



**KİLLERİN BAZI MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE
E-ATIKLARIN ETKİSİ**

Sümeyye GÜNDÜZ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
2020**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİLLERİN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE
E-ATIKLARIN ETKİSİ**

Sümeyye GÜNDÜZ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2020**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**KİLLERİN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE E-ATIKLARIN
ETKİSİ**

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Sümeyye GÜNDÜZ tarafından hazırlanan bu çalışma .03./01./2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy~~ **oy** (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rahim Kağan AKBULUT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun .09./01./2020 tarih ve .02./39 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİLLERİN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE E-ATIKLARIN ETKİSİ

Sümeyye GÜNDÜZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Çevre için zarar oluşturan, kullanılmış ve istenmeyen her türlü madde atık olarak tanımlanmaktadır. Artan nüfus, gelişen teknoloji vb. nedenlere bağlı olarak oluşan atıklar hem insan sağlığına hem de çevreye olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Kırılmış, hasar görmüş, demode olmuş veya kullanım ömrünü tamamlamış elektronik atıklar (e-atık), katı atık türü olup, ağır metaller ile organik kirleticilerin bilinen en büyük kaynaklarından birisidir. Dünyada her yıl yaklaşık 40 milyon ton e-atık ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bu kadar büyük miktarda e-atık için depolama alanlarının oluşturulması arazi kullanımını azalttığı gibi ekonomik açıdan da ülke ekonomisine olumsuz etki oluşturmaktadır.

Atıkların geoteknik mühendisliğinde kullanımıyla ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen e-atıklarla ilgili geoteknik alanında yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu nedenle çalışmada, e-atıkların geoteknik mühendisliğinde kullanılabilirliği amaçlanmıştır. Bu amaçla ince daneli zeminlerin (CH) kıvam limitleri, serbest basınç ve donma çözülme davranışı üzerinde e-atıkların etkisi incelenmiştir. E-atık olarak bilgisayar ana kartları üzerindeki parçalar uzaklaştırılarak kullanılmıştır. E-atık değirmen tipi öğütücüde yeteri kadar küçüklükteki dane boyutuna gelinceye kadar öğütülmüştür. Öğütülen e-atık CH kiline farklı oranlarda (kuru ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5) ilave edilerek elde edilen numunelerde kıvam limitleri, serbest basınç ve donma çözülme deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme deneyleri 3, 5 ve 10 gibi farklı çevrimlerde tekrarlanmıştır. Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda e-atığın CH kilinin likit limit (w_L) ve plastik limit (w_P) değerlerini artırdığı, serbest basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği ve donma-çözülme çevrim sayısının artması ile serbest basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir.

2020, 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: e-atık, elektronik atık, ince daneli zemin, kıvam limitleri, donma-çözülme, serbest basınç, CH kil, zemin iyileştirme

ABSTRACT

Master's Thesis

THE EFFECT OF E-WASTES ON SOME OF THE ENGINEERING PROPERTIES OF CLAY

Sümeyye GÜNDÜZ

Ataturk University
Institute of Science and Technology
Department of Civil Engineering
Geotechnical Department

Supervisor: Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

Any substance that is harmful to the environment, used and unwanted is defined as waste. Wastes due to reasons such as increasing population and developing technology have negative effects on both human health and environment. Electronic wastes (e-wastes) that have been broken, damaged, outdated or have completed their lifetime, are a type of solid waste and one of the largest known sources of heavy metals and organic pollutants. It is estimated that around 40 million tons of e-waste is generated each year in the world. The creation of landfills for such a large amount of e-waste not only reduces land use but also has an adverse economic impact on the country's economy.

Although there are many studies in the literature on the use of wastes in geotechnical engineering, there are almost no studies in the field of geotechnics related to e-waste. Therefore, the aim of this study is to use e-waste in geotechnical engineering. For this purpose, the effect of e-waste on the Atterberg limits, unconfined compressive strength of fine-grained soil (CH) and the behavior of the e-waste at the end of the freeze-thaw cycles were investigated. The plastic parts obtained by removing the components on the computer mainboards was used as e-waste. The e-waste was grinded in the mill type grinder until the grain size was small enough. The Atterberg limits, unconfined compression test and freeze-thaw tests were performed in obtained samples by adding grinded e-waste to CH clay in different ratios (0.1%, 0.3%, 0.5%, 1% and 1.5% by dry weight). In the laboratory 3, 5 and 10 cycles of Freeze-thaw and unconfined compressive strength were performed with the samples obtained. As a result of laboratory tests, e-waste increases the liquid limit (w_L) and plastic limit (w_p) values of CH clay, It was also determined that unconfined compressive strength was positively affected and unconfined compressive strength decreased with increasing number of freeze-thaw cycles.

2020, 59 pages

Keywords: e-waste, electronic waste, fine-grained soil, Atterberg limits, freeze-thaw, unconfined compressive strength, CH clay, soil improvement

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOğLU'na içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalıőmalarım süresince emeği geçen Sayın Arő. Gör. Fatih ARTUK, Sayın Arő. Gör. Elif AYIK ve Sayın İnşaat Müh. Metin ÖZLEKLİ ve Sayın Öğr. Gör. Gamze GENCER'e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca her konuda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme őükranlarımı sunarım.

Sümeyye GÜNDÜZ

Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1. E-Atık	7
2.1.1. Atık elektrikli ve elektronik eşya (AEEE) miktarı	8
2.1.2. AEEE'lerin geri dönüşüm teknolojileri.....	9
2.1.2.a. Elle sökme ve ayırma	10
2.1.2.b. Mekanik parçalama ve ayırma	11
2.1.2.c. Metalürjik prosesler	11
2.1.3. E-atık geri dönüşümünün ekonomiyeye etkisi.....	12
2.1.4. E-atıkların bileşimi	13
2.2. Donma Çözülme Davranışı	14
2.3. Zemin İyileştirmesi.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntem	20
3.2.1. E-atığın öğütülmesi	20
3.2.2. Kıvıam limit deneyleri.....	21
3.2.3. Kompaksiyon deneyi	23
3.2.3. Serbest basınç deneyi	23
3.2.4. Donma-çözülme deneyleri	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	27

4.1. Kıvam Limitleri	27
4.2. Kompaksiyon Deneyi	28
4.3. Donma Çözülme ve Serbest Basınç Deneyleri.....	29
4.3.1. Serbest basınç (0 Çevrim)	29
4.3.2. Serbest basınç (3 Çevrim)	34
4.3.3. Serbest basınç (5 Çevrim)	39
4.3.4. Serbest basınç (10 Çevrim)	43
4.4. Donma Çözülme Çevrim Sayısı ve Atık Oranının Etkisi.....	48
4.5. Kıvam Limitlerinin Serbest Basınç Mukavemeti Üzerindeki Etkileri	53
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AEEE	Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar
CH	Yüksek Plastisiteli Kil Zemin
e-atık	Elektronik Atık
EEE	Elektrikli ve Elektronik Eşyalar
IP	Plastisite İndisi
kPa	Kilopascal
q_u	Serbest Basınç Mukavemeti
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
w_L	Likit Limit
w_{opt}	Optimum Su Muhtevası
w_P	Plastik Limit
ε	Birim Deformasyon
σ	Gerilme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Materyal geri kazanım prosesinin basitleştirilmiş şeması	10
Şekil 3.1. Öğütülmeden önce e-atık ve öğütüldükten sonra e-atık	20
Şekil 3.2. Değirmen tipi öğütücü	20
Şekil 3.3. Düşen koni penetrasyon deney aleti	21
Şekil 3.4. Likit limit grafiği	22
Şekil 3.5. Plastik limitleri deneyi	23
Şekil 3.6. Serbest basınç deney aleti	25
Şekil 3.7. Donma-çözülme deney aleti	26
Şekil 3.8. Folyo kağıdına sarılan numuneler	26
Şekil 4.1. Karşılaştırmalı kıvam limitleri grafiği	27
Şekil 4.2. Maksimum kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi	28
Şekil 4.3. Gerilme-deformasyon ilişkisi	29
Şekil 4.4. Gerilme-deformasyon ilişkisi	30
Şekil 4.5. Gerilme-deformasyon ilişkisi	30
Şekil 4.6. Gerilme-deformasyon ilişkisi	31
Şekil 4.7. Gerilme-deformasyon ilişkisi	31
Şekil 4.8. Gerilme-deformasyon ilişkisi	32
Şekil 4.9. Maksimum serbest basınç mukavemeti – e-atık ilişkisi	32
Şekil 4.10. Gerilme-deformasyon ilişkisi	33
Şekil 4.11. Bazı numunelere ait kırılma şekilleri	34
Şekil 4.12. Gerilme-deformasyon ilişkisi	35
Şekil 4.13. Gerilme-deformasyon ilişkisi	35
Şekil 4.14. Gerilme-deformasyon ilişkisi	36
Şekil 4.15. Gerilme-deformasyon ilişkisi	36
Şekil 4.16. Gerilme-deformasyon ilişkisi	37
Şekil 4.17. Gerilme-deformasyon ilişkisi	37
Şekil 4.18. Maksimum serbest basınç mukavemeti değerleri	38
Şekil 4.19. Gerilme-deformasyon ilişkisi	38
Şekil 4.20. Gerilme-deformasyon ilişkisi	39

Şekil 4.21. Gerilme-deformasyon ilişkisi	40
Şekil 4.22. Gerilme-deformasyon ilişkisi	40
Şekil 4.23. Gerilme-deformasyon ilişkisi	41
Şekil 4.24. Gerilme-deformasyon ilişkisi	41
Şekil 4.25. Gerilme-deformasyon ilişkisi	42
Şekil 4.26. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri	42
Şekil 4.27. Gerilme-deformasyon ilişkisi	43
Şekil 4.28. Gerilme-deformasyon ilişkisi	44
Şekil 4.29. Gerilme-deformasyon ilişkisi	44
Şekil 4.30. Gerilme-deformasyon ilişkisi	45
Şekil 4.31. Gerilme-deformasyon ilişkisi	45
Şekil 4.32. Gerilme-deformasyon ilişkisi	46
Şekil 4.33. Gerilme-deformasyon ilişkisi	46
Şekil 4.34. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri	47
Şekil 4.35. Gerilme-deformasyon ilişkisi	47
Şekil 4.36. Karşılaştırmalı maksimum serbest basınç mukavemeti grafiği	49
Şekil 4.37. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	49
Şekil 4.38. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	50
Şekil 4.39. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	50
Şekil 4.40. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	51
Şekil 4.41. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	51
Şekil 4.42. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi	52
Şekil 4.43. Örnek kırılma yüzeyleri	53
Şekil 4.44. Likit limit-serbest basınç mukavemet kaybı ilişkisi	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı elektrikli ve elektronik ekipmanlar için fonksiyonel ve teknolojik ömür	9
Çizelge 2.2. Birim bilgisayar ağırlığı içindeki materyal oranları	13
Çizelge 2.3. E-atıkların WDXRF analizine göre bileşenleri	14
Çizelge 2.4. Don tasarım zemin sınıflandırması	16
Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan kil zeminin bazı geoteknik özellikleri	19
Çizelge 4.1. Kıvam limitleri.....	27
Çizelge 4.2. Maksimum serbest basınç mukavemeti	29
Çizelge 4.3. Serbest basınç mukavemeti.....	34
Çizelge 4.4. Serbest basınç mukavemeti.....	39
Çizelge 4.5. Serbest basınç mukavemeti.....	44
Çizelge 4.6. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri.....	48
Çizelge 4.7. Likit limit-serbest basınç mukavemet değerleri	53

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Zeminlerin bazı mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalar zemin iyileştirme yöntemi olarak bilinmektedir. Günümüzde kullanılan iyileştirme yöntemlerinin başında fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri gelmektedir. Atık malzemelerin artması ve çevreye verdiği zararların minimize edilmesi amacıyla birçok mühendislik dalında olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de son yıllarda atıkların kullanımı yaygın hale gelmiştir. Atıkların değerlendirilmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur ancak atık çeşitlerinden birisi olan e-atığın geoteknik mühendisliğinde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu amaçla elektronik atıkların (e-atık) geoteknik mühendisliğinde kullanılabilirliği bir seri laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir.

Zemin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri zeminin katkı malzemeleriyle stabilizasyonudur. Son yıllarda çeşitli atık malzemelerin zemin iyileştirmede kullanılabilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ülkemizde ve dünyada atık maddelerin büyük bölümü geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Bu atıkların neden olduğu çevre kirliliğinin insan yaşamına ve ekolojiye olumsuz etkileri bütün ülkelerin ortak problemidir. Kullanılabilir atıkların farklı mühendislik uygulamalarında kullanılması hem ekonomik çözümler sunmakta hem de çevre kirliliği gibi olumsuz etkilerin azaltılmasında etkili olmaktadır (Alpyürür ve Şenol 2018).

Kırılmış, hasar görmüş ve kullanım ömrünü tamamlamış elektronik aletler, ağır metaller ile organik kirleticilerin bilinen büyük kaynaklarından biridir. Elektronik atık; bilgisayar, cep telefonu, televizyon, yazıcı, dizüstü bilgisayar, kişisel müzik seti, çamaşır makinesi, klima, buzdolabı ve diğer ev aletleri gibi ekipmanlardan kaynaklanan atıklardan oluşmaktