



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI

KATKI MALZEMELERİNİN KİLLERDEKİ KURUMA
ÇATLAKLARI DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raziye ALTINSOY BOZKURT

122303406

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

AKSARAY 2015

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Killerdeki büzülme ve kuruma çatlaklarının oluşumunu incelemek amacı ile yürütülen bu çalışmada, farklı katkı malzemelerinin kuruma çatlaklarının oluşumuna etkisi değerlendirilmiştir. Avanos kilinin kullanıldığı deneylerde likit limit su muhtevastaki kil örneklerine kireç, uçucu kül ve mermer tozu katkı malzemeleri farklı oranlarda karıştırılarak kurumaya bırakılmıştır. Kuruma süresince belli aralıklarla kil yüzeyindeki kuruma çatlakları fotogrametrik yöntemler kullanılarak gözlemlenmiş ve katkı malzemelerinin kuruma çatlaklarına olan etkisi değerlendirilmiştir.

Raziye ALTINSOY BOZKURT

AKSARAY, HAZİRAN 2015

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu ve bu eserleri her kullarışımda alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım. Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Raziye ALTINSOY BOZKURT

İMZA

TEŞEKKÜR

Üniversite eğitiminin boyunca ve bu çalışmada; emeğini, bilgisini, yardımını hiç esirgemeyip, bana hep yol gösteren, anlayışlı ve çok kıymetli hocam Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ' ye teşekkürlerimi sunuyorum. Aynı zamanda fotogrametrik çalışmalarda İmagej programının kullanımı ile ilgili açıklamaları ve yardımlarından dolayı çok kıymetli hocam Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, hep desteklerini hissettiğim, bana güç veren, başta babam Mahir ALTINSOY, annem Müzeyyen ALTINSOY, kardeşim Servet ALTINSOY, eşim Özkan BOZKURT ve canım kızım Miray Neva BOZKURT' a tüm kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunuyorum.

Raziye ALTINSOY BOZKURT

Aksaray, Haziran 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
DOĞRULUK BEYANI.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2. ZEMİNLERİN KATKI MALZEMELERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ	10
3. KİLLİ MALZEMELERİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ.....	14
3.1.Killerin Fiziksel Özellikleri	15
3.2.Killerin Kimyasal Özellikleri.....	16
3.3.Killerin Mineralojisi.....	16
3.3.1.Kaolinit mineralleri	18
3.3.2.İllit mineralleri	19
3.3.3.Smektit mineralleri.....	20
3.3.4.Klorit mineralleri.....	20
3.3.5.Karışık tabakalı killer	21
3.4.Killerin Bileşimi.....	21
3.5.Killerin Şişme Potansiyeli ve Şişme Yüzdesi	22
4. PLASTİSİTESİ YÜKSEK AKTİF KİLLERİN ISLAHINDA KULLANILAN KATKI MALZEMELERİ	23
4.1.Uçucu Kül	23
4.2.Mermer Tozu.....	25
4.3.Kireç.....	27
5. MATERYAL VE METOD	30
6. DENEY SONUÇLARI.....	39
6.1.Uçucu kül-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi.....	39
6.2.Kireç-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi.....	49
6.3.Mermer tozu-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi.....	59
6.4.Kil örneğinin katkısız durumdaki kuruma çatlaklarına etkisi.....	69
6.5.İmagej programı	71
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKÇA	85
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

KATKI MALZEMELERİNİN KİLLERDEKİ KURUMA ÇATLAKLARI DAVRANIŞINA ETKİSİ

Bu çalışmada killi malzemelerin kuruma ve büzülme aşamalarında ortaya çıkan kuruma çatlaklarının oluşum süreçleri incelenmiştir. Plastiklik özelliği baskın olan ve aktivitesi yüksek killi zemin malzemesi Avanos bölgesinden temin edilmiştir. Çalışmada değişik katkı maddeleri kullanılarak, farklı içerikli killi zemin kompozisyonları oluşturulmuştur. Katkılı ve katkısız olarak deney örnekleri üzerinde kıvam limitleri saptanmış, büzülme davranışları ve hacim değişimleri saptanmış ve farklı karışımlar içeriğindeki plastisite değerleri bulunmuştur. Numunelerin kuruma öncesinde likit limit kıvamında suya doyurularak kuruma süreçleri gözlemlenmiştir. Suyu doymuş olan zemin numuneleri oda sıcaklığında ve güneş ışığından korunaklı bir ortamda kurumaya bırakılmış ve belirli zaman aralıklarında su muhtevası kayıpları, plastisite değişimleri ve kuruma ile oluşan kil yüzeyindeki çatlama miktarları belirlenmiştir. Bu kapsamda kullanılan katkı malzemelerinin zeminde en belirgin olan plastisite düşümleri üzerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Kurumanın beraberinde getirdiği çatlakların oluşum süreci ise özellikle kil tabaka yüzeyinde ortaya çıkan çatlak alanının, bütün alana oranının belirlenmesi ile sağlanmıştır. Yüksek çözünürlükle çekilen dijital fotoğraflar üzerinde çatlak alanları ve çatlama alanları birbirleri ile göreceli olarak karşılaştırılmış, İmagej programında hesaplanan çatlak alanlarına bağlı olarak oransal ifade edilerek, grafikleri çizilmiş ve kuruma-çatlama arasındaki karmaşık ilişki kimyasal katkı malzemesinin etkinliğini dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuruma Çatlakları, Zemin İyileştirme, Katkı Malzemeleri

ABSTRACT

DRYING IN THE SUPPLEMENTARY MATERIALS CLAY EFFECT OF CRACK BEHAVIOUR

In this study the formation process of the emergence of desiccation cracks in the clay material drying and shrinkage stage were investigated. The predominant activity of high plasticity and clay soil material were obtained from Avanos. Using different additives in the study were created clayey soils containing different compositions. Doped and undoped samples as determined consistency limits on experiments, shrinkage behavior and volume changes were observed and different mixtures of plasticity in the content. The consistency of liquid limit water saturating the dry process was observed before the drying of samples. Water saturated with ground samples were left to dry in an environment protected from the ambient temperature and sunlight and water content loss at predetermined time intervals, cracking quantities in plasticity changes and the clay surface formed by drying is determined. The effect was evaluated on the significant reduction of the plasticity of the soil additive materials used in this context. The process of formation of cracks brought about the drying out cracks in areas particularly exposed at the surface of the clay layer is made by determining the ratio of the whole area. High resolution compared the relative taken with your digital photos on a cracked areas and cracked areas of each other, depending on the area of the cracks calculated in Imagej program by expressing proportional, chart, drawn and complex relationship between enterprise-cracking is evaluated by taking into account the effectiveness of chemical additives.

Keywords: Drying Cracks, Ground Improvement, Additives

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1: Kil zemin mikro yapısının şematik gösterimi (Mitchell, 1993).	15
Şekil 3.2: (a) Silis levhasının yapısı, (b) Silis levhasının basitleştirilmiş çizimi (Mitchell, 1976).....	17
Şekil 3.3: (a) Oktahedral levhanın yapısı, (b) Oktahedral levhanın basitleştirilmiş çizimi (Mitchell, 1979).....	17
Şekil 3.4: Kaolinit-Serpantin grubu minerallerin yapısı a)Kaolinit b)Serpantin (Mitchell, 1976).....	18
Şekil 3.5: Mika benzeri kil mineralinin yapısı a)Muskovit ve illit b)Vermikülit (Mitchell, 1976).....	19
Şekil 3.6: Smektit minerallerin yapısı a) Montmorillonit b)Saponit (Mitchell, 1976). 20	
Şekil 3.7: Klorit minerallerinin yapısı (Mitchell, 1976).	21
Şekil 4.1: Uçucu kül.	24
Şekil 4.2: Mermer tozu (İzmit).	26
Şekil 5.3: Zeminlerde su muhtevası-hacim değişimi-kıvam limitlerinin belirlenmesi. 34	
Şekil 5.4: Cassagrande deney aleti.	35
Şekil 5.5: Cassagrande deney aleti ile likit limit değerinin tayin edilmesi.....	35
Şekil 5.6: Plastik limit.	36
Şekil 5.7: Cassagrande plastisite kartı.	37
Şekil 6.1: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%3).	39
Şekil 6.3: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%3).	40
Şekil 6.4: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%5).	41
Şekil 6.5: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%5).	41
Şekil 6.6: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%5).	42
Şekil 6.7: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%7).	42
Şekil 6.8: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%7).	43
Şekil 6.9: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%7).	43
Şekil 6.10: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%9).	44
Şekil 6.11: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%9).	44
Şekil 6.12: Kil uçucu kül karışımı 56. Gün (%9).	45
Şekil 6.13: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%11).	45
Şekil 6.14: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%11).	46
Şekil 6.15: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%11).	46
Şekil 6.16: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%13).	47
Şekil 6.17: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%13).	47
Şekil 6.18: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%13).	48
Şekil 6.19: Kil kireç karışımı 1.gün (%3).	49
Şekil 6.20: Kil kireç karışımı 28.gün (%3).	50
Şekil 6.21: Kil kireç karışımı 56.gün (%3).	50
Şekil 6.22: Kil kireç karışımı 1.gün (%5).	51
Şekil 6.23: Kil kireç karışımı 28.gün (%5).	51

Şekil 6.25: Kil kireç karışımı 1.gün (%7).....	52
Şekil 6.26: Kil kireç karışımı 28.gün (%7).....	53
Şekil 6.27: Kil kireç karışımı 56.gün (%7).....	53
Şekil 6.28: Kil kireç karışımı 1.gün (%9).....	54
Şekil 6.29: Kil kireç karışımı 28.gün (%9).....	54
Şekil 6.30: Kil kireç karışımı 56.gün (%9).....	55
Şekil 6.31: Kil kireç karışımı 1.gün (%11).....	55
Şekil 6.32: Kil kireç karışımı 28.gün (%11).....	56
Şekil 6.33: Kil kireç karışımı 56.gün (%11).....	56
Şekil 6.34: Kil kireç karışımı 1.gün (%13).....	57
Şekil 6.35: Kil kireç karışımı 28.gün (%13).....	57
Şekil 6.36: Kil kireç karışımı 56.gün (%13).....	58
Şekil 6.37: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%3).	59
Şekil 6.38: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%3).	60
Şekil 6.39: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%3).	60
Şekil 6.40: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%5).	61
Şekil 6.41: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%5).	61
Şekil 6.42: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%5).	62
Şekil 6.43: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%7).	62
Şekil 6.44: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%7).	63
Şekil 6.45: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%7).	63
Şekil 6.46: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%9).	64
Şekil 6.47: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%9).	64
Şekil 6.48: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%9).	65
Şekil 6.49: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%11).	65
Şekil 6.50: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%11).	66
Şekil 6.51: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%11).	66
Şekil 6.52: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%13).	67
Şekil 6.53: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%13).	67
Şekil 6.54: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%13).	68
Şekil 6.55: Katkısız kil örneği 1.gün.	69
Şekil 6.56: Katkısız kil örneği 28.gün.	70
Şekil 6.57: Katkısız kil örneği 56.gün.	70
Şekil 6.58: Kireç %3, 7.gün.....	72
Şekil 6.59: İmagej programında çatlak bölgelerin işaretlenmesi (kireç %3, 7.gün)..	72
Şekil 6.60: İşaretlenen çatlak bölgenin sınırlandırılması (kireç %3, 7.gün).....	73
Şekil 6.61: Uçucu kül ve katkısız kil.....	78
Şekil 6.62: Kireç ve katkısız kil.....	79
Şekil 6.63: Mermer tozu ve katkısız kil.....	79
Şekil 6.64: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%3)ve katkısız kil.....	80
Şekil 6.65: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%5) ve katkısız kil.....	80
Şekil 6.66: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%7)ve katkısız kil.....	81
Şekil 6.67: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%9) ve katkısız kil.....	81
Şekil 6.68: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%11) ve katkısız kil.....	82
Şekil 6.69: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%13) ve katkısız kil.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1: Kıvam limitleri	37
Çizelge 6.1: Hesaplanan çatlak alanı (kireç %3, 7. Gün)	73
Çizelge 6.2: Katkı maddeli (%3, %5, %7) killi zeminin hesaplanan alanları.....	74
Çizelge 6.3: Katkı maddeli (%9, %11, %13) killi zeminin hesaplanan alanları.....	75
Çizelge 6.4: Katkı maddeli (%3, %5, %7) killi zeminin alanlarının oranları.....	76
Çizelge 6.5: Katkı maddeli (%9, %11, %13) killi zeminin alanlarının oranları.....	77

SİMGELER DİZİNİ

LL	:Likit Limit
PL	:Plastik Limit
PI	:Plastisite İndeksi
C_c	:Zeminin Sıkışma İndisi
S_L	:Rötre Limit

KISALTMALAR DİZİNİ

CIF :Yüzeyde Meydana Gelen Çatlak Boyutlarının Toplam Yüzey Alanına Oranı

TS :Türk Standardı

CH :Yüksek Plastisiteli Kil

CBR :Kaliforniya Taşıma Oranı

ASTM:Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu

1.GİRİŞ

Kil içeriğine sahip aktif zeminlerde su tutma ve bırakma özelliğine bağlı olarak, hacim değişimi neticesinde özellikle hafif ağırlıklı yığma türü yapılarda hasar oluşturduğu bilinmektedir. Bu durum özellikle iklimsel ve yağış durumuna göre değişmektedir. Ortalamam yıllık yağış miktarı nispeten yüksek olan bölgelerde, bu problem çok daha önem kazanmaktadır. Problemin tehlikeli yanı ise, şişme büzülme özelliğine sahip killi zeminler üzerine inşa edilecek olan yapı temellerinin dayanımını da büyük ölçüde etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Killi zeminlerin şişme-büzülme özelliğinden dolayı, inşa edilecek yapının temelinde oluşan oturmalar ve kabarmalar yapının uzun süreli dayanımı azaltmaktadır. Yıllar içerisinde tekrarlanan şişme ve büzülme davranışı killi zemini yüzeyinde oturma ve kabarmalarla stabilitesini bozarak mukavemet değerlerini düşürmektedir. Bu tez çalışmasına konu olan büzülme davranışı sürecinde ortaya çıkan çatlakların ise özellikle kil tabakasının geçirimsizlik karakterini etkileyen bir tarafı bulunmaktadır. Geçirimsiz ortamlar sağlamak için kullanılan killeri çatlaklar sonrasında geçirimsizlik özelliğini büyük ölçüde kaybetmektedir. İlerde üzerinde durulacağı üzere bazı killer kuruma çatlakları oluşması sonrasında killi zeminler geçirimsizliklerini 500 kata kaybedebilmektedirler. Baraj ve çöp sahalarının geçirimsizliğini sağlamak için kullanılan bu türden killerin bu nevi bozulmalar neticesinde permeabilite özelliklerini kaybetmeleri kullanım amaçlarını ortadan kaldırmaktadır.

Konunun önemi nedeni ile kaynaklarda deneysel ve nümerik birçok çalışma yürütülmüştür. Yapı güvenliğini sağlamak amacı ile yapılan bu çalışmalarda, birçok tasarım ve önlem kriterleri tanımlanmıştır. Drenaj önlemlerinin alınması, ortamın su kaybına imkan sağlamayacak şekilde düzenlenmesi bu kapsamda problemlerin giderilmesi adına alınacak önlemler olarak değerlendirilebilir. Göz önünde tutulması gereken bir başka yöntem ise, kilin mikro ölçekte minerolojik yapısına müdahale ederek su ile ilişkisini mümkün olan en etkin ölçüde azaltmaya çalışmaktır. Bu kapsamda katkı malzemeleri ile killi zeminlerin iyileştirilmesi (plastiklik özelliklerinin düşürülmesi) kullanılabilir yöntemlerden biridir.

Zemin iyileştirmesinde (Stabilizasyon) zemin özelliklerinin iyi tespit edilmesi ve uygun katkı maddelerinin seçilmesi ilk ve en önemli adımdır. Zemine katkı maddeleri katılarak yapılan iyileştirme yöntemleri çok farklı amaçlarla ve sıklıkla kullanılmaktadır. Zemin problemlerinin çözümüne yönelik, ekonomik, kolay ulaşılabilen ve etkin katkı maddelerinin başında; kireç, çimento, bitüm, uçucu kül, bentonit, reçine gibi kimyasal katkılarıdır. Kaynaklar incelendiğinde, yüksek plastisiteli kili zeminlerin farklı katkı malzemeleri ile güçlendirilmesine sayısız laboratuvar ve arazi çalışmasına rastlamak mümkündür. Bunlardan bu çalışmaya yol gösterici nitelikte olan ve en çok atıf alan yayınlara değinmek gerekirse; Tang, Cui ve Shi (2011), bulamaç haline getirilmiş kil tabakalarında kuruma ve çatlama davranışlarını laboratuvar ortamında gözlemlemiştir.

Abdullah ve Alshibli (1999), yaptıkları çalışmalarda kompaksiyona uğramış killerdeki gözenek suyu kimyasının zeminin büzülme davranışına olan etkisini araştırarak, iyileştirme yöntemleri üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Al-Rawas, Taha, Nelson (2002), şişen zeminlerde çeşitli katkı maddeleri ile iyileştirme sağlanması ve geçirimsizlik tayini üzerine karşılaştırmalı deneysel değerlendirmeler yapmışlardır. Basma, Al-Hamoud ve Husein (1995), killerin şişme basıncı davranışını ve hacim değişimi sürecini laboratuvar ortamında incelemiştir.

Du, Li ve Hayashi (1999), sıkıştırılmış zeminlerde şişme büzülme karakteristikleri ve yüksek plastisiteli zeminlerin iyileştirilmesi konusunda çalışmışlardır. Değerlendirilen bu çalışmalar kapsamında söylenmelidir ki; yüksek plastisiteli aktif killi zeminlerin özelliklerinin bilinmesi, o zeminin hangi amaçla kullanılacağına öngörülmesi ve uygun iyileştirme yönteminin seçilmesi, etkin bir iyileştirme yapılabilmesinin ön koşullarıdır. Diğer bir deyişle; etkin bir iyileştirme işleminin yapılması, zeminin özelliklerinin bilinmesine ve uygun yöntemin seçilmesine bağlıdır.

Başer ve Çokca (2010), şişen zemin numunelerine artık mermer tozu ve kireçtaşı tozu ilave ederek iyileştirme çalışması yapmışlardır. Bu katkı maddelerinden %5 ile %30 arasında değişen oranlarda ekleyerek, geçirgenlik değişimi, serbest şişme hacim değişimi ve kıvam limit deneyleri yapmışlardır. Ayrıca 7 ve 28 günlük kürlü

numuneler hazırlayarak serbest şişme değerlerini tespit etmişlerdir. Kür ile birlikte şişme oranlarının %58' e kadar düştüğünü göstermişlerdir.

Akcanca ve Aytekin (2010), yaptıkları çalışmalarında, kum-bentonit karışımı kullanılarak inşa edilen atık depolama alanlarının, kireçle stabilizasyonu sonrası zeminin şişme basıncındaki değişimi irdelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, kireç ilavesinin su muhtevasını arttırdığı ve maksimum kuru yoğunluğu azalttığı tespit edilmiştir. Karışıma kireç ilave edilmesi numunenin şişme basıncını azaltmıştır.

Çakılcıoğlu (2007), yaptığı çalışmalarda bentonit kiline %10 kireç katkısının yanı sıra %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında zeolit ve uçucu kül eklemiştir. Katkı oranları farklı olan bu numunelere, başta basınç deneyi, kompaksiyon, kesme kutusu deneyi, özgür ağırlık, likit limit, plastik limit ve CBR deneyi gibi birçok deneyler uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda, %100 kil + %10 kireç + %5 zeolit + %5 uçucu kül katkılı karışımların stabilize edilecek zeminlerde temel tabakası olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Cömert (2010), çalışmalarında mermer tozu, uçucu kül ve atık kum gibi katkı maddelerini kullanarak iki farklı zemin numunesi üzerinde deneyler yapmışlardır. Karışımların sabit bir kompaksiyon sıkışması altında optimum su içeriği ile maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının değişimini irdelenmiştir. Kür süreleri de dikkate alınarak, serbest basınç dayanımları ve dane çapı dağılımları belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, numunelerin %40 oranında katkı maddesi ilavesinde maksimum kuru birim hacim ağırlığına ulaştığı, bu nedenle yol altyapısında kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Hasibul ve Ark., (2013) yaptığı çalışmada, killi zemini, kompozit katkı maddelerinden biri olan tuğla tozu ile karıştırılmıştır. Likit limit kıvamında su ile doyurulan karışımın doğal şartlarda kurumaya bırakılmış ve büzülme davranışı ile kuruma esnasında ortaya çıkan çatlaklar incelenmiştir. Laboratuvar deneyleri üç ana aşamadan oluşmuştur; karışım malzemelerinin hazırlanması, kurutularak görüntülerin alınması ve dijital görüntü analiz tekniği ile sayısal verilerin ortaya konmasıdır. Kullanılan deney numunelerinin boyutları 30cmx6cmx8cm olarak

seçilmiştir. Her karışım numunesinin çatlak boyutundaki değişim birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Hesaplanan çatlak alanları toplam alanlar esas alınarak oranlanmıştır. Kamera ekipmanı deney numunelerinin üst yüzeyinden 45cm yukarı yerleştirilmiştir. Bu yükseklik ve kamera yerleşimi bütün deney süresince sabit tutulmuştur.

Bütün ölçümler ve görüntülemeler materyal hazırlandıktan sonra 6 gün içerisinde tamamlanmıştır. Hasibul ve Ark., (2013) deneysel çalışmalarında elde edilen maksimum ve minimum CIF değerleri Hasibul ve Ark., (2013) sırası ile %5 ve %15 tuğla tozu eklenen kompozit karışımlarda elde edilmiştir. Hasibul ve Ark., (2013) deneysel çalışmalarının sonucunda %5, %10 aralığında katkı maddesi eklemenin, çatlama ve büzülme davranışlarında belirgin olarak azalttığını göstermişlerdir.

Yesiller ve Ark., (2000) zemin yüzeyinde meydana gelen çatlak ve büzülme boyutlarını dijital gözleme ve MATLAB yazılımından yararlanarak incelemiştir. Yesiller ve Ark., çatlak boyutları CIF (yüzeyde meydana gelen çatlak boyutlarının toplam yüzey alanına oranı) birimi ile ifade edilmiştir. Bütün yüzey örnekleri, sıkışma-kuruma ve ıslanma-kuruma döngüleri takip edilerek kaydedilmiş ve katkı maddesi eklenen her bir numunede bir sıkışma-kuruma ve tekrarlı ıslanma-kuruma döngüsü olacak şekilde gözlemlenmiştir. Yeşiller ve Ark.; en küçük CIF oranına % 7 katkı maddesi eklenen grupta ulaşmışlardır Çatlama büzülme davranışının zemine eklenen katkı maddelerinden etkilendiği gözlemlendi. Genel anlamda yüksek oranda katkı maddesi içeren numunelerde daha fazla büzülme, büzülme hızında artış ve yüksek miktarda çatlama; daha az katkı maddesi içeren numunelerde ise daha az çatlama meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çatlak boyutlarının genellikle yaklaşık ölçüm sağlayan metodlar kullanılarak hesaplandığı görülmektedir. Birçok çalışmada çatlak boyutlarının tahmini sayısal değerleri kullanılmıştır. Düzensiz şekiller ve kompleks geometri çatlak boyutlarının (uzunluk, genişlik ve derinlik) doğru ölçümünde zorluklara neden olmaktadır. Çatlak uzunluğuyla beraber genişlik ve derinlik düzenli bir yapı göstermemektedir. Maksimum uzunluk, genişlik ve derinlik bir tel veya cetvel yardımıyla ölçülmüştür.

Kleppe ve Olsen (1985), çatlak şiddetini 0-4 aralığında ortaya koyan bir skala geliştirdi. Al-Wahap ve El –Kedrah (1995), sayısal bir çatlama endeksi geliştirdi. Bu indekste çatlama alanının toplam yüzey alanına oranı esas alındı. Çatlak alanı hesaplanırken de uzunluk ve genişlik göz önünde bulunduruldu.

Taha ve Ark., (2011) zeminde nem kaybına bağlı oluşan büzülme davranışını incelemişlerdir. Özellikle ince daneli topraklar büzüşmeye ve bunun sonucunda oluşan hacim kaybına daha duyarlıdır. Büzülme davranışı, zeminde çatlaklara neden olmakta ve bu durum toprak davranışı ve mühendislik faaliyetlerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Sonuçta yapı bütünlüğü tehlikeye girmektedir. Yan etkiler toprak mukavemetinde azalma ve su geçişinde artmaya neden olmaktadır. Çatlaklar su transfer yolu oluşturmaktadır. Kırılan toprak kütleleri arasında su geçişleri kolaylaşmaktadır.

Sanchez ve Ark., (2011) yaptığı çalışmalarda, zeminin kuruma-çatlama davranışlarını incelemeyi amaçlanmış ve bu noktada Endonezya Bengawan Solo nehrinden alınan numuneler kullanmıştır. Bengawan Solo zemininin hacimsel büzülme oranı %16' dan düşük bulunmuştur. Düşük büzülme limitinin, şişme ve büzülme davranışı açısından, yüksek potansiyelle işaret edildiği tespit edilmiştir.

Plastisite indeksinin yüksek olduğu durumlarda şişme ve büzüşme davranışında artış olabilir; Büzüşme ve çatlama bağlı olarak meydana gelebilecek tehlikeli durumlar iri taneli katkı maddeleri kullanılarak minimize edilebilir (Kleppe, 1985). Daniel ve Wu (1993), kurak topraklarda sağlıklı bir zemin oluşturmak için düşük hidrolik iletkenliğe ve büzüşme değerlerine sahip killi toprak kullanımını önermişlerdir.

Zeminde meydana gelen çatlama davranışı kompleks bir olgudur. Bu durum kimyasal ve biyolojik değişiklikler içeren bir aşınmayı kapsar. Kuruma çatlama davranışı yüzey performansını önemli ölçüde etkiler. Oluşan çatlaklar yüzeyde zayıf bir alan oluşturur ve bu durum yüzeyin stabilite ve dayanıklılığını önemli ölçüde değiştirir. Bu çatlaklar aynı zamanda yüzeyde sıvı akım alanları meydana getirir ki, bu durum yüzeyin hidrolik iletkenliğinde artışa neden olur. Kuruma kütle yüzeyinde

hem çatlak oluşumuna, hem de büzölmeye neden olur. Çatlak formasyonu, aynı zamanda; yüzey kalınlığı, yüzey konfigürasyonu, kuruma oranı ve toplam kuruma zamanı üzerine etki eder. 1978 yılında Guidi' nin kullandığı elektrotik çözümlene ve 1992 yılında Lima' nın kullandığı fotografik görüntü analiz tekniğı, yüzey çatlama davranışı üzerine veri elde etmemizi sağlamıştır. Atmosfere sıvı kaybı nedeni ile astar yüzeyinde çatlaklar meydana gelir. Bu kuruma, zeminde büzölmeye ve zemin geriliminde artışa bağılı olarak çatlaklara neden olur.

Yıldız ve Ark., (2004) farklı özellikteki killi zemin numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Numuneler yüksek ve düşük plastisiteli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Deney sonuçlarına göre mukavemet parametrelerinde meydana gelen değışim iki tip zemin örneğı içinde farklılık göstermektedir. Yüksek plastisiteli olan Aksaray kilinin serbest basınç mukavemeti 28 gün kür sonucunda yaklaşık olarak on beş kat artmıştır. Düşük plastisiteli olan Doğanhisar kilinde ise mukavemet yirmi sekiz gün kür sonunda yaklaşık üç kat artmıştır. Donma-çözölme sonucunda ise her iki kil tipinde de serbest basınç mukavemetinde %10–15 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu durum soğuk mevsimlerde dahi kil zeminlerin kireç ile stabilize edilebileceğini göstermektedir.

Ekonomik açıdan ve birçok yönden düşünöldüğünde atık malzemelerin tekrar kullanımını önem kazanmaktadır. Bu malzemelerin kullanımında tercih edilen uygulama alanlarından başında gelen ise, inşaat sektörüdür. Literatürde atık malzemelerin kullanımına yönelik, birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, göçebilen bir zeminin iyileştirilmesinde atık pirinç kabuğı külü ve çimentonun birlikte kullanılabilceğı (Basha ve diğ., 2005), yüksek plastisiteli bir kil zeminin iyileştirilmesinde ağırlıkça % 2.5 oranında farklı katkı maddeleri ilave edilerek kullanılabilceğı (Atom ve Al-Sharif, 1998) belirtilmiştir. Katkı maddeleri ile iyileştirilmiş killerde, serbest basınç direncinin ve CBR değıerlerinin yükseldiğı ve bu katkı maddelerinin karayolu inşasında yumuşak alt temel iyileştirilmesinde kullanılabilceğı gösterilmiştir (Şenol ve Ark., 2006). Kireçle iyileştirilmiş zeminin şişme davranışına ıslanma kuruma devirlerinin etkisi araştırılmış (Güney ve Ark., 2007). Şişen Ankara kilinin mühendislik özelliklerine kireç stabilizasyonunun etkisi gösterilerek, şişme için optimum iyileştirmenin %4

kireç katkısı ve 28 günlük kür süresinde elde edildiği gösterilmiştir (Tonoz ve Ark., 2004).

Aydın ve Ark., (2010) Ankara Yenikent yerleşim alanı killerin sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılarak geoteknik özelliklerindeki iyileşmeyi incelenmiştir. Bu amaçla, inceleme alanını temsilen 5 farklı lokasyonda açılan araştırma çukurlarından numuneler alınmış ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kireç katkısının bölgedeki CH killerin iyileştirilmesinde uçucu kül katkısına göre daha etkili olduğu ve Yenikent kil zeminlerinde, şişme ve serbest basınç dayanımı parametrelerinde iyileştirme için, optimum kireç katkısının %7 olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, %5 ve %10 oranlarda uçucu kül katkısının, zeminin serbest basınç dayanımında, iyileştirmede önemli etkisinin olmasının yanında, şişme özellikleri bakımından çok az bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kızılcılık ve Ark., (2010) çalışmalarında Kocaeli ilindeki Uzunçiftlik mevkiinden alınan yüksek plastisiteli ve yüksek su muhtevasına sahip killi zeminin kireç ile stabilizasyonu incelenmiştir. Çalışmada öncelikle kil numuneleri üzerinde Atterberg limitleri, elek analizi ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Sonrasında uygun kireç karışım oranı bulunarak karışım ve karışimsız serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Sönmüş ve sönmemiş kireç ile yapılan deney birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Çalışmalardaki sonuca göre artan mukavemet artışları ve deformasyonlardaki azalma sayesinde yol alt yapısında kullanılabilecek olan kireç karışımı bizlere yol kesitlerinde küçültme ve buna bağlı olarak maliyetlerde azalma sağlayabilecektir. Ayrıca kireç stabilizasyonu için su muhtevası, optimum su muhtevasından yüksek killi zeminlerde sönmüş kireç yerine sönmemiş kirecin kullanımını da uygun gözükmektedir. Sönmüş kireç zemindeki yüksek su muhtevasını düşürerek optimum su muhtevasına yaklaştırmakta ve mukavemetlerin zemini kurutmaya gerek kalmadan artmasını sağlamaktadır.

Orhan ve Ark., (2010) Bolu ili Yeniçağa ilçesinde bulunan göl civarındaki mevcut yerleşim bölgesi inceleme alanı olarak seçmişlerdir. İnceleme alanındaki zeminin

şişme yüzdesi, şişme basıncı ve serbest basınç dayanımı belirlenerek, sönmüş kireç ve Çayırhan termik Santralinden alınan uçucu kül katılarak iyileştirme yapılmıştır. Killere %1, %3, %5, %7 ve %9 oranlarında sönmüş kireç ile %5 ve %10 oranında uçucu kül katılarak şişme potansiyelindeki değişim ile yeni durumda oluşacak serbest basınç dayanımını incelemiştirlerdir. Kireç oranının %7 ile %9 olduğu durumlarda şişme potansiyelinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sayede kireç kullanılarak, stabilizasyon irdelenmiştir.

Kalay ve Ark., (2010) yüksek plastisiteli bir kile mermer tozu, pomza ve kireç karıştırılarak, kilin mühendislik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Kile belirli oranlarda kireç, pomza ve mermer tozu ilave edilerek, kıvam limitleri, serbest basınç ve şişme deneyleri yapılmıştır. Her bir katkı için optimum miktarlar belirlendikten sonra, bu şartlardaki maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerlerinde hazırlanan numuneler 7 ve 28 günlük küre bırakılmıştır. Bu numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Optimum katkı miktarları belirlenen numuneler üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Bütün deney sonuçları karşılaştırılarak, en iyi iyileştirmenin elde edildiği durumlar belirlenmiştir.

Bilge ve Ark., (2011) fırın cürufunun bentonit kilinde iyileştirme malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada bentonit kiline %10 kireç, %5-10-15 oranlarında yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve zeolit ilave edilmiştir. Numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra özgül yoğunluk, kıvam limitleri, hidrometre, kompaksiyon ve serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda, CH sınıfı yüksek plastisiteli killi zeminlerde yüksek fırın cürufu, kireç, uçucu kül ve zeolitin stabilizasyonda alternatif çözüm olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Kürde bekletilen numunelerde en yüksek mukavemeti %100 kil + %15 uçucu kül+ %15 zeolitte gözlemlenmiştir.

Gücek ve Ark., (2011) yaptıkları çalışmalarda mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Numuneler, kil zemin kuru ağırlığına göre mermer tozu (%5, %10 ve %15) ve uçucu kül (%10, %20 ve %30) ile belli oranlarda karıştırılarak elde edilmiştir. Karışımlar, %15 ve %20 su

muhtevalarında standart proktor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmıştır. Numuneler; Eksenel basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), şişme, donma-çözülme ve donma-çözülme sonrası eksenel basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre; mermer tozu ve uçucu kül katkısının dayanımı yükselttiği, şişmeyi azalttığı gözlenmiştir. Deney sonuçlarının birçoğuna göre en uygun karışım oranının %10 MT + %20 UK olduğu görülmektedir. Mermer tozu ve uçucu külün zemin iyileştirmesinde kullanımı ile atıklar ekonomiye kazandırılırken çevre kirliliği de azaltılmış olacaktır.

Ontürk ve Ark., (2014) yaptıkları çalışmalarda, uçucu kül ve mermer tozu isimli atık malzemelerin temel tabakalarına stabilizasyonunda ki serbest basınç dayanımı ve rijitlikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu atık malzemeler muhtemel bir otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için doğal zemine %5, %10 ve % 15 gibi farklı oranlarda ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 7 ve 14 gün boyunca küre tabi tutulmuştur. Kür süresi tamamlanan tüm karışım numunelerinin hem standart kompaksiyon değerleri hem de kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerleri belirlenmiştir. Zemine ilave edilen atık malzemeler (uçucu kül ve mermer tozu) sonucunda CBR değerlerinde artış olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında ise Avanos kili üzerinde farklı endüstriyel kimyasal katkı malzemeleri (kireç, uçucu kül, mermer tozu) kullanılarak, kil malzemesindeki plastisite indisinin değişimi, kuruma-çatlama davranışı, fotogrametrik yöntemler ile gözlemlenmiştir.

2. ZEMİNLERİN KATKI MALZEMELERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Zemin; insanoğlunun barınma, savunma, gizlenme, ulaşım, enerji gibi amaçlarla inşa edilen yapıların gerek temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak gerekse inşaat malzemesi olarak tarih boyunca kullanılmıştır. Zeminlerin geoteknik özellikleri, yerel koşullardan dolayı bölgeden bölgeye farklılık gösteren kompozit bir yapısı vardır. Bu durum düşünüldüğünde her yapı tipine uygun zemin oluşumuna rastlamak mümkün olmayabilir. Bu nedenle zemin cinsi dikkate alınarak zemin iyileştirilmesi yapılır.

Bir alan altındaki zemin, tasarlanan yapı inşası için uygun değil ise farklı iyileştirme yöntemleri denebilir. Bunlar; elverişsiz zemini uzaklaştırıp, yerine uygun zemin koymak, derin temel yapmak veya mevcut zemini katkı maddeleri ile iyileştirmeye (stabilizasyon) çalışmaktır. Stabilizasyon (ıslah, iyileştirme, sağlamlaştırma vb.); zeminin özelliklerinin çeşitli yöntemlerle değiştirilerek, iç ve dış etkilere karşı dayanımını arttırarak iyileştirilmesine verilen genel bir addır. Zemin stabilizasyonunda temel amaç, zemini tasarlanan yapı özelliğine göre, taşıma gücü yüksek, beklenen oturmaları karşılayabilen, deformasyona uğramayan, geçirimsizliği az olan bir hale getirmektir.

Stabilizasyon, yeterli dayanıma sahip olmayan zeminlerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, farklı yöntemlerle dış kuvvetlere dayanıklı hale getirilmesi olarak da tanımlanabilir. Stabilizasyon geoteknik biliminin ilgilendiği çok kapsamlı bir konudur. Ekonomik durumu da göz önünde bulundurarak, uygun iyileştirme yöntemini seçmek çok önemlidir. Genellikle yol, havaalanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında sıklıkla görülen bu problemler zeminin iyileştirilmesi ile çözümlenir. Zayıf

zeminlerde, danelerin şekline ve büyüklüğüne bağlı olarak mekanik kuvvetleri az olacak, bu durumda zeminde iyileştirme yapılmasını gerektirecektir.

Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Yüksek performanslı karışımların elde edilmesinde farklı uygulamalar görülmektedir. Çeşitli katkıların kullanımı, üst performans değerinde malzeme seçimi, yüksek kalite kontrolü, farklı tasarım yöntemleri, güncel test teknikleri bu uygulamalar arasında yer almaktadır. Zemin iyileştirmesinde kullanılan katkıların atık malzemeler olarak kabul edilen malzemelerden olması, bunların depolama masraflarının azalmasını ve daha ucuz malzemelerin kullanılmasını sağlamaktadır.

Zemin Stabilizasyon Yöntemleri

Zeminlerin stabilizasyonunda temelde iki yöntemle sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan birincisi; zemine herhangi bir katkı maddesi karıştırmadan, sıkıştırma tekniği ile zemin danelerini birbirine yaklaştırıp, dayanımı yüksek dane dağılımı elde ederek, zemini amacına uygun hale getirmektir. Bu yöntem mekanik stabilizasyon olarak adlandırılmaktadır. İkinci yöntem ise zemine katkı maddeleri ilave ederek, kimyasal yapısının değiştirilmesidir. Bu yöntem de kimyasal stabilizasyon olarak adlandırılır (Aytekin, 2004).

a. Yüzeysel stabilizasyon

Zeminlerin, fazla derinlere inilmeye gerek duymadan yüzeysel olarak ıslah edilmesi işlemine yüzeysel stabilizasyon denir. Yüzeysel stabilizasyon yöntemleri katkılı ve katkısız stabilizasyon olmak üzere iki gruba incelenir (Özaydın, 1989).

Mevcut zemine herhangi bir madde ilave edilmeksizin yapılan iyileştirmeye katkısız stabilizasyon denir. Mevcut zeminin dane yapısı ve dağılımı uygunsa bu yöntem uygulanabilir. Bu yöntem 3 gruba ayrılabilir (Özaydın, 1989).

- Kompaksiyon; zemine enerji uygulanması, bu sırada zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve boşlukların azaltılması sonucu daha sıkı bir yapıya sahip olmalarını sağlayan mekanik işleme verilen isimdir (Özaydın, 1989).

- Mekanik stabilizasyon; iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesidir. Bu durumda, yük altında dayanımı yüksek, deforme olmayan durağan bir zemin elde edilmiş olur (Tunç, 2002).

- Drenaj; yapıları, yüzey altı veya zemin ve yüzeysel suları kontrol altına aldığından dolayı drenaj tekniği, yüzey altı drenaj ve yüzeysel drenaj (veya sadece drenaj) olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzey altı drenaj yapıları enine olarak yarmada ve dolguda kaba daneli dren şiltesi ve dren borusu ile yatay olarak ise perfore dren boruları kullanılarak yapılmaktayken boyuna yüzey altı drenaj yapıları ise, yol gövdesinden zemin suyunun dren hendekleri ile dren edilerek stabilitesinin artırılması yoluyla yapılmaktadır (Tunç, 2001).

Zeminlerin farklı katkı maddeleri ilave edilerek, fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi ve bunu sonucunda belirli mühendislik özelliklerinin değiştirilmesi de mümkündür. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri arasında kireç, çimento, uçucu küller, asfalt ve bazı kimyasal maddeler sayılabilir. Bu katkı maddeleri sadece zeminin mukavemet ve plastisite değerlerini değiştirmek için değil aynı zamanda hacim değişimlerini kontrol altına alabilmek içinde kullanılarak zeminin stabilizasyonu sağlanabilir (Özaydın, 1989).

- Çimento; içerisinde bulunan silika, stabilizasyon için gerekli puzolanik maddeyi oluşturmaktadır. Bu özellik killi zeminler için iyi bir stabilizasyon malzemesi olduğunu göstermektedir. Zemine %5 ile %15 arasında çimento karıştırıldıktan sonra kompaksiyon işlemi uygulanır. İlave edilen çimento, zemin daneleri arasında bağlayıcı olur. Tercih edilen çimento türü portland çimentosudur. Zemin dayanımındaki artış çimento miktarına bağlıdır. Betona oranla daha az çimento kullanılır (Uzuner, 2000).

- Kireç; kil mineralleri ile karıştırıldığı zaman puzolanik reaksiyona girerek, çimentolaşma olarak adlandırılan bir durum ortaya çıkar. Bu reaksiyon sonucu zeminin plastisitesinde azalma, zemin mukavemetinde artış meydana gelmektedir.

Ayrıca çimentolaşma olarak ifade edilen reaksiyon, mevsim şartlarından etkilendiği için zamanla zeminde oluşan dayanım artmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere, kireç stabilizasyonu, zeminin mukavemetinin ve şekil değiştirme modülünün artmasını, şişme ve kabarma basıncının azalmasını sağlamaktadır (Özaydın, 1989).

- Bitüm; asfalt vb. petrolden elde edilen siyah, yapışkan, sıcakken sıvı olan üründür. Bitümlü maddelerin, daneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlama işlevleri vardır. Bitümlü madde, zemin ile birleştiğinde ya daneleri birbirine yapıştırır ya da zemini su geçirmez hale getirerek daneler arasındaki su filmlerinin birbirleriyle olan bağı muhafaza eder veya her iki tesiri aynı anda meydana getirir. Kırmı taş, çakıl, kum gibi daneli zeminlere, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp, karıştırılarak, serilir ve kompaksiyon uygulanır. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik maddelerden arınmış olması gerekir. Bitüm kullanılarak uygulanan stabilizasyon özellikle yol inşaatlarında tercih edilmektedir (Uzuner, 2000).

- Uçucu küller; tek başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştiklerinde bağlayıcı özellik kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra zamanla uçucu küllerin, puzolanik özellikleri nedeniyle katkılı zemin belirli bir süre sonunda dayanım kazanır. Bahsedilen bu dayanım süreci ise oldukça yavaş ilerlemektedir. Artan süreyle birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri artar (Alkaya, 2002).

3. KİLLİ MALZEMELERİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

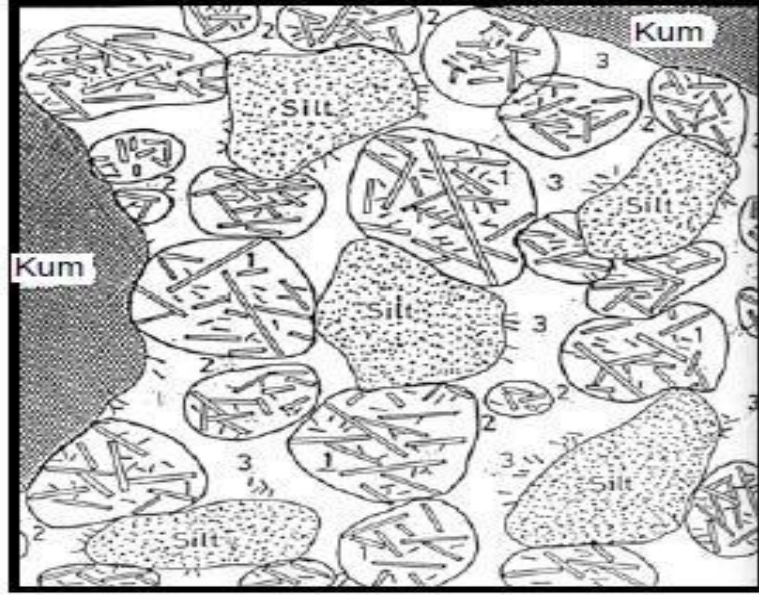
Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Kilin içerisinde en çok kalker, silis, mika, demir oksit bulunur. Kil sarımtırak, kırmızımtırak, esmer gibi renklerde bulunur. Bu özelliğini bileşiminde bulunan yanıcı maddeler verir. Kilin yapısı itibarıyla su çekme özelliği vardır. Bu nedenle kil daima nemlidir. Kili meydana getiren maddeler sulu alüminyum silikatlardır. Dane boyutu iki mikron veya daha küçüktür. Aynı boyuttaki başka minerallerden farklı olarak su ile karıştırıldığında çamur oluşturur. İnce daneli bir zeminin su ile reaksiyona girebilmesi onun kil menşeli olduğunun emaresidir. Killer zannedildiği gibi her koşulda yapı statığı için zararlı bir zemin türü değildir. Birçok durumda geoteknik mühendisinin yararına özelliklerden dolayı aranır.

Dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlere pelteleşebilir bulamaç halinde etkin destek sağlamak amacıyla kullanılır. Ancak genelde kil, varlığı önemli mühendislik sorunları meydana getirdiğinden istenmeyen malzemedir (Akıncı, 2001).

Killi zeminden anlaşılan ise, bileşenlerin kil mineralleriyle bazı diğer minerallerden oluşan, plastisitesi olan, kohezyonlu bir zemindir. Kil mineralleri çok küçük partiküller olup, elektrokimyasal olarak çok aktiftirler. Bir zemin kütlesi içinde az miktar dahi olsa kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Kil miktarı arttıkça zeminin davranışını kilin özellikleri belirler. Kil içeriği yaklaşık % 50 olduğu zaman kum ve silt taneleri aslında bir hamur içinde yüzen taneler gibidirler ve mühendislik davranışı üzerindeki etkileri de çok küçüktür. Topakların

mineral içeriği çoğunlukta kuvars olan çakıl, kum, silt; ve ikincil silikatlardan oluşmuş kil olarak gösterilirse, diğer bileşenlerin toplamının %25'i geçmediği karışımlar da killi zemin olarak adlandırılır. Killi zeminlerin kil oranı arttıkça aktiviteleri artar ve diğer zemin bileşenleri üzerinde karakteristik özelliklerini hakim kılar.



Şekil 3.1: Kil zemin mikro yapısının şematik gösterimi (Mitchell, 1993).

3.1.Killerin Fiziksel Özellikleri

Yeryüzünde bilinen binlerce mineral içerisinde plastisite özelliği gösteren tek mineral kil mineralidir. Bu özelliğinden dolayı sanayide çok tercih edilmektedir. Ancak kil mineralini hammadde olarak kullanan üreticiler için kimyasal bileşim değerleri çok önemlidir. Bu yüzden alumina, silika, demir ve titanyum oksitleri, alkaliler ve kristal suyunun kaybı anlamına gelen kızdırma kaybını ve hatta bazı durumlarda kalsiyum ve magnezyum oksitlerin bileşim yüzdelerini kontrol ederler. Killerin plastisite özelliği azaltılıp çoğaltılabilir. Genel olarak plastisite suyu % 15' ten az, % 40' tan fazla olamaz. Killer plastik olmayan mineral türlerini de ihtiva ederler. Genelde plastik olanlar kaolinit ve montmorillonit gruplarıdır. Plastik olmayan kil mineralleri ise kalsit, kuvarsit ve mika grubu içerikli minerallerdir.

Ancak plastik olan kil mineralleri diğer mineraller üzerinde baskın bir karaktere sahiptir.

3.2.Killerin Kimyasal Özellikleri

Kil kimyasal bileşimi sulu alüminyum silis veya bazen de sulu magnezyum silis olan tane boyutu çok küçük ve plastik özelliklere sahip doğal bir malzeme olarak tanımlanabilir. Kaolen yatakları granit ve diğer feldspat içerikli kayaçların bozulmasıyla oluşur. Karbondioksit ve suyun etkisi ile jeolojik olarak uzun bir zaman aşımında feldspat içerikli kayaçlar, çözünür alkali karbonat ve çözünür minerallerine dönüşür (Akıncı, 2001).

Killer su tutma ve iyon değiştirme güçleri yüksek alüminyum silis bileşikleridir. Killerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak, mineral içerikleri değiştiği için, doğal killerin rengi, beyaz, gri, pembe, yeşil ve kahverenginin farklı tonlarında olabilir. Bu killerin ince daneli durumu küre veya küp olmaya eğilimli olan aynı tane boyutlu diğer minerallere göre çok daha yüzey alanına sahip olduğu anlamındadır. Yaprak şekline sahip olan kil tanelerinde kalınlığının uzunluğuna oranı hemen hemen 20' dir. Bu değer aynı hacimdeki kübün üç katıdır. Bu nedenle yüzey özellikleri ne olursa olsun kil minerallerinin kristal yapılarında yüzey oldukça önemlidir. (Mitchell, 1976).

Kil mineralleri tabaka yapılı su içerikli alumina silikatlardır. Plastik özellikleri tabakalarının plaka şeklinde olması ve bu plakalarının birbiri boyunca su sayesinde kayma özelliğine dayandırılır (Mitchell, 1976).

3.3.Killerin Mineralojisi

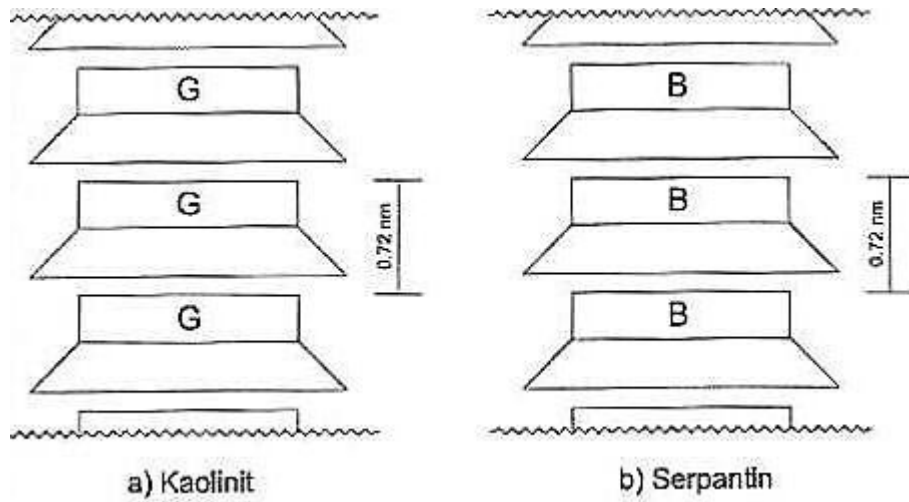
Killer tane boyutu 2 mikron (0,002 mm) veya daha küçük olan hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan ikincil minerallerdir. Aynı boyuttaki başka minerallerden farklı olarak killer, su ile karıştırıldığında çamur oluşturur. Hamur halinde şekil verebilecek kadar plastisiteye sahipken pişirildiğinde büyük dayanım artışları gösteren bir katıya dönüşür. Islatıldığında genellikle hacim artışı gösterir, kurutulduğunda ise hacmi azalır ve çoğunlukla çatlaklar. Her kil minerali; iki, üç veya dört levhadan oluşan birim hücrelere sahiptir. İki levhalı mineraller bir silis

Kil mineralleri başlıca üç ana gruba ayrılır;

- a) Kaolinit Grubu Kil Mineralleri genelde şişme özelliği göstermezler.
- b) Mika-İllit Grubu Kil Mineralleri illit ve vermikülit içerirler. Şişebilen kil grubunda olmakla beraber, genelde önemli problemlere yol açmazlar.
- c) Smektit Grubu Kil Mineralleri montmorillonitleri içerirler. Oldukça yüksek şişme özelliğine sahip olup, en çok problem yaratan kil mineralleridir (Nelson, 1992).

3.3.1. Kaolinit mineralleri

Kaolinitin yapısal formülü $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ şeklindedir, ortorombik ve hekzagonal şekilli levhacıklar halinde bulunurlar. Bloklar birbiri üzerine binmiş olup tabakalar arasındaki bağlar aktif Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağlarından oluşmaktadır. Bu bağlar, suyun araya girip şişme oluşturmasını önleyecek kadar kuvvetlidir (Mitchell, 1976). Bu nedenle kaolinitler su ile karşılaştıklarında stabilitelelerini kaybetmezler. Seramik sanayisinde kullanılmasının nedeni de budur.

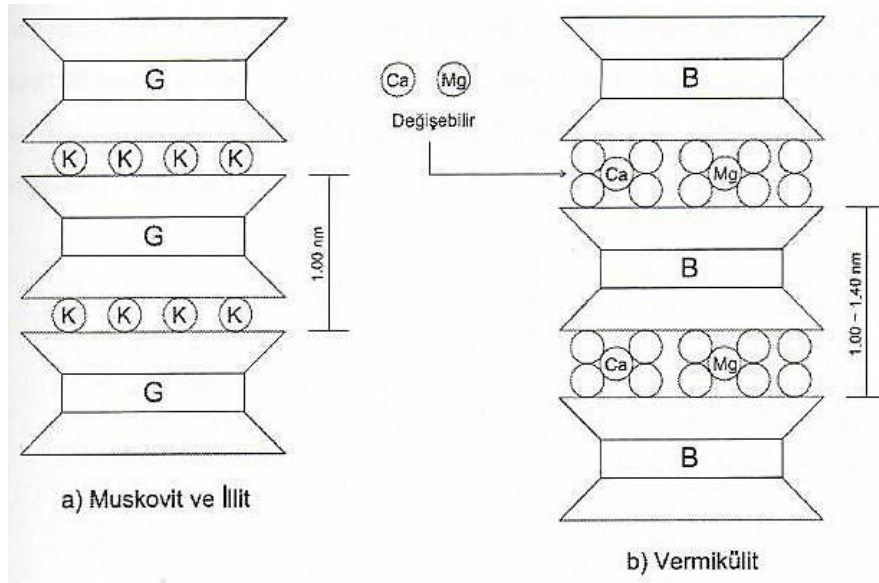


Şekil 3.4: Kaolinit-Serpantin grubu minerallerin yapısı a)Kaolinit b)Serpantin (Mitchell, 1976).

Kaolinit minerali, mağmatik kayaçların feldispatların ayrışması sonucunda meydana gelirler. Bazen feldispatlarla beraber, ayrışmanın tam olduğu yerlerde saf kaolinit yatakları meydana gelir (Ünsal, 2006). Kaolinit grubunun özel ve ilginç bir üyesi ise, halloysit mineralidir. Halloysit piritin bozunma ürünü olan feldispatın, H₂SO₄ ile yıkanması sonucu oluşurlar. Doğada yüksek yağış ve iyi drenaj koşulu, halloysit oluşumu için elverişli ortamlardır. Halloysitin bilinen iki türünden biri, kaolinite benzeyen hidratlanmamış tipi, diğeri ise tek su tabakası ile ayrılmış (OH)₈Si₄Al₄O₁₀4H₂O hidratlı kaolinittir (Önalp, 1997).

3.3.2. İllit mineralleri

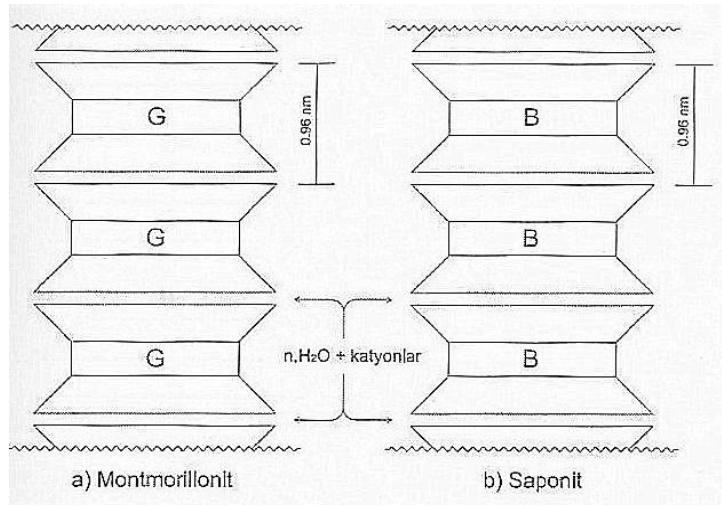
İllit mikaya benzer bir kil mineralidir. İllit ve vermikülit, zeminlerde yaygın olarak karşılaşılan kil minerallerindendir. İllit mineralinde, potasyum tarafından sağlanan tabakalar arası bağ, polar sıvıların mevcut olması durumunda, bazal mesafenin sabit kalmasına (şişmenin engellenmesine) yetecek kadar kuvvetlidir (Mitchell, 1976).



Şekil 3.5: Mika benzeri kil mineralinin yapısı a)Muskovit ve illit b)Vermikülit (Mitchell, 1976).

3.3.3. Smektit mineralleri

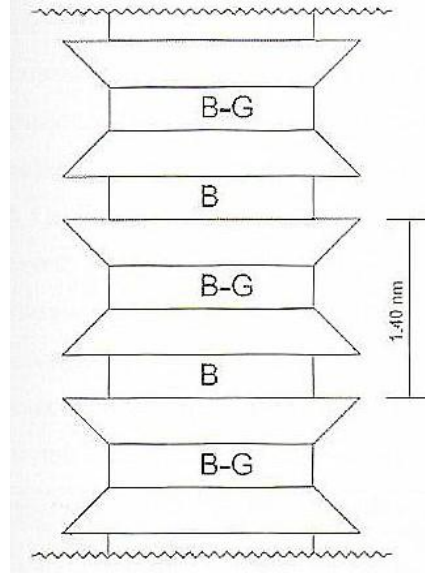
Smektit mineralleri, iki silis levhası arasında sıkışmış oktahedral levhadan oluşan yapıya sahiptir. Kimyasal bileşimleri, $(OH)_4Si_8Al_4O_{20} \cdot nH_2O$ şeklindedir. Tabakalar arası bağlar, Van der Waals kuvvetlerinden ve yapıdaki yük eksikliğini dengelemek için bulunan katyonlardan ileri gelmektedir. Bu bağlar zayıf olup su veya diğer polar sıvıların adsorbsiyonu ile kolaylıkla kırılabilir. Bu nedenle smektit mineralleri çok yüksek hacim artışları gösterirler (Mitchell, 1976).



Şekil 3.6: Smektit minerallerin yapısı a) Montmorillonit b)Saponit (Mitchell, 1976).

3.3.4. Klorit mineralleri

Klorit minerallerinin yapısı değişmiş mika benzeri veya brusit benzeri tabakalardan oluşmaktadır. Mika tabakaları arasındaki çift su tabakasının yerini oktahedral levhanın almış olması dışında, vermikülitlerin yapısına benzerdir (Mitchell, 1976).



Şekil 3.7: Klorit minerallerinin yapısı (Mitchell, 1976).

3.3.5. Karışık tabakalı killler

Zeminler çoğunlukla birden fazla kil mineralini birlikte ihtiva ederler. Bu minerallerin kristal yapılarının benzerliği, bir tane içinde birkaç farklı mineralin bulunmasına yol açar. Tabakalanma tekrarı belirli bir düzende olabileceği gibi gelişigüzel de olabilir. Weaver ve Pollard karışık tabakalı killerin illitten sonra doğada en fazla bulunan tip olduğunu belirtmişlerdir (Mitchell, 1976). Montmorillonit – İllit bu karışımların en sık görüleni olmasına rağmen klorit – montmorillonit ve klorit- vermikülite de rastlanır.

3.4.Killerin Bileşimi

Killerin yapısındaki farklılığın en önemli nedeni, içerisinde bulundurduğu minerallerin özellikleri ve yüzdeleridir. Killer buna bağlı olarak bulunduğu bölgeye farklılık gösterirler. Killerin içerdiği bileşenler; silika, alümina, alkaliler, demir bileşikleri, kalsiyum bileşikleri, karbonlu malzemelerdir. Kil minerallerinin kimyasal bileşimi oluştukları ana materyalin mineralojik bileşimine bağlı olarak değişiklik gösterir (Mitchell, 1976).

3.5.Killerin Şişme Potansiyeli ve Şişme Yüzdesi

Zemin ortamında, su muhtevası ve gerilme koşullarındaki değişikliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkan hacim artışı, şişme olarak tanımlanmaktadır. Şişme potansiyeli, genel olarak, zeminlerin şişme yeteneğini tanımlayan bir kavram olarak kullanılmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalarda, şişme potansiyelinin belirlenmesi ve tanımlanması açısından tam bir sonuca ulaşılmamıştır. Bununla birlikte, şişme potansiyeli; genellikle, zeminlerin hem şişme yüzdesini hem de şişme basıncını kapsayan bir terim olarak kabul edilmektedir (Johnson, 1978).

Şişme yüzdesi, örselenmemiş veya istenilen herhangi bir başlangıç koşulunda sıkıştırılarak hazırlanan zemin numunesinin su altında bırakılması sonucu hacminde meydana gelen artışın, başlangıç hacmine göre yüzdesini ifade etmektedir. Zemin numunesinin ıslanması sonrasında, yanal deformasyonların engellenmesi durumunda meydana gelen düşey boy değişimi veya eksenel deformasyonların engellenmesi durumunda meydana gelen yanal çap değişimi şeklinde belirlenebilmektedir (Nelson, 1992).

Kuruma ve ıslanma sonucu oluşan büzülme ve şişme miktarı, kilin mineraline bağlı olmakla birlikte danelerin dizilişine, başlangıç su muhtevasına ve yanal gerilmelere bağlıdır. Kil minerallerin şişme ve büzülme özellikleri genel olarak plastisite özelliklerinin benzer eğilimini gösterirler. Başka bir ifadeyle, mineral ne kadar fazla plastisiteye sahipse o kadar çok şişme ve büzülme potansiyeline sahip demektir (Aydın, 2010).

4. PLASTİSİTESİ YÜKSEK AKTİF KİLLERİN ISLAHINDA KULLANILAN KATKI MALZEMELERİ

Killi zeminlerin işlenebilirliğini artırılması, plastisitesinin düşürülmesi için günümüzde birçok katkı malzemesi ve kimyasal ürün bulunmaktadır. Farklı iyileştirme amaçlarına göre sınıflandırılabilen bu katkı malzemelerinin tümünü bu tez kapsamında ele almak mümkün değildir. Ancak kendi deney düzenliğimizde kullandığımız katkı malzemeleri hakkında özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1.Uçucu Kül

Düşük kalorili olmaları nedeni ile başka yerlerde kullanılmayan kömür ve artıkları, öğütülüp pulvarize halde yakılarak termik yoldan elektrik enerjisi elde etmekte kullanılır. Uçucu küller, toz halinde veya öğütülmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alüminosilisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır (TS 639, 1975).

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için yakıt olarak kullanılan pulvarize kömür, yanma sonucunda atık olarak farklı tiplerde küller ve cüruf ortaya çıkarmaktadır. Ortaya çıkan bu atık malzemelerden en önemlisi, yanma neticesinde ortaya çıkan gazlarla birlikte yükselen, çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları, çevreye verilen zararı azaltmak amacıyla, elektrostatik filtrelerde yakalanmakta, atmosfere çıkışları engellenmektedir (Aydın, 2010).

ASTM C 618-01'e göre uçucu kül kimyasal içeriklerine göre C ve F sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Her iki gruba da girmeyen üçüncü bir tür sınıflandırılmayan uçucu kül çeşidi de bulunmaktadır. F tipi uçucu kül, bitümlü kömürün yanması ile elde edilir ve çok düşük miktarda kireç (CaO) içermektedir. Bu tür uçucu kül silis ve alüminyum içerdiğinden, çimentolaşma özelliği çok azdır. Ancak normal ısı derecesinde, nemin etkisi ve muhtemel kireç ile reaksiyona

girdiğinde, çimentolaşma meydana gelmektedir. C tipi uçucu kül ise linyit veya kömürün yanması ile elde edilir ve belirli oranda kireç içermektedir. C tipi uçucu kül kireç içerdiği için reaksiyon hemen meydana gelmektedir buna karşın F tipi uçucu külde ise kireç çok daha az olduğu için reaksiyonu başlatabilmek için dışarıdan ortama kireç ilave edilmesi şarttır (Tumluer, 2006).

Uçucu küller kireç ve su ile karıştırıldığında belirli bir süre sonunda sertleşme ve dayanım kazanır. Uçucu küllerde puzolanik özelliğin esaslı olan bu dayanım kazanma özelliği oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte uçucu küllerin dayanımı artar. Uçucu küller çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştirildiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri artmaktadır. Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller daha iyi puzolanik özellik göstermektedir. Oda sıcaklığında kül-kireç-kumdan oluşan harç numuneleri belirli bir süre sonunda mekanik dayanım kazanmaya başlarlar. Harçlar en yüksek mukavemetlerine 5-6 yıl sonunda ulaşmaktadır. Uçucu küldeki puzolanik etki külün bileşimine ve inceliğine bağlı olarak değişmektedir (Akkaya, 2009).



Şekil 4.1: Uçucu kül.

Uçucu küllerin yanı sıra, taban külü olarak adlandırılan, gazlarla birlikte yükselmeyen ve yanarak kazan tabanında biriken küllerle birlikte bir miktar cüruf da oluşabilmektedir. Ortaya çıkan atık malzemenin yaklaşık % 75- 80'ini uçucu küller oluşturmaktadır.

Uçucu külün özellikleri kullanılan kömüre, yanma sistemine, filtre sistemine göre farklılık göstermektedir. Kömür kaynağı, genelde, ortaya çıkacak olan uçucu kül miktarına etki etmekte ve kömürün kimyasal kompozisyonu içerisinde yer alan inorganik maddeler ile oluşacak külün kimyasal yapısını belirlemektedir (Lea ve Gani, 1997).

Uçucu küller genel olarak gri renkli olmaktadır, renkleri koyu ise içlerinde yanmamış karbon parçacıkları daha fazla miktarda demektir. Uçucu küller tipik olarak küresel şekildedirler. Uçucu kül çok üniform bir malzemedir, dane boyutu genellikle silt boyutundadır (0.076 – 0.002 mm). Suya doygun değilse, su yüzdesi arttırıldıkça geriliminden dolayı kohezyon oluşur ve zamanla serbest basınç mukavemetinde artış olur. Geçirgenliği çok düşüktür. Doğal zemine kıyasla daha düşük bir özgül ağırlığa sahiptir. Kireç ihtiva etmelerinden su ile temas sonucu dolayı zamanla sertleşir. Uçucu küller aşağı yukarı silt boyutunda ve içleri boş küresel dane yapısına sahip olduğu için killerin aksine plastik olmayan bir malzemedir (Tokyay, 1998).

4.2.Mermer Tozu

Mermer tozu, kullanılan mermer parçalarının en son ufalanmış atık halidir. Mermer işleme tesislerinde mermere şekil verilirken kesilmesi sonucu oluşan ve 300 mikronun altında bir büyüklüğe sahip olan taneciklerdir. Kesme işleminde su kullanılmasından dolayı, çökeltme havuzlarına taşınırlar. Havuzlarda çökelen mermer tozları atık toplama bölümüne aktarılır. Çevresel sorun oluşturmamaktadırlar (Zorluer ve Usta, 2003). Kesme işlemi sonrası oluşan toz miktarı Afyon ve İsehisar bölgesi için yaklaşık 125 000 ton/yıl gibi bir rakama ulaşmaktadır (Gücek, 2011).

Mermer tozu atıkları; inşaat sektöründe mozaik, harç, sıva, karo vb. üretiminde, seramik sanayinde, çimento sanayinde beyaz çimento

retiminde ve kağıt sanayi, tarım ve gübre sanayi, yem sanayi, diğer bazı sanayi sektörlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat kullanım yüzdesi az olduğu için atık miktarı fazla olmaktadır. Tekrar kullanılmayan atıkların evre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Bu yüzden atık maddelerin değerlendirilmesi ve çevreye zarar vermemesi için geri dönüşüm yöntemleri geliştirilmelidir (Gcek, 2011).



şekil 4.2: Mermer tozu (İzmit).

Suni Mermer olarak bilinen yer karolarının imalatında ana hammadde olarak doğal mermerler tercih edilmektedir. İstenen boyutlardaki mermer parçalarının bağlayıcılar ile beraber, agregalı karo üretiminin temelini oluşturmaktadır. Mermer parçaları ile birlikte %10 oranında ve 0,5 mm boyutlarında mermer tozu da kullanılmaktadır. Seramik retiminde de %5-6 oranında, imento üretiminde de mermer tozu tercih edilmektedir. Plastik malzeme üretiminde kullanılarak, plastik malzemeye tokluk vermesi sağlanır. Kağıt imalatında selülozun pişirilmesi sırasında sıvının hazırlanmasında mermer kullanılmaktadır. Yol inşaat alanlarında, iyileştirme malzemesi olarak zemin cinsi dikkate alınarak tercih edilmektedir. Yol zeminindeki kil mineralleri ile birleşerek plastisite, genleşme ve kabarma katsayılarına etki eder. Ayrıca mıcır olarak da yol yapımında kullanılabilir (Gcek, 2011).

4.3. Kireç

Kireç, kireç taşının çeşitli derecelerde (850-1450 °C) pişirilmesi sonucu elde edilen, suyla karıştırıldığında, tipine göre havada veya suda katılma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı bağlayıcı bir madde türüdür. Kireçtaşları, tabii kireçtaşı ve dolomitik kireç taşı olmak üzere iki çeşittir. Kimyasal yapısında kalsiyum karbonat (CaCO_3) veya magnezyum karbonat (MgCO_3) bileşenleri bulunur. Bunların dışında alüminyum, silisyum, demir, kükürt gibi elementler farklı oranlarda bulunabilir (Kızılcelik, 2010).

Dünyada farklı yapılarda kireçtaşı bulunmaktadır. Bunlar; jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kimyasal bileşim, kristal yapı, renk ve sertlik özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Kirecin elde edilmesi için farklı sıcaklık değerleri kullanılır. Bu sıcaklık değerleri, kireç fırınlarında katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile elde edilir. Bu yakıtlardan ekonomik olarak en uygunu tercih edilir.

Kireç, yüksek plastisiteli ve kil içeriği yüksek olan kohezyonlu zeminler için iyi bir iyileştirme materyalidir. Bu durumun nedeni, katkı maddesi olarak kullanılan kireç ile kil mineralleri arasında meydana gelen reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar sayesinde, kirecin bağlayıcılık özelliği sonucu, zeminde iyileştirme sağlanır. Kısa vadeli iyileşmeler, katyon değişimi ve flokülasyon- aglomerasyon sonucu, uzun vadeli iyileşmeler ise puzolanik reaksiyonlar sonucu olmaktadır. Tek başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun nem şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya alüminli maddelere puzolan denir. Kil, içeriğinde silis ve alüminyum olmasından dolayı, puzolanik reaksiyon için uygun bir puzolandır (Önalp, 1997).

Kil mineralleri içeren zeminlerin büyük bir bölümü, %3-8 arası sönmüş kireç ilave edilmesi sonucunda, serbest basınç mukavemeti açısından olumlu cevap verir. Suyun varlığında hidratlı silis içeren kil mineralleri sert ve suda erimez bir kalsiyum silikat jeli oluşturur. Kireç kil mineralinin kristal kafesinden silisi çözümlenerek reaksiyona girer. Oluşan jel kil topraklarını çevreleyip boşlukları doldurur. Zaman geçtikçe jel tobermorit ve hillebrandit olarak adlandırılan hidratlı silise

dönüşür. Bu sırada ortamda su azalır, süreç önlenir. Kireç ile stabilizasyonun başarısını artıran en önemli özellik zeminde amorf durumda bulunan silis miktarı, ikinci özellik ise alumina içeriğidir (Önalp, 1997). Hızlı bir şekilde gelişen katyon değişimi ve flokülasyon -aglomerasyon sonucu direnimde hızlı bir artış, plastisitede düşüş, işlenebilirlikte artış ve şişme potansiyelinde düşüş gözlemlenir.

Yavaş ilerleyen puzolanik reaksiyonlar sonucunda ise direnimde artış görülür. İnce daneli zeminlerde kireç karıştırılması, zeminin plastisitesinin azalmasına, ayrıca kil mineralleri ile kireç arasında ortaya çıkan puzolanik reaksiyon sonucu meydana gelen bir çeşit çimentolanma nedeni ile zeminin mukavemetinin artmasına neden olmaktadır. Söz konusu kimyasal reaksiyonlar çevre koşullarının etkisi (nemlilik ve ısı gibi) altında zamana bağlı olarak geliştiği için zeminin mukavemeti de zamanla artmaktadır. Kireç ile stabilizasyon yöntemi özellikle karayolları ve hava meydanları alt yapılarının stabilizasyonu için uzun zamandır sıklıkla uygulanmaktadır. Toprak dolgular, kayan şevler, köprü ve istinat duvarları arka dolguları ve temel altı zemin iyileştirmesi için de yaygın olarak kullanılan bu uygulamanın başarı derecesini belirleyen etkenlerin en önemlileri, zeminin mineralojik yapısı, ortamın ıslaklığı ve nemlilik derecesi, ilave edilecek bağlayıcı malzemenin tipi ve miktarı, uygulama yöntemi, ortamın ıslaklığı ve nemlilik derecesi, katkı malzemesi tip ve oranları, kür süreleri ve ekonomik kaygılar olarak sıralanabilir. Ayrıca katkı zemin üzerinde yük ve zaman etkisi, zeminde meydana gelebilecek iyileşmeyi ve miktarını belirleyecektir. Belirli bir zemin cinsinde meydana gelecek iyileşmenin hangi parametrelerde ve hangi miktarlarda olacağını tayin edilmesi önemlidir (Özaydın, 1989).

Büyük bir projede zeminin hangi yüzde kirece gereksinimi olduğunu saptamak için en uygun yolun küçük bir araştırma programı uygulayarak %3-8 arası katkı ve 7, 14, 28 gün bekletme ile optimumun bulunması olduğu bilinmektedir. Ancak çabuk yanıt istenen durumlarda her %10 kil içeriği için %1 kireç uygulaması kuralı kullanılabilir (Önalp, 1997).

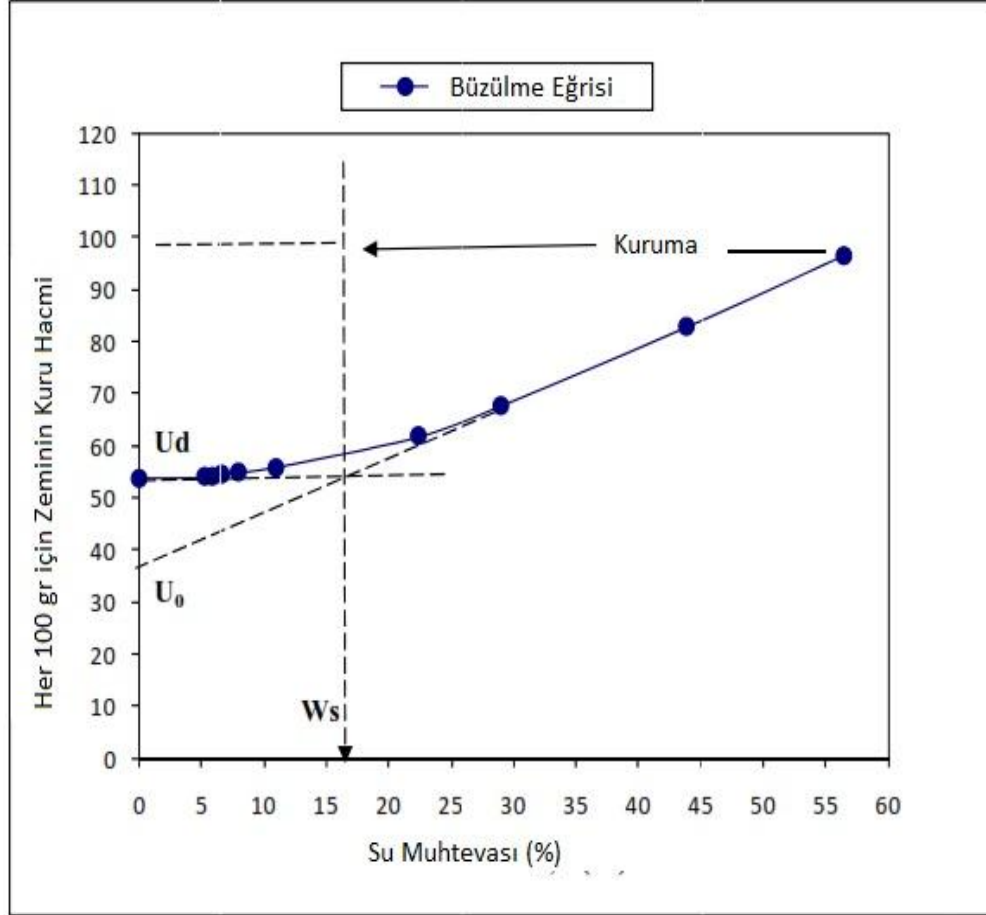
Yüksek kalsiyumlu sönmüş veya sönmemiş kireçler, zemin iyileştirmesinde en geniş kullanıma ve en iyi performansa sahiptirler. Silis, alümin veya karbonat gibi yabancı maddeler kirecin reaktivitesini düşürebilirler fakat çok zararlı değildir. Önemli miktarda magnezyum oksit içeren dolomitik kireç de reaksiyonda etkilidir. Ancak yüksek kalsiyumlu kirece göre zeminle daha az reaksiyona girmektedir. Araştırmalar sönmemiş kirecin iyileştirmede genellikle daha iyi bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Sönmemiş kireç daha yüksek bir kür ısısı oluşturur ve sönmüş kirece göre daha çok su tüketir. Bu durum, direnimdeki artışın daha çok ve daha hızlı olması ile sonuçlanır. Kireç hidrate olurken ağırlıkça %30 oranında suyu bünyesine alır. Bu özellik dikkate alınarak, doğal su içeriğinin, optimum su içeriğinden çok daha yüksek olduğu durumlarda sönmemiş kireç tercih edilebilir. Bu durum haricinde sönmemiş kireç yakıcı ve tehlikeli olması nedeniyle, daha etkili olmasına rağmen tercih edilmemektedir. Ayrıca sönmemiş kireç ekipmanda korozyona neden olmaktadır. Sönmüş kireç, sönmemiş kirece göre daha az toz oluşturur (Süt, 2006). Yoğunluğu daha fazla olduğu için sönmemiş kireç sönmüş kirece oranla %25 daha fazla uygun kireç içerir. Bu nedenle depolama ve taşıma bakımından daha avantajlıdır (Dallas, 1995). Genel olarak, kireç stabilizasyonu; zeminin mukavemetinin ve şekil değiştirme modülünün artmasını, kabarma potansiyelinin ve şişme basınçlarının azalmasını ve çevre koşulları etkisi altında zeminin özelliklerinin bozulmasının daha sınırlı kalmasını yani dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca plastisitenin azalmasına yol açtığı için arazi çalışma koşullarının iyileşmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Kireçle stabilizasyon daha yaygın olarak killi zeminlerden yapılan dolgularda özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır (Özaydın, 2000). Genel olarak, killi çakıllı zeminlerde kireç ile gerçekleştirilen iyileştirmenin etkisi büyükken, fazla organik olan zeminler ile kil muhteva etmeyen zeminlerde kireç ile iyileştirmenin etkisi küçüktür. Ayrıca killi zeminlerde su muhtevası sürekli değişiyorsa, kireç stabilizasyonu sayesinde hacimsel değişimler stabil hale getirilebilir. Kireç stabilizasyonu, çimento kullanılarak uygulanan stabilizasyona nazaran daha ekonomiktir. Bu durum kireç stabilizasyonunun daha fazla tercih edilmesine neden olmaktadır. Kireç stabilizasyonunda en zararlı etken zeminde bulunabilecek organik malzemedir. Organik madde ve sülfat iyonunun varlığı önceleri stabilizasyonun olumsuz etkilendiğini belli etmemekte, ancak daha sonra kuruma -ıslanma olduğunda zemin ufalanmaktadır.

5. MATERYAL VE METOD

Killerin hacim değişim karakteristiği birçok faktör tarafından belirlenir. Yerinde (arazide) veya sonraki su içeriği, birim hacim ağırlığı ve kompaksiyon derecesi şişme basıncını denetleyen fiziksel faktörlerdir. Bununla birlikte, fizikokîmyasal davranış ve taneler arası taneler içi kuvvetler ve reaksiyonlarla kontrol, edilen zemin türleri nedeni ile zeminin türü baskın bir faktördür. Killerin hacim değişim özellikleri birincil olarak elektriksel çift tabakaya bağlıdır. Kil-su sistemindeki değişebilen katyonlar kil üzerinde yer almayıp, yüzeyden farklı uzaklıklarda bulunurlar. Pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü kil yüzeyi arasındaki elektriksel kuvvet, katyonları yüzeye çeker, fakat termal enerjileri onları yüzeyden uzağa dağıtır. Elektriksel çekme ve termal dağıtma, arasındaki denge yüzeydeki, yüksek konsantrasyonlu ve yüzeyden düşük uzaklıktaki katyonları taşımayı sağlar. Bitişik tanelerin dağılmış iyon tabakalarının birbirleri ile etkileşimi, şişme büzülme özeliğini açıklayıcı bilgi verir. (Sridharan ve Ark., 1986).

Bu deneysel çalışmada Avanos bölgesindeki Kızılırmak kırmızı renkli plâstisitesi yüksek kil malzemesi kullanılmıştır. Malzeme aynı noktadan temin edilmiş olup homojen nitelikte ve çimentolaşmış kıvam özelliklerinde laboratuvar getirilmiştir. Katı kıvamdaki ve tamamen kuru durumdaki kil malzemesi öncelikle kırılmış, parçalanmış, ufalanmış ve 40 No'lu elekten geçecek kıvama getirilinceye kadar öğütülmüştür. Numunelerin bütün bu süreç boyunca laboratuvar ortamındaki nem durumundan etkilenerek su muhtevası kazanacağı düşünülerek klasik geoteknik deneylere başlanmadan önce etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Bu aşamadan sonra; kıvam limitlerinin tayin edilmesi amacı ile Cassagrande deney aleti kullanılarak Atterberg Limitleri belirlenmiştir. Katkı malzemeleri karıştırılmamış doğal kil örneği üzerinde yapılan kıvam limitler deneyleri tamamlandıktan sonra, deney kapsamında kullanılacak olan katkı malzemeleri belirlenen karışım oranlarında örneklerek aynı adımlar tekrarlanmıştır. Kuru karışım yapılan örnekler etüvde

tamamen nemden uzaklaştırılmış ve akabinde Cassagrande deney aygıtları kullanılarak her bir karışımın kendi yüzdelerindeki kıvam limitleri tayin edilmiştir. Katkısız kil numunesi üzerinde yapılan büzülme deneyi ile zemin hangi su muhtevası aralıklarında içeriği kaybindan sonra hacim kaybına uğradığı saptanmıştır. Şekil 5.1’ de katkısız kil malzemesinin büzülme eğrisi görülmektedir.

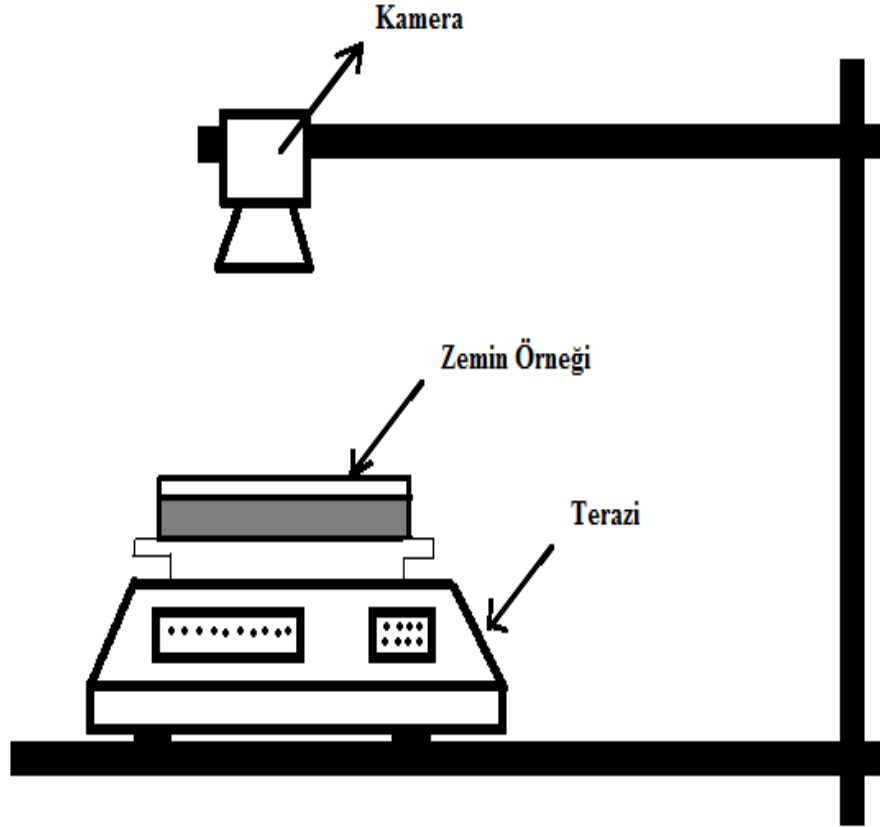


Şekil 5.1: Katkısız kil malzemesinin büzülme eğrisi.

Deneylerde kullanılan uçucu kül, Afşin-Elbistan Termik Santralinden, kireç ve mermer tozu ise Aksaray ili ve çevresindeki inşaat malzemesi tedarikçilerinden temin edilmiştir. Katkı olarak kullanılacak kirecin sönmüş olmasına özen gösterilmiştir. Katkı malzemelerinin ağırlıkça karışım yüzdeleri sırası ile; %3, %5, %7, %9, %11 ve %13 olarak belirlenmiştir.

Her bir katkı oranı için karışım halindeki numuneler, önceden saptanan likit limit kıvamında suya doyurularak bir gün boyunca likit limit su içeriğinde muhafazalı

olarak bekletilmiştir. Katkılı kil örnekleri likit limit kıvamında doyurulduktan ve bütün gözeneklerinin su ile temas edebilmesi için 24 saat boyunca kapalı tutularak bekletilmiştir. Bütün gözenekleri su ile tamamen doygun hale gelen numuneler üzerinde daha sonra kurumaya bırakılmış ve belirli zaman aralıklarında kuruma süreçleri fotografik olarak gözlemlenmiştir.



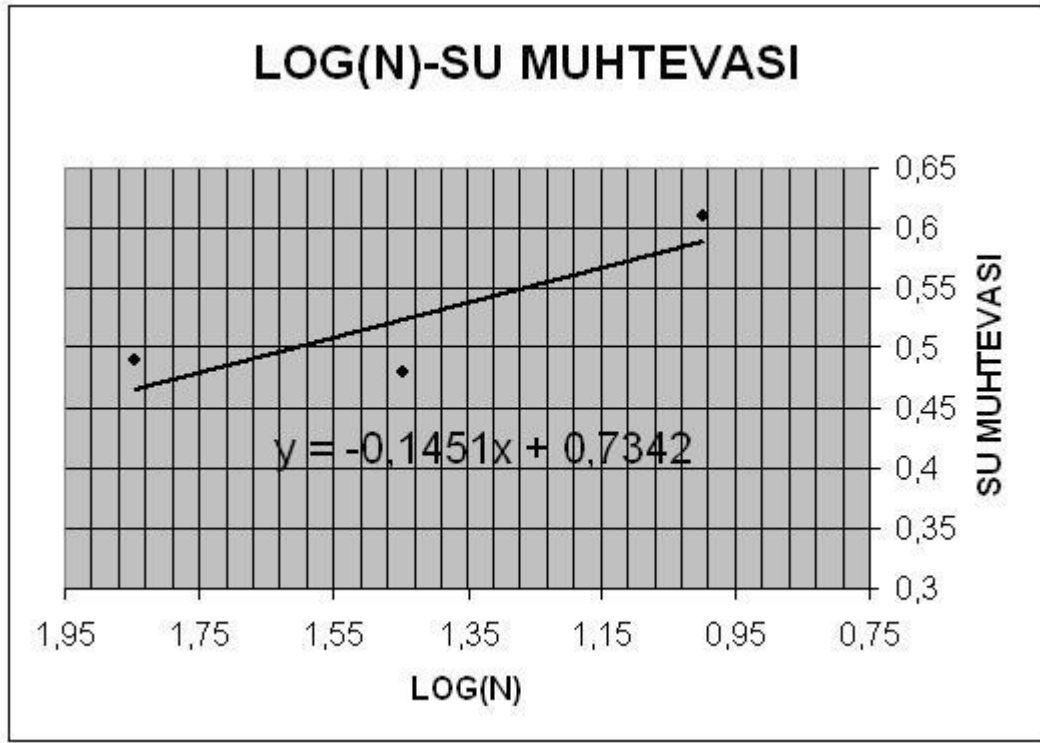
Şekil 5.2: Deney düzeneğinin şematik çizimi.

Killi zemin numuneleri oda ısı ve nem ortamında toplamda 56 gün süre ile takip edilmiş ve birinci günden başlayarak yedişer gün ara ile yüksek çözünürlüklü fotoğraf makinesi ile fotoğraflanmıştır. Daha sonra bu veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Harita mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan İmagej programına aktarılan fotoğrafların piksel cinsinden alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlar fotoğrafın piksel cinsinden alanı dikkate alınarak oranlanmıştır ve Excel programı yardımı ile tablo haline getirilen oranların grafiği çizilmiştir.

Kıvam limitlerinin tespiti

Atterberg limitleri, ince daneli zeminlerin kıvamının su muhtevasına bağlı değişimlerini tanımlar. İnce daneli zeminlerin kıvamının belirlenmesi, zeminin sınıflandırılması ve bir inşaat malzemesi olarak tanımlanması açısından önem taşımaktadır. Zemin içinde mevcut su miktarı zeminin kıvamını ve davranışını belirlemektedir. Zeminlerin kıvamı dört şekilde tanımlanmıştır; Katı, yarı-katı, plastik ve likit. Zemine doygunluk miktarından fazla su verilirse zemin likit (sıvı) hale gelmektedir. Bu durumda zemin akıcıdır ve kesme direnci yoktur. Kurumaya bırakılırsa belirli bir kesme direnci kazanır. Bu geçiş durumundaki su içeriğine likit limit denir (LL ile gösterilir).

Eğer su kaybı daha fazla olursa zemin yavaş yavaş plastik özelliğini kaybeder ve düz bir satıhta yuvarlanırsa ufalanır. Bu durumdaki su içeriğine plastik limit denir.(PL ile gösterilir) Daha fazla su kaybetmesi halinde artık hacim küçülmesi olmayacaktır. Bu haldeki su içeriğine ise büzülme veya rötire limit denir (S_L ile gösterilir). Likit limit zeminin sıvı halden plastik hale, plastik limit zeminin plastik halden yarı katı hale, büzülme limiti ise yan katı halden katı hale geçtiği sınır değerlerdir. Atterberg Limitlerinin bir zemin laboratuvarında önemi büyüktür Özellikle zeminin özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Örneğin bir zeminin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu belirlenir Zeminlerin sınıflandırılması bu deneylerle olur. Likit limiti ve plastik limiti bilinen bir toprağın gurubu saptanabilir. Zeminin sıkışma indisi (C_c) ile likit limit değeri arasında doğrusal bir bağıntı bulunmuştur. Böylece likit limit değeri kabaca toprağın sıkışma indisi hakkında da fikir verebilir. Eşit likit limite sahip topraklarda artan plastiklik limiti direncinin yüksekliğini, sıkışabilirlik (kompresibilite) ve geçirgenliğinin (permeabilite) düşük olduğunu gösterir.



Şekil 5.3: Zeminlerde su muhtevası-hacim değişimi-kıvam limitlerinin belirlenmesi.

Likit limit

Likit limit ve plastik limit için kullanılacak malzemenin seçiminde özen göstermek ve değişen plastisitedeki zemin tabakalarını karıştırmak gerekir. Doğal su içeriğinde olan ve 200 Nolu elek altı malzeme kullanılmalıdır. Bu malzeme üzerine su eklenerek derin bir kap içinde karıştırılır. Hazırlanan bu macun kıvamındaki zemin Cassagrande aletinin vuruş kabına yerleştirilir, spatula ile kap içine sıvanır. Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir biçimde iki eşit kısma bölünür. Saniyede iki dönme yapacak hızda yatay kol döndürülerek zeminin iki parçasının oluk tabanında 13 mm birleşmesini sağlayacak düşüş sayısı saptanır. Oluk tabanındaki kapanma, zeminin kayması biçiminde değil, zeminin akarak kapanması ile olmalıdır. Bu noktadaki değer zeminin likit limit değeri olarak adlandırılmaktadır. Su içeriğinin belirlenmesi için kapanan bölgeden numune alınır. Vuruş kabında kalan malzeme karıştırma kabına alınır ve su içeriği değiştirilerek yeni bir darbe sayısı saptanır. Bu işlemlere, 10-40 arasında en az 4 darbe sayısı saptanıncaya kadar devam edilir. Saptanan her darbe sayısı için su muhtevası hesaplanır. Bu elde edilen darbe sayısı ve buna karşılık gelen su muhtevası değerlerinden bir akış eğrisi elde edilir. Akış eğrisinde, darbe sayısı logaritmik olarak apsiste, su muhtevası aritmetik olarak

ordinatta gösterilir. Akış eğrisinde 25 darbeye karşı gelen su muhtevası değeri, o zeminin "likit limit" değeridir.



Şekil 5.4: Cassagrande deney aleti.

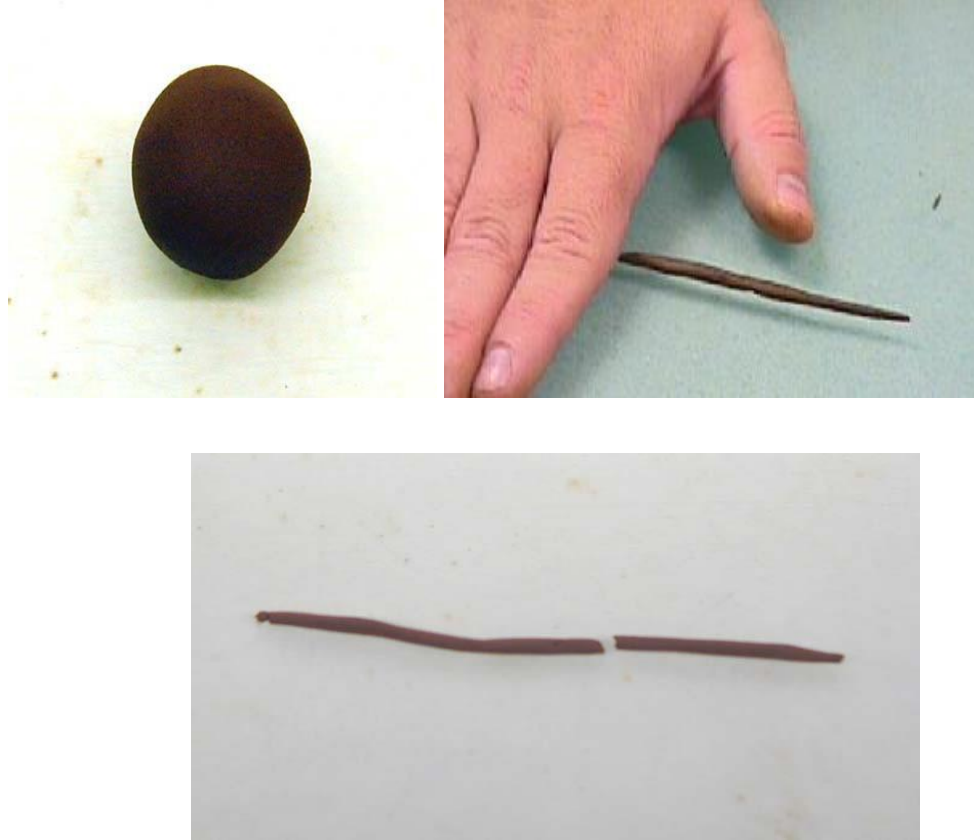


Şekil 5.5: Cassagrande deney aleti ile likit limit değerinin tayin edilmesi.

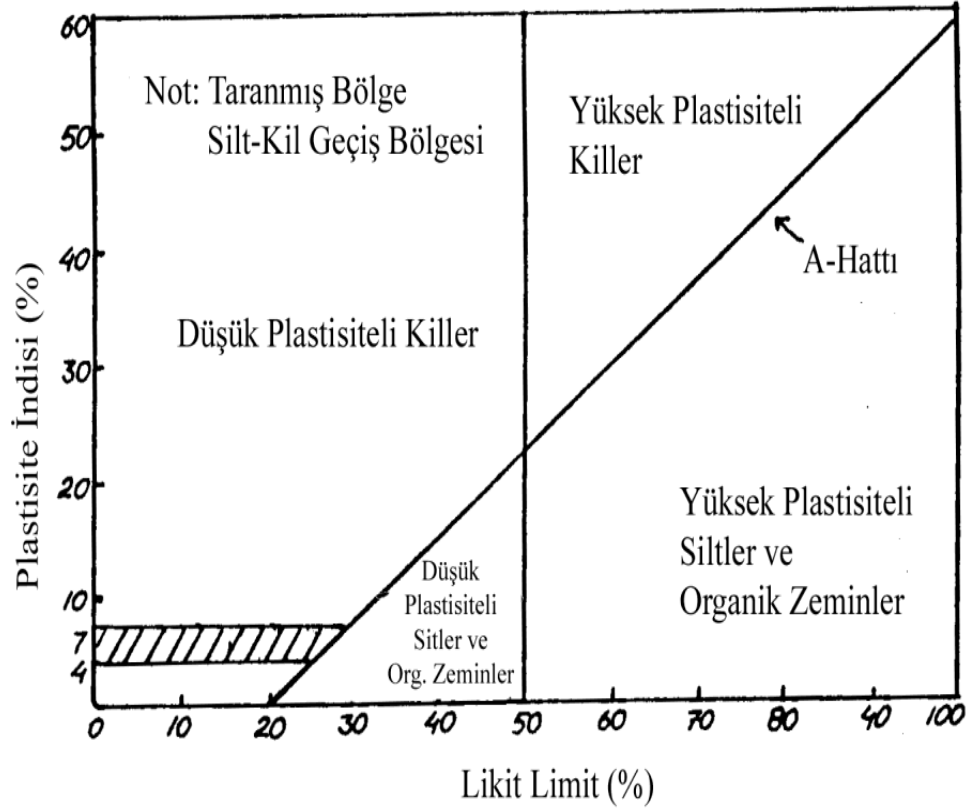
Plastik limit

Likit limit için hazırlanan numuneden bir miktar alınır. Alınan bu malzeme kaba konur ve parmaklar ile yoğrulduğunda yapışmayacak, ancak kolayca yuvarlanabilecek bir kütle elde edilmesini sağlayacak ölçüde arı su ile karıştırılır. Bu

kıvamdaki malzemeye el ile elipsoidal bir biçim verilir ve düz bir plaka üzerine konarak el ayası ile yuvarlanır. Bu işlemi yaparken 3 mm çapında çubuklar elde edebilmek için yeterince bastırılır. Çubukların çapı 3 mm olduğu anda yüzeyde çatlama olmazsa, malzeme toplanır ve tekrar topak haline getirilerek yoğrulur. Bu yoğurma işlemine 3 mm çapındaki çubuk çatlayıp birkaç parçaya bölününceye kadar devam edilir. Bu ufalanan çubuğun parçalarının, su muhtevası belirlenir. Bulunan bu su muhtevası ortalamaları zeminin plastik limit değerini verir. Plastisite indeksi (PI) zeminin likit limit ve plastik limit su muhtevalarının farkıdır ($PI = LL - PL$). Likit limit ve plastisite indeksi bulunduğundan sonra plastisite kartı yardımı ile ince daneli zeminlerin sınıflandırılması yapılır.



Şekil 5.6: Plastik limit (www.egs-us.com).



Şekil 5.7: Cassagrande plastisite kartı.

Çizelge 5.1: Kıvam limitleri.

Numune Tipi	(%) PL	(%) LL	(%) PI
Havada Kurutulmuş Saf Zemin	30	76	46
Fırında Kurutulmuş Saf Zemin	24	79	55

Numune Hazırlanması

Kızılırmak kıvılcı kili olan zemin numunesi ilk olarak çimentolaşmış katı kıvamını bozmak için ağılık kullanarak kırılmıştır. Ufalanan kil kayaçlar daha ince kalınlıkta öğütölmüş ve ayrıştırılmıştır. Malzemenin ince dane kısmını ayırmak için 40 No'lu elek kullanılarak elenmiştir. Daha sonra bu malzeme istenilen oranlarda ağırlıkça oranı dikkate alınarak (%3, %5, %,7, %9, %11 ve %13) katkı maddeleri ile karıştırılmıştır. Karışımın tartımı hassas bir tartı ile sağlanmışır. her bir karışım oranı için tekrardan kıvam limitleri saptanmış ve her bir karışım kendi likit kıvamınca suya doyurulmuştur. Karışımın temel bileşimi olan zemin örneği, her numune için 500'er gram alınmıştır. İlk fotoğraf çekimi deneyden 24 saat sonra gerçekleştirilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Uçucu kül-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi



Şekil 6.1: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%3).



Şekil 6.2: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%3).



Şekil 6.3: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%3).



Şekil 6.4: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%5).



Şekil 6.5: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%5).



Şekil 6.6: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%5).



Şekil 6.7: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%7).



Şekil 6.8: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%7).



Şekil 6.9: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%7).



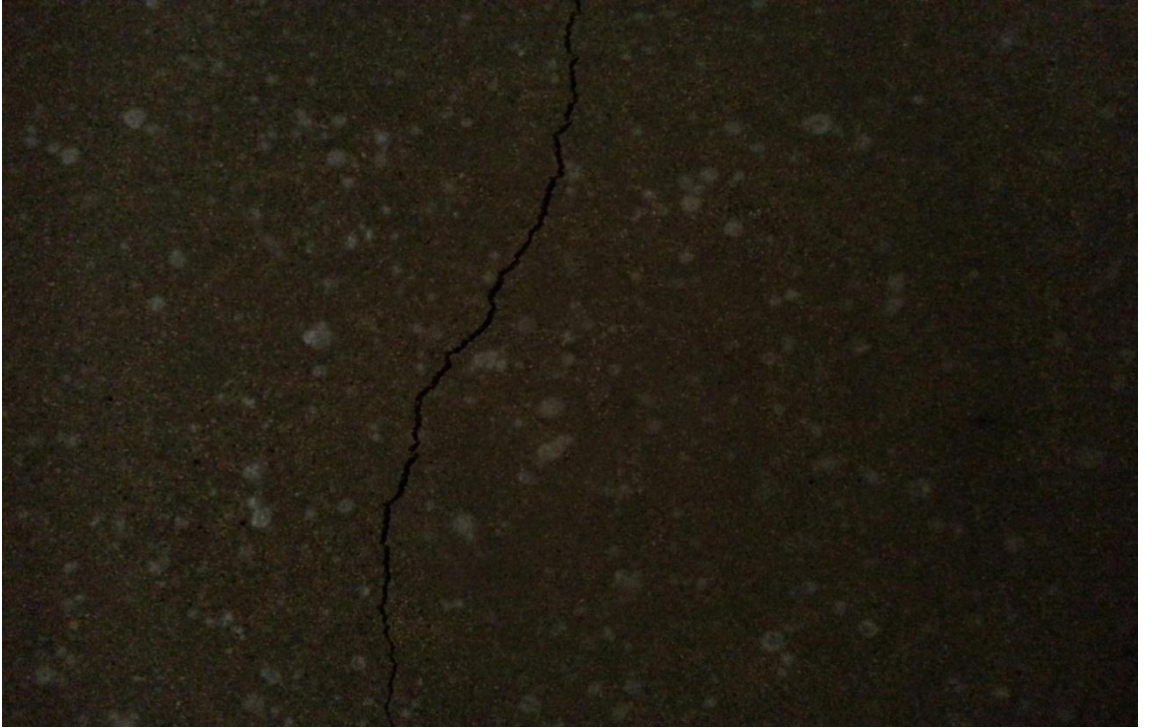
Şekil 6.10: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%9).



Şekil 6.11: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%9).



Şekil 6.12: Kil uçucu kül karışımı 56. Gün (%9).



Şekil 6.13: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%11).



Şekil 6.14: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%11).



Şekil 6.15: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%11).



Şekil 6.16: Kil uçucu kül karışımı 1.gün (%13).



Şekil 6.17: Kil uçucu kül karışımı 28.gün (%13).



Şekil 6.18: Kil uçucu kül karışımı 56.gün (%13).

6.2. Kireç-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi



Şekil 6.19: Kil kireç karışımı 1.gün (%3).



Şekil 6.20: Kil kireç karışımı 28.gün (%3).



Şekil 6.21: Kil kireç karışımı 56.gün (%3).



Şekil 6.22: Kil kireç karışımı 1.gün (%5).



Şekil 6.23: Kil kireç karışımı 28.gün (%5).



Şekil 6.24: Kil kireç karışımı 56.gün (%5).



Şekil 6.25: Kil kireç karışımı 1.gün (%7).



Şekil 6.26: Kil kireç karışımı 28.gün (%7).



Şekil 6.27: Kil kireç karışımı 56.gün (%7).



Şekil 6.28: Kil kireç karışımı 1.gün (%9).



Şekil 6.29: Kil kireç karışımı 28.gün (%9).



Şekil 6.30: Kil kireç karışımı 56.gün (%9).



Şekil 6.31: Kil kireç karışımı 1.gün (%11).



Şekil 6.32: Kil kireç karışımı 28.gün (%11).



Şekil 6.33: Kil kireç karışımı 56.gün (%11).



Şekil 6.34: Kil kireç karışımı 1.gün (%13).



Şekil 6.35: Kil kireç karışımı 28.gün (%13).



Şekil 6.36: Kil kireç karışımı 56.gün (%13).

6.3. Mermer tozu-kil karışımının kuruma çatlaklarına etkisi



Şekil 6.37: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%3).



Şekil 6.38: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%3).



Şekil 6.39: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%3).



Şekil 6.40: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%5).



Şekil 6.41: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%5).



Şekil 6.42: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%5).



Şekil 6.43: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%7).



Şekil 6.44: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%7).



Şekil 6.45: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%7).



Şekil 6.46: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%9).



Şekil 6.47: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%9).



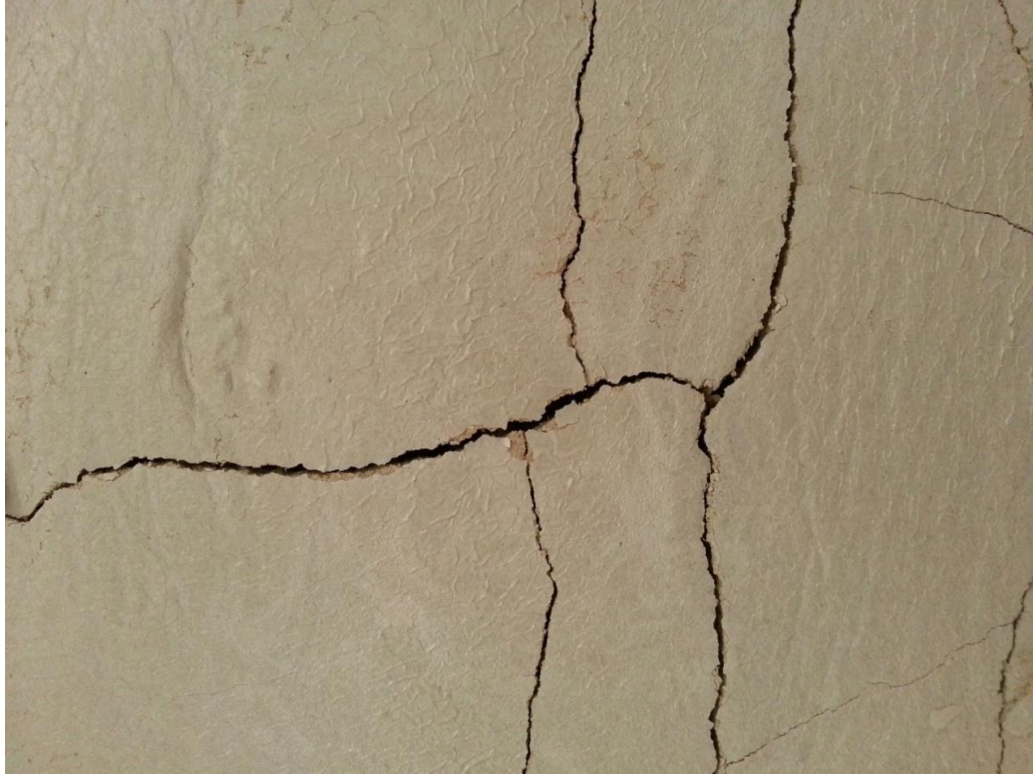
Şekil 6.48: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%9).



Şekil 6.49: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%11).



Şekil 6.50: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%11).



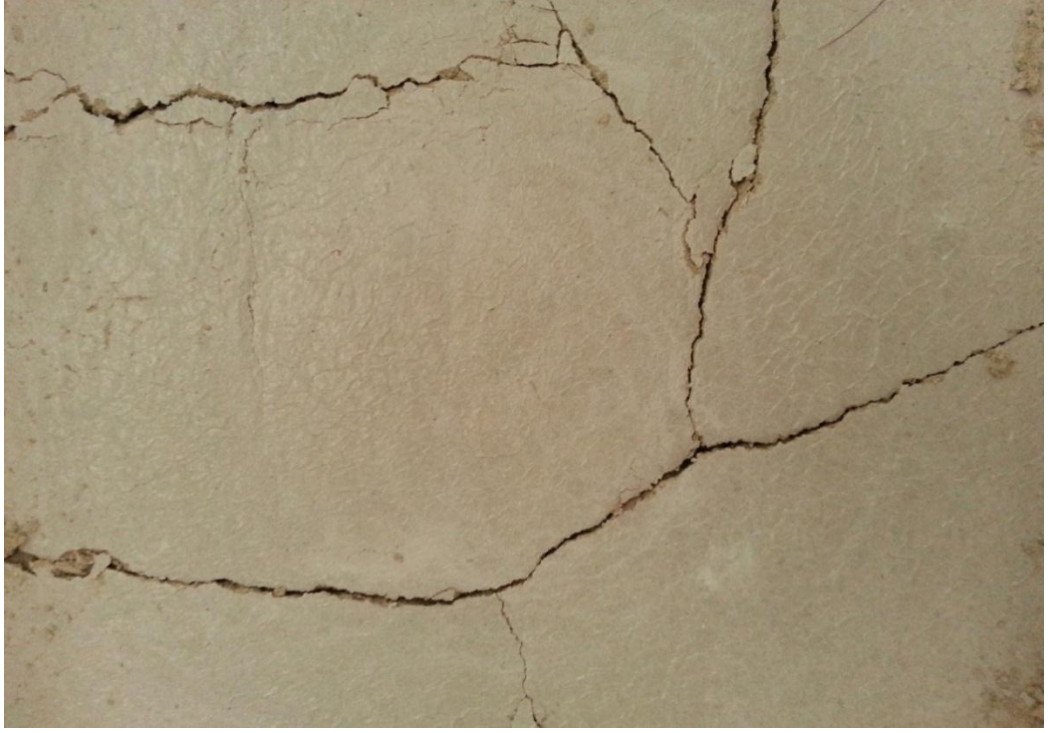
Şekil 6.51: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%11).



Şekil 6.52: Kil mermer tozu karışımı 1.gün (%13).

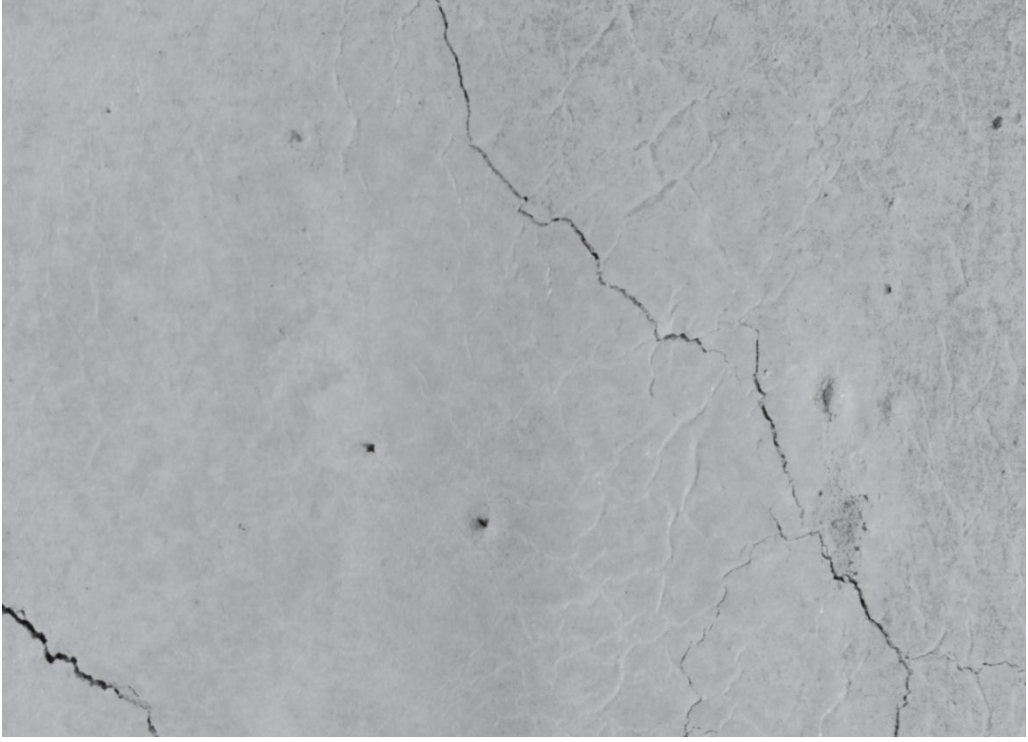


Şekil 6.53: Kil mermer tozu karışımı 28.gün (%13).



Şekil 6.54: Kil mermer tozu karışımı 56.gün (%13).

6.4. Kil örneğinin katkısız durumdaki kuruma çatlaklarına etkisi



Şekil 6.55: Katkısız kil örneği 1.gün.



Şekil 6.56: Katkısız kil örneği 28.gün.



Şekil 6.57: Katkısız kil örneği 56.gün.

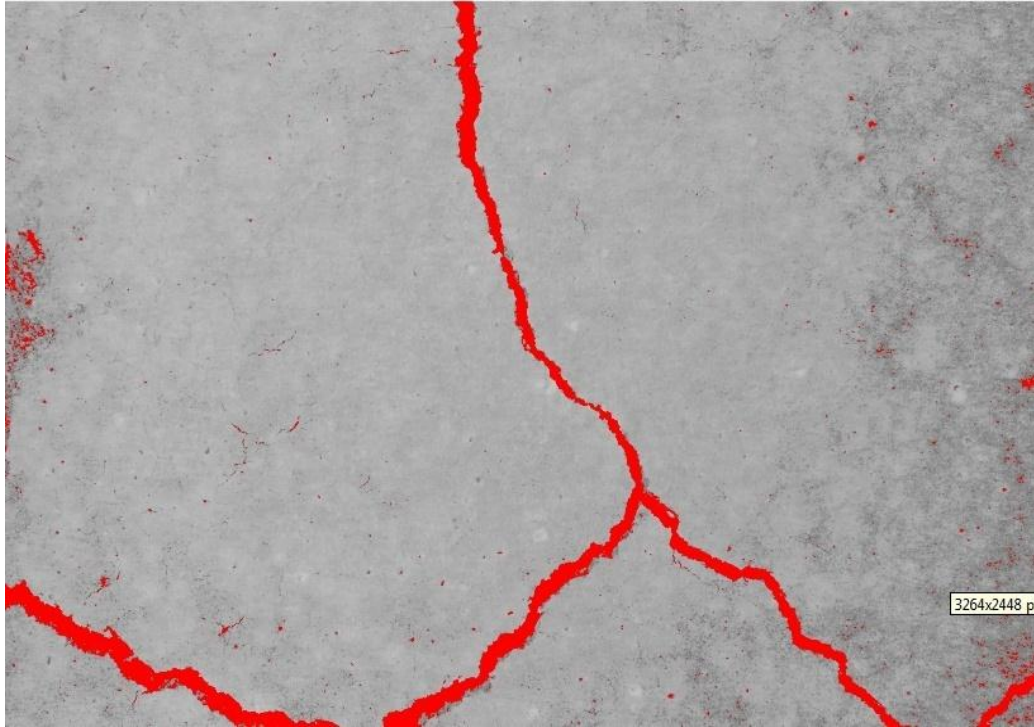
6.5. İmagej programı

Günümüzde birçok alanda görüntünün sayısal ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sıkça kullanılan görüntü analiz programları bulunmaktadır. Görüntü analiz programları sayesinde, kaydedilen bir görüntü sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Bu programlardan biri olan İmagej ise, kullanımının kolay olması ve ücretsiz edinilebilmesinin yanı sıra farklı dil seçeneklerinin bulunması nedeni ile bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada da İmagej programı kullanılmıştır. Kaydedilen zemin numune fotoğraflarının İmagej yardımı ile çatlak alanları piksel cinsinden hesaplanmıştır. Belirli (sabit) bir eşik değeri seçilerek farklı zemin numunelerinin kolay bir yöntemle çatlak alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan çatlak alanları programın görüntü üzerinden çalışması nedeni ile piksel cinsindedir. Herbir fotoğrafın alanı 3264x2448 pikseldir. Programı piksel cinsinden çalışması nedeni ile çatlak alanları oransal olarak düzenlenmiştir. Düzenlenen veriler Excell programına aktarılarak tablosu oluşturulmuştur. Oluşan tablolardan alınan oransal verilerin grafiği çizilmiştir. Grafikler sayesinde killi zeminin katkı maddelerine karşı oluşan davranışı açıkça gözlemlenebilmektedir.

İmagej programına aktarılan fotoğrafların çatlak bölgesi, program tarafından işaretlenir. İşaretlenen bölgelere sabit bir eşik değeri verildikten sonra çatlak alanları seçilir. Son olarak çözümlenebilir ve seçilen bölgenin alanı piksel cinsinden belirlenmiş olur. Hesaplanan alanların Excell programında düzenlenen tabloları dikkate alınarak grafiği çizildi.



Şekil 6.58: Kireç %3, 7.gün.



Şekil 6.59: İmej programında çatlak bölgelerin işaretlenmesi (kireç %3, 7.gün).



Şekil 6.60: İşaretlenen çatlak bölgenin sınırlandırılması (kireç %3, 7.gün).

Çizelge 6.1: Hesaplanan çatlak alanı (kireç %3, 7. Gün).

G18						
fx						
	A	B	C	D	E	F
1		Area	Mean	Min	Max	
2	1	221839	34.151	1	77	
3						
4						
5						
6						

Çizelge 6.2: Katkı maddeli (%3, %5, %7) killi zeminin hesaplanan alanları.

	UÇUCU KÜL	KİREÇ	MERMER TOZU
%3 1.GÜN	7208 PİKSEL	45625 PİKSEL	6449 PİKSEL
%3 7.GÜN	8326 PİKSEL	221839 PİKSEL	7240 PİKSEL
%3 14.GÜN	8703 PİKSEL	422927 PİKSEL	32405 PİKSEL
%3 21.GÜN	11123 PİKSEL	463567 PİKSEL	42432 PİKSEL
%3 28.GÜN	11431 PİKSEL	479765 PİKSEL	57920 PİKSEL
%3 35.GÜN	12731 PİKSEL	516072 PİKSEL	76908 PİKSEL
%3 42.GÜN	16126 PİKSEL	521729 PİKSEL	83365 PİKSEL
%3 49.GÜN	20383 PİKSEL	572880 PİKSEL	101107 PİKSEL
%3 56.GÜN	22340 PİKSEL	596517 PİKSEL	108209 PİKSEL
%5 1.GÜN	7113 PİKSEL	41383 PİKSEL	17653 PİKSEL
%5 7.GÜN	7373 PİKSEL	192105 PİKSEL	19098 PİKSEL
%5 14.GÜN	20181 PİKSEL	235337 PİKSEL	31347 PİKSEL
%5 21.GÜN	27440 PİKSEL	349959 PİKSEL	58571 PİKSEL
%5 28.GÜN	30319 PİKSEL	366098 PİKSEL	61942 PİKSEL
%5 35.GÜN	30956 PİKSEL	390845 PİKSEL	84415 PİKSEL
%5 42.GÜN	34287 PİKSEL	407802 PİKSEL	91969 PİKSEL
%5 49.GÜN	35355 PİKSEL	476469 PİKSEL	102188 PİKSEL
%5 56.GÜN	39318 PİKSEL	553881 PİKSEL	117461 PİKSEL
%7 1.GÜN	93409 PİKSEL	6777 PİKSEL	18249 PİKSEL
%7 7.GÜN	129802 PİKSEL	9260 PİKSEL	26292 PİKSEL
%7 14.GÜN	136150 PİKSEL	12335 PİKSEL	53563 PİKSEL
%7 21.GÜN	233108 PİKSEL	21163 PİKSEL	71674 PİKSEL
%7 28.GÜN	306480 PİKSEL	28655 PİKSEL	81489 PİKSEL
%7 35.GÜN	333074 PİKSEL	38286 PİKSEL	104423 PİKSEL
%7 42.GÜN	389482 PİKSEL	43021 PİKSEL	123361 PİKSEL
%7 49.GÜN	438633 PİKSEL	51422 PİKSEL	127358 PİKSEL
%7 56.GÜN	468111 PİKSEL	67466 PİKSEL	133254 PİKSEL

Çizelge 6.3: Katkı maddeli (%9, %11, %13) killi zeminin hesaplanan alanları.

	UÇUCU KÜL	KİREÇ	MERMER TOZU
%9 1.GÜN	11719 PİKSEL	2033 PİKSEL	63955 PİKSEL
%9 7.GÜN	148730 PİKSEL	2610 PİKSEL	66708 PİKSEL
%9 14.GÜN	187150 PİKSEL	3396 PİKSEL	74641 PİKSEL
%9 21.GÜN	290092 PİKSEL	5042 PİKSEL	83579 PİKSEL
%9 28.GÜN	345196 PİKSEL	6020 PİKSEL	97714 PİKSEL
%9 35.GÜN	350865 PİKSEL	7230 PİKSEL	113980 PİKSEL
%9 42.GÜN	402817 PİKSEL	8739 PİKSEL	124442 PİKSEL
%9 49.GÜN	460492 PİKSEL	1047 PİKSEL	139039 PİKSEL
%9 56.GÜN	490131 PİKSEL	11606 PİKSEL	140724 PİKSEL
%11 1.GÜN	263584 PİKSEL	1616 PİKSEL	91173 PİKSEL
%11 7.GÜN	351895 PİKSEL	2422 PİKSEL	129621 PİKSEL
%11 14.GÜN	370356 PİKSEL	3248 PİKSEL	146790 PİKSEL
%11 21.GÜN	384019 PİKSEL	3529 PİKSEL	152878 PİKSEL
%11 28.GÜN	392476 PİKSEL	5012 PİKSEL	160051 PİKSEL
%11 35.GÜN	413528 PİKSEL	6806 PİKSEL	173417 PİKSEL
%11 42.GÜN	472919 PİKSEL	7087 PİKSEL	185733 PİKSEL
%11 49.GÜN	495101 PİKSEL	9590 PİKSEL	193413 PİKSEL
%11 56.GÜN	500595 PİKSEL	9871 PİKSEL	195512 PİKSEL
%13 1.GÜN	17149 PİKSEL	1367 PİKSEL	105079 PİKSEL
%13 7.GÜN	176545 PİKSEL	1740 PİKSEL	118248 PİKSEL
%13 14.GÜN	215748 PİKSEL	2410 PİKSEL	124561 PİKSEL
%13 21.GÜN	260603 PİKSEL	3344 PİKSEL	137134 PİKSEL
%13 28.GÜN	357694 PİKSEL	4219 PİKSEL	141554 PİKSEL
%13 35.GÜN	402082 PİKSEL	4667 PİKSEL	163983 PİKSEL
%13 42.GÜN	465609 PİKSEL	5649 PİKSEL	174338 PİKSEL
%13 49.GÜN	515664 PİKSEL	6221 PİKSEL	187404 PİKSEL
%13 56.GÜN	573487 PİKSEL	6712 PİKSEL	197171 PİKSEL

Çizelge 6.4: Katkı maddeli (%3, %5, %7) killi zeminin alanlarının oranları.

	UÇUCU KÜL	KİREÇ	MERMER TOZU
%3 1.GÜN	0,091	0,572	0,081
%3 7.GÜN	0,105	2,777	0,091
%3 14.GÜN	0,109	5,294	0,406
%3 21.GÜN	0,14	5,802	0,532
%3 28.GÜN	0,144	6,005	0,725
%3 35.GÜN	0,16	6,459	0,963
%3 42.GÜN	0,202	6,53	1,044
%3 49.GÜN	0,256	7,17	1,266
%3 56.GÜN	0,28	7,466	1,355
%5 1.GÜN	0,09	0,518	0,221
%5 7.GÜN	0,093	2,405	0,24
%5 14.GÜN	0,253	2,946	0,393
%5 21.GÜN	0,344	4,38	0,734
%5 28.GÜN	0,38	4,582	0,776
%5 35.GÜN	0,388	4,892	1,057
%5 42.GÜN	0,43	5,104	1,152
%5 49.GÜN	0,443	5,964	1,279
%5 56.GÜN	0,493	6,932	1,471
%7 1.GÜN	1,17	0,085	0,229
%7 7.GÜN	1,625	0,116	0,33
%7 14.GÜN	1,704	0,155	0,671
%7 21.GÜN	2,918	0,265	0,898
%7 28.GÜN	3,836	0,359	1,02
%7 35.GÜN	4,169	0,48	1,307
%7 42.GÜN	4,875	0,539	1,544
%7 49.GÜN	5,49	0,644	1,594
%7 56.GÜN	5,859	0,845	1,668

Çizelge 6.5: Katkı maddeli (%9, %11, %13) killi zeminin alanlarının oranları.

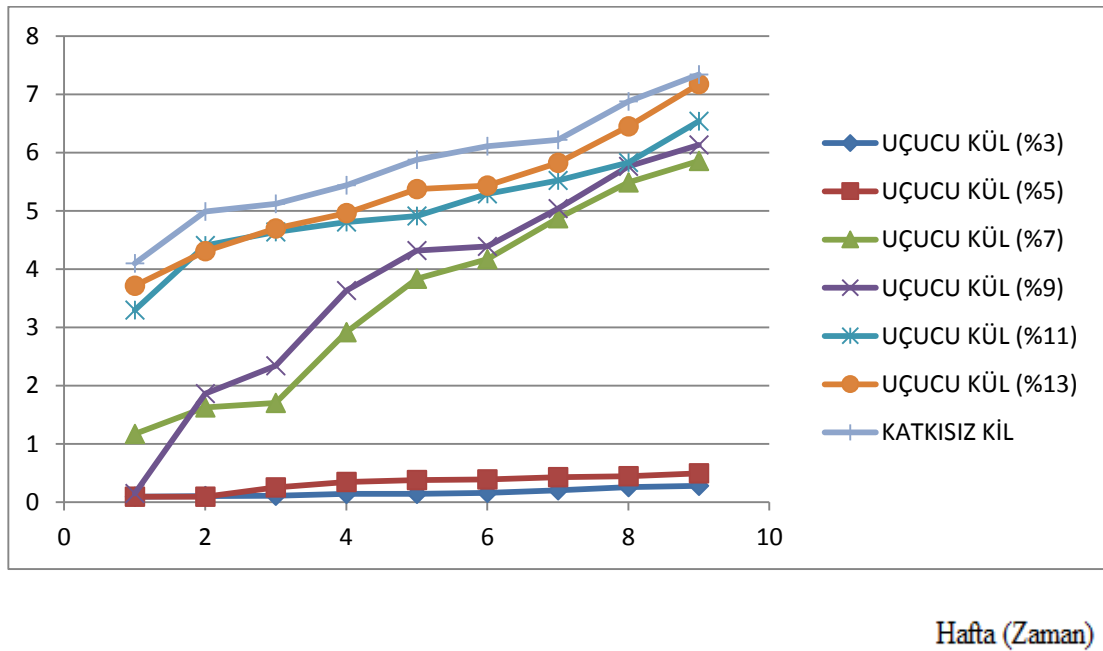
	UÇUCU KÜL	KİREÇ	MERMER TOZU
%9 1.GÜN	0,147	0,026	0,301
%9 7.GÜN	1,862	0,033	0,335
%9 14.GÜN	2,343	0,043	0,935
%9 21.GÜN	3,631	0,064	1,047
%9 28.GÜN	4,321	0,076	1,223
%9 35.GÜN	4,392	0,091	1,427
%9 42.GÜN	5,042	0,11	1,558
%9 49.GÜN	5,764	0,014	1,741
%9 56.GÜN	6,135	0,146	1,762
%11 1.GÜN	3,299	0,021	1,142
%11 7.GÜN	4,405	0,031	1,623
%11 14.GÜN	4,636	0,041	1,838
%11 21.GÜN	4,807	0,045	1,914
%11 28.GÜN	4,912	0,063	2,004
%11 35.GÜN	5,29	0,086	2,171
%11 42.GÜN	5,522	0,089	2,325
%11 49.GÜN	5,831	0,121	2,421
%11 56.GÜN	6,542	0,124	2,447
%13 1.GÜN	3,715	0,018	1,316
%13 7.GÜN	4,31	0,022	1,68
%13 14.GÜN	4,701	0,031	1,859
%13 21.GÜN	4,962	0,042	1,97
%13 28.GÜN	5,377	0,053	2,372
%13 35.GÜN	5,433	0,059	2,453
%13 42.GÜN	5,828	0,071	2,582
%13 49.GÜN	6,454	0,078	2,646
%13 56.GÜN	7,178	0,085	2,768
%13 49.GÜN	6,454	0,078	2,646
%13 56.GÜN	7,178	0,085	2,768

Çizelge 6.6: Katkısız kil örneğinin alanlarının oransal gösterimi.

	KATKISIZ KİL
1.GÜN	0,071
7.GÜN	0,092
14.GÜN	0,55
21.GÜN	0,73
28.GÜN	0,95
35.GÜN	1,31
42.GÜN	1,59
49.GÜN	1,73
56.GÜN	1,89

Şekil 6.61 ve 6.69’da farklı katkı malzemelerinin çatlak oranı bakımından kıyaslaması verilmiştir. Şekil 6.61’de görüleceği gibi uçucu kül oranının artması çatlak alanını göreceli olarak arttırdığı anlaşılmaktadır. %3 kül oranı en düşük çatlak alanına sahip olan karışım olarak görünmektedir.

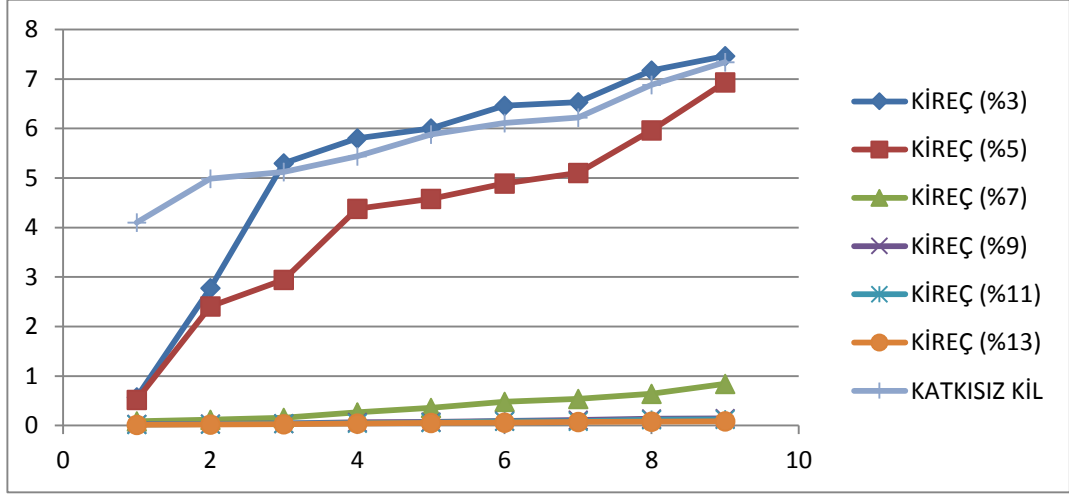
% Oran



Şekil 6.61: Uçucu kül ve katkısız kil.

Şekil 6.62’de uçucu külün aksine kireç oranı arttıkça çatlaklarda çok belirgin bir biçimde azaldığı görülmektedir.

% Oran

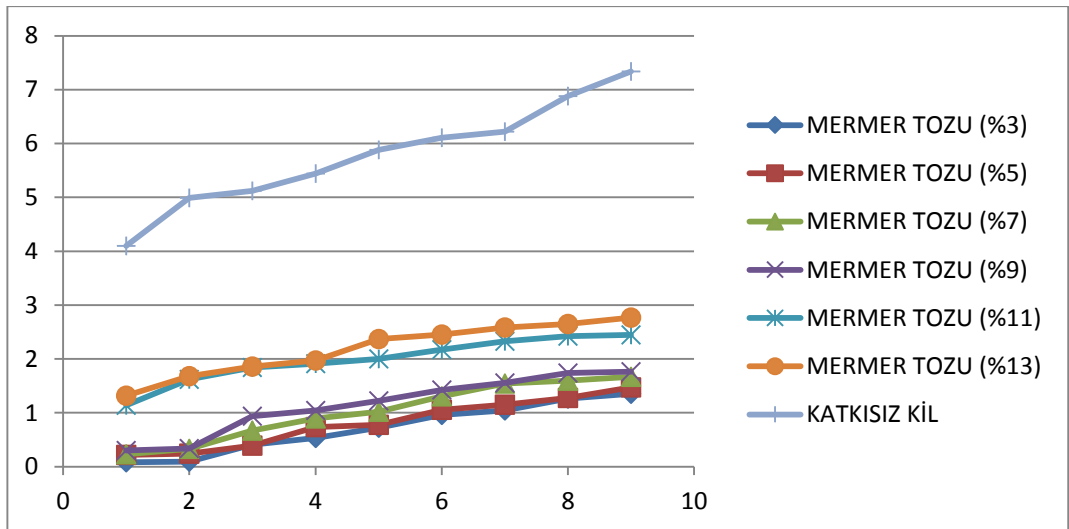


Hafta (Zaman)

Şekil 6.62: Kireç ve katkısız kil.

Şekil 6.63’te ise mermer tozu katkısının çatlamaaya olan etkisi görülmektedir. Mermer tozu da uçucu kül gibi katkı malzeme oranı artmakla birlikte çatlak oranını attırmaktadır.

% Oran

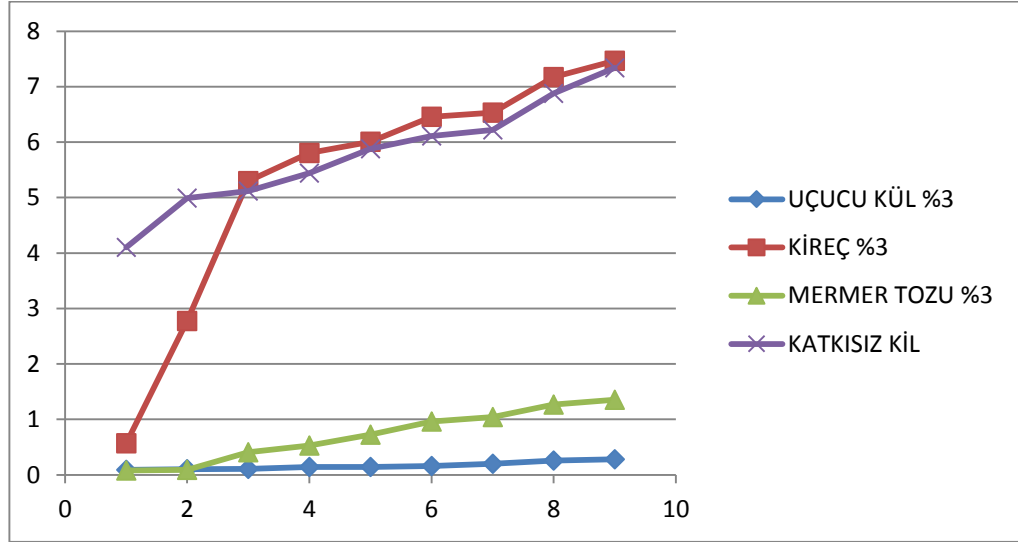


Hafta (Zaman)

Şekil 6.63: Mermer tozu ve katkısız kil.

Şekiller 6.61 ve 6.63 arası katkı malzemeleri kendi karışım yüzdelerince çatlak oranları itibari ile kıyaslanmıştır. Aşağıdaki Şekil 6.64 ve 6.65 arasında ise karışım yüzdeleri dikkate alınarak bir kıyaslamaya gidilmiştir. Örneğin Şekil 6.64’ te aynı karışım yüzdesindeki katkı malzemelerinin 56 günlük, çatlak oluşumu üzerindeki etkileri birbirleri ile kıyaslanmıştır.

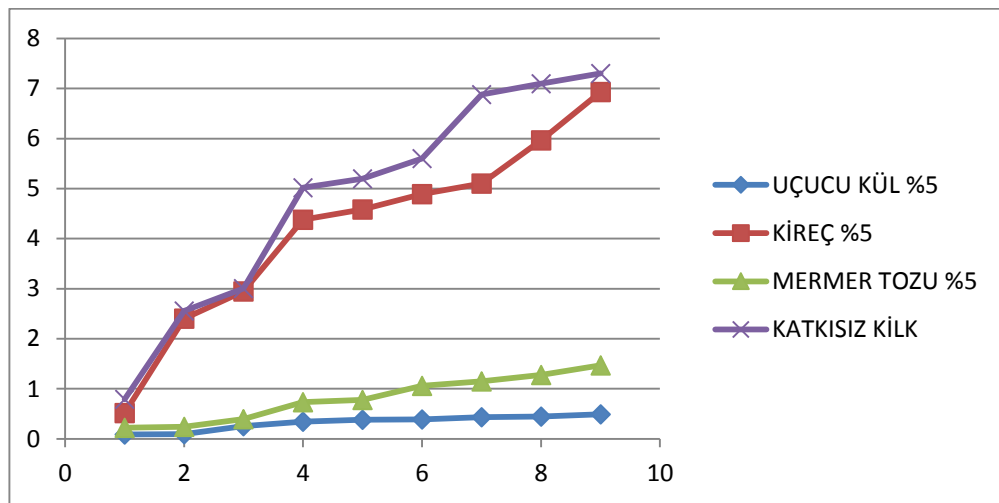
% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.64: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%3)ve katkısız kil.

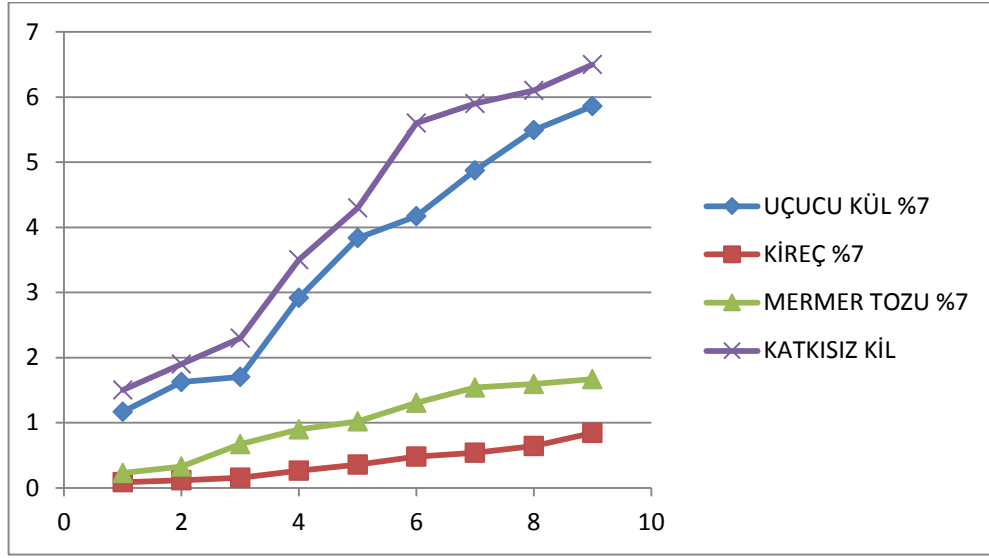
% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.65: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%5) ve katkısız kil.

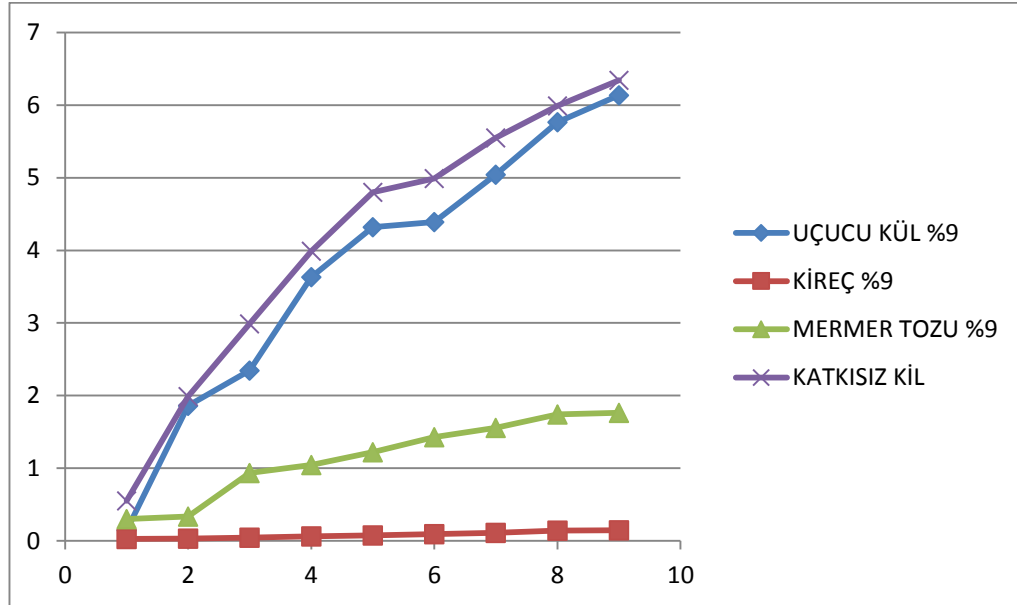
% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.66: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%7)ve katkısız kil.

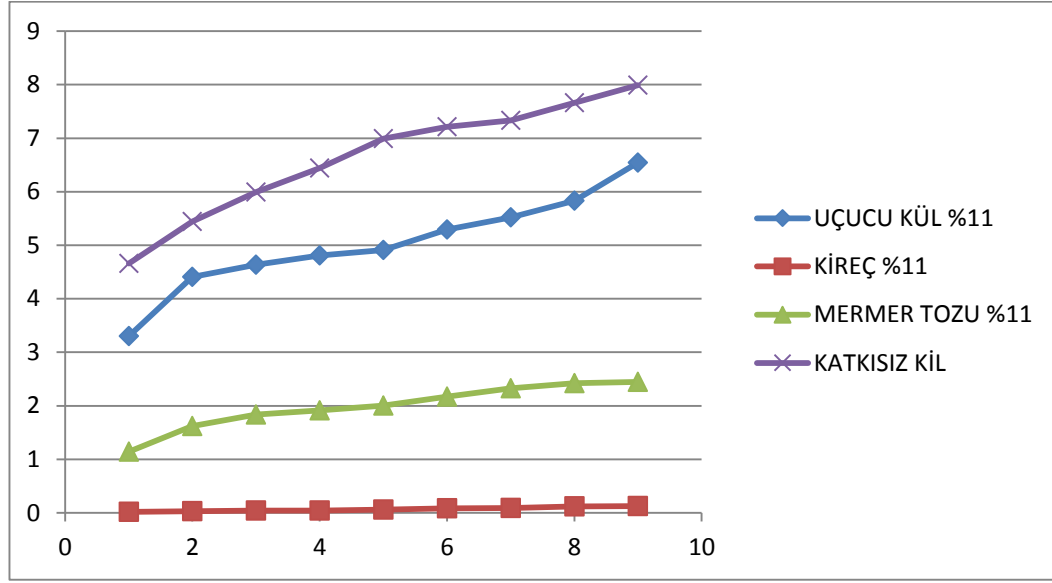
% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.67: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (%9) ve katkısız kil.

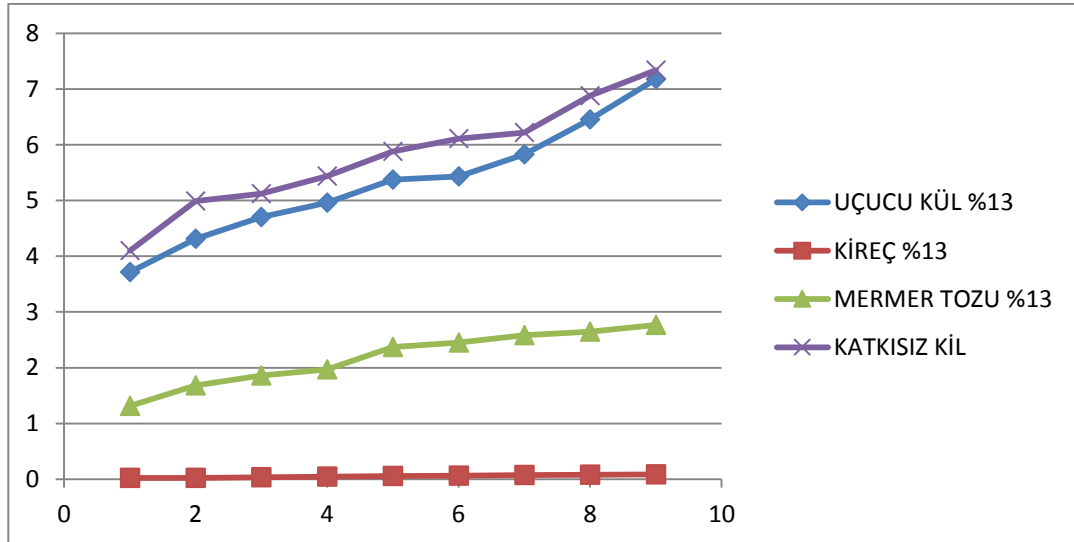
% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.68: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (% 11) ve katkısız kil.

% Oran



Hafta (Zaman)

Şekil 6.69: Katkı maddeleri ile stabilizasyon (% 13) ve katkısız kil.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Nevşehir iline bağlı Avonos bölgesinden edinilen killi zemin örneği kullanılmıştır. Farklı katkı maddeleri kullanılarak, killi zemin numunesindeki kuruma-çatlama davranışı irdelenmiştir. Kullanılan katkı maddeleri ise; kireç, uçucu kül ve mermer tozudur. Numuneler 25cmx25cmx10cm boyutlarındaki deney kaplarında hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, 1.günden başlayarak 7' şer gün arayla fotoğraflanmıştır. Aynı açıdan ve aynı yükseklikten sayısal nitelikte fotoğraf kayıtlarının alınmasına özen gösterilmiştir. Materyal ve Metod kısmında görülen sayısal görüntüler 40cm yükseklikten, 90⁰ lik açı ile çekilmiş fotoğraflardır.

Toplamda 56 gün devam eden görüntüleme işlemi sonucunda, elde edilen fotoğraflar İmagej programına aktarılarak, çatlak alanları piksel nicelikleri kıyaslaması ile hesaplanmıştır. Daha sonra piksel birimi ile tanımlanan alanlar, toplam fotoğraf alanı ile oranlanarak, çatlak boyutları kıyaslanmıştır. Çalışmanın temel amacı; kuruma esnasında büzülmeden dolayı ortaya çıkan çatlakların farklı katkı malzemeleri kullanarak kontrol altına alabilmeyi kapsamaktadır. Burada hedeflenen sonuç ise killi zeminlerin mümkün olan en az çatlama davranışı göstererek büzülme sürecini tamamlamayı sağlamaktır. Bu konuda yapılmış akademik çalışmalarda birçok farklı kimyevi ve polietilen türü petrol türevlerinin kullanımına rastlamak mümkündür. Bu çalışmanın diğerlerinden ayrılan en önemli tarafı ise, yerel malzeme özelliklerini ile literatüre katkıda bulunarak, en güncel fotogrametrik yöntemlerle, çatlak oluşum süreç ve davranışını saptamaktır. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- Uçucu kül kendi içinde değerlendirildiğinde, karışımdaki kül katkı miktarı %5 ve altında olduğu durumlarda kilin büzülme davranışında çatlamaya karşı olumlu bir etki ortaya koyduğu görülmektedir. Fakat bu değer aşıldığında, çatlak alanlarının zamanla göreceli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun külün, tek başına etkin

bir iyileştirme malzemesi olmadığını göstermektedir. Literatürdeki sonuçlarda buna benzer çıkarımlara rastlanmaktadır.

- Katkı malzemesi olarak kireç bütün karışım oranlarında çok etkili bir çatlak önleyici malzeme olarak saptanmıştır. Kireç miktarı arttıkça çatlak oluşma azalımı aynı oranda kendini göstermektedir. Standartlarda bir kil karışımına en etkin ve ekonomik kireç karışım miktarının %3-%8 aralığında olması tavsiyesi vardır. Bu kapsamda kireç-çatlak etkileşimi içinde aynı oran aralığını bu çalışma için önermek mümkündür.
- Katkı maddesi olarak kullanılan mermer tozu için ise çatlak oluşumuna yer yer etkisiz kaldığı yer yer ise çatlak oluşumuna katkı sağladığı anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- Akcanca F., Aytekin M., 2010, “Kum-Bentonit-Kireç Karışımlarının Hidrolik İletkenliğine Islanma-Kuruma Çevrimlerinin Etkisi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, 173 s., İstanbul.
- Akıncı, Ö., 2001, “Seramik Killeri Ve Jeolojisi”, IV.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.
- Akkaya, D., 2009, "Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi",Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1):61-72.
- Al Hamoud, Husein, A., 1995, “Laboratory Assessment of Selling Pressure of Expensive Soils”, Applied Clay Science, 355-368.
- Al Wahap, R.M., El-Kedrah, M.A., 2000, “Using Fibers to Reduce Tension Cracks and Shrink/Swell in Compacted Clay”, Geoenvironment, New York, 791-805.
- Alkaya, D., 2002, “Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilizesine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- ASTM C 618, 1991, “Specification For Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As A Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”.
- Atom, M.F., Al-Sharif, M.M., 1998, “Soil Stabilization With Burned Olive Waste”, Applied Clay Science, 13, 3, 219-230.

- Aydın, S., 2010, “Yenikent (Ankara) Yerleşim Alanı Killерinin Kireç ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-208, Ankara.
- Aytekin, M., 2004, “Deneyisel Zemin Mekaniği”, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B., Muntohar, A.S., 2005, “Stabilization of Residual Soil With Rice Husk Ash and Cement, Construction and Building Materials”, 19, 6, 448-453.
- Başer, O., Çokca, E., 2010, “Şişen Zeminlerin Atık Mermer Tozu Kullanılarak İyileştirilmesi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal kongresi, 143. s., İstanbul.
- Bilge, T., 2011, “Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Kil Zeminlerin Stabilizasyonuna Etkisinin Araştırılması”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-104, Balıkesir.
- Çakılcıoğlu, İ., 2007, “Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1-86.
- Çokca, E., Toktaş, F., 2002, “Dispersif Bir Kilin C Tipi Uçucu Kül ile Stabilizasyonu”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Sh:659 – 668, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Dallas, N., 1995, “Stabilization of Pavement” Subgrades& Base Courses.
- Dallas, N.,1999, “ Evaluation of Structural Properties of Lime Stabilized Soils and Aggregates”, Cilt.1 Summary of Findings,”.
- Daniel, D.E., Wu, Y.K., 1993, “Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 119(2), 223-237.

- Du, Y., LI, S., Hayashi, S., 1999, "Swell –Shrinkage Properties and Soil Improvement of Compacted Expansive Soil, Ning-Liang Highway, China", *Engineering Geology* 53, pp.351-358.
- Guid, G., 1978, "Quantitative Size Evolvation of Cracks and Clods in Artificially Dried Soil Samples", *Geoderma* 19, 105-113.
- Gücek, S., 2011, "Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-97, Afyon.
- Güney, Y., Sarı, D., Çetin, M., Tuncan, M., 2007, "Impact of Cyclic Wetting-Drying on Swelling Behavior of Lime-Stabilized Soil, Building and Environment", 42, 681-688.
- Hasibul, M., 2013, "Evaluating Cracking Behavior of Composite Clay as Liner in Landfill Using extensive Software, International Journal of Engineering Research", 35-46.
- Johnson, L.D., Snethen, D.R., 1978, "Prediction of Potential Heave of Swelling Soil", *Geotechnical Journal*", ASTM, 1(3): 1-5.
- Kalay, E., 2010, "Sıkıştırılmış Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Stabilizasyonunda Pomza, Mermer Tozu ve Kirecin Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-102, Isparta.
- Kleppe, J.H., Olson, R.E., 1985, "Desiccation Cracking of Soil Barriers", West Conshohocken, 263-275.
- Kızılçelik, M., 2010, Yüksek plastisiteli bir kilin kireç ile stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- Lea, A., Gani, M.S.J., 1997, "Cement And Concrete", Chapman & Hall, London.

- Lima, L.A., 1992, "Soil Crack Morphology and Soil Salinity", Soil Science 153, 149-153.
- Mitchell, J.K., 1976, "Fundamentals of soil behaviour", John Wiley & Sons, Inc., New York, 422.
- Nelson, J.D. and Miller, D., 1992, "Expansive soils problems and practice in foundation and pavement", John Wiley & Sons, Inc., New York, 8-15, 40-57.
- Ontürk, K., Fırat, S., 2014, "Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi", Politeknik Dergisi, 35-42.
- Orhan, H., 2010, "Yeniçağa Kilinin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Kireç ve Uçucu Külün Kullanılabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-93, Ankara.
- Önalp, A., 1997, "Geoteknik Bilgisi I-Zeminler ve mekaniği", Sakarya Üniversitesi Yayınları, 27:36-105.
- Özaydın, K., 1989, "Zemin Mekaniği", Meva Matbaacılık, İstanbul, 30.
- Özaydın, K., 1999, "Zemin Mekaniği", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1-260.
- Öztürk, Y., 2009, "Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanı Killerinin Şişme Potansiyelinin Belirlenmesi ve Kireç ile İyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-305, Ankara.
- Sanchez, M., 2011, "Analysis of Cracking Behavior of Drying Soil", International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore.
- Sridharan, A., 1986, "Swelling Pressure of Clays", Geotechnical Testing Journal 9 (1), 24-31.

- Şenol, A., Edil, T.B., Bin-Shafique, M.S., Acosta, H.A., Benson, C. H., 2006, "Soft subgrades stabilization by using various fly ashes, Resources, Conservation and Recycling", 46, 4, 365-376.
- Taha, O., 2011, "Cracks in Soils Related to Desiccation and Treatment", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 1080-1089.
- Tang, C., Shi, B., Liu, C., 2011, "Influencing Factors of Geometrical Structure of Surface Shrinkage Cracks in Clayey Soils", Engineering Geology, 204-217.
- Tokyay, M., 1993, "Betonda Uçucu Kül Kullanımı Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara.
- Tonoz, M.C., Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 2004. Effects of lime stabilization on engineering properties of Ankara clay, Engineering Geology, for Infrastru Planning in Europe, 466-474.
- TS 639, 1975, "Portland Çimento Klinkerine ve Portland Çimento Betonuna Karıştırılacak Uçucu Küller", Ankara.
- Tunç, A., 2002, "Yol Mühendisliğinde Geoteknik Ve Uygulamaları", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, S. 912.
- Tunç, A., 2004, "Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları" Türkiye, Ankara, 975-8784-22-6.
- Tumluer, G., 2006, "Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 74.
- Uzuner, B.A., 2000, "Temel Mühendisliğine Giriş", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Ünsal, N., 2006, "İnşaat Mühendisliği için Jeoloji", Alp Yayınevi, Ankara, 50.

Yesiller, N., 2000, "Desiccation and Cracking Behavior of Three Compacted Landfill Liner Soils", Wayne State University, Department of Civil Engineering, Detroit, USA.

Yıldız, M., Soğancı, A.S., Demiröz, A., Albayral, V., 2004,"Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, (10): 2-3.

Yıldız, A.H., 2008, "Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Raziye ALTINSOY BOZKURT

Doğum Tarihi ve Yeri :01.01.1991 AKSARAY

E-posta adresi : Raziye_6nsoy@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2012.

Lisans : Anadolu Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, İşleme Bölümü, 2014.