemin numuneleri üzerinde kompaksiyon deneyi, kesme dayanımı, CBR değeri ve permeabilite deneyleri uygulanmıştır. Maksimum kuru birim hacim ağırlık en yüksek ve optimum su içeriği en düşük %0,25 plastik atık içeren numunede çıkmıştır. %0,5 plastik atık içerikli numunede CBR değeri düşmüştür, %0,75 katkı içeren zeminde ise artmıştır. Kesme dayanımı ise %0,25 katkılı numunede maksimum çıkmıştır. Sonuç olarak ise stabilizasyon için bu metot çok etkili olmamasına rağmen plastik atıkları ortadan kaldırmak için etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Kazemikhosrowshahi(2014), bentonitin şişme basıncını azaltmak için olası stabilizatörler olarak kopolimer, homopolimer polipropilen, uçucu kül ve kireç olmak

üzere dört malzemeyi değerlendirmiştir. Kopolimer lifinin uzunluğu, 54 mm; homopolimer polipropilenin uzunluğu 15mm ve her iki katkının eklenme oranı ise %0,1, %0,2, %0,3, %0,5, %0,7 ve %1 olarak belirlenmiştir. Uçucu kül %5, %10 ve %15 oranında, kireç ise %1, %3, %5 ve %7 oranlarında eklenmiştir. Elek analizi, kıvam limitleri deneyleri, Proktor deneyi ve tek eksenli konsolidasyon deneyini yapmıştır. Konsolidasyon deneyini ise ASTM-D4546 standardını C metoduna göre gerçekleştirmiştir. Kopolimer eklenmesiyle optimum su içeriğinde artış, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde ise kayda değer bir değişiklik göstermediğini; şişme potansiyelinin ise %0,7 içerikle %64 oranında düşürdüğünü bulmuştur. Homopolimer polipropilen içeren numunelerde ise ne optimum su içeriğinde ne de maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Ayrıca şişme potansiyelinde ise %0,7 katkılı numunenin %68 oranında azaltma sağladığı ve katkı oranının artmasının şişme potansiyelinde etkisiz olduğunu belirlemiştir. Uçucu kül içeriğinin artmasıyla optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri düşmüştür. %5 uçucu kül içeren numunede şişme potansiyelinin %14 oranında azalttığını gözlemlemiştir. Kireç içeren numunelerde ise kireç oranının artmasıyla optimum su içeriğinde değişiklik pek gözlemlenemezken maksimum kuru birim hacim ağırlıkta azalma gözlemlemiştir. %3 kireç katkılı numune ise %49 oranında şişme potansiyelini azaltmıştır. Bütün sonuçları inceledikten sonra ise bütün katkıların etkili olduğunu ancak kireç katkısının diğer katkılara göre etkili olduğunu saptamıştır.

Şenol vd.(2014) çalışmalarında polipropilen liflerini iki farklı düşük plastisiteli zemini stabilize etmek için kullanmışlardır. Lifler zemine, %0,25 ~ %1.25 arasında değişen oranlarda eklenmiştir. Birinci zemin için en etkili katkı oranı dayanımı %213 oranında artırdığı için %0,75 polipropilen lif içeren numune seçilmiştir. İkinci zemin için ise en etkili sonucu %0,75 katkılı numune dayanımı %167 oranında arttırarak göstermiştir. Sonuç olarak ise düşük plastisiteli killer için %0,75 polipropilen içeriği optimum değer olarak belirlenmiştir.

Manuel ve Joseph (2014) Hindistan'da bir yöreden temin ettikleri kil zemini, plastik şişe atıklarını (PET) kullanarak hazırladıkları katkılı numune üzerinde, Proktor deneyi, CBR deneyi, serbest basınç deneyini ve üç eksenli basınç deneyini gerçekleştirerek numunelere ait parametreleri bulmuştur. Bulunan parametreler

Plaxis programında kullanılmış ve programda temel ayağı boyutları 2 m x 2 m derinliği 0,5 m, temel kalınlığı 10 m, uzunluğu 20 m şeklinde bir temel tasarlanmıştır ve üzerine 45 kN/m²'lik bir yük uygulanmıştır. Bu yük altında zemin 0,2984 m yer değiştirme yapmıştır. Stabilize edildikten sonra da tasarlanan temele 45kN/m² yük yüklenip 1 m'de oluşturduğu deplasmana bakılmıştır. Deplasman değeri 0,0935 çıkmıştır. Buradan da PET ile stabilizasyonun etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca PET içeriğinin artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıkta artma, optimum su içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. CBR değeri için optimum değer 0,6 olarak belirtilmiştir.

Chebet ve Kalumba, (2014) plastik poşetlerden elde edilen yüksek yoğunluklu polietilen malzemesinin liflerini rastgele bir şekilde yerel zeminin taşıma gücüne ve kapasitesindeki artışta çıkan sonuçları laboratuvar ortamında araştırmıştır. Plastik atıkların uzunluğu, 15 mm, 30 mm ve 45 mm; kalınlığı 6 mm, 12 mm, 18 mm; katkı oranı %0,1, %0,2, %0,3 ve zemin dayanım parametrelerinin güçlendirilmesinde boşlukların etkisini inceleyebilmek için 1 mm ve 2mm çapında delikler atık malzemenin üstünde açılmıştır. Kesme deneyi ve plaka yükleme deneyini yapmışlardır. Kesme deneyi parametreleri için en uygun sonuç 15 mm uzunluğunda, 6 mm genişliğinde, %0,1 oranında ve 2mm çaplı plastik atık içeren numunede bulunmuştur. Plaka yükleme deneyi için 150 x 100 x 16 mm ve 150 x 50 x 16 mm boyutlarındaki çelik temel levhaları, şerit temel gibi düşünülerek 1,2mm/dk'da yükleme sağlayan Zwick makinesinden aksenal basınç uygulanması suretiyle tasarlanmıştır. Bu deney sonucunda taşıma kapasitesinde, plastik oranı %0,1'den %0,3'e kadar arttığında 100 mm x150 mm temel levhası için %24 ve uzun plastik liflerin eklenmesinde 50 mm x150 mm temel levhası için ise %26 artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar ışığında plastik malzemelerin eklenmesinin, kumlu zeminlerde yük taşıma kapasitesini ve zemin kayma gerilmesinde bir artış sağladığı sonucuna varılmıştır.

Pekdemir (2013) yaptığı çalışmada montmorillonitten elde edilen mikronize bir kile, boksit üretiminde açığa çıkan atık malzeme olan kırmızı çamur, silis dumanı ve kireç ekleyerek kilin özelliklerini iyileştirmeye çalışmıştır. Mikronize kilin kuru ağırlığının %5,%10 ve %15'i olacak şekilde bu 3 katkı malzemesini eklemiştir. Kıvam limitleri deneyini, kompaksiyon deneyini, serbest basınç deneyini, kesme

kutusu deneyi, şişme basıncı deneyini ve geçirimsizlik deneyini yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda, katkılı numunelerde mukavemet özelliklerinin arttığını, geçirimsizliklerinde azalma meydana geldiğini ve şişme basıncı değerlerinde önemli düşüşler olduğunu belirlemiştir.

Paramkusam vd.(2013) stabilize edilmiş kırmızı çamur, uçucu kül ve kırmızı çamurla karıştırılmış uçucu külde plastik atığın (PET), CBR davranışını ve kuru birim hacim ağırlığa olan etkisini araştırmıştır. Kırmızı çamur %28 kum, %78 kil ve siltten oluşan bir zemindir. PET boyutları 20 mm'den az 4,75 mm'den fazla olacak şekilde kesilmiştir. Kuru ağırlığın %0,5, %1, %2, %3 ve %4'i oranında zemine eklenip karışımı hazırlamışlardır. PET atığı her üç numune için de CBR değerlerini ve kuru birim hacim ağırlığını artırmıştır. Fakat %2'den sonraki PET içeriği, CBR ve kuru birim hacim ağırlık üzerinde pek etkili olmamıştır. Çevreye dost bir malzeme olmasından dolayı kırsal yol yapımında kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Muntohar vd.(2013) kireç ve pirinç kabuğu külü ile güçlendirilmiş zemine plastik karıştırarak atığın dayanıma olan etkisini incelemişlerdir. Plastik atıklar 20-30 mm uzunluğunda, 2-2,5 mm genişliğinde kesilmiştir. Kireç ve uçucu kül için sabit oran olarak %12, plastik atık için ise %0,1, %0,2, %0,4, %0,8 ve %1,2 oranları belirlenmiştir. Basınç dayanımı, CBR, kesme dayanımı için en uygun zemin-kireç-pirinç unu külü- plastik atık karışımının %0,4 ~ %0,8 arasında olduğu belirlenmiştir.

Pektaş (2012), çalışmasında sınıfı CL (orta plastisiteli kil) olarak belirlenen inorganik zemin, zemin kuru ağırlığının %1,5 ve %2,5 oranlarında kireç, çimento, uçucu kül, polipropilen lif, geotekstil, geogrid ve geokompozit katkılarını kullanarak iyileştirmek için deneysel çalışmalar yapmıştır. Numuneleri tek veya çift katkı maddeli olacak şekilde hazırlamıştır. Elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri deneyi, özgül ağırlık deneyi, standart Proktor deneyi, üç eksenli basınç deneyini (UU) gerçekleştirmiştir. Katkılı zemin numuneleri 3 eksenli basınç deneylerinde 200 ve 400 kPa normal gerilmelere maruz bırakılmıştır. Deviatör gerilmeler, tek katkı içeren numunelerde %2,5 polipropilen lif katkılı zeminde, çift katkı içeren numunelerde ise %2,5 kireç- polipropilen lif katkılı numunede en yüksek değere ulaşmıştır. Tüm deneyler sonucunda, zeminin kayma dayanımı parametrelerinde artış ve iyileştirmenin meydana geldiğini belirlemiştir.

Etminan (2012), yüksek plastisiteli (CH) ve düşük plastisiteli (CL) kil zeminleri, C sınıfı uçucu kül, kopolimer, polipropilen ve VHP fiberleri ile ayrı ayrı karıştırarak zeminlerin taşıma gücünü artırmayı amaçlamıştır. İlk olarak zeminlerin granülometri eğrisini çıkarmıştır ve kıvam limit deneylerini yapmıştır. Uçucu kül, %5, %10 ve %15; polipropilen %0,25, %5, %0,75 ve %1; kopolimer %0,5, %0,75, %1, %1,25 ve %1,5; VHP %0,25, %0,5, %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında zemine eklenmiştir. Kopolimer ve polipropilen katkılarını 54 mm uzunluğunda, VHP katkısını ise 15 mm uzunluğunda kesmiştir. Hazırlanan numunelerin Harvard minyatür kompaksiyon aletini kullanarak optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerini belirlemiştir. Kompaksiyon deneyinde tabii tutulan numuneleri, 7 gün desikatörde bekletmiş ve bekletilen numuneleri serbest basınç deneyinde kullanmıştır. Son aşamada ise uçucu küle her bir fiberi karıştırarak killi zeminlerde daha yüksek iyileştirmeyi elde etmeye çalışmıştır. Yüksek plastisiteli kil için, katkısız zemin, %10 uçucu kül ve %1 kopolimer katkısıyla en yüksek dayanımı göstermiştir. Düşük plastisiteli kil için, en iyi sonuç %10 uçucu kül ve %0,25 VHP karışımında gözlemlenmiştir.

Hergül (2012), kırma kaya, kırma taş gibi taneli malzemeyle doldurulmuş hendeklerin şişen zeminler üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bunun için hem katkılı hem katkısız numuneler üzerinde, şişme parametrelerini belirlemek için klasik ödometre, ince çeperli ödometre ve daha büyük boyutta silindirik kalıpla karşılaştırmalı deneyler yapılmıştır. Hendekleri, malzemenin ortasında belirlenen hacimsel iyileştirme yüzdesinin sağlayacak çapta açılmış deliklere taneli malzeme doldurulması yöntemiyle tasarlamıştır. İnce çeperli ödometre deneyleri katkılı ve katkısız numunelerin yanal şişme basınçlarının ölçülmesi, klasik ödometre ve silindirik kalıplarda gerçekleştirilen deneyler ise zeminlerin düşey yöndeki parametrelerinin bulunabilmesi için yapılmıştır. Hendek içindeki taneli malzemenin miktarı arttıkça düşey yönde meydana gelen şişme yüzdelerinde ve yanal yöndeki şişme basınçlarında önemli ölçüde azalmalar olduğunu görmüştür.

Aziz (2012), çalışmasında lignin adı verilen bir polimeri, plastik kablo kaplamasını, pirinç kabuğu ununu (RHP), pirinç kabuğu külünü (RHA) ve araba lastiğini (TA) kullanarak şişen killeri stabilize etmeye çalışmıştır. Lignin, plastik kablo kaplaması %5, %10, %15 ve %20 oranlarında, RHP %5, %10, %15 ve %20

oranlarında, RHA ve TA ise %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında katılmıştır. Hazırlanan numunelerle kıvam limitleri, serbest basınç ve şişme deneylerini yapmıştır. Deney sonuçlarında ise %20 oranında lignin içeren numuneler dışındaki katkılı numunelerde, LL ve PI değerleri azalmıştır. Numunelerin şişme yüzdeleri % 5 TA içeriğine kadar ve %20 lignin içerikli numuneler hariç, tüm katkıların bütün oranlarında azalma gözlemlenmiştir. Şişme potansiyelini azaltan optimum sonucu ise %15 lignin ve %5 TA oranı olarak belirlemiştir. En yüksek dayanım değişimi ise %117 olarak %19 RHA eklenmesiyle elde edilmiştir. RHA, lignin ve RHP ile kıyaslandığında kür süresinden daha çok etkilenmiştir. Sonuçta ise lignin, RHP ve RHA eklenmesi, kür süresinin artmasıyla şişen kilin basınç dayanımı üzerinde iyileştirici etkisinin olduğunu tespit etmiştir.

Bilge (2011), çalışmasında killi zeminleri iyileştirmek için kireç, yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül ve zeolit katkı maddelerini kullanmıştır. Kireç oranı sabit %10, YFC, zeolit ve uçucu kül ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında eklenmiştir. Zemin sınıfı CH olarak belirlenmiştir. Özgül ağırlık deneyini, kıvam limitleri deneylerini, hidrometre deneyini, kompaksiyon deneyini ve serbest basınç dayanımı deneylerini yapmıştır. Serbest basınç dayanımı deneyine tabii tutulan numunelerin dayanımı 28 günde maksimum olmuştur. En yüksek mukavemeti ise doğal zemin-%15 YFC-%15 zeolit karışımı göstermiştir.

Çetin (2011), yumuşak bir killi zemini, yüzeysel zemin iyileştirmesi ile C tipi uçucu kül, ağ yapılı polipropilen fiber ve eskitilmiş kopolimer katkılarıyla taşıma gücünü arttırmak için deneysel çalışmalar yapmıştır. Öncelikle elek analizi yapıp hidrometre deneyi ile ince danelerin çapını belirlemiştir. Sonrasında granülometri eğrisini çizmiştir ve Atterberg limitleri deneyleri sonucunda zemin sınıfını CH (yüksek plastisiteli kil) olarak tespit etmiştir. Katkısız zeminin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için ise Harvard kompaksiyon aleti kullanılmıştır. Sonrasında, kuru zeminin ağırlığının %5, %10 ve %15'i oranlarında uçucu kül, % 0,25, % 0,50, % 0,75 ve % 1'i oranlarında ve 54 mm uzunluğunda polipropilen ve % 0,50, % 0,75, % 1, % 1,25 ve % 1,5'i oranlarında ve 54 mm uzunluğunda kopolimer, zemine eklenerek ayrı ayrı deney numuneleri hazırlamıştır. Ayrı olarak bu katkıları, kil-uçucu kül- polipropilen, kil-uçucu kül-kopolimer ve kil-kopolimer-polipropilen karışımları olarak hazırlamıştır. Serbest

basınç deneyi bütün karışımlar için gerçekleştirilmiştir. Zemine eklenen katkıların ve farklı oranlarda hazırlanan karışımları ile yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda, katkıların optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde pek bir değişim gözlemlenmemiştir. Yani doğal zeminin optimum su muhtevası % 27, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 15 kN / m³ iken, bütün karışımların optimum su içeriği değeri %24-%27 arasında, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri ise 14,70 – 15,60 kN / m³ arasında çıkmıştır. Serbest basınç deneyi sonucunda en iyi değeri ağırlıkça %0,5 polipropilen fiber ve %15 uçucu kül katkısı içeren numunede görülmüştür. Bu numunede dayanım değeri, doğal zeminle kıyaslandığında %258 artmıştır. Yani polipropilen ve uçucu külün kullanımı serbest basınç mukavemetini önemli ölçüde artırmıştır.

Gücek (2011), mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin stabilizasyonunda meydana getireceği etkiyi araştırmıştır. Kuru zemin ağırlığının %5, %10 ve %15'i oranında mermer tozunu, %10, %20 ve %30'u oranında uçucu külü, doğal zeminle karıştırıp numuneleri hazırlamıştır. Karışımlar %15 ve %20 su içeriğinde Proktor sıkıştırma enerjisi ile hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde, eksenel basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), şişme, donma çözülme ve donma-çözülme sonrası eksenel basınç deneylerini gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarında ise mermer tozu ve uçucu kül katkısının mukavemeti yükselttiğini, şişmeyi ise azalttığını bulmuştur. En uygun karışım oranı olarak ise %10 mermer tozu- %20 uçucu kül olduğunu belirlemiştir. Başer (2009) ise çalışmasında şişen zeminlerin iyileştirilmesi için kireçtaşı tozu atığı ve dolomitik mermer tozu atığını kullanmıştır. Şişen zemini laboratuvarında %15 bentonit ve %85 kaolin oranlarında olacak şekilde karıştırarak hazırlamıştır. Her iki katkı maddesi de toplam karışımın %0~%30 arasında değişen oranlarında zemine ayrı ayrı eklenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneylerini yapmıştır. Serbest şişme deneyini ASTM 2435'e göre yapmıştır. Kireçtaşı tozu ve mermer tozu atığının eklenmesi ile LL ve PI değerlerinde azalma, PL değerinde ise bir artış meydana gelmiştir. Katkıların yüzdesi arttıkça serbest şişme oranı azalmıştır. Aynı şekilde şişme yüzdesinde de azalma olmuştur. Bu azalma, daha fazla kireç içeren kireçtaşı tozu atığı için daha yüksek olmuştur. Kürlemeyle birlikte numunelerin şişme oranı ve şişme hızı düşmüştür. Kürleme, kireçtaşı tozu atığında daha etkili olmuştur.

Yılmaz ve Sevensan (2010) çalışmalarında, Çayırhan Uçucu külü ve polipropilen fiber katkılarının yüksek plastisiteli Ankara kili üzerinde meydana getirdiği etkileri araştırmışlardır. Uçucu kül zemine, %10, %20 ve %30 oranlarında, polipropilen fiber ise % 0,5, %1 oranlarında eklenmiştir. Polipropilen lifleri, M ve F tipi olarak belirlenmiş ve her ikisi de 19 mm uzunluğundadır. Uçucu kül ve kil, uçucu kül-kil- polipropilen lif karışımlarını hazırlamıştır. Uçucu kül-kil karışımında, uçucu külün oranının artmasıyla optimum su içeriğinde bir düşüş, maksimum kuru birim hacim ağırlıkta ise bir artışın meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ayrıca uçucu kül-kil içeren numunelerin, 1 ve 7 günlük kür süresi sonundaki dayanım değerleri, uçucu kül oranının %10'dan fazla olmasının serbest basınç dayanımı üzerinde etkisinin yok denecek kadar az olduğunu göstermiştir. Fakat 14 ve 28 günlük kür süresi sonunda %30 uçucu kül içeren karışımın dayanımı, %180 kat arttırdığını gözlemlemiştir. Uçucu kül-Fiber-kil karışımları için; %30 uçucu kül içeren ve %1 oranında F tipi fiber içeren numunede tek eksenli basınç dayanım %40 oranında; %10 uçucu kül içeren ve %1 oranında M tipi fiber içeren karışımında ise dayanımın %53 kat arttığını belirlemiştir. Fiber-uçucu kül-kil karışımlarının 28 günlük kür süresinin ardından %1 fiber katkısının,%0,5 fiber katkısına göre dayanımda daha etkili olduğunu görmüştür. %1 fiber katkısının %0,5'e göre etkili olduğunu da gözlemlemiştir. Sonuç olarak ise fiber katkısının az da olsa tek eksenli basınç dayanımını düşürdüğünü ifade etmiştir.

Sivakumar vd (2010), plastik şişeleri kullanarak, zemindeki sıkıştırılabilirlik ve dayanım özelliklerini incelemiştir. Plastik şişe, 12 mm uzunluğunda, 4 mm kalınlığında şeritler halinde kesilmiş olup zeminin kuru ağırlığının %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında olacak şekilde zemine eklenip karıştırılmıştır. Plastik atığı, mümkün olduğunca rastgele ve düzgün bir şekilde eklemiştir. Üç eksenli basınç deneyi ve tek eksenli konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda plastik atık eklemenin, zeminin dayanımını artırdığını, bunun sebebinin ise plastik atıkta meydana gelen çekme gerilmesinden kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca deney sonuçlarını, analitik modelle karşılaştırıp sonuçların tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir.

Günaydın (2011), iyi derecelendirilmiş granüler malzemelerin silis dumanı ve fosfojips ile iyileştirilmesini araştırmak için bazı deneyler yapmıştır. Silis dumanı

%5, %10 ve %15 oranlarında, fosfojips %5, %10, %15 ve %20 oranında zemine eklenmiştir. En uygun sonuç olarak ise %15 silis dumanı ve % 20 fosfojips içeren numunede %455,15 oranında bir artışla oluşmuştur.

Bilgen (2011) yüksek plastisiteli ve düşük plastisiteli zeminleri stabilize etmek öğütülmüş çelikhane cürufunu (BOS) ve kireci kullanmıştır. Karışımı yoğurmak için ise çeşme suyunun yanı sıra deniz suyunu da kullanmıştır. Kireç miktarı, kuru kil ağırlığının %4, %5 ve %7,5' u oranlarında ve kireç/BOS oranı 1:1,5 olarak seçilmiştir. 30 farklı karışım üzerinde elek analizi, hidrometre, organik madde tayini, kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç, pH deneyleri ve CBR deneyini gerçekleştirmiştir. Kür süreri ise 0, 1, 7 ve 28 gün olarak belirlenmiştir. Katkı malzemelerinin killerin yapısında meydana getirdiği etkileri incelemek için XRD ve SEM analizleri yapılmıştır. Yüksek plastisiteli killerde %7,5 kireç ve %3,33 BOS içeren ve deniz suyuyla hazırlanmış karışımda dayanım 10 kat artarak 6500 kPa'a çıkmıştır. Düşük plastisiteli killere %5 kireç ve %3,33 BOS katkılarıyla ve deniz suyuyla karıştırılıp hazırlanan karışımın basınç dayanımı 16 kat artarak 4600 kPa olmuştur. En büyük CBR değeri ise %5 kireç, %3,33 BOS ve çeşme suyu karışımında, 15 kat artışla 135 olmuştur. Çalışma sonunda kireç, deniz suyu ve öğütülmüş çelikhane cürufu karışımları killi zeminlerin özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Gümüşer (2009) çalışmasında uçucu kül ile elyafların zayıf zeminin stabilizasyonunda kullanılmasının sonuçlarını araştırmıştır. Elyaf lar %100 polipropilenden oluşan F ve M olmak üzere iki tipi olan bir üründür. Bu çalışmada 19 mm uzunluğunda F ve M tipi elyaf kullanılmıştır. Uçucu kül ise C sınıfıdır. Uçucu kül toplam karışımın %10 ve %15'i oranlarında; elyaflar ise %0,5 ve %1'i oranlarında eklemiştir. Ayrıca elyaf ve uçucu külün bir arada kullanıldığı numunelerde hazırlamıştır. Yapılan sınıflandırma deneyleri sonucunda zemin sınıfını CH olarak belirlemiştir. Standart Proktor deneyi ile her iki elyaf katkısının doğal zemine göre MKBA değerini düşürdüğünü, OSM değerini ise çok az da olsa düşürdüğünü gözlemlemiştir. Uçucu kül katkısı ise MKBA değerinin düşürürken OSM değerini arttırmıştır. %10 ve %15 uçucu kül katkısıyla hazırlanan numuneler üzerinde yapılan Proktor deneyi sonuçlarına göre ise %10 katkı %2,5, %15 katkı ise %9,5 oranında artırdığını tespit etmiştir. PL değeri ise %10 katkı içeriğinde %65,

%15 katkı ise %88 oranında artmıştır. Bu değerler sonucunda katkı oranı arttıkça plastisite indisi değeri düşmüştür. OSM-MKBA değerlerine uygun hazırlanan numuneler üzerinde yapılan CBR deneylerinde, uçucu kül katkılı numunelerde CBR değeri yüksek çıkmıştır. %0,5 elyaf içeren numunelerin sonuçları da %1'e göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek CBR değeri 55,46 kat artarak %15 uçucu kül ve %0,5 M ve F tipi elyaf içeren numunede gözlemlenmiştir. Hazırlanan numunelerle yapılan üç eksenli basınç deneyi sonucunda en yüksek içsel sürtünme açısı değeri 14 günlük kür süresinden sonra %15 uçucu kül ve %1 F ve M tipi elyaf içeren numunede; kohezyon değerini ise 14 günlük kür sonrasında %15 uçucu kül ve %1 F tipi elyaf içeren numunede gözlemlenmiştir. Bütün deneyler sonucunda uçucu külün bütün değerleri kayda değer bir biçimde olumlu yönde etkilediğini, elyaflardan ise F tipinin, M tipine göre daha etkili olduğunu belirlemiştir. Tez çalışması sonunda uçucu kül ve elyafın zayıf zeminleri iyileştirmek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Usta (2004), atık mermer tozunu stabilizasyon malzemesi olarak kullanmıştır. 5 farklı zemin kullanılmış olup mermer tozu ağırlıkça %3, %5, %8 ve %10 oranlarında zeminlere ayrı ayrı eklenmiştir. Numuneler üzerinde likit limit, plastik limit, kompaksiyon deneyi ve serbest basınç deneyi yapılmıştır. Genelde bütün numuneler için katkı miktarı arttıkça maksimum kuru yoğunluk değerinde artış görülmüştür. Su muhtevası ise sadece 3 zeminin numunelerinde azalma göstermiştir. Serbest basınç deney sonuçlarında ise mermer tozunun miktarı arttıkça eksenel gerilme değerlerinde artış gözlenmiş ve tüm numunelerin arasında genel olarak en büyük eksenel gerilme %10 mermer tozu içeren numunelerde görülmüştür.

Gündüz (2008) tarafından doğada saf olarak bulunmayan ve içinde kil mineralleri barındıran bir sodyum borat bileşiği olan tinkal atığı ile yüksek plastisiteli bir kil zeminin stabilizasyonunu incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise bu atık malzemenin killerin şişme potansiyelini kontrol etmek için kullanılamayacağını ayrıca taşıma gücüne de herhangi bir katkısının olmadığını belirlemiştir. Bunun sebebini ise tinkal atığının içinde bulunan kil minerallerine ve dolomit minerallerinin yapısında bulunan kireçtaşının kil mineralleriyle etkileşime geçmemesinden dolayı olduğu sonucuna varmıştır.

Yeşilbaş (2004) taş unu ile agrega atığının şişen zeminin şişme potansiyeline olan etkisini incelemiştir. Zemin numunesi toplam zeminin %15'i bentonit, %85'i kaolin olacak şekilde hazırlanmıştır. Kireç ağırlıkça, %0 ~%9, taş unu ve agrega atığı ise %0 ~ %25 oranında katılmıştır. Numunelerin dane çapı dağılımı, kıvam limitleri, şişme yüzdesi ve şişme hızı değerleri belirlenmiştir. Zemin sınıfı CH olarak belirlenen zemin numunesinin LL ve PI değerleri, katkı malzemelerinin eklenmesi ile azalmıştır. Agreganın artışı ve taş unu, kireçle birlikte kullanıldığında şişme yüzdesinde önemli bir değişiklik göstermiştir. Sadece agrega artışı ve taş unu kullanılması da şişme potansiyelinin azaltmıştır. Fakat en etkili azaltma %3 kireç içeriğinde meydana gelmiştir.

Çiftçi (2003) çalışmasında stabilizasyon malzemesi olarak Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi atık çamurunu kullanmıştır. Şişen zemine %10, %15, %20 ve %25 oranlarında atık çamuru katılmıştır. Kıvam limitleri, standart kompaksiyon deneyleri yapılarak zeminin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Katkı oranının artmasıyla şişme- büzülme parametrelerinde stabil bir durum gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda %10 katkı oranını optimum katkı oranı olarak belirlemiştir.

3. ŞİŞEN ZEMİNLER

3.1. Şişen Zeminlerin Tanımı

Genel olarak bünyesine su girişi olduğunda hacimlerinde artış bünyesinden su çıkışı olduğunda hacminde azalış olan zeminlere şişen zeminler denir. Şişen zeminlerin içindeki su içeriği yağışlı mevsimlerde artarken yağışın az olduğu mevsimlerde buharlaşmaya bağlı olarak azalır (Acar, 2017).

Şişme olayının oluşabilmesi için üç şartın birlikte sağlanması gerekmektedir. İlk şart, su içeriği arttığında hacminde artış olan bir zemin mevcut olmalıdır. İkinci şart olarak, zemin su almaya meyilli olduğu bir durumda ve gerilme şartında bulunmalıdır. Üçüncü şart ise ortamda suyun mevcut olmasıdır. Kurak ve yarı kurak yörelerde, çoğu zeminin doğal su içeriği, şişme meydana getirebilecek seviyededir ve eğer bu bölgelerde, şişen zemin varsa nem değişiklikleri sebebiyle hacim değişiklikleri de görülmektedir. Bu yüzden bu bölgelerde şişen zeminlerin üzerine yapılan yapılarda önemli hasarlar ortaya çıkabilir. (Dif ve Bluemel, 1991; Hardcastle, 2003).

Şişen zeminlerin şişme ve büzülme potansiyeli temel olarak 3 faktöre bağlıdır. Bu faktörler zemin özellikleri, çevresel etkiler ve gerilmelerin durumudur. Çevresel faktörler, nem değişiklikleri, iklim, yer altı suyu, drenaj, bitkiler, sıcaklık, yük yükleme ve gerilme geçmişini içerirken zeminlerin şişme-büzülme potansiyelini etkileyen zemin özellikleri kuru yoğunluk, permeabilite, zemin yapısı ve dokusu, plastisite, zeminin emme durumu, zemin-su kimyası, kil mineralojisidir. (Nelson ve Miller, 1992).

Zeminleri şişen zemin olarak tanımlamak için birçok yaklaşım bulunmaktadır. Şişen zeminlerin görsel belirtileri şunları kapsamaktadır:

1. Kurak dönem boyunca meydana gelen geniş ve derin rötne çatlakları
2. Zeminin kurduğunda kaya gibi fakat su aldığı yumuşak ve çok cıvık olması
3. Şişen zeminin, arazide diğer yapılara zarar vermesi (Charlie vd.,1984)

Şişen zeminleri tanımlamak için günümüzde evrensel olarak kabul edilmiş bir yöntem bulunmamaktadır. Bundan dolayı likit limit, plastisite indisi ve büzülme

indeksi değerleri zeminin Şişme karakteristiklerini tanımlamak için kullanılmıştır. (Dakshinamurthy ve Raman, 1977)

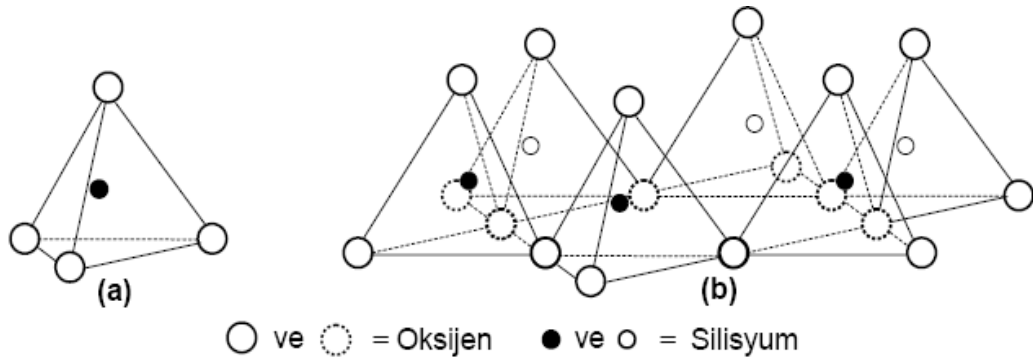
3.2. Şişen Killerin Mineralojisi

Şişen zeminler genellikle kil veya içinde bol miktarda kil içeren zeminlerdir. Killer ise hidratlı alüminyum veya magnezyum silikatlardan oluşan, dane boyutları 2 mikron veya daha küçük olan, her bir dörtyüzlü bölüm silisyum atomları ile çevrili dört oksijen atomundan meydana gelen, yeterli miktarda su eklenince genellikle plastikleŐen kuruma sonucunda ise sertleŐebilen minerallerdir.

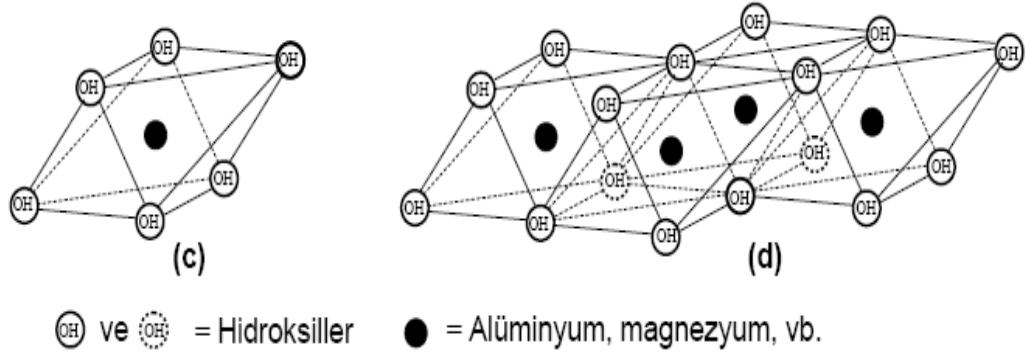
Kil mineralleri farklı iki basit kristal yapıdan oluşmaktadır.

1. Silika-oksijen Tetrahedral: Merkezinde bulunan silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilen düzgün dörtyüzlü (tetrahedral) Şeklindedir. Düzgün dört yüzlüsünün yapısında bulunan dört oksijen atomunun üç tanesi diğer komŐu dörtyüzlü ile paylaşılır. Bu Şekilde tetrahedral veya silika tabakası oluşur. Bu yapının örneği Şekil 3.1.de gösterilmiştir.

2. Alüminyum (Magnezyum) Oktahedral: Merkezinde alüminyum ya da magnezyum atomu altı hidroksil iyonu ile çevrelenmiŐtir. Alüminyum oktahedral yapıları birleŐtięinde gibsit tabakası, magnezyum oktahedral yapıları birleŐirse brusit tabakaları oluşmaktadır. Şekil 3.2.de bu yapılar gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kil minerallerini oluşturan silika ünitesi a) Tetrahedron b) Tetrahedral tabaka (Vural,2012)



Şekil 3.2. Kil minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi c) Oktahedron d) Oktahedral tabaka (Vural, 2012)

Doğada 20'den fazla kil minerali çeşidi olmasında rağmen kil mineralleri genel olarak 4'e ayrılır.

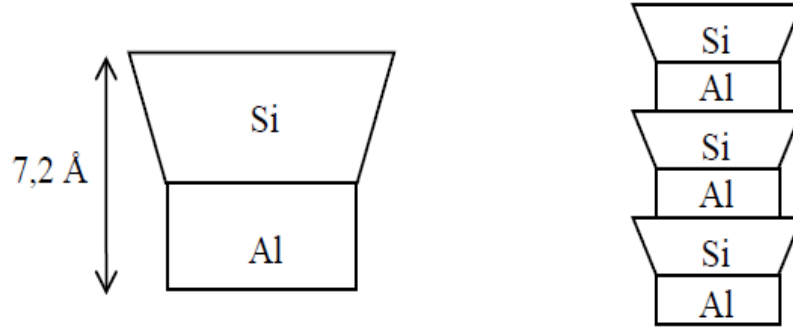
1. Kaolin Grubu Kil Mineralleri
2. Smektit Grubu Kil Mineralleri
3. Klorit Grubu Kil Mineralleri
4. İllit Grubu Kil Mineralleri

3.2.1. Kaolin Kil Mineralleri

Kaolin grubu kil mineralleri sulu alüminyum silikatlardan oluşmaktadır. Kaolinin yapısal formülü, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ şeklindedir. Kristal yapısı 1 tetrahedral ve 1 oktahedral tabakalarının tekrarlanmasından oluşur. Her bir tabaka 7,2 Å kalınlığında ve tabakaların boyutları, yatay genişliği 1000-20000 Å ve kalınlığı 100-1000 Å arasındadır. Bu katmanlar tabakaların seri olarak tekrarlanmasından dolayı 1:1 olarak sembolize edilir.

Kaolin kilini oluşturan tabakalar arasında bulunan hidrojen bağlarının güçlü olmasından dolayı suyu içeri girmesini engeller. Bu yüzden kaolin grubu killerinin şişme potansiyeli oldukça düşüktür. Fakat kaolin su ile karıştırıldıklarında orta derecede bir plastisite gösterir ve diğer kil minerallerine göre daha büyük içsel sürtünme açısına sahip olur.

Isı ve elektriği çok iletmesi ve ucuz olmasından dolayı endüstri için oldukça önemli bir hammaddedir. Özgül ağırlığı 2,6-2,68 gr/cm³, özgül yüzeyleri 10m²/gr, kation değiştirme kapasitesi ise 5-15 meq/100gr'dır. Şekil 3.3.te kaolin kilinin yapısı verilmiştir.

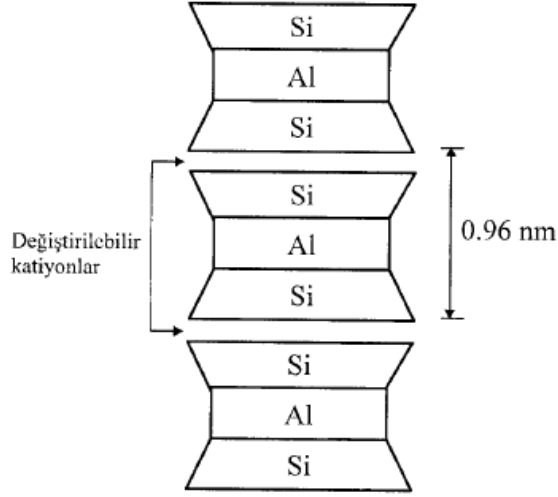


Şekil 3.3. Kaolin mineralinin mineralojik yapısı (Kızılcılık,2010)

3.2.2. Smektit (Montmorillonit) Kil Mineralleri

Yarı kurak ve kurak iklimlerde daha çok görülen smektit (montmorillonit) kil minerali 1 oktahedral ve 2 tetrahedral tabakasından oluşur. Bu yüzden katmanlar 2:1 şeklinde gösterilir ve katmanın kalınlığı yaklaşık $9,6 \times 10^{-10}$ m'dir. Bu tabakalar arasında zayıf Van Der Waals bağları bulunur. Bu yüzden bu killerde bünyelerine su girişi olduğunda çok fazla şişme, bünyelerinden su çıkışı olduğunda ise çatlama ve büzülme meydana gelir. Şişme özelliklerinin yüksek olmasından dolayı bu killer kendi ağırlığının 20 katı kadar suyu dahi bünyesinde tutabilir. Ayrıca suyu hapsedebilme özelliğine sahip olmasından dolayı geçirimsiz tabaka olarak, sonda çamurlarında, çöp depolarında, endüstriyel sanayi atık sahalarında kullanılmaktadır.

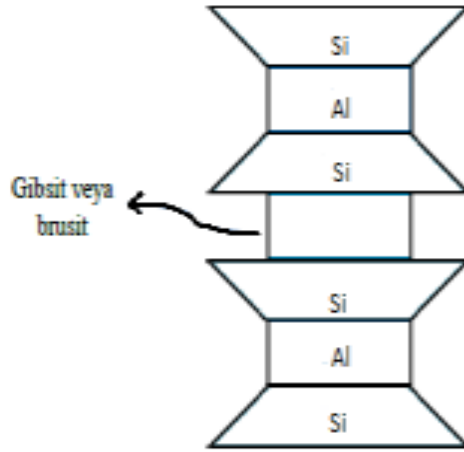
Smektit grubunun yapısal formülü $(OH)_4Al_4Si_8 O_{20n} H_2O$ şeklindedir. Özgül ağırlıkları $2,2-2,4 \text{ gr/cm}^3$ civarında, özgül yüzeyleri $800 \text{ m}^2/\text{gr}$, katyon değişim kapasitesi 80-150 arasında bir değerdir. Şekil 3.4.te smektit mineralinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Montmorillonit mineralinin mineralojik yapısı (Angın ve Angın, 2005)

3.2.3. Klorit Kil Mineralleri

Klorit minerali bir alüminyum, bir silisyum, bir gibsit ve bir brusit tabakasından oluşur ve bu tabakalanma 2:1:1 şeklinde gösterilir. Tabakaların kalınlığı yaklaşık olarak 14 Å'dur. Yapılarında dört tabaka mevcut olduğu için şişme özelliği göstermezler. Bu yüzden katyon değişim kapasiteleri oldukça düşük olup 10-40meq/100 gr arasındadır.



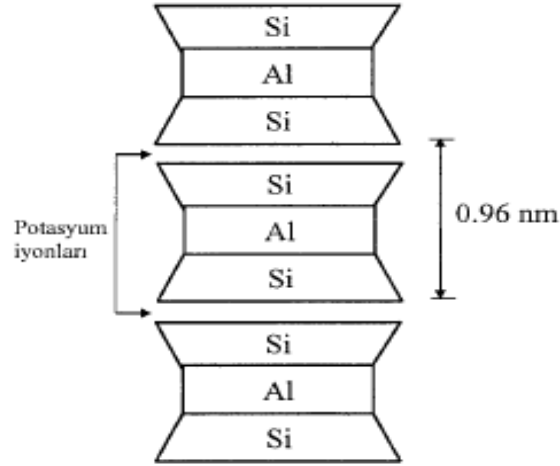
Şekil 3.5. Klorit mineralinin mineralojik yapısı (Dereli,2013)

3.2.4. İllit Kil Mineralleri

İllit mineralleri genel yapısı açısından smektitlere benzemesine rağmen tane boyutları smektite göre daha büyüktür. Bir gibsit oktahedral tabakasının iki silisyum

tabakasının arasında bulunmasıyla oluşan ve tabakaların arasında bulunan potasyum iyonları sayesinde güçlü bir bağ yapısı olan bir mineraldir. Bu bağa sahip olması sebebiyle smektit kili gibi yüksek şişme özelliğine sahip değildir. Kristal yapısı ise 2:1 şeklindedir.

Özgül ağırlıkları 2,64-3 gr/cm³, özgül yüzeyleri 80 m²/gr ve tabakaların kalınlığı yaklaşık 10 Å'dur. Şekil 3.6.da illitin mineralojik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. İllit mineralinin mineralojik yapısı (Angın ve Angın,2005)

Tablo 3.1. Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri (Özkan, 2009)

Özellik	Montmorillonit	İllit	Kaolinit
Tane Boyutu (µm)	0,01-1	0,02-2	0,5-5
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul
Dış Yüzey Alanı (m ² /g)	70-120	70-100	10 - 30
İç Yüzey Alanı (m ² /g)	550-650	-	-
Plastisite	Yüksek	Orta	Düşük
Likit Limit	110-710	60-120	29-70
Plastisite İndisi	51-100	34-60	26-38
Kohezyon	Yüksek	Orta	Düşük
Şişme Kapasitesi	Yüksek	Orta	Düşük
Elektrik Yükü	0,5- 0,9	1 - 1,5	0
KDK (meq/100 g)	80 - 150	10 -40	3 -15
Özgül Gravite	2,35 - 2,7	2,6 - 3	2,6 - 2,8
Tabakalar Arası Mesafe (mm)	1 -2	1	0,7
Tabakalar Arası Bağ	Van der Waals bağları	Potasyum iyonları	Hidrojen
Net Negatif Yük (cmol _c /kg)	80 - 120	15 - 40	2 -5

3.3.Şişme Olayına Etki Eden Faktörler

Bir zeminin şişme özelliğini etkileyen birçok faktör vardır. Genel olarak zemin özellikleri, çevresel faktörler ve gerilme durumu şeklinde gruplandırılmıştır. (Nelson ve Miller,1992).

Tablo 3.2. Killerin şişme potansiyelini etkileyen zemin özellikleri(Nelson ve Miller, 1992)

Faktör	Tanım
Kil Mineralojisi	Genel olarak zeminin hacim değişikliklerine sebep olan kil mineralleri montmorillonitler, vermikülitler ve bazı karışık tabakalı minerallerdir. İllitler ve kaolinler nadir olarak şişerler. Fakat tane çapları 1 mikrondan daha küçük boyutlarda olduğunda hacim değişikliği olabilir
Zemin Suyu Kimyası	Şişme kation yoğunluğunun ve kation değerinin artmasıyla önlenir. Örneğin zemin suyundaki Mg^{+2} kationları Na^{+} kationlarından daha az şişmeye sebep olur.
Zemin Emmesi	Zemin emmesi, doymun olmayan zeminde negatif boşluk suyu basıncı tarafından ifade edilen bağımsız efektif gerilme değişkenidir. Zemin emmesi, su ve zemin parçacıklarının kimyasal ve elektriksel özellikleri, yüzeysel gerilme, gözenek büyüklüğü ve şekli, yerçekimi ve doymunluk ile bağlantılıdır.
Plastisite	Genelde, yüksek likit limit değerine sahip ve geniş su içeriğinde plastik davranış gösteren zeminler, daha çok şişme ve büzülme potansiyeline sahiptir.
Zemin yapısı ve fabrik	Floküle zeminler, dispersif killerden daha çok şişmeye eğilimlidir. Çimentolaşmış taneler şişmeyi azaltır. Fabrik ve yapı, yoğurma veya yüksek su muhtevasında sıkıştırılarak değiştirilir. Yoğurarak sıkıştırma, düşük su içeriğinde statik olarak sıkıştırılan zeminlerden daha az şişme potansiyeli göstermiştir.
Kuru Yoğunluk	Yüksek yoğunluklar genellikle yakın partikül boşluklarını gösterir ki bu da yüksek şişme potansiyeli ve partiküller arasında büyük itici kuvvetler olduğu anlamına gelir

Tablo 3.3.Killerin şişme potansiyelini etkileyen çevresel faktörler (Nelson ve Miller, 1992)

Faktör	Tanım
Başlangıçtaki Su Muhtevası	Kurumuş şişebilen bir zeminin suya eğilimi veya emmesi, yüksek su muhtevasındaki aynı zeminden daha fazladır.
Nem Değişiklikleri	Nemdeki değişiklikler, esas olarak iklim, yeraltı su seviyesi, drenaj ve yapay su kaynakları, bitkiler, permeabilite ve sıcaklıktan etkilenir.
Gerilme Geçmişi	Aşırı konsolide olmuş zemin, normal konsolide zemine göre daha fazla şişer. Şişme basınçları sıkıştırılmış kilin yaşlanmasıyla artabilir fakat hafif yükleme altında şişmenin miktarı yaşlanmayla birlikte etkisiz olabilir. Tekrarlı ıslanma ve kuruma laboratuvar şartlarında şişmeyi azaltma eğilimi gösterir. Ama ıslanma- kuruma döngüsünün belli sayılarından sonra şişme etkisiz olmaktadır.
Arazi Koşulları	Zeminin başlangıçtaki gerilme durumu, nem içeriğindeki değişiklik veya zemine yüklenen yüklerin muhtemel sonuçlarını değerlendirmek için dikkate alınır.
Yük yükleme	Sürşarj yükü, şişmeyi engeller. Ayrıca taneler arası itki kuvvetlerini dengelemeye çalışır ve şişmeyi azaltır.
Zemin Profili	Potansiyel şişen tabakaların yerleşimi ve kalınlığı potansiyel hareketi etkiler. En büyük hareket, aktif zonun altındaki derinlikten yüzeye kadar devam eden profillerde oluşur.

3.3.1. Kil Mineralojisi

Killer, içlerinde feldispat, mika gibi minerallerin bulunduğu suyla temas ettiklerinde şişen, suyla temasları kesilince kuruyan bir mineral türüdür. Tane boyutları 2 mikrondan daha küçüktür.

Kil taneleri bünyesinde bulunan negatif yükleri dengeleyebilmek için katyonları tutar. Bu özellik Katyon Değişirme Kapasitesi (KDK) olarak adlandırılır ve kuru kilin gramına karşılık gelen miliekivalan miktarı olarak ifade edilir. Kil minerallerinde en çok değişebilme özelliğine sahip katyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^{+} , K^{+} , NH_4^{+} , Na^{+} , Li^{+} , Al^{+3} 'tür. Killer bu yeteneği sayesinde şişme potansiyeline sahip olur ve genellikle bu değer arttıkça şişme potansiyeli artmaktadır.

Tablo 3.4. Kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri

Kil Minerali	KDK (meq/100g)
Kaolin	3 – 15
İllit	10 – 40
Montmorillonit	80 - 150
Klorit	20 - 30

Katyon değişirme kapasitesi dışında özgül yüzey değerinin de şişme değerleriyle ilişkisi vardır. Bu değer birim ağırlığa gelen yüzey alanı olarak ifade edilmektedir. Bu değer yüksek olması o kil türünün şişme değerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.5. Kil minerallerinin özgül yüzey değerleri

Mineral	Özgül yüzey (m ² /g)
Kaolin	10-20
İllit	80-100
Montmorillonit	800
Klorit	80

3.3.2. Zemindeki Suyun Kimyasal Bileşimi

Zemindeki su kimyası, potansiyel şişme büyüklüğü ile olan ilişki için önemlidir. Tuz iyonları, sodyum, kalsiyum, magnezyum ve potasyum gibi, zemin suyunda çözülür ve negatif elektrik yüzey yüklerini dengeye getirmek için değiştirilebilir katyon olarak kil yüzeylerde tutunurlar. Kil kristalleri tarafından

kullanılan emici kuvvetler ve bu katyonların hidratasyonu, kil tanecikleri arasında büyük su miktarının birikmesine sebep olabilir. (Nelson ve Miller, 1992)

Yong ve Warkentin (1975), boşluk sıvısındaki tuz konsantrasyonunun artmasıyla tek değerlikli değişebilir katyonlardan oluşan yüksek şişme potansiyeline sahip killerin, şişme potansiyellerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Basma ve Al-Sharif (1994) ise boşluk suyunda bulunan tuz konsantrasyonunun belli bir değeri geçtikten sonra şişme potansiyeli üzerinde meydana getirdiği etkinin azalmaya başladığını gözlemlemişlerdir.

Sridharan vd.(1990) yapmış oldukları şişme indisi deneyinde, boşluk suyu tuz konsantrasyonundaki artışla, kaolin zeminlerde çökelti hacminde bir artış, montmorillonit zeminlerde ise bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Jullien vd.(2002), Fo-Ca kili üzerinde yürüttükleri şişme basıncı deneylerinde, saf su yerine $Cu(NO)_3$ çözeltisini kullanmıştır. Deney sonucunda ise çözeltide bulunan Cu iyonlarının artmasıyla kilin şişme potansiyelinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bilgen (2011) yüksek plastisiteli ve düşük plastisiteli zeminlerin dayanımında deniz suyunun etkisini incelemek için yaptığı deneyler sonucunda deniz suyunun dayanımı artırmada oldukça etkili olduğunu belirlemiştir. Belabbaci vd.(2016) ise mineral tuzlarının şişme davranışları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. $MgCl_2$, KCl tuzlarının düşük içerikte bile şişme potansiyelini azalmakta çok etkili olduğunu belirtmişler ve bunun sebebinin ise düşük değerlerde bile katyonların kolayca yer değiştirebilmesine bağlamışlardır.

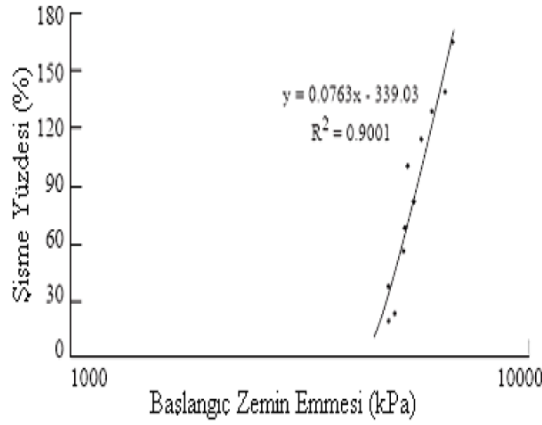
3.3.3. Zemin Emmesi

Zemin emmesi, doygun olmayan zeminlerin hacim ve mukavemet özellikleri üzerinde nemin etkisini belirleyebilmek için kullanılan bir parametredir. Toplam emme değeri, zeminin su tutma kapasitesini belirlemenin yanı sıra, aynı derinlikteki zeminin dışındaki saf suya göre içinde bulunan serbest enerjidir. (Snethen, 1980) Kısaca ise zeminin suyu tutmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir.

Brackley (1973), Gens ve Alonso (1992) başlangıçtaki emme değerinin artmasının maksimum şişme basıncında çok küçük bir artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Richards vd.(1984) ve Justo vd.(1984) ise başlangıçtaki emme değerinin artmasıyla toplam şişmenin arttığını ifade etmişlerdir.

Mckeen (1992) zemin emmesinin şişme potansiyelini belirtmede çok önemli bir parametre olduğunu belirtmiştir.

Çokça (2002) çalışmasında kaolinit ve bentonit minerallerini farklı oranlarda karıştırıp numunelerin şişme yüzdesi ile zemin emmesi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Emmenin ölçümünde ısı çift saykrometre tekniğini ve şişme yüzdesi için ise standart odometre deneyini yapmıştır. Çalışmanın sonunda Şekil 3.8.de görülen doğrusal bir ilişki olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 3.7. Başlangıç zemin emmesi ile şişme yüzdesi arasındaki ilişki (Çokça, 2002).

3.3.4. Plastisite

Kıvam limitleri, ince daneli zeminleri tanımlamakta kullanılan en önemli değişkenlerden biridir. Kil ve silt gibi ince daneli malzemeler bünyelerine su aldıklarında çok katı kıvamdan akıcı kıvama doğru bir geçiş yaparlar. Kıvamdaki değişiklik temel olarak likit limit ve plastik limit ile ifade edilmektedir. Bu iki değer arasındaki fark ise plastisite indisi değerini vermektedir.

Plastisite indisi değeri, kil mineralinin tipi, boyutu, miktarı ve taneciklerin yerleşimi ile ilişkilidir. Diğer etkiler sabit tutulduğunda, kil mineralinin artmasıyla artar, kil mineral parçacıklarının paralel yerleşimi ile azalır ve kil tanelerinin boyutlarının artmasıyla azalır. Geniş plastisite aralığı ve yüksek likit limit değerine sahip zeminlerde, şişme ve büzülme kapasitesi yüksektir. Ayrıca plastisite değerleri, zeminin özgül yüzeyi arttıkça artmaktadır.

Sridharan ve Prakasah (2000) ise çalışmalarında zeminin büzülme limitini etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Sonuç olarak ise zeminin şişme potansiyelinin, plastisite ve kil mineralinin çeşidinden, büzülme limitinin ise farklı boyuttaki zemin tanelerinin birbirlerine oranından etkilendiğini belirlemiştir. Bu yüzden büzülme limitinin, bir zeminin şişme potansiyelini belirlenmesinde etkili olmadığına sonuca varmışlardır.

Zeminin, değişen nem koşulları altında hacim değişikliğini gösteren değere aktivite denir. Skempton (1953) zeminin plastisite indisi değerini kil miktarına bölerek zeminin aktivite oranını bulmuştur. Bu değeri bulduktan sonra ise killeri 3 sınıfa ayırmıştır. Ayrıca aynı çalışmada farklı kil minerallerine ait aktivite değerlerini de belirlemiştir.

$$(A_c) = \frac{PI}{2 \mu' \text{den küçük dane yüzdesi}} \quad (3.1.)$$

PI: Plastisite İndisi

Tablo 3.6. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Skempton, 1953)

Aktivite	Tanım
A < 0,75	Aktif olmayan kil
0,75 < A < 1,25	Normal
A > 1,25	Aktif Kil

Tablo 3.7. Çeşitli killerin aktivite değerleri

Kil Minerali	Aktivite
Kaolin	0,33 – 0,46
İllit	0,9
Montmorillonit (Ca)	1,5
Montmorillonit (Na)	7,2

3.3.5. Zemin Mikrostrüktürü ve Fabrik

Brewer (1965) kil strüktürünü, zemin tanelerinin ve boşluklarının boyutu, şekli ve dizilişi olarak tanımlamıştır. Fabrik ise genellikle zemin tanelerinin dizilimini ifade eder.

Zeminlerin mühendislik davranışı üzerinde mikrofabriğin etkisi ilk olarak Terzaghi (1931) tarafından, aynı kilden hazırlanan eşit başlangıç koşullarına sahip iki

zemin örneğinin, tane dizilimlerindeki farklılıklar sebebiyle şişme basınçlarının birbirlerinden farklı olabileceğini belirtmesiyle ortaya çıkmıştır. (Al-Rawas, 1999)

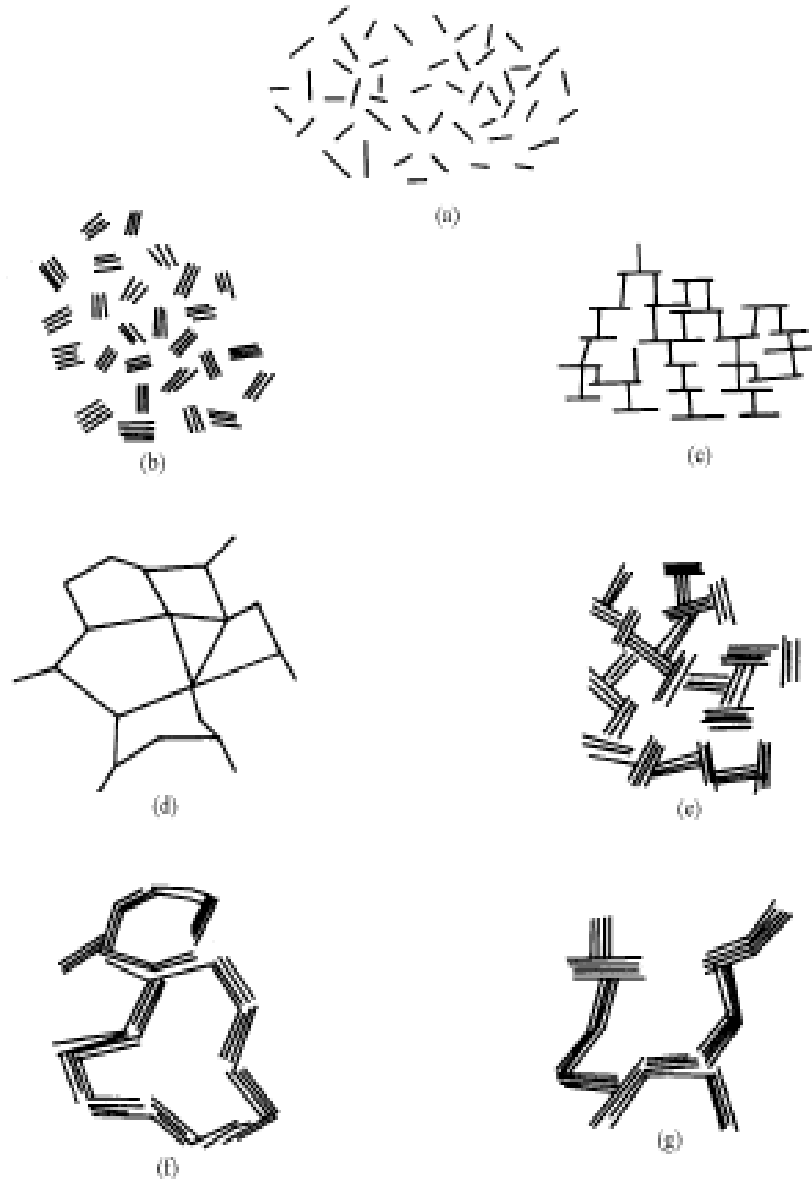
Olphen (1963), killerdeki tane dizilimlerini dörde ayırmıştır. Bunlar, ; dispers (kil taneleri yüz – yüze dizilim göstermezler), flokülleşmiş (taneler köşe – köşeye veya köşe – yüze dizilir), kümelenmiş (birkaç kil tanesi yüz – yüze dizilir ve kümelenir), deflokülleşmiş (taneler arasında bir bağlılık yoktur) şeklindedir. Şekil 3.8.de bu dizilimler gösterilmiştir.

Kil çeşidindeki tane dizilimi şişme üzerinde etkilidir. Sodyum montmorillonit gibi yüksek şişme potansiyeline sahip killer için paralel yerleşmiş taneler durumunda şişme değerleri en yüksek olmaktadır. (Yong ve Warkentin, 1975). Seed ve Chan (1959) en büyük şişme basıncını ve hacim artışını rastgele ve flokülleşmiş tane diziliminde oluştuğunu belirtmişlerdir.

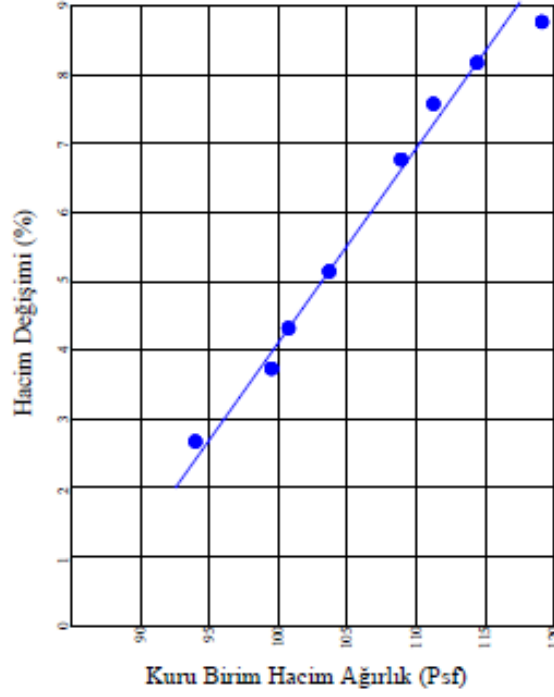
3.3.6. Kuru Yoğunluk

Kuru birim hacim ağırlık şişmeyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu değer artmasıyla şişme yüzdesi ve şişme basıncının arttığı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığın büyük olması kili oluşturan taneciklerin arasındaki itme kuvvetinin büyük olduğunu dolayısıyla şişme olayının etkili bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

Chen (1975) kuru birim hacim ağırlığın, hacim değişimiyle olan ilişkisini Şekil 3.9.daki gibi göstermiştir.



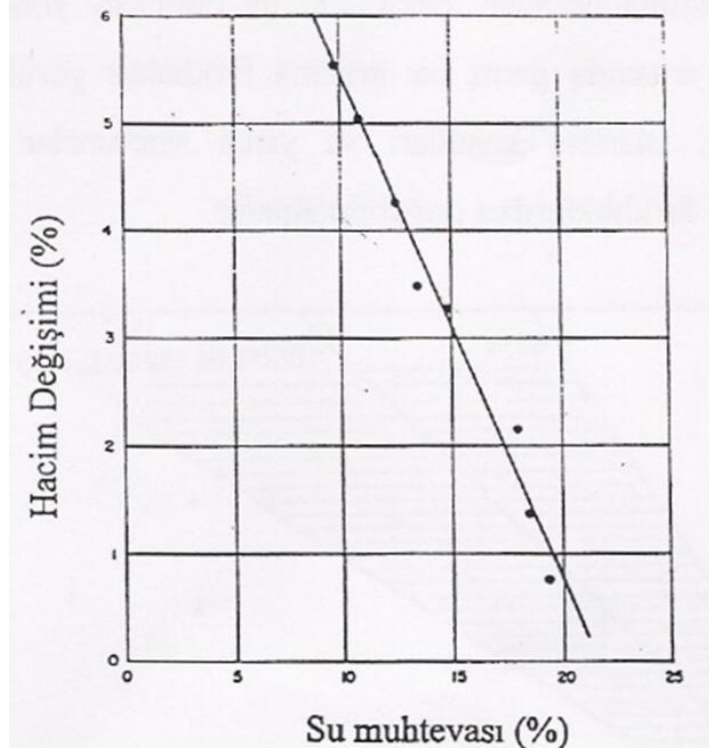
Şekil 3.8. Killerde muhtemel tane dizilim şekilleri: (a) dispers ve defloküleşmiş (b)kümelenmiş ve defloküleşmiş (c) Köşe – yüz flokülleşmiş ve dispers. (d) Köşe –köşe flokülleşmiş fakat ayrık. (e)Köşe – yüz flokülleşmiş ve kümelenmiş. (f) Köşe –köşe flokülleşmiş ve kümelenmiş. (g) Köşe – yüz ve köşe – köşe flokülleşmiş ve kümelenmiş. (Van Olphen, 1963).



Şekil 3.9. Kuru birim hacim ağırlığının hacim değişimine etkisi (Genç,2009)

3.3.7. Başlangıçtaki Su Muhtevası

Yüksek şişme potansiyeline bakılmaksızın, kilin su içeriği değişmeden kalırsa, herhangi bir hacim değişikliği meydana gelmez. Kildeki su içeriği değiştiğinde ise hem düşey hem yatay yönde hacim değişmesi meydana gelecektir. Doğal içeriğindeki su muhtevası değer %15'in altında olan kiler çok kuru kil olarak adlandırılmakla beraber çok tehlikelidirler. Çünkü bu kiler kolayca içerisindeki su içeriğini %35'e kadar çıkarabilir ki bu da yapılara hasar verir. Bu durumun tam tersi olarak su içeriği %30'un üzerinde olan kilerde ise şişme zaten meydana gelmiştir. Zamanla oluşacak olan şişme miktarı ise çok düşük bir değere sahiptir. Ancak bu türdeki kiler yer altı suyunun azalması veya başka dış etkenler sebebiyle kuruyabilirler. Tekrar suyla temas ettiklerinde şişme olayı tekrardan gerçekleşir. (Chen,1975)



Şekil 3.10. Su muhtevasının hacim değişimine etkisi (Yıldırım, 2009)

3.3.8. Nem Değişiklikleri

Killerin su tutma özelliği ve bünyesinde bulunan su miktarı, kıvamlılık, su içeriği, yoğunluk, dayanım, konsolidasyon gibi özelliklerini etkiler. Killer üzerinde yapılan uygulamaların neredeyse hepsi killerin yapısının bozulmasına sebep olur. Killerin üzerine uygulanan yükler, kilin içinde nem hareketine sebep olurlar ve genelde hacimsel değişiklikler bu nem hareketi ile anlaşılır. Bitkilerde terleme ve ısınma, buharlaşmanın oluşması kilde kurumaya, yağışlar, yer altı su seviyesindeki yükselmeler kildeki nem miktarını artırır ve bu da her zaman hacim değişikliklerini meydana getirir.

3.3.9. Gerilme Geçmişi

Şişme basıncı uygulanan gerilme izine çok bağlıdır ve elde edilen sonuçlar farklı gerilme izleri için birbirinden çok farklı olabilir. Aynı boşluk oranına sahip aşırı konsolide olmuş ve normal konsolide olmuş zeminler arasında aşırı konsolide olmuş zemin daha çok şişme özelliğine sahiptir. Eğer zemine, geçmişte anizotropik gerilme etki etmişse, şişme karakteristikleri genel olarak anizotropik olarak oluşmaktadır. Doygun olmayan bir kilin ıslanması neticesinde, gerilme geçmişine ve

emme değişimine göre göçme veya Şişme olayı gerçekleŐebilir. (Sharma ve Wheeler, 2000; Jullien vd, 2002; Ohri, 2003).

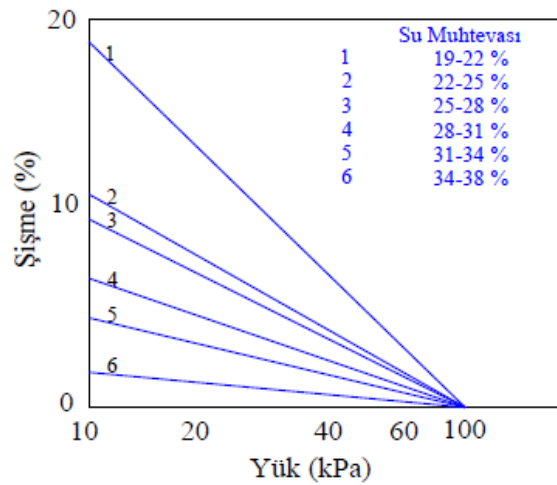
Keskin (1993), İstanbul Neojen kilinin Şişme davranışını incelemiştir. Zeminin minerolojik özelliklerinin, çevresel etkilerin, ön konsolidasyonunun etkileri yanı sıra kil örneklerinin izotropik ve anizotropik gerilme koşulları altında meydana gelen Şişme davranışı irdelenmiştir Modifiye edilmiş üç eksenli deney sistemiyle yan al Şişme davranışı belirlenmiş ve yan al yönde oluşan Şişme miktarının göz ardı edilemeyecek derece olduğunu ifade etmiştir.

Wong(1998) , La Biche Őeyleri üzerinde farklı tuz içeriklerinde ödometre, serbest Şişme ve yüklü Şişme deneylerini gerçekleştirmiştir. Şişme davranışının elektrolit konsantrasyonu, gerilme ve Şişme geçmişine bakılarak da anizotropik olduğu belirtilmiştir.

3.3.10. Yük Yükleme

Sürşarj basıncı arttıkça Şişme miktarı azalır. Bundan dolayı ağır yapılardan ziyade yol, havaalanı kaplamaları, birkaç katlı binalar gibi hafif yapılar Şişme deformasyonlarından daha fazla zarar görürler.

Rengmark ve Erikson (1953), sıkıştırılmış numuneler üzerine çeşitli sürşarj yükleri yükleyerek Şişme değerlerinde bir azalmanın meydana geldiğini belirlemişlerdir.Brackley (1975), sıkıştırılmış zeminler için Şişme ve sürşarj yükü arasında ters logaritmik bir fonksiyon olduğunu bulmuştur. (Genç,2009)



Şekil 3.11. Şişme yüzdesi- sürşarj yük ilişkisi (Genç,2009)

3.4.Şişen Zeminleri Tanımlama Yöntemleri

Şişen zeminlerle ilgili çalışma yapılmadan önce zeminin yapıya zarar vermesini engellemek veya etkisini en aza indirmek için zeminin parametrelerini tanımlamak gereklidir. Bu parametrelerden en önemlisi şişme parametreleridir. Bu parametreleri belirlemek için birtakım deneyler mevcuttur. Bu deneyler arasında Atterberg Limitleri Deneyleri, birim hacim ağırlık, konsolidasyon deneyi gibi deneyler bulunmaktadır. Bu deneyler sonucunda zeminin şişmesinin derecesi belirlenmektedir. Bu deneyler dışında X ışını difraksiyon yöntemi, diferansiyel termal analiz (DTS) ve elektron mikroskobu analizi ile de şişen zeminleri tanımlamak mümkündür. Tablo 3.8.de bu deneylerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.8. Şişen zeminlerin tanımlanmasında kullanılan laboratuvar deneyleri (Garaisayev, 2008)

Deney Adı	İncelenen Özellikler
Kıvam limitleri, dane çapı dağılımı	Plastisite, kıvam, granülometri
Kil miktarı	İnce daneli zeminlerin dane çapı dağılımı
Mineralojik analizler, X-Işını Kırılımı, Diferansiyel Termal Analiz	Kil partiküllerin mineralojisi
Katyon değiştirme kapasitesi	Kil partiküllerinin yüzeylerindeki yük durumu ve yüzey aktiviteleri
Serbest şişme deneyi	Çevre basıncının uygulanmadığı durumda ıslatılan kuru bir numunenin tek eksenli şişme miktarı ve basıncı
CBR	Sıkıştırılmış numunenin belirli bir sürşarj etkisi altında tek eksenli şişme miktarı
Konsolidasyon şişme deneyi	Farklı gerilmeler altında numune boyundaki artış ölçülür.

3.4.1. Mühendislik Sınıflandırma Deneyleri

Atterberg limitleri, birim hacim ağırlıkları, dane çapı dağılımı gibi zeminin indeks özellikleri şişen zeminlerin tanımlanmasında kullanılan en yaygın yöntemler

arasındadır. Holtz ve Gibbs, (1956) Tablo 3.9.da verilen sınıflandırmayı önermiştir. Chen (1975) tarafından sadece plastisite indisi değerlerine göre yapılan sınıflandırma ise Tablo 3.10.da verilmiştir.

Tablo 3.9. Koloid miktarı, plastisite indisi ve rötre limitine bağlı olarak şişen zeminlerin sınıflandırılması (Alpyürür,2018)

Kolloidal Yüzde(%)	Plastisite İndisi (%)	Rötre Limiti (%)	Beklenen şişme(6,9 gerilme altında;%)	Şişme Derecesi kPa
>28	>35	< 11	>30	Çok yüksek
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	Yüksek
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 20	Orta
<15	< 18	>15	<10	Düşük

Tablo 3.10. Plastisite indisine göre sınıflandırma (Chen,1975)

Şişme Potansiyeli	Plastisite İndisi
Düşük	0– 15
Orta	10– 35
Yüksek	20 – 55
Çok yüksek	>35

Raman (1967) ise şişme potansiyelini, plastisite indisi ve rötre (büzülme) limiti değerlerine göre belirlemiştir. Tablo 3.11.de bu yöntem verilmiştir.

Tablo 3.11. Plastisite indisi ve büzülme indisine göre şişme derecesi (Raman, 1967)

Plastisite İndisi (PI)	Büzülme İndisi	Şişme Derecesi
< 12	< 15	Düşük
<12-23	15 – 30	Orta
23 – 32	30 – 40	Yüksek
> 32	>40	Çok yüksek

3.4.2. Minerolojik Yöntemler

Kilin mineralojik yapısı şişmeyi en çok etkileyen faktörlerden biridir. Mineral yapısı ise farklı yöntemlerle belirlenebilir. En yaygın olanları, X Işını Difraksiyon Yöntemi (XRD), Diferansiyel Termal Analiz (DTS) ve Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)'dir.

XRD yöntemi, her bir mineralin kendisine özgü olan atomik dizilimine bağlı olarak mineral tanımlaması yapmaktadır. Özellikle kil minerallerinin analizinde kesin sonuçlar vermektedir.

Diğer yöntem olan DTS ise ısıtma veya soğutma sırasında, kil numunesi ve referans malzeme arasındaki sıcaklık farkı ölçümüne dayanır. SEM ise kil üzerine yüksek enerjili elektron göndererek kilin yapısını belirlemektedir ve sadece nitel tanımlamalar yapılabilmektedir.

3.4.3. Serbest Şişme

Bir zeminin serbest şişmesi, zemin hacminde meydana gelen şişmenin ilk hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu deneyi gerçekleştirmek için öncelikle bir miktar zemin, 40 No.lu elekten elenir. Daha sonra elenen zemin, dereceli bir silindire yerleştirilir ve suda çökmesi beklenir. Bu işlemin sonundaki hacmi belirlenir. Hacimdeki ilk değişimin, ilk hacme oranı serbest şişme olarak adlandırılır. Yüksek kaliteli bir bentonit kilinin serbest şişme %1200-2000 civarındadır.

$$FS = \left(\frac{V - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

FS: Serbest Şişme (%)

V: Şişme sonrası zemin hacmi (cm³)

V₀: Kuru zemin hacmi (cm³)

Holtz ve Gibbs (1956), %100 gibi düşük şişme yüzdesine sahip bir zeminin arazide hafif yükleme altında ıslatıldığında önemli miktarda şişme oluştuğunu göstermişlerdir. %50'nin altında serbest şişme gösteren zeminlerin önemli şişme değişimi göstermediği kabul edilmektedir. Ancak Dawson (1953) çalışmasında %50 civarında serbest şişme özelliği gösteren bazı Texas killerin, şişmesinden dolayı önemli zararlara yol açtığını görmüştür. Bunun sebebi olarak ise aşırı iklim koşulları ile zeminin şişme özelliklerinin birleşmesi olarak belirlenmiştir. (Vural, 2012)

Sivapullaiah vd.(1987) yaptıkları çalışmada modifiye serbest şişme indisinin konsolidasyon şişme yüzdesi arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Modifiye serbest şişme indisini ise aşağıdaki formülle bulmuşlardır. Tablo 3.12. de ise şişme potansiyelini tahmin etmek için hazırladıkları tablo verilmiştir.

$$MFSI = \frac{V_d - V_s}{V_s} \quad (3.3)$$

MFSI: Modifiye serbest şişme indisi

V_d : Saf suda çökelen zemin hacmi

V_s : Zemin tanelerinin hacmi

Tablo 3.12. Modifiye serbest şişme indisi ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki (Sivapullaiah vd., 1987)

Likit Limit (Hacim bazında, %)	MFSI	Şişme Potansiyeli
<200	< 2,5	Önemsiz
200 - 400	2,5 - 10	Orta
400 - 550	10 - 20	Yüksek
>550	>20	Çok yüksek

3.4.4. Potansiyel Hacim Değişimi

Bu deney T.W. Lambe tarafından bulunmuştur ve zeminlerin hacim değişikliklerini bulmaya yardımcı olmaktadır. Zeminden alınan numune optimum su içeriğinde hazırlanır ve PVC aletindeki halkanın içinde Proktor sıkıştırma enerjisi (55000 ft-ıb/ft³) ile 3 tabaka halinde sıkıştırılır. Sonrasında ise numuneye su verilir ve şişmesi beklenir. Şişme indeksi değeri saatten okunur. Şişme indisi değeri belirlendikten sonra Tablo 3.13. kullanılarak zeminin potansiyel hacim değeri belirlenmektedir.

Tablo 3.13.PVC oranlarına göre şişme kriterleri (Genç, 2009)

PVC Oranı	Kategori
<2	Kritik değil
2 - 4	Orta
4 - 6	Kritik
>6	Çok kritik

3.4.5. Şişme İndeksi Deneyi

Şişme indeks deneyi, ASTM D-1557- 66T standardına göre yapılmaktadır. Zemin öncelikle 4 No.lu elekten (4,75 mm) elenir ve optimum su içeriğine uygun hale getirilir. Sonrasında zemin 10,2 cm'lik kalıpta sıkıştırılır. Bir sonraki aşamada

ise numunenin su içeriği %50'lik bir doygunluk derecesine göre ayarlanır. Numunenin üzerine 6,9 kPa'lık sürşarj uygulanarak ıslatılır. 24 saat boyunca hacim değişikliği izlenir ve aşağıdaki formüle göre EI değeri bulunur. Bu deney PVC deneyine çok benzemektedir. Aralarındaki tek fark şişme indeksi deneyinde şişme sabit bir sürşarj yükü altında bekletilmesidir.

$$EI=100 \times \Delta h \times F \quad (3.4)$$

EI=Şişme indeksi

Δh =şişme yüzdesi

F=4 numaralı elekten geçen yüzde

Tablo 3.14. Şişme indeksi değerlerine göre zeminlerin şişme potansiyelleri

EI	Şişme Potansiyeli
0-20	Çok düşük
21-50	Düşük
51-90	Orta
91-130	Yüksek
>130	Çok yüksek

3.4.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)

CBR deneyi daha çok karayolu, havaalanı projelendirilirken kullanılan taşıma gücünü bulmaya yarayan bir deneydir. Zemin optimum su içeriğinde hazırlanıp 15.2 cm çapındaki silindirik kalıba yerleştirilerek sıkıştırılır. Numunelerin üzerine, zeminin maruz kalacağı gerilmeye uygun bir sürşarj yükü yüklenir ve numunenin yüksekliği ölçülür. Daha sonra ise numune 4 gün suda bekletilir. Numunenin 4 gün sonraki yüksekliği de ölçülerek şişme değeri bulunur.

3.4.7. Lineer genişleme katsayısı (COLE)

Şişen zeminleri tanımlamak için kullanılan bir büzülme deneyi olan doğrusal genişleyebilirlik katsayısı (COLE) deneyi ile zeminin 33 kPa emme durumu ile fırında kurutulmuş (1000 kPa) emme durumu arasındaki doğrusal şekil değiştirmesi incelenir. Deneyde örselenmemiş zemin numunesi kullanılır ve numune esnek plastik bir reçine ile kaplanır. Sonra bu numune, basınçlı bir kaba koyularak emmenin 33 kPa gelmesi beklenir. Numunenin hacmini belirlemek için numune havada ve suda

tartılır. Son aşama ise numunelerin fırında kurutulma işlemidir. Kurutma işlemi bittikten sonra hacim ağırlıkları hesaplamaları yapılarak COLE değeri bulunur.

COLE değeri yüzde olarak ifade edildiğinde doğrusal genişleyebilirlik yüzdesi (LEP) olarak adlandırılmaktadır.

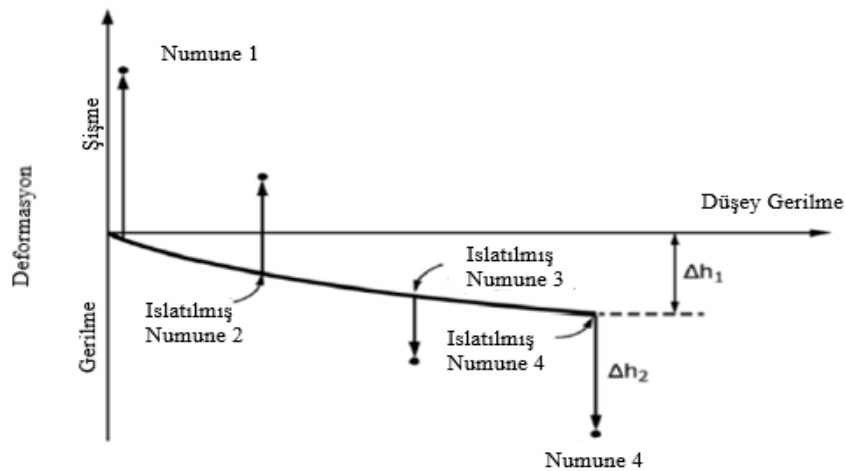
Tablo 3.15. Şişme-büzülme potansiyelinin doğrusal genişleyebilirlik katsayısı ve doğrusal genişleyebilirlik yüzdesine bağlı olarak sınıflandırılması (Ünver,2015)

COLE	LEP	Şişme- Büzülme Potansiyeli
< 0.03	<3	Düşük
0.03 - 0.06	3 - 6	Orta
0.06 - 0.09	6 - 9	Yüksek
≥ 0.09	≥ 9	Çok yüksek

3.4.8. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

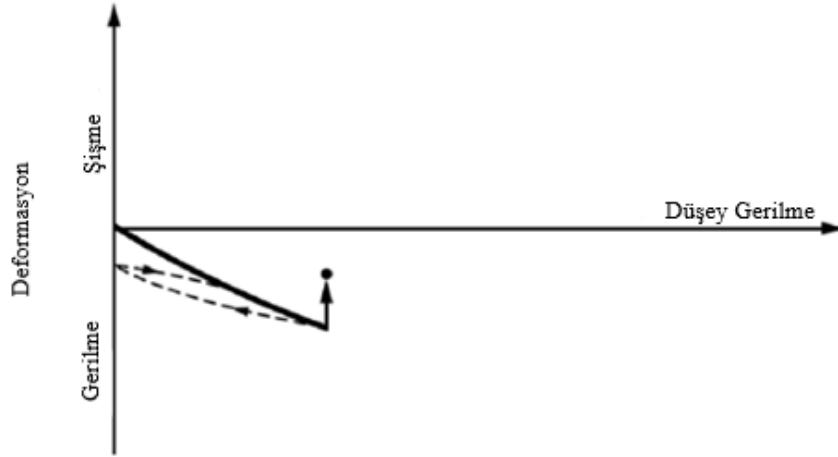
Şişen zeminlerin şişme parametrelerinin bulunmasında en çok kullanılan yöntem konsolidasyon deneyidir. ASTM D D4546 standardına göre bu deney 3 farklı yöntemle yapılmaktadır.

Metot A: Hazırlanan her bir numuneye 1 kPa yük uygulanır ve bu yük altında numuneler suya doygun hale getirilerek numunelerin şişmesi gerçekleşene kadar beklenir. Daha sonra klasik konsolidasyon deneyindeki artan yük değerleri ile numuneye yük yüklenir. Bu yöntem ASTM D 4546'ya göre yükleme yapıldıktan sonra numuneyi ıslatma yöntemi olarak adlandırılır.



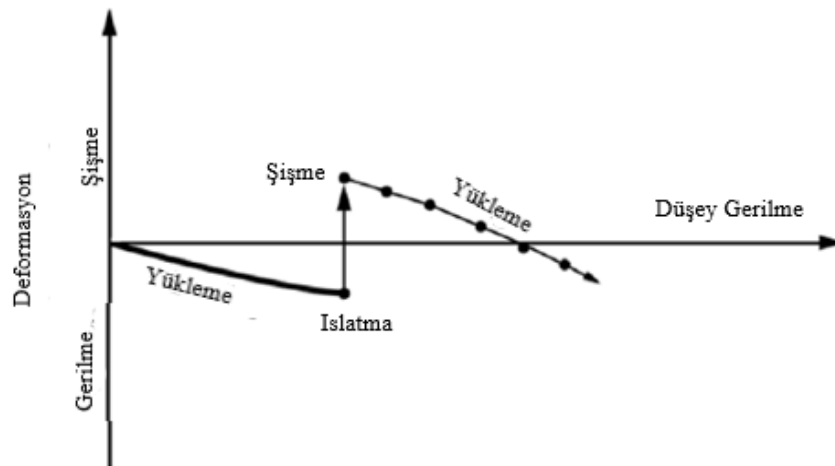
Şekil 3.12. Deformasyon- düşey gerilme grafiği, A yöntemi (ASTM 4546)

Metot B: Bu yöntemde numune sürşarj gerilmesinin temel yükü etkisine eşit olan bir P_0 yükü yüklenir. Numune bu yük altında bekletilir. Devamında ise suya doygun hale getirilerek şişme tamamlanır. Geri kalan kısmı ise klasik konsolidasyon deneyi aşamalarına göre yapılır.



Şekil 3.13. Deformasyon- düşey gerilme grafiği, B yöntemi (ASTM 4546)

Metot C: Bu metot, şişme veya çökme deformasyonu meydana geldikten sonra yükten kaynaklanan değişimleri ölçmek için kullanılır. Bu sebeple bu yöntem numune ıslatıldıktan yük yükleme olarak adlandırılır. Deneyin ilk bölümü metot A ve B gibi yapılırken geri kalan kısmı ASTM D2435'e göre yapılmaktadır.



Şekil 3.14. Deformasyon- düşey gerilme grafiği, C yöntemi (ASTM 4546)

3.2. Şişen Zeminlerin Stabilizasyonunda Kullanılan Yöntemler

Şişen zeminlerin, şişme potansiyellerini en aza indirmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Zemini kimyasal katkı maddeleriyle karıştırıp iyileştirme, inşaat başlamadan önce zeminin ıslatılarak şişmesinin sağlanması için ön ıslatma yapılması, zeminde sıkıştırma yapılması, zemine sürşarj yükü yüklenmesi bu yöntemler arasındadır.

3.2.1.Kimyasal Katkı Maddeleri

Şişen zeminler çeşitli katkı maddeleri ile iyileştirilebilmektedir. Bu katkı maddeleri seçilirken zeminin cinsi, zeminin hangi özelliğinin iyileştirileceği, ekonomik olması gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu katkı maddelerinin en yaygın kullanılanları arasında kireç, çimento, uçucu kül ve bitüm sayılmaktadır.

3.2.1.1.Kireç ile Stabilizasyon

Kireç, kireçtaşının 850-1450 °C sıcaklık aralığında pişirilmesi sonucunda elde edilen, su ile karıştırıldığında reaksiyona girebilen, beyaz renkli bir inorganik bağlayıcı maddedir. Kireç taşının pişirilme işlemine kalsinasyon denir ve bu işlem sonucunda sönmemiş kireç oluşmaktadır. Sönmemiş kireç su ile karıştırıldığında ise sönmüş kireç oluşur.

Ola (1978) killi zeminlere %10'dan daha fazla kireç eklenmesinin dayanım artışında fazla etkili olmadığını belirlemiştir. Chen (1975) ise %2-%8 arasında değişen kireç katkısının şişen zeminleri stabilize etmek için uygun olduğunu belirtmiştir.

Kireç ilavesiyle zemin iyileştirme çalışmalarının büyük çoğunluğunda kireç ilavesi ile zeminin likit limit değeri azaldığı, plastisite indisi değerinin azaldığı ve kür süresinin artmasıyla kirecin dayanıma olan etkisinin arttığı bulunmuştur.

3.2.1.2.Çimento ile Stabilizasyon

Çimento, doğa kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtılmasının ardından öğütülmesi ile oluşan bağlayıcı bir malzemedir. Bir çeşidi olan Portland çimentosu, yaygın olarak stabilizasyonda kullanılmaktadır. Organik zemin ve kohezyonlu zeminler dışındaki zeminler için uygun bir katkı malzemesidir.

Chen (1975) %2-%6 çimento katkısının zemin iyileştirmesinde uygun bir değer aralığı olduğunu belirtmiştir. Çimento katkısı ile zeminin likit limit, plastisite indisi ve şişme potansiyeli azalırken, büzülme limiti ve kayma mukavemetinin arttığını da ifade etmiştir. Kireçte olduğu gibi kür süresinin artmasıyla çimento katkılı numunelerin de dayanımı artmaktadır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde çimento daha çok yüksek oranlarda etkili sonuç verirken kireç daha düşük oranlarda etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca çimentonun gevşek ve akışkan olmayan zeminlerde diğer katkı maddelerine göre daha etkili olduğu görülmüştür.

3.2.1.3. Uçucu Kül ile Stabilizasyon

Uçucu kül, termik santrallerde yakılan taş kömürü veya linyit kömürünü yanması sonucunda ortaya çıkan bir atık malzemedir. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri neredeyse hiç yoktur. Fakat sönmüş kireç ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanır. İçerdiği CaO miktarına göre 2'ye ayrılır. İçinde bulunan CaO miktarı %10'dan daha düşük ise F tipi; %10'dan daha yüksek ise C tipi uçucu kül olarak adlandırılır.

Uçucu küllerin stabilizasyondaki kalitesini, incelik, uniformluk ve kimyasal bileşim gibi özellikleri etkiler. Uçucu kül katkısı ile yapılan çalışmaların çoğunda mukavemetin arttığı, maksimum kuru birim hacim ağırlık, likit limit ve plastisite indisinin azaldığı, optimum su içeriği ile plastik limitin ise arttığı görülmüştür.

3.2.1.4. Bitüm İle Stabilizasyon

Bitüm, ham petrolden elde edilen koyu renkte yüksek vizkozite özelliğine sahip hidrokarbon atığıdır. Özellikle yol inşaatları, yol bakımında kullanılmaktadır. Hem ince hem iri daneli zeminlerin stabilizasyonunda kullanılır. İri daneli zeminlerde, boşluk içeren malzemenin birbirine yapışmasını sağlar ve bu sayede dayanımı artırır. İnce daneli zeminlerde ise zemin içinde bulunan yer altı suyu ile ince tanelerin yumuşamasına ve çözünmesine izin vermemektedir.

DeneySEL uygulamalar sonucunda, bitüm malzemesinin stabilizasyon için zeminlere %5-%10 oranlarında eklenmesinin zemin mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. (Uzuner,2000)

3.2.2.Ön İslatma Yöntemi

Ön ıslatma yönteminin amacı temel inşasına başlanmadan önce zeminin şişmesini sağlamaktır. Bu yöntem su içeriği yüksek olan zeminlerin daha düşük şişme davranışı göstereceği ilkesine dayanmaktadır. Çalışma yapılan alan su içinde bırakılır ya da bir havuz oluşturulur.

Ön ıslatma yöntemiyle plastik limit değerinin üstünde bir değere kadar ıslatılan zeminlerde şişme potansiyelinin büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Fakat bu yöntemin bazı sakıncaları mevcuttur. Genelde şişen zeminler düşük permeabiliteye sahip oldukları için suyun sızması uzun sürebilmektedir. Bunun kolaylaştırılması için düşey drenaj kuyuları yerleştirilebilir. Böylece süre kısalabilmektedir. Ayrıca ön ıslatma işlemi bittikten sonra zeminin en üst tabakasına %4-%5 oranında kireç eklenerek plastisite düşürülüp zemin daha duraylı hale getirilebilir. (Das and Sivakugan, 1995)

ABD'nin Teksas eyaletinde ön ıslatma yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, su içeriği 24 saatlik süre sonunda sadece 1.2m'lik bir derinlik içinde arttığı görülmüştür. Daha derinlerde ise istenen su içeriğine yaklaşık 30 gün sonra ulaşılmıştır. Yapılan başka bir çalışmada ise orta derece şişme potansiyeline sahip zeminlerde ön ıslatma yönteminin sadece 70- 80 cm derinliğe kadar etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Fakat bu yöntem şişme potansiyeline sahip zeminlerde 90 cm'den daha derin yerlerde kesinlikle başarılı değildir. (Chen,1975)

3.2.3.Sıkıştırma Yöntemi

Kompaksiyon, zeminin içindeki boşluk oranını azaltmak için zeminin sıkıştırma işlemidir. Şişen zeminler için sıkıştırma işlemi şişen zemini taşıyıp yerine şişme özelliğine sahip olmayan zemin yerleştirip sıkıştırma ve şişen zemini sıkıştırma olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır.

Şişen zemini kaldırıp yerine şişmeyen zemin yerleştirilmesi işleminde, şişen tabakanın düşük bir kalınlığı varsa bu tabaka tamamen kaldırılır ya da şişen tabakanın kalınlığı çok ise belirlenen derinliğe kadar şişen zemin kaldırılır. Kaldırılması gereken zeminin derinliği, şişen zeminin şişme potansiyeline göre belirlenir. Chen (1975) bu derinliğin minimum 1-1,3 m olması gerektiğini

belirtmiştir. Burada önemli olan dolgu için kullanılan zeminin, geçirimsiz olması ve su sızıntısına imkan veren granül malzeme olmamasıdır.

Şişen zeminlerin yüksek su muhtevasında ve düşük yoğunlukta sıkıştırıldıklarında fazla şişme göstermedikleri bulunmuştur. (Holtz ve Gibbs, 1956). Gizienski ve Lee (1995), şişen zemini, optimum su içeriğinin (%10,5) %4,5 kadar üzerindeki bir su içeriğiyle sıkıştırıldığında şişme yüzdesinin göz ardı edilebilir düzeyde azaldığını belirtmişlerdir. Yılmaz (1998) ise optimum su içeriğinin %3'ünün altında sıkıştırma yapıldığında aşırı şişmenin gerçekleştiğini ifade etmiştir.

3.2.4.Sürşarj Yükleme

Şişen zeminlerde, şişme basıncı değerine yakın bir sürşarj yükü yüklemesinin yapılmasıyla şişme engellenebilmektedir. Fakat bu yöntem düşük ve orta derecede şişme potansiyeline sahip zeminler için daha uygundur.

Çoğu zemin, tek başına normal ek yüklerle kontrol edilemeyecek kadar yüksek şişme basıncına sahiptir. 25 kPa'a kadar olan şişme basınçları, 1,3 m dolgu ve beton temel ile kontrol edilebilirken bazı zeminler 400 kPa gibi yüksek şişme basıncına sahip olabilmektedir. (Kazemikhosrowshahi,2014) Ayrıca şişme değerleri ile şişme basıncı arasındaki ilişki doğrusal bir ilişki olmadığı için bu yöntemin uygulanması zor olmaktadır.

3.2.5.Su Muhtevasının Korunması

Su muhtevası kontrolünün amacı inşaat temeline etraftan gelebilecek su girişini önlemek ve zemini kuru tutmaktır. Bunun için temel zeminine hem yatayda hem de düşeyde geçirimsiz duvarlar ve drenaj sistemi uygulanır. Böylece temelin altında veya yanında suyun birikmesi engellenir. Hendekler, oluklar, yalıtım malzemeleri, rijit bariyerler yeraltındaki ve yüzeydeki suların temelden uzaklaştırılmasında kullanılan drenaj yöntemleridir. Hendeklerin açılmasıyla zeminin su emmesinin önüne geçilmiş olur. Rijit bariyerler, suyun dışarı akmasını sağlayacak şekilde eğimli yapılmalıdır. Özellikle yol inşaatlarında asfalt sızdırmazlık için kullanılmaktadır. Bunların dışında ağaç ve bitki köklerinin de zemindeki suyu emmelerinden dolayı zemin kuruyabilmektedir. Bu sebeple binaların çevresinde boyu 2m'yi geçmeyen ağaç ve bitkilerin bulunması önerilmektedir.

3.2.6. Isı İle İyileştirme

Yaklaşık 200°C'a kadar ısıtılan zeminlerde şişme potansiyeli önemli ölçüde azalmaktadır. Ancak pratik ve ekonomik sebeplerden dolayı henüz gelişmemiştir. (Çetin, 2003)

3.2.7. Elektrokimyasal Yöntemler

Elektrokimyasal yöntemle zemin stabilizasyonunda, elektroozmoz sonucunda zeminde bulunan su zeminden uzaklaştırılır ve böylelikle zemin sertleşir. Buradaki amaç kil içerisinde istenilen katyonların yoğunluğunu arttırarak zeminin özelliklerini iyileştirmektir. (Çetin,2003)

4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada kullanılan zemin numunesinin özelliklerini belirlemek için tanımlama ve sınıflama deneyleri yapılmıştır. Ayrıca doğal zemine ait kompaksiyon parametreleri de belirlenmiştir. Daha sonra katkı maddesi katılarak hazırlanan numunelerin özelliklerini belirlemek için de Atterberg limitleri deneyleri, standart Proktor deneyi yapılmıştır. Proktor deneyi sonucunda elde edilen değerlere bağlı olarak konsolidasyon (ödometre) deneyi yapılarak numunelerin şişme yüzdesi değerleri bulunmuştur.

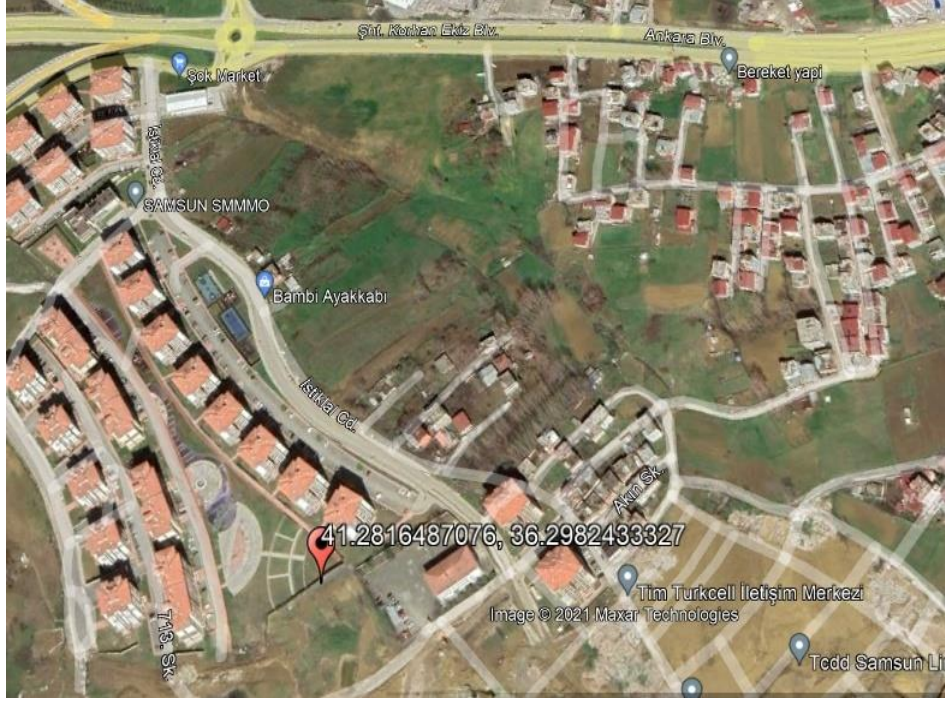
4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

4.1.1.Doğal Zemin

Çalışma kapsamında, Samsun'un İlkadım ilçesinde inşa edilmiş bir istinat duvarının deformasyona uğramasına sebep olan zemin kullanılmıştır. Şekil 4.1. de kullanılan zemin, Şekil 4.2.de ise kullanılan zeminin temin edildiği yerin haritası verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan zemin

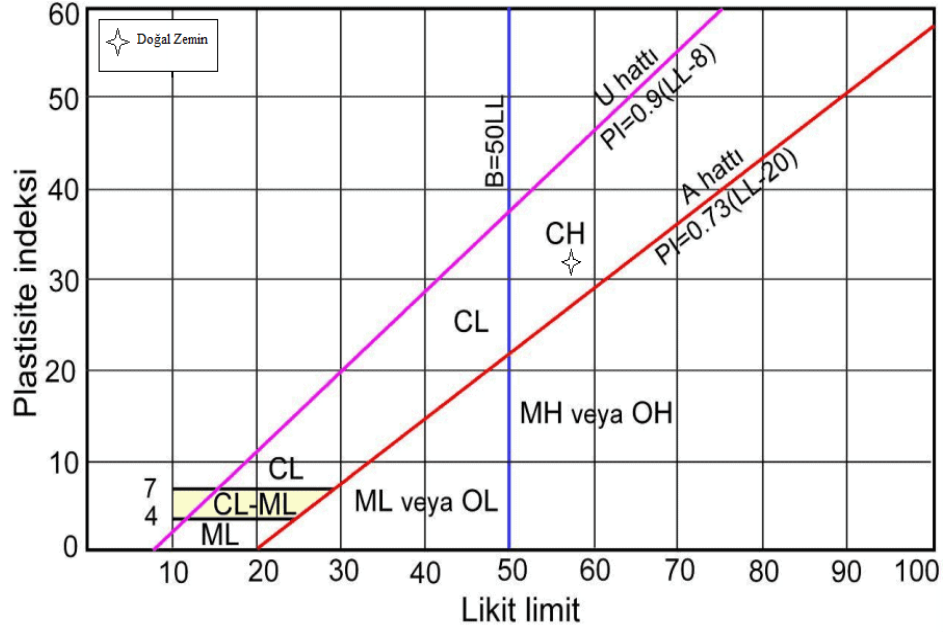


Şekil 4.2. Kullanılan zeminin alındığı yerin konumu

Öncelikle zemin numunesi, iri ve ince malzeme sınırını oluşturan 200 No.lu elekten, eleğin altından berrak su akana kadar yıkanmıştır. Analiz sonucunda zeminin %50'sinden fazlası 200 No.lu elekten geçtiği için zemin sınıflandırılması yapılırken plastisite grafiği kullanılır. Doğal zemin ile yapılan Atterberg limitleri deneyi sonucunda elde edilen parametreler kullanılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre zemin sınıfı CH (yüksek plastisiteli kil) olarak bulunmuştur. Şekil 4.3.de plastisite grafiğinde zeminin ait olduğu sınıf ve Tablo 4.1.de zemine ait parametreler gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Doğal zemine ait indeks özellikleri

Özellikler	Değer
200 No.lu elekten geçen malzeme (%)	91,68
Doğal Su Muhtevası (%)	35,6
USCS'ye göre zemin sınıfı	CH (Yüksek plastisiteli kil)
Likit Limit (LL) (%)	57,4
Plastik Limit (PL) (%)	24,4
Plastisite İndisi (PI) (%)	33
Spesifik Gravite	2,65
Optimum Su İçeriği (%)	19,5
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	17,8



Şekil 4.3. Zemin sınıfının plastisite grafiğindeki gösterimi

4.1.2. Atık Malzeme

Çalışmada kullanılan atık malzeme mobilya endüstrisinde kullanılan kaplama malzemesidir. Bu malzeme Plasko Plastik firmasından temin edilen hammaddesi PVC olan, asitlere ve güneş ışığına dayanıklı, sert bir malzemedir. Kalınlığı 0,2 mm olup deney için 1 cm uzunluğunda 0,5 cm genişliğinde kesilerek doğal zeminle karıştırılmıştır. Tablo 4.2.de malzemeye ait özellikler Şekil 4.4.de numune özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan atık malzeme

Tablo 4.2. Atık malzemeye ait özellikler

Açıklama	Değer
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1,38
Gerilme direnci (N/mm ²)	46-48
Darbe mukavemeti (N/mm ²)	550
Uzatma (%)	25-50
Sertlik (N/mm ²)	110
Yumuşama noktası (°C)	84
Şekil alma sıcaklığı (°C)	105-125
Isı ile yapışma (°C)	175-215
Gres ve yağlara karşı direnç	Şartlı dayanıklılık
Organik solventlere karşı direnç	Şartlı dayanıklılık
Yırtılma direnci (lb/in ²)	410-490
Elektrik direnci (Ohm-cm)	10 ¹⁶
Su emmesi (%/ gün)	0,05
Su buharı geçirgenliği (25°C, 1 gün)	0,35-2
Oksijen geçirgenliği (25°C,1 gün) (cm ³)	4-30
Karbondioksit geçirgenliği (25°C,1 gün) (cm ³)	4-30
Azot gazı geçirgenliği	1-10
Hidrojen geçirgenliği	3-10

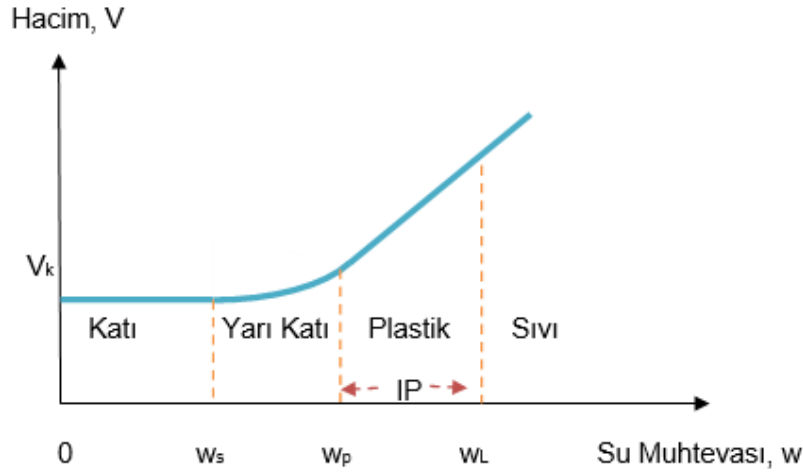
4.2. Deneyle

Bu çalışmada tek tip zemin kullanılıp bu zemine kuru ağırlığın %2,5, %5 ve %7,5'i oranında atık malzeme katılmıştır. Atık malzeme, uzunluğu 1 cm, genişliği 0,5 cm olacak şekilde kesilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde kıvam limitleri deneyleri, Proktor deneyi ve konsolidasyon deneyi yapılmıştır.

4.2.1. Atterberg Limitleri Deneyleri

Atterberg (Kıvam) limitleri ince daneli zeminlerin tanımlanmasında kullanılır. İnce daneli zeminler, içerdikleri su miktarına göre katı(sert), yarı katı(orta sert), plastik (yumuşak) ve sıvı durumlarda olabilmektedir. Zeminin sıvı gibi davranmaya başladığı sınıra likit limit; plastik kıvamdan yarı plastik kıvama geçtiği sınıra plastik limit denilmektedir. Şekil 4.2.de bu sınırlar gösterilmiştir.

Atterberg limitleri deneyleri ASTM D 4318'e göre yapılmaktadır.



Şekil 4.5. Kıvam limitleri

4.2.1.1. Likit Limit Deneyi

Likit Limit deneyi yapılırken ilk olarak 40 No.lu elekten zemin numunesi elenmiştir ve elekten elenen malzeme deney çalışması için kullanılmıştır. Elenen malzeme eşit oranlarda bölünerek her bir deney numunesine ayrı ayrı 150 ml su eklenmiştir ve iyice karıştırılmıştır. Karıştırılan malzeme Casagrande taşına yerleştirilmiştir. Numune yarı açma bıçağı ile ortadan ikiye ayrılarak saniyede 1 dönüş olmak üzere düzgün bir şekilde çevrilmiştir. Döndürme işlemi ile numunenin yerleştirildiği tas, 10 mm yükseklikten standart sertlikteki bir plastik blok üzerine düşmektedir ve bunun etkisi altında açılan yarık kapanmaktadır. Yarık 10 mm kadar kapanıncaya dek kol çevrilmiştir ve kapanmanın gerçekleştiği yerden bir miktar malzeme alınmıştır ve vuruş sayısı kaydedilmiştir. Aynı işlem, zemine her seferinde 150 ml su eklenerek en az 5 kere tekrarlanmıştır. Hazırlanan numuneler 110°C'de 24 saat kurutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen veriler hesaplanarak grafiğe

dönüştürülmüştür ve 25 vuruşa karşılık gelen değer o numunenin likit limit değeri olarak belirlenmiştir.

Deney sonuçlarına ait veriler ve grafikler ekler kısmında verilmiştir

4.2.1.2. Plastik Limit Deneyi

Likit limit deneyi için hazırlanan numunelerden bir miktar alınmıştır ve buzlu cam üzerinde avuç ile yuvarlanmıştır. Yuvarlama esnasında kalınlık 3 mm olduğunda kopmalar oluşmuş ve kopan malzemeler kaplara yerleştirilmiştir. Daha sonra numunenin su muhtevasını belirlemek için numunelerin ağırlığı ölçülmüştür. Her numune için en az 2 kez bu işlem yapılmıştır. Daha sonra ise numuneler 110°C’de 24 saat kurutulmuştur.

Deney sonuçlarına ait veriler ve grafikler ekler kısmında verilmiştir.

4.2.2. Standart Proktor Deneyi

Proktor deneyinin amacı zeminde sıkıştırmanın en yüksek olduğu durumdaki optimum su içeriğini bulmaktır. Bu deney, standart kompaksiyon ve ağır kompaksiyon deneyi olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Standart kompaksiyon deneyinde kullanılan tokmağın ağırlığı 2,5 kg, Proktor kabının boyutları ise iç çapı 105 mm, yüksekliği 115 mm, tabaka sayısı 3, her bir tabakaya vuruş sayısı 25’tir. Ağır kompaksiyon deneyinde kullanılan tokmağın ağırlığı ise 4,5 kg, kap boyutları ise iç çapı 105 mm, yüksekliği 115 mm, tabaka sayısı 5, vuruş sayısı 25’tir. Bu çalışmada ise standart kompaksiyon deneyi tercih edilmiştir. Yapılan deneyde katkısız numune ve %2,5 , %5, %7,5 oranlarında katkılı numuneler için olmak üzere toplam 4 kez bu deney yapılmıştır. Öncelikle bir miktar zemin 4 No.lu elekten elenmiştir. Elekten geçen malzemeye 150 ml su eklenerek Proktor kabında toplam 3 tabaka olmak üzere her tabaka, 30,5 cm yüksekliğinden 25 kere sıkıştırılmıştır. Bu işlem her seferinde 150 ml su eklenerek toplam 5 kere yapılmıştır. İşlemler bittikten sonra kurutulmak üzere 5 numune hazırlanmıştır ve bunlar 110° C’de 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen veriler ile kuru yoğunluk ve su içeriği grafiği çizilmiştir. Grafikte maksimum kuru yoğunluğa karşılık gelen su içeriği değeri, o numune için optimum su içeriğini vermektedir. Burada bulunan optimum su içeriği değerine göre numuneler hazırlanıp konsolidasyon deneyi için kullanılmıştır. Deney ASTM D698’e göre gerçekleştirilmiştir.

4.2.3. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

Ödometre deneyi ince taneli zeminlerin bir boyutlu konsolidasyon davranışının belirlenmesinde kullanılan bir deneydir. Bu çalışmada ise ASTM D4546 standardındaki A yöntemine göre deneyler yapılmıştır. Bu yöntemde numuneler suya doygun hale getirilerek üzerlerine 1kPa yük yüklenmektedir.

Bir miktar zemin, kullanılan katkı oranına ait optimum su içeriğinde hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu malzeme 20 mm yüksekliğinde 50 mm çapında olan ödometre halkasında 3 tabaka halinde el tokmağı ile 25 kez vurularak sıkıştırılmıştır. Deney aleti kabına suda doygun hale gelmiş olan poroz taşı yerleştirilmiştir. Üstüne de önceden suda bekletilmiş filtre kâğıtları, halkanın altına ve üstüne konularak deney kabına yerleştirilmiştir. Daha sonra halkanın üzerine poroz taşı konulmuştur. Böylelikle numune deneye hazır hale gelmiştir. Bir sonraki aşama ise kaldıraç kolunu dengeye getirmektir. Bu işlemden sonra ise hücreye üstte bulunan poroz taşına kadar su doldurulur ve 5 dakika beklenir. Daha sonra 1 kPa yük yerleştirilir ve kaldıraç kolundaki civata gevşetilir. Böylelikle deneye başlanmış olunur. 24 saat sonra bu yük kaldırılıp yerine her 24 saatte bir artan şekilde 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa ve 400 kPa şeklinde yük yüklenmiştir. 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 ve 1440 dakikada meydana gelen ölçümler kaydedilmiştir. Her bir numune için bu işlemler yapılmıştır.

Deney bittikten sonra numunelerin şişme yüzdesi aşağıdaki formül ile bulunmuştur.

$$s_w = \left(\frac{\Delta H}{H} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

s_w : Şişme yüzdesi

ΔH : Yükseklik değişimi

H : Başlangıçtaki yükseklik

Seed vd.(1962) yaptıkları çalışmada sıkıştırılmış bir zeminin şişme potansiyelinin değerlendirilebilmesi için Tablo 4.2.deki değerlerin kullanılmasını önermiştir.

Tablo 4.3.Şişme potansiyelinin değeriendirilmesi (Seed vd, 1962)

Şişme Yüzdesi	Şişme Potansiyeli
0 – 1,5	Düşük
1,5 – 5	Orta
5 – 25	Yüksek
>25	Çok yüksek

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

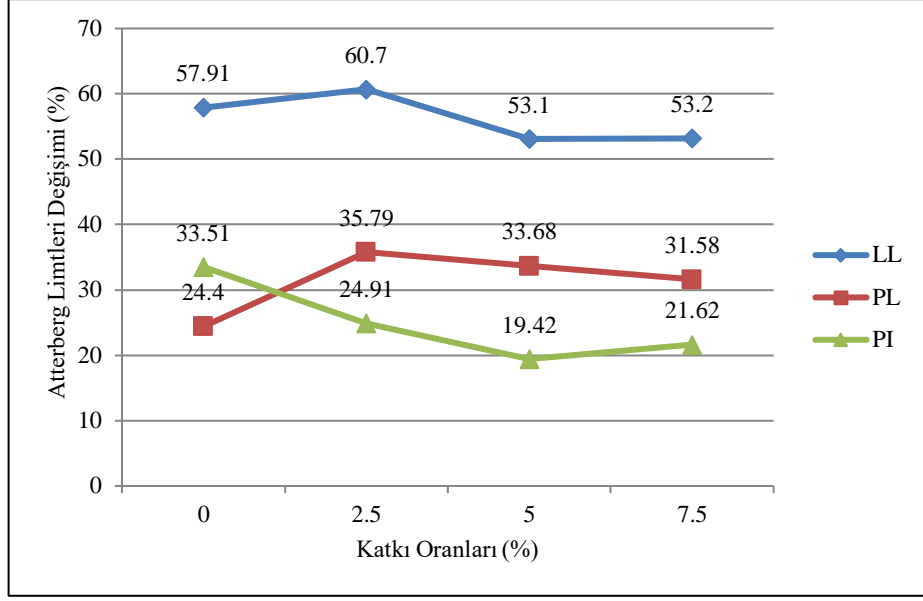
5.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında ASTM D 4318 standardına göre yapılan kıvam limitleri deney sonuçları Tablo 5.1.de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sadece %2,5 katkılı numunenin likit limit değerinde artış görülürken diğer katkı oranlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Katkı malzemesinin eklenmesi plastik limit değerlerini arttırırken plastisite indisi değerlerini azaltmıştır. Bu sonuçlar soncunda zemine atık malzemesinin eklenmesiyle zemin daha katı bir kıvama gelip inşaat mühendisliği açısından işlenebilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

%2,5 katkı, numunenin LL değerini %4,82 ve PL değerini %11,39 oranında artırmış, PI değerini ise %8,6 oranında azaltmıştır. %5 katkı, numunenin LL değerini %8,31 ve PI değerini %42,05 oranında azaltmışken PL değerini % 38,03 oranında arttırmıştır. %7,5 katkı ise numunenin LL değerini %8,13 ve PI değerini %11,89 oranında azaltmıştır. PL değerini ise %29,43 oranında arttırmıştır. Şekil 5.1.de katkı oranlarında göre değişen kıvam limitleri değerlerinin grafiği verilmiştir.

Tablo 5.1. Numunelerin kıvam limitleri değerleri

Numune Adı	Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
%0 Katkılı Zemin	57,91	24,4	33,51
%2,5 Katkılı Zemin	60,7	35,79	24,91
%5 Katkılı Zemin	53,1	33,68	19,42
%7,5 Katkılı Zemin	53,2	31,58	21,62



Şekil 5.1. Atterberg limitlerinin değişimi

5.2. Proktor Deneyi Sonuçları

ASTM D 698 standardına göre yapılan Standart Proktor deneyi sonucunda %0, %2,5, %5 ve %7,5 atık malzeme içeren numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri bulunmuştur. Tablo 5.2.de bu değerler verilmiştir.

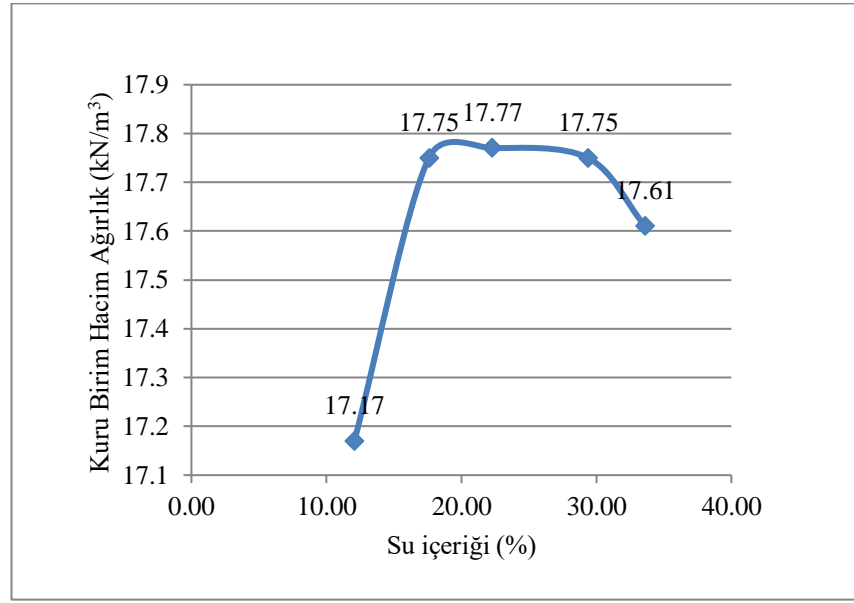
Yapılan Proktor deneyi sonucunda doğal zemine atık malzemenin eklenmesiyle bütün katkı oranlarında doğal zemine göre w_{opt} değeri artmış, γ_{kmax} değeri ise azalmıştır. Kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki bu düşüşten dolayı zeminin taşıma gücünde bir azalma, boşluk oranında bir artma meydana geldiği söylenebilir.

Tablo 5.2.Numunelerin w_{opt} ve γ_{kmax} değerleri

Proktor Deneyi Sonuçları							
%0		%2,5		%5		%7,5	
w_{opt}	γ_{kmax} (kN/m^3)	w_{opt}	γ_{kmax} (kN/m^3)	w_{opt}	γ_{kmax} (kN/m^3)	w_{opt}	γ_{kmax} (kN/m^3)
19,5	17,8	30,8	12,58	25,8	12,8	31,2	12,7

Doğal zemin üzerinde yapılan Proktor deneyi sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlık $17,8 kN/m^3$, optimum su içeriği %19,5 olarak bulunmuştur.

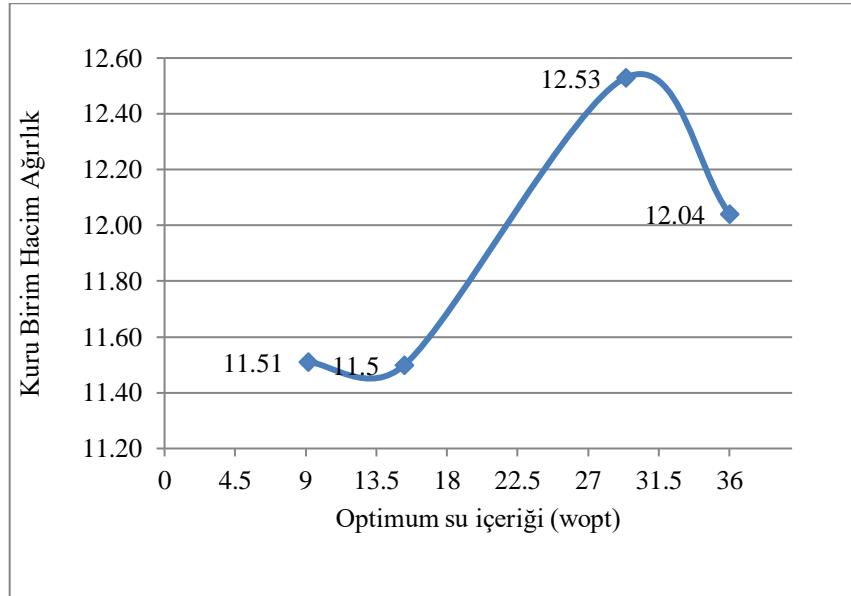
Şekil 5.2.de doğal zemine ait kompaksiyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.2. Doğal zemine ait kompaksiyon eğrisi

Doğal zemine ağırlıkça %2,5 atık malzeme eklenerek hazırlanan numunede, optimum su muhtevasında bir artış, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde ise bir azalma meydana gelmiştir. Optimum su içeriği % 57,95 artarak % 30,8; maksimum kuru birim hacim ağırlık %29,32 azalarak 12,58 kN/m³ olmuştur.

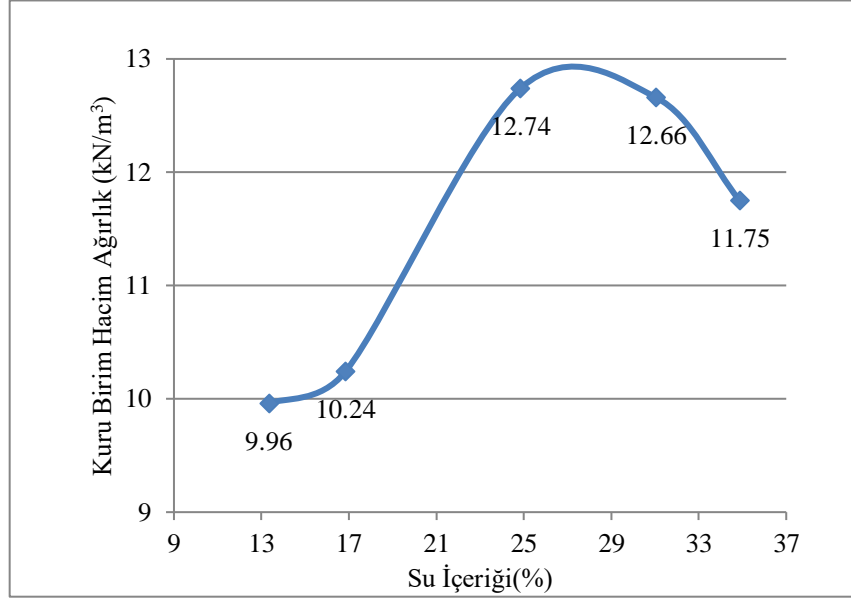
Şekil 5.3.te %2,5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi sunulmuştur.



Şekil 5.3. %2,5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi

Doğal zemine ağırlıkça %5 atık malzeme eklenerek hazırlanan karışımda, optimum su muhtevasında artış, maksimum kuru birim hacim ağırlıkta ise azalma görülmüştür. Optimum su muhtevası %32,31 artarak % 25,8; maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise %28,09 azalarak 12,8 kN/m³ değerine ulaşmıştır.

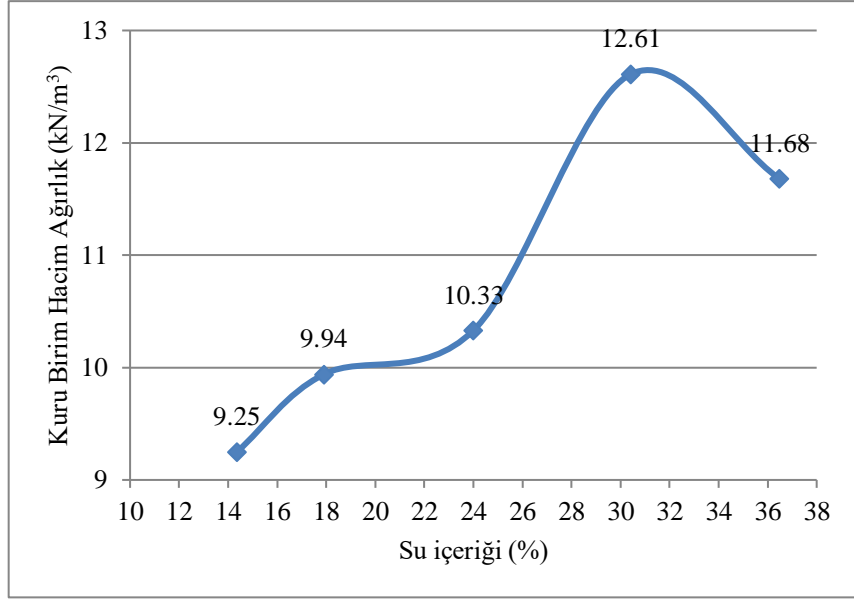
Şekil 5.4.te %5 atık malzeme içeren numunenin kompaksiyon eğrisi verilmiştir.



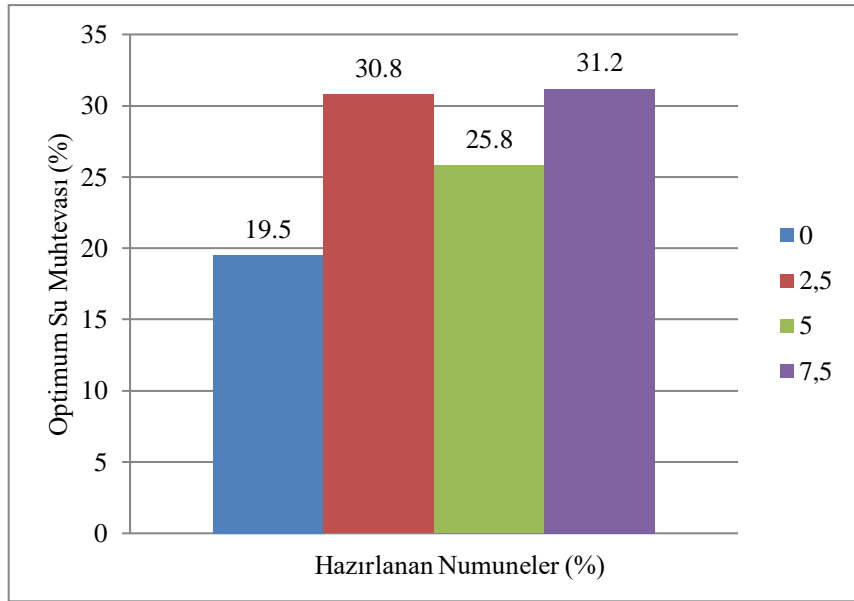
Şekil 5.4.%5 katkı numuneye ait kompaksiyon eğrisi

Doğal zemine ağırlıkça %7,5 atık malzeme eklenerek hazırlanan karışımda, optimum su içeriğinde artış, maksimum kuru birim hacim ağırlığında ise azalma görülmüştür. Optimum su içeriği %60 oranında artarak %31,2; maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise %28,65 azalarak 12,7 kN/m³ olmuştur.

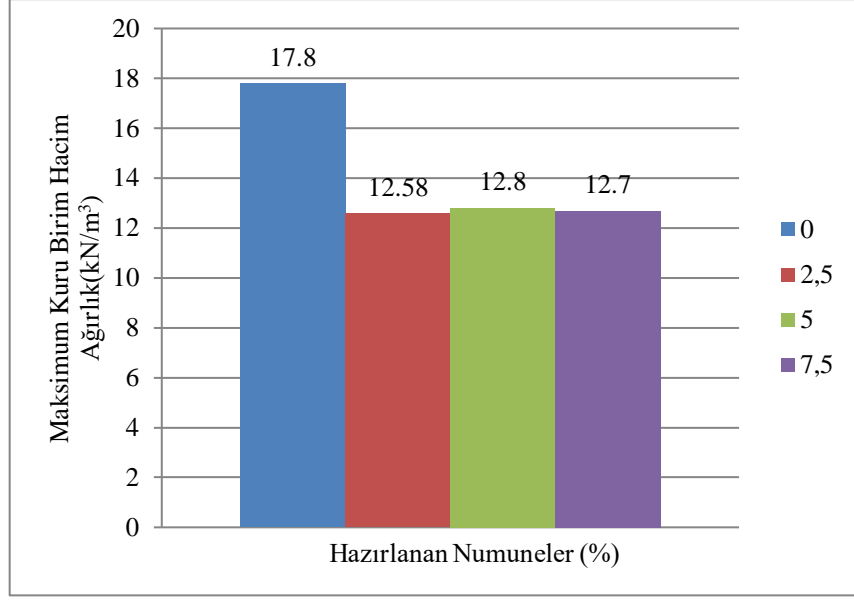
Şekil 5.5.te %7,5 atık malzeme içeren numunenin kompaksiyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 5.5. %7,5 katkılı numuneye ait kompaksiyon eğrisi



Şekil 5.6.Hazırlanan numunelere ait optimum su muhtevası değerleri



Şekil 5.7. Hazırlanan numunelere ait maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri

5.3. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Standart Proktor deneyi sonucunda bulunan optimum su içeriğine göre sıkıştırılan doğal zemin ve %2,5, %5, %7,5 atık malzeme içeren karışımların, ASTM 4546 standardının A yöntemine göre yapılan konsolidasyon deneyi ile şişme yüzdesi değerleri bulunmuştur. Sadece %2,5 atık malzeme içeren karışımda şişme yüzdesinde artış meydana gelmiştir. Bu artışın sıkıştırmadan kaynaklı olduğu, bundan dolayı da boşluk oranı yüksek çıktığı için şişme yüzdesinde bir artış meydana geldiği düşünülmüştür. %5 ve %7,5 katkılı numunelerde ise şişme yüzdesinin azaldığı belirlenmiştir.

Doğal zeminin şişme potansiyeli %8,18 olarak bulunmuştur. Doğal zemine, %2,5 atık malzeme eklenerek hazırlanan karışımın şişme potansiyeli, %18,1 artarak %9,66 olmuştur. %5 atık malzeme içeren karışımda şişme potansiyeli %12,59 oranında azalarak %7,26 olmuştur. Doğal zemin ve ağırlıkça %7,5 atık malzeme içeren karışım ise şişme potansiyelini %10,54 oranında azaltmıştır ve şişme potansiyeli %7,31 olarak bulunmuştur.

Plastisite indisi ile şişme yüzdesi arasında paralellik olduğu görülmüştür. Plastisite indisinin en yüksek olduğu %2,5 atık içeren numunenin, şişme yüzdesi en yüksek değerdir. Aynı şekilde plastisite indisini en düşük olduğu %5 atık içeren numunenin şişme yüzdesi en düşük değerdir.

Optimum su içeriği ile şişme yüzdesi arasında net bir ilişki görülmemiştir. En yüksek optimum su içeriğine sahip olan numunenin şişme yüzdesi %7,31 iken; bu değere en yakın optimum su içeriği değeri olan %30,8 için şişme potansiyeli %9,66 çıkmıştır.

Şişme yüzdesine göre sınıflandırıldığında doğal zeminin, yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Atık malzemenin eklenmesi şişme yüzdesini düşürmüştür fakat şişme potansiyeli sınıflandırılmasında bir değışikliğe sebep olmamıştır.

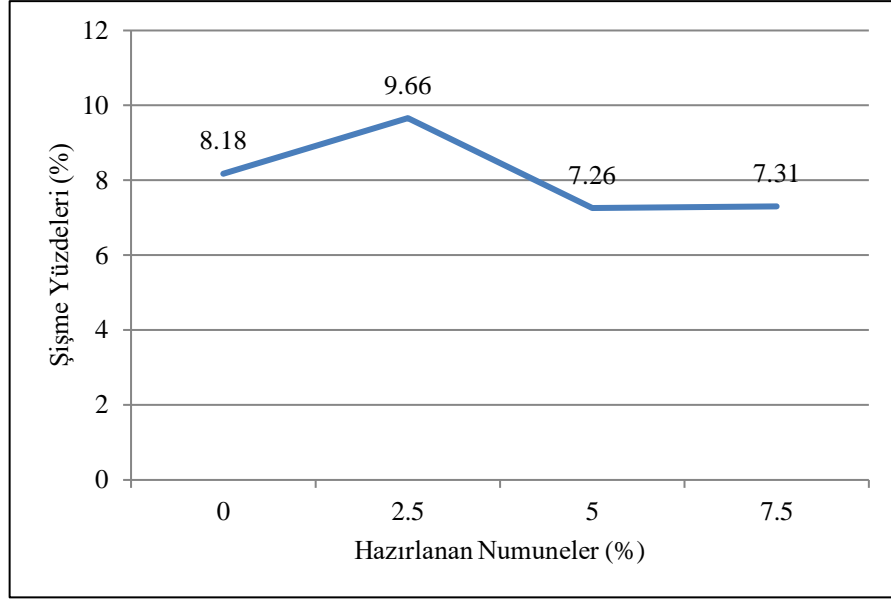
Tablo 5.3. Konsolidasyon sonrası numunelerin şişme yüzdesi ve boşluk oranı değerleri

Numune Adı	Şişme Yüzdesi (%)	Boşluk oranı
0%	8,18	0,89
2,5%	9,66	1,06
5%	7,31	0,93
7,5%	7,26	0,96

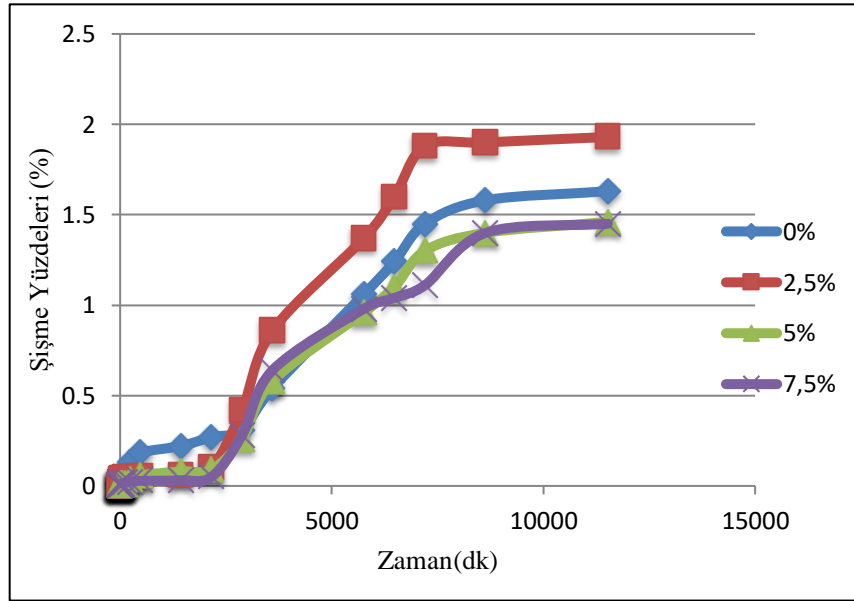
Tablo 5.4.Şişme potansiyelindeki değışiklik

Numune adı	Şişmedeki Değişiklik (%)
%2,5	18,1
%5	-12,59
%7,5	-10,54

(-) : Azalmayı gösterir.



Şekil 5.8. Numunelere ait şişme yüzdeleri değişimi



Şekil 5.9. Numunelerin şişme miktarının zamanla değişimi

6.SONUÇLAR

Şişen zeminlerin stabilizasyonunda birçok yöntem kullanılmaktadır. Son yıllarda ise atık malzemelerle iyileştirme önem kazanmıştır. Bu çalışmada ise mobilya atığı kullanılarak şişen zeminlerin özelliklerini iyileştirmek için deney çalışması yapılmıştır. %0, %2,5, %5 ve %7,5 atık malzeme içeren karışımlar üzerinde Atterberg limitleri, Proktor deneyi, konsolidasyon deneyi uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarındaki bazı tutarsızlıkların sebebi kil zeminin tabaklanma durumu, deney aletlerinin hassasiyeti gibi sebeplerden meydana gelmiş olabilir. Deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Yapılan elek analizi sonucunda zeminin yüksek plastisiteli inorganik kil (CH) sınıfına ait olduğu bulunmuştur.
- Atterberg limitleri deneyleri sonucunda likit limit değerinin %2,5 katkılı numunede arttığı, %5 ve %7,5 atık malzeme içeren numunede azaldığı, plastik limit değerinin ise bütün katkı oranlarında arttığı, plastisite indisi değerinin ise bütün katkı oranlarında azaldığı görülmüştür. En düşük LL ve PI değeri %5 katkılı numunede, en yüksek PL değeri ise %2,5 katkı içeren numunede elde edilmiştir.
- Plastisite indisi değeri ile şişme yüzdesi değerleri arasında bir paralellik mevcuttur. Bu paralellik neticesinde en uygun sonuç %5 atık içeren numunede görülmüştür.
- Standart Proktor deneyi sonucunda doğal zemine, atık malzemenin eklenmesiyle γ_{kmax} değerinin azaldığı, w_{opt} değerinin ise arttığı görülmüştür. En yüksek optimum su içeriği %7,5 katkılı numunede, en düşük kuru birim hacim ağırlık değeri ise %2,5 katkılı numunede elde edilmiştir.
- Şişme yüzdesi değerleri katkı miktarlarına göre değişiklik göstermiştir. Atık malzemenin katkı oranının artmasıyla şişme yüzdesi arasında doğrusal bir ilişki belirlenememiştir. Fakat şişme potansiyelini %12,59 oranında azaltan, %5 atık malzeme içeren numunede en etkili iyileştirme görülmüştür. Bu istenen seviyede bir iyileştirme olmamakla

beraber atık malzemenin, şişme özelliklerini azaltmada etkili olabileceğini ortaya koymuştur.

7.ÖNERİLER

Atık malzemenin etkisini daha iyi belirleyebilmek için atık malzeme farklı boyutlarda ve farklı katkı oranlarında hazırlanabilir. Ek olarak atık malzemeyle hazırlanan numuneler kür uygulamasına tabii tutulabilir. Ayrıca şişme basıncı- şişme yüzdesi ilişkisi de inceleme konusu olabilir.

KAYNAKÇA

- Acar, F. (2019). *Kutlubey-Yazıcılar Bölgesi Killerinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Çatalağzı Uçucu Külü İle Stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Bartın.
- Alami, M.E. (2018). *Improvement of strength properties of clayey soils for construction purposes*, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 66, Elazığ.
- Alpyürür, M. (2018). *Zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gazbeton kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 147, İstanbul.
- Al-Rawas, A. A. (1999). "The factors controlling the expansive nature of the soils and rocks of Northern Oman". *Engineering Geology*. 53/3. 327-350.
- Angın, Z. ve A. Angın (2005). "Şişen killerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi". *Geoteknik Sempozyumu*, 365-380.
- Aqra, D. (2021). *Stabilization of expansive soils using pumice, lime, and Marble*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Trabzon.
- Aziz, A. (2012). *Improvement of expansive soil using industrial wastes*. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 98, Gaziantep.
- Balaban, F. (2019). *Kurşun-çinko maden atığının zemin stabilizasyonunda değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 186, İstanbul.
- Barışoğlu, E. N. (2019). *Re-use of waste materials to improve mechanical properties of soft soil* Eskişehir Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 98, Eskişehir.
- Başer, O. (2009). *Stabilization of expansive soils using waste marble dust*. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 116, Ankara.
- Bilge, T. (2011). *Yüksek fırın cürufu katkısının kil zeminlerin stabilizasyonuna etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 122, Balıkesir.
- Bilgen, G. (2011). *Öğütülmüş çelikhane cürufu, kireç ve deniz suyunun killerin iyileştirilmesinde kullanımı*. Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 294, Kocaeli.
- Bilondi, M.P., M. M. Toufigh and V. Toufigh. (2018). "Experimental investigation of using a recycled glass powder-based geopolymer to improve the mechanical behavior of clay soils". *Construction and Building Materials*. 170. 302-313.
- Brackley, I.J.A. (1973) . "Swell pressure and free swell in a compacted clay". *Proceedings of 3rd international conference on expansive clay*. 169-176.
- Brewer, R. (1965). *Fabric and Mineral Analysis Of Soils*. New York: John Wiley & Sons.
- Charlie, W. A., M.A. Osman and E.M. Ali. (1984). "Construction on expansive soils in Sudan". *Journal Of Construction Engineering and Management*. 110/3. 359-374.

- Chebet F.C. and D. Kalumba. (2014). "Laboratory investigation on re-using polyethylene (plastic) bag waste material for soil reinforcement in geotechnical engineering". *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal*. 1/1, 67-82.
- Chen, F. H. (1975). *Foundation On Expansive Soils*. New York: Elsevier Publications.
- Çağlar, C. (2019). *Şişen killi zeminlerin kıvılcak çamur ile stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 133, Ankara.
- Çetin, A. Y. (2011). *Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeysel zemin stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 143, İstanbul.
- Çetin, M. (2003). *Değişik çevresel koşullar altında, şişen zeminlerin özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Kütahya.
- Çiftçi, G. (2004). *Şişen zeminlerin Trabzon içme suyu arıtma tesisi atık çamuru ile stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 147, Trabzon.
- Çimen, Ö., H.İ. Günaydın ve S.N. Keskin. (2016). "Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23/3, 205-253.
- Çokça, E. (2002). "Relationship between methylene blue value, initial soil suction and swell percent of expansive soils". *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 26, 521- 529.
- Dağlı, E. (2021). *Uçucu kül stabilizasyonunun killi zeminlerin dayanım ve durabilite özelliklerine etkisi*. Doktora Tezi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 313, Zonguldak.
- Dakshinamurthy, V. and V. Raman. (1977). "Identification of expansive soils from classification tests". *1st National Symposium On Expansive Soils*. 1-8.
- Das, B.M.T. and N. Sivakugan. (1995). *Principles of foundation engineering*. Boston U.S.A.: A Division Of International Thomson Publishing Inc.
- Dayan, M. (2019). *Stabilization of lime stabilized clay reinforced with synthetic fibers and silica fume*. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 50, Muğla.
- Dehghanian, K. (2021). "Killi zeminlerin özelliklerinin uçucu kül kullanarak iyileştirilmesi". *Alkü Fen Bilimleri Dergisi*, 3/1, 1-7.
- Demir, E. (2019). *Yüksek plastisiteli kil stabilizasyonunda silis dumanı ve mermer atıklarının kireçle beraber kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 106, Bayburt.
- Dereli, B. (2013). *Bor ve amorf silikanın bentonitin mühendislik özelliklerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 74, Isparta.
- Dhatrak, A.I., S. D. Konmare and S.P. Tatewar. (2016). "Performance of randomly oriented plastic waste in flexible pavement, performance of randomly oriented plastic waste in flexible pavement". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 5/12. 20529- 20537.

- Diallo, M.L. (2019). *Atık malzeme kullanımı ile kil zeminlerin stabilizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 99, Bursa.
- Diallo, M.L. ve Y. S. Ünsever. (2019). “İnşaat yıkıntı atığı ve kireçle kil zeminin stabilizasyonu üzerine deneysel bir çalışma”. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 26/6, 1-5.
- Dif, A. E. and W. F. Bluemel (1991). “Expansive soils under cyclic drying and wetting”. *Geotechnical Testing Journal*, 14/1, 96-102.
- Duggal, P., A.S. Shisodia., S. Havelia and K. Jolly. (2020). “Use of waste plastic in wearing course of flexible pavement”. *Advances In Structural Engineering and Rehabilitation*. 177-187.
- Duman, V. (2021). *Midyat taşı atıklarının düşük plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi. Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Bayburt.
- Etminan, E. (2012). *Soft soil stabilization using fly ash, polypropylene, copolymer and Vhp*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 157, İstanbul.
- Fauzi, A., Z. Djauhari and U. J. Fauzi. (2016). “Soil engineering properties improvement by utilization of cut waste plastic and crushed waste glass as additive”. *Iacsit International Journal Of Engineering And Technology*. 8/1.15-18.
- Garaisayev, S. (2008). *Şişen zeminlerin kimyasal yöntemlerle stabilizasyonu*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 188, İstanbul.
- Genç, S. (2009). *Şişen zeminler ve bentonit – kaolin karışımlarının şişme özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 115, İstanbul.
- Gens, A. and E.E. Alonso. (1992). “A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays”. *Canadian Geotechnical Journal*, 29, 1013-1032.
- Gizienski, S.F. and J.L. Lee. (1965). “Comparison of laboratory swell tests to small scale field”. *International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils*. 1-7.
- Gücek, S. (2011). *Mermer tozu ve uçucu külün kül zeminlerin güçlendirilmesinde kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 101, Afyon.
- Gümüşer, C. (2009). *Uçucu kül ve polipropilen elyaflarla zayıf zeminlerin stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 167, Sivas.
- Günaydın, M. (2011). *İyi derecelenmiş zeminlerin silis dumanı ve fosfojips ile stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 142, Sivas.
- Gündüz, O. (2008). *Şişen zeminlerin tınkal atığı ile stabilizasyonu ve meselik killerine uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 73, Eskişehir.
- Hardcastle, J.H. (2003). *Evaluation And Treatment Of Expansive Volcanic Soils. US95, Owyhee County, Idaho*. Moscow: National Institute for Advanced Transportation Technology.

- Hassan, D. İ. (2016). *Stabilization of a clayey soil using waste ceramic tiles*. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 87, Gaziantep.
- Hergül, T. (2012). *An Experimental study on the treatment of expansive soils by granular materials*. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 363, Ankara.
- Hidalgo, C., G. Carvajal and F. Muñoz. (2019). "Laboratory Evaluation Of Finely Milled Brick Debris As A Soil Stabilizer". *Sustainability*. 11/4. 967-979.
- Holtz, W. G. and H. J. Gibbs. (1956). "Engineering properties of expansive clays". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121/1, 641-663.
- İşık, F., R. K. Akbulut., A. Ş. Zaimoğlu ve S. Arasa. (2015). "Kil zeminlerin iyileştirilmesinde atık doğal liflerin kullanılabilirliği". 6. Geoteknik Sempozyumu. 688-698.
- İkizler, S.B. ve Z. Angın. (2018). "Assessment of swelling pressure of stabilized bentonite". *Geomechanics and Engineering*. 15/6. 1219-1225.
- Jullien, A., C. Proust, L. L. Forestier and P. Baillif. (2002). "Hydro-chemio-mechanical coupling effects on permeability and swelling behaviour of a Ca smectite soaked by Cu Solutions". *Applied Clay Science*, 21/3-4. 143-153.
- Kazemikhosrowshahi, S. (2014). *Stabilization of expansive soil using copolymer, homopolymer, polypropylene, fly ash and lime*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, İstanbul.
- Keskin, S.N. (1993). *İstanbul neojen kilinin şişme davranışına, ön konsolidasyonun, mineralojik özelliklerin ve çevresel faktörlerin etkisi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 152, İstanbul.
- Khazaei, J. and H. Moayedi. (2017). "Soft expansive soil improvement by eco-friendly waste and quick lime". *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 8337-8346.
- Kızılcılık, M.M. (2010). *Yüksek plastisiteli bir kilin kireç ile stabilizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 129, Kocaeli.
- Koloğlu, S. (2021). *Şişen zeminlerin stabilizasyonunda katkı malzemesi olarak deniz kabuğu, kireç ve zeolit kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 104, Trabzon.
- Küçükosmanoğlu, M. (2019). *Bazalt fiberin zemin iyileştirilmesinde kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 80, Sakarya.
- Mai, R.K., P. Sarathkumar, V. Dinesh and N.Satnish. (2017). "Pet as soil stabilization material". *International Journal of Chemtech Research*. 10/11, 127-130.
- Mallikarjuna, V. and T. B. Mani. "Soil stabilization using plastic waste". *International Journal Of Research in Engineering and Technology*. 5/5. 391-394.
- Manuel, M. and S. J. A. (2014). "Stability Analysis Of Kuttanad Clay Reinforced With Pet Bottle Strips". *International Journal Of Engineering Research & Technology*. 3/11. 361-363.
- McKeen, R.G. (1992). "A model for predicting expansive soil behavior". *Proceedings of The 7th International Conference on Expansive Soils*. 1-6.

- Muntohar, A.S., A. Widiarti, E. Harton and W.Diana. (2013). "Engineering properties of silty soil stabilized with lime and rice husk ash and reinforced with waste plastic fiber". *Journal of Materials in Civil Engineering*. 25/9. 1260- 1270.
- Nelson, J.D. and D.J. Miller (1992). "Expansive soils problems and practices in foundation and pavement engineering". New York: John Wiley & Sons.
- Ocakbaşı, P. (2019). *Bazalt Fiber Katkısının Killi Zeminlerin Drenajsız Kayma Direncine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, Sakarya.
- Ohri, M.L. (2003). "Swelling pressure of clays and its control". *International Conference On Problematic Soils*. 427-433.
- Ola, S.A. (1978). "The geology and geotechnical properties of the black cotton soils of northeastern Nigeria". *Engineering Geology*. 12. 375-391.
- Olphen, H. V. (1964). *An introduction to clay colloid chemistry*. New York: Williams & Wilkins .
- Özkan, İ. (2015). *Improvement of expansive soils by using phosphogypsum*. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 128, Ankara.
- Özsoy, A. (2021). *Laboratory evaluation of geotechnical characteristics of two waste materials: stone powder blends with brick dust*. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 137, Gaziantep.
- Pal, S., V. K. Sonthwal and J.S. Rattan. (2015). "Soil stabilization using polypropylene as waste fibre material". *International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering and Technology*. 4/11. 10459- 10469.
- Paramkusam, B.R., A. Prasad and C.S. Arya. (2013). "A study on Cbr behavior of waste plastic (PET) on stabilized red mud and fly ash". *International Journal Of Structural and Civil Engineering Research*, 2/3. 232- 240.
- Peddaiah, S., A. Burman and S. Sreedeeep. (2016). "Experimental study on effect of waste plastic bottle strips in soil improvement". *Geotechnical and Geological Engineering*. 36. 2907–2920.
- Pekdemir, Y. (2013). *Silis dumani, kırmızı çamur ve kireç ile muamele edilmiş mikronize bir kilin bazı geoteknik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Erzurum Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 68,Erzurum.
- Pektaş, C. (2012). *Muhtelif katkı malzemeleri ve/veya donatı kullanımı ile yapılan zemin iyileştirme(stabilizasyon) yöntemlerinin teorik ve deneysel olarak ayrıntılı bir irdeleme ve değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 169, İzmir.
- Poweth, M.J., F.M. Haneef, M.T. Jacob, R.Krishnan and S. Rajan. (2014). "Effect of plastic granules on the properties of soil". *Femeeda Muhammed Haneef Et Al Int. Journal Of Engineering Research and Applications*. 4/4.160-164.
- Raman, V. (1967). "Identification of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data". *Indian Engineering*. 11/1. 17-22.
- Rengmark, F. and R. Erikson. (1953). "Apparatus of soil suction in expansive soil compression and elastic properties of soils". *Proceedings 3rd ICSMFE*. 1. 180-183.
- Richards, B.G., P. Peter and R. Martin. (1984). "The determination of volume change properties in expansive soils". *Proceedings 5th I.C.E.S. Adelaide*. 179-186.

- Saygılı, A., M. Dayan and M. R. Kahyaoğlu. (2016). “Kireçle zenginleştirilmiş kaolin kilinin dayanım özellikleri üzerinde silis dumanı ve sentetik liflerin etkisi”. *Zemin Mekaniği Ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi*.
- Seed, H. B., R.J. Woodward Jr. and R.Lundgren. (1962). “Prediction of swelling potential for compacted clays”. *Journal Of The Soil Mechanics and Foundations Division ASCE*. 88/6, 107–131.
- Seed, H.B. and C.K. Chan. (1959). “Structure and strength characteristics of compacted clays”. *Journal Of Soil Mechanics And Foundation Division ASCE*, 85/5. 87- 128.
- Shah, A. and H.Modha. (2020). “Improving the soil subgrade with plastic waste reinforcement—an experimental study”. *Advances in Sustainable Construction Materials and Geotechnical Engineering, Lecture Notes in Civil Engineering*. 35. 153-161.
- Sharma, R.S. and S.J. Wheeler. (2000). “Behaviour of an unsaturated highly expansive clay during cycles of wetting and drying”. *UNSAT-ASIA 2000*. 721-726.
- Sivakumar, B., S. Chouksey, G. Anoocha and K. G. Manjari. (2010). “Strength and compressibility response of plastic waste mixed soil”. *Indian Geotechnical Conference*, 553-556.
- Sivapullaiah, P. V., T.G. Sitharam and K.S. Rao. (1987). “Modified free swell index for clays”. *Geotechnical Testing Journal*. 10/2.80-85.
- Skempton, A. W. (1953). “The colloidal activity of clays”. *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Switzerland*. 1. 57-61.
- Snethen, D.R. (1980). “Characterization of expansive soils using soil suction data”. *4th International Conference on Expansive Soils*. 54-75.
- Sridharan, A. and K. Prakash. (2000). “Classification procedures for expansive soils”. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering*.143/4.235-240.
- Sridharan, A., P.C. Kondel, S. Rao and S. Joshi. (1990). “Classification of expansive soils by sediment volume method”. *Geotechnical Testing Journal*.13/4, 375-380.
- Şenol, A. , S.B. İkizler, E. Etminan ve G. Demir. (2014). “Improvement of low plasticity clayey soils using polypropylene fibers” *Geo-Hubei 2014 International Conference On Sustainable Civil Infrastructure*.
- Şentürk, İ. (2019). Zemin iyileştirilmesinde çürüfların kullanılabilirliği ve performansının karşılaştırmalı analizi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 91, Karabük.
- Tran, K.Q., T. Satomi and H. Takahashi. (2018). “Effect of waste cornsilk fiber reinforcement on mechanical properties of soft soils”. *Transportation Geotechnics*. 16. 76-84.
- Tran, K. Q., T. Satomi and H. Takahashi. (2018). “Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers”. *Construction and Building Materials*. 178. 204-210.
- Turan, E. (2019). *Bor atığı kil pestillerinin mühendislik özellikleri ve yüksek plastisiteli kilin stabilizasyonunda kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 113, Erzurum.
- Usta, M. (2004). *Atık mermer tozunun zeminlerin serbest basınç dayanımına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 165, Afyon.

- Uzuner, B.A. (2000). *Temel Mühendisliğine Giriş*, Trabzon: Derya Yayınevi.
- Vural, P. (2012). *Şişme ve dispersif karakteristikteki kil zeminlerin mühendislik özelliklerine çimento ve zeolitin (doğal puzolan) etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 186, Eskişehir 2012.
- Wong, R. C. K. (1998). "Swelling and softening behaviour of la biche shale". *Canadian Geotechnical Journal*. 35. 206-221.
- Yeşilbaş, G. (2004). *Stabilization of expansive soils using aggregate waste, rock powder and lime*. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 129, Ankara.
- Yeşilçiçek, H. (2016). *Kolemanitin zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 127, Trabzon.
- Yıldırım, Ü. E. (2009). *Şişen killer ve tünel tasarımına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 156. İstanbul.
- Yılmaz, F. (2015). *Tüfit taşların zemin stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanılabilirliğinin standart deneyler ve bilgisayarlı tomografi tekniği ile araştırılması*, Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 201, Trabzon.
- Yılmaz, I. ve E. Karacan. (1998). "Zeminlerin Şişme Özellikleri". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*. 52. 17-26.
- Yılmaz, Y. ve Ü. Sevcen. (2010). "Polipropilen fiber ve uçucu kül katkılı Ankara kilinin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması". *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*.
- Yong, R. N. and B. P. Warkentin. (1975). *Soil properties and behaviour*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Zineb B., B. Abdülmalek and A.M.S. Mohammed. (2016). "Laboratory study of the influence of mineral salts on swelling". *Canadian Center of Science and Education*. 2/2.135-142.

EKLER

Ek1. %0 Katkılı zeminin likit limit deneyi sonuçları

LİKİT LİMİT	Kap No	1	2	3	4	5
	Darbe Adeti	45	30	21	17	13
	Yaş numune+kap (g)	40,77	47,06	50,52	49,38	51,30
	Kuru numune+kap (g)	34,55	38,71	43,92	43,26	44,53
	Su miktarı (g)	6,22	8,35	6,60	6,12	6,77
	Kap (g)	23,23	23,92	32,31	32,81	33,06
	Kuru numune(g)	11,32	14,79	11,61	10,45	11,47
	Su içeriği (%)	54,95	56,46	56,85	58,56	59,02
	Likit Limit (LL) (%)			57,91		

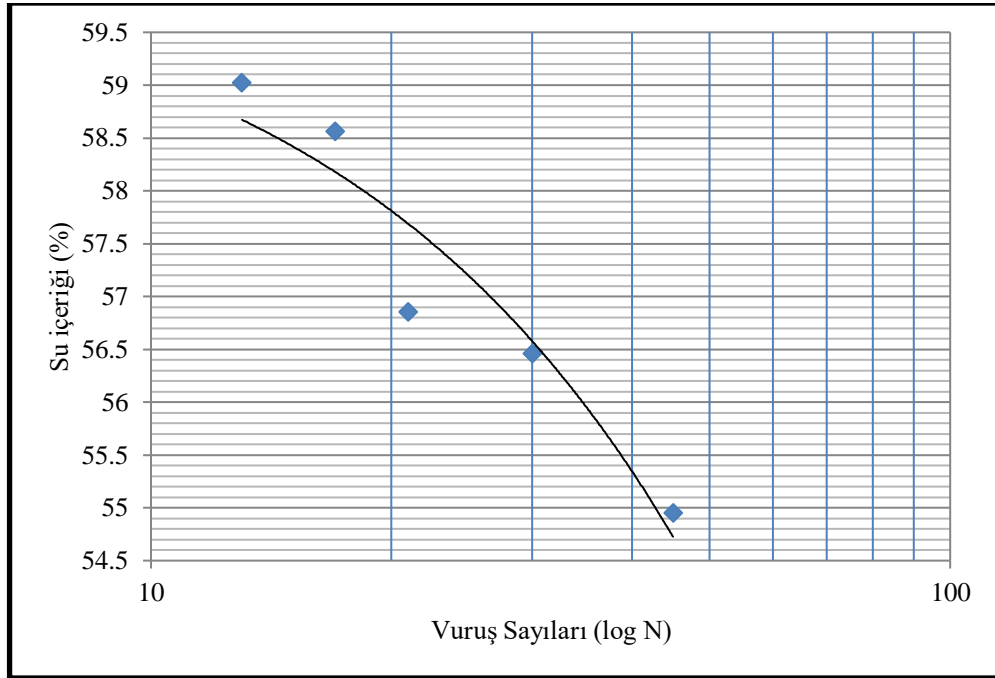
Ek 2. %0 Katkılı zeminin plastik limit deneyi sonuçları

PLASTİK LİMİT	Kap No	6	7
	Yaş numune+kap (g)	43,06	48,63
	Kuru numune+kap(g)	41,04	45,83
	Su miktarı(g)	2,02	2,8
	Kap(g)	32,73	34,42
	Kuru numune (g)	8,31	11,41
	Su içeriği (%)	24,3	24,5
	Plastik Limit (PL) (%)	24,4	

Ek 3. %0 Katkılı zeminin kıvam limitleri değerleri

%0	Katkılı	Zemin
İçin Kıvam Limitleri Sonuçları		
Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
57,91	24,4	33,51

Ek4. %0 Katkılı zeminin likit limit grafiği



Ek 5. %2,5 Katkılı zeminin likit limit deneyi sonuçları

LİKİT LİMİT	Kap No	1	2	3	4	5
	Darbe Adeti	45	30	21	17	13
	Yaş numune+kap (g)	31,55	40,85	34,79	44,63	46,26
	Kuru numune+kap(g)	26,76	33,34	27,77	35,82	37,58
	Su miktarı (g)	4,79	7,51	7,02	8,81	8,68
	Kap (g)	15,74	20,47	15,44	21,80	24,99
	Kuru numune (g)	11,02	12,87	12,33	14,02	12,59
	Su içeriği (%)	43,47	58,35	56,93	62,84	68,94
	Likit Limit (LL) (%)	60,7				

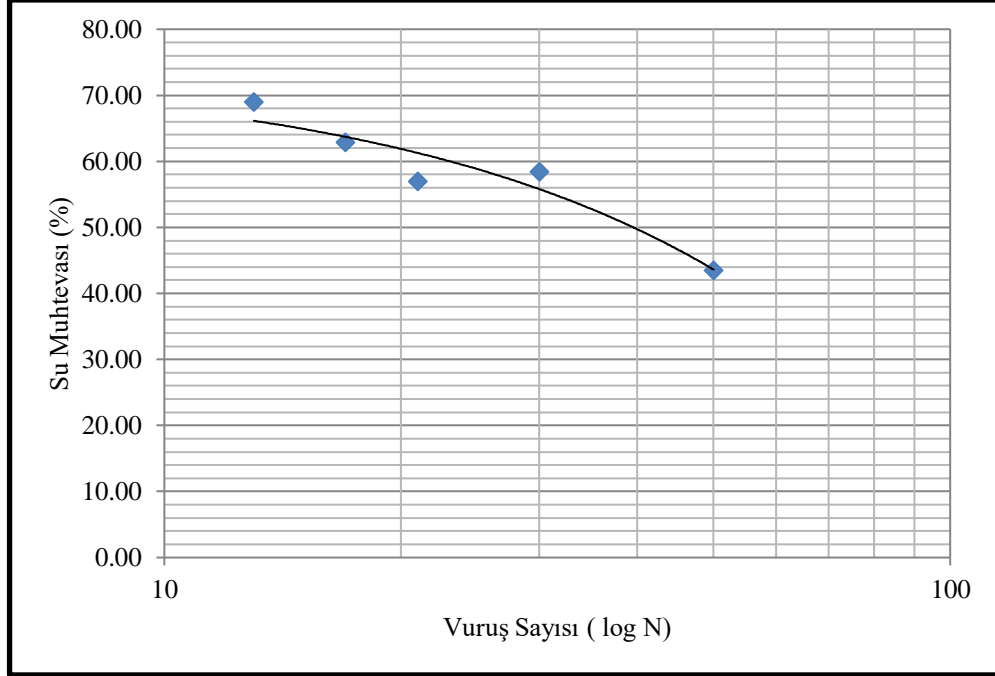
Ek 6. %2,5 Katkılı zeminin plastik limit deneyi sonuçları

PLASTİK LİMİT	Kap No	6	7
	Yaş numune+kap (g)	20,12	19,58
	Kuru numune+kap (g)	19,06	18,61
	Su miktarı (g)	1,06	0,97
	Kap (g)	16,04	15,95
	Kuru numune (g)	3,02	2,66
	Su içeriği (%)	35,10	36,47
	Plastik Limit (PL) (%)	35,79	

Ek 7. %2,5 Katkılı zeminin kıvam limitleri değerleri

%2,5 İçin Kıvam Limitleri	Katkılı	Zemin
Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
60,7	35,79	24,91

Ek 8. %2,5 Katkılı zeminin likit limit grafiği



Ek 9. %5 Katkılı zeminin likit limit deneyi sonuçları

LİKİT LİMİT	Kap No	1	2	3	4	5
Darbe Adeti		40	30	22	16	10
Yaş numune+kap (g)		31,72	39,47	30,91	40,59	45,49
Kuru numune+kap (g)		26,72	33,56	25,95	34,38	37,75
Su miktarı (g)		5,00	5,91	4,96	6,21	7,74
Kap (g)		15,74	20,47	15,44	21,80	24,99
Kuru numune (g)		10,98	13,09	10,51	12,58	12,76
Su içeriği (%)		45,54	45,15	47,19	49,36	60,66
Likit Limit (LL) (%)		53,1				

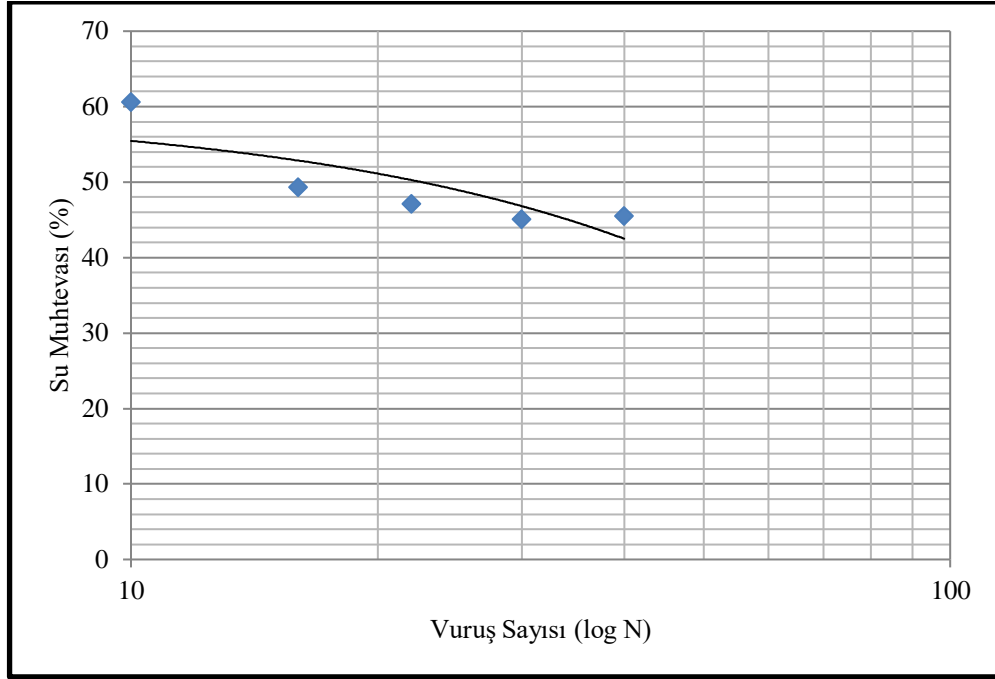
Ek 10. %5 Katkılı zeminin plastik limit deneyi sonuçları

PLASTİK LİMİT	Kap No	6	7
Yaş numune+kap (g)		20,36	18,46
Kuru numune+kap (g)		19,22	17,83
Su miktarı (g)		1,14	0,63
Kap(g)		16,04	15,95
Kuru numune (g)		3,18	1,88
Su içeriği (%)		35,85	33,51
Plastik Limit (PL) (%)		33,68	

Ek 11. %5 Katkılı zeminin kıvam limitleri değerleri

%5 Katkılı Zemin İçin Kıvam Limitleri Sonuçları		
Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
53,1	33,68	19,34

Ek 12. %5 Katkılı zeminin likit limit grafiği



Ek 13. %7,5 Katkılı zeminin likit limit deneyi sonuçları

LİKİT LİMİT	Kap No	1	2	3	4	5
Darbe Adeti		55	38	30	23	17
Yaş numune+kap (g)		30,44	44,70	39,94	36,46	45,49
Kuru numune+kap (g)		26,30	39,41	32,94	30,48	39,15
Su miktarı (g)		4,14	5,29	7,00	5,98	6,34
Kap (g)		15,77	28,17	18,11	18,11	28,00
Kuru numune (g)		10,53	11,24	14,83	12,37	11,15
Su içeriği (%)		39,32	47,06	47,20	48,34	56,86
Likit Limit (LL) (%)		53,2				

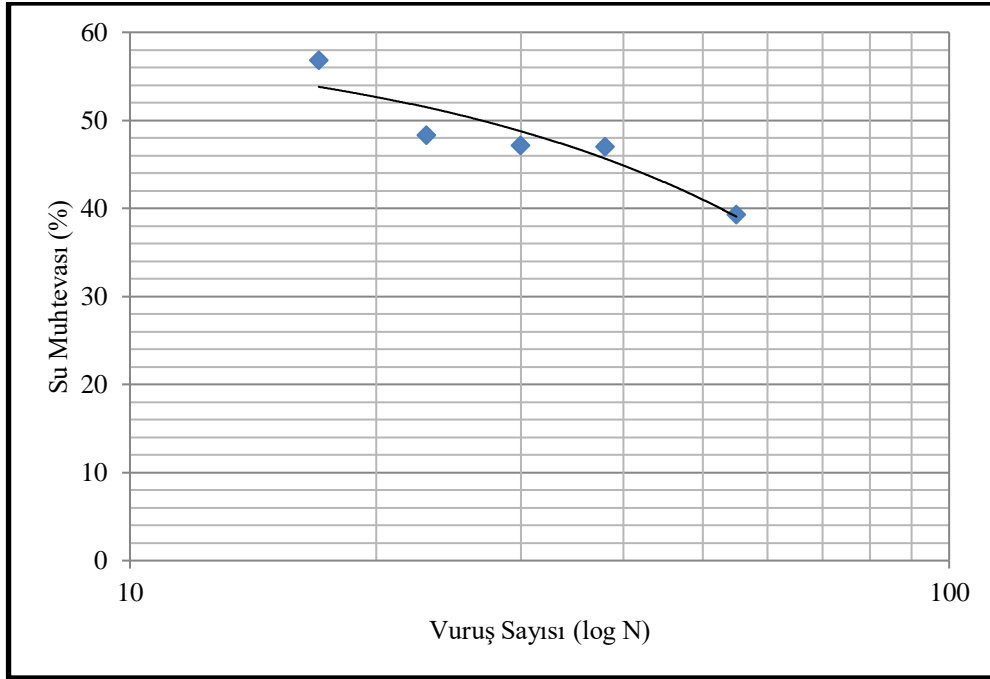
Ek 14. %7,5 Katkılı zeminin plastik limit deneyi sonuçları

PLASTİK LİMİT	Kap No	6	7
Yaş numune+kap (g)		31,42	32,44
Kuru numune+kap(g)		30,52	31,35
Su miktarı (g)		0,9	1,09
Kap (g)		27,58	28
Kuru numune (g)		2,94	3,35
Su içeriği (%)		30,61	32,54
Plastik Limit (PL) (%)		31,58	

Ek 15. %7,5 Katkılı zeminin kıvam limit değerleri

%7,5 İçin Kıvam Limitleri Sonuçları	Katkılı	Zemin
Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
53,2	31,58	21,62

Ek 16. %7,5 Katkılı zeminin likit limit grafiği



Ek 17. %0 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu γ_{kmax} değerleri

Kuru Birim Hacim Ağırlık Hesabı					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp+ Yaş numune (g)	3492,27	3656,25	3742,24	3865,23	3922,22
Kalıp ağırlığı (g)	1569,46	1569,46	1569,46	1569,46	1569,46
Yaş numune ağırlığı (g)	1922,81	2086,79	2172,78	2295,77	2352,76
Kalıp hacmi (m³)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Yaş birim ağırlık(kN/m)	19,23	20,87	21,73	22,96	23,53
Kuru birim ağırlık (kN/m³)	17,17	17,75	17,77	17,75	17,61
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) (kN/m³)	17,8				

Ek 18. %0 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu w_{opt} değerleri

SU İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp ağırlığı (g)	22,87	25,5	25,01	26,57	24,84
Kap+yaş numune ağırlığı (g)	104,38	83,33	95,42	101,87	97,58
Kap+kuru numune ağırlığı (g)	95,6	74,68	82,59	84,77	79,28
Su ağırlığı (g)	8,78	8,65	12,83	17,1	18,3
Kuru Numune Ağırlığı (g)	72,73	49,18	57,58	58,2	54,44
Su içeriği (%)	12,07	17,59	22,28	29,38	33,61
Optimum su içeriği (w_{opt}) (%)	19,5				

Ek 19. %2,5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu γ_{kmax} değerleri

KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK HESABI				
KALIP NUMARASI	1	2	3	4
Kalıp+ Yaş numune (g)	2825,73	2895,73	3189,81	3206,63
Kalıp ağırlığı (g)	1569,31	1569,3	1569,31	1569,31
Yaş numune ağırlığı (g)	1256,42	1326,42	1620,50	1637,32
Kalıp hacmi (m³)	0,001	0,001	0,001	0,001
Yaş birim ağırlık(kN/m³)	12,56	13,26	16,21	16,37
Kuru birim ağırlık (kN/m³)	11,51	11,50	12,53	12,04
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (ρ_{max}) (kn/m³)	12,58			

Ek 20. %2,5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu w_{opt} değerleri

SU İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI				
KALIP NUMARASI	1	2	3	4
Kalıp ağırlığı (g)	15,74	20,47	21,8	24,99
Kap+yaş numune ağırlığı (g)	52,71	54,24	62,29	72,76
Kap+kuru numune ağırlığı (g)	49,61	49,76	53,09	60,11
Su ağırlığı (g)	3,1	4,48	9,2	12,65
Kuru Numune Ağırlığı (g)	33,87	29,29	31,29	35,12
Su içeriği (%)	9,15	15,30	29,40	36,02
Optimum su içeriği (w_{opt})	30,8			

Ek 21. % 5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu γ_{kmax} değerleri

KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK HESABI					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp+ Yaş numune (g)	2894,09	2962,53	3355,72	3424,51	3350,81
Kalıp ağırlığı (g)	1765,41	1765,41	1765,41	1765,41	1765,41
Yaş numune ağırlığı (g)	1128,68	1197,12	1590,31	1659,10	1585,40
Kalıp hacmi (m³)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Yaş birim ağırlık (kN/m³)	11,29	11,97	15,9	16,59	15,85
Kuru birim ağırlık (kN/m³)	9,96	10,24	12,74	12,66	11,75
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax})(kN/m³)	12,8				

Ek 22. %5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu w_{opt} değerleri

SU İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp ağırlığı (g)	22,87	25,5	25,51	26,57	24,84
Kap+yaş numune ağırlığı (g)	69,67	58,38	56,27	78,08	77,06
Kap+kuru numune ağırlığı (g)	64,16	53,64	50,15	65,88	63,56
Su ağırlığı (g)	5,51	4,74	6,12	12,2	13,5
Kuru Numune Ağırlığı (g)	41,29	28,14	24,64	39,31	38,72
Su içeriği (%)	13,34	16,84	24,84	31,04	34,87
Optimum su içeriği (w_{opt}) (%)	25,8				

Ek 2.23. % 7,5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu γ_{kmax} değerleri

KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK HESABI					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp+ Yaş numune (g)	2823,45	2937,58	3046,38	3410,32	3359,55
Kalıp ağırlığı (g)	1765,31	1765,31	1765,31	1765,31	1765,31
Yaş numune ağırlığı (g)	1058,14	1172,27	1281,07	1645,01	1594,24
Kalıp hacmi (m³)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Yaş birim ağırlık (kN/m³)	10,58	11,72	12,81	16,45	15,94
Kuru birim ağırlık (kN/m³)	9,25	9,94	10,33	12,61	11,68
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) (kN/m³)	12,7				

Ek 2.24. % 7,5 Katkılı zeminin Proktor deneyi sonucu w_{opt} değerleri

SU İÇERİĞİNİN HESAPLANMASI					
KALIP NUMARASI	1	2	3	4	5
Kalıp ağırlığı (g)	15,74	20,47	15,44	21,8	24,99
Kap+yaş numune ağırlığı (g)	46,17	46,75	52,38	66,14	69,06
Kap+kuru numune ağırlığı (g)	42,35	42,76	45,23	55,8	57,28
Su ağırlığı (g)	3,82	3,99	7,15	10,34	11,78
Kuru Numune Ağırlığı (g)	26,61	22,29	29,79	34	32,29
Su içeriği (%)	14,36	17,90	24,00	30,41	36,48
Optimum su içeriği (w_{opt}) (%)	31,2				

ÖZ GEÇMİŞ

Elif Esra Baştan, Samsun'da doğdu. Samsun Huriye Süer Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ İnşaat Mühendisliği yüksek lisans programına girdi. 2018 yılında Kuzey Kent Yapı Denetim'de kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2020 yılında Tatkar İnş. Hayv. San. Tic. A.ř. Doğu Grubu İlçeler-1 İçme Suyu İnşaatında çalışmaya başladı. şuan Sosyal Güvenlik Kurumunda çalışmaktadır. Orta derecede İngilizce bilmektedir

Orcid No: 0000-0003-0574-4765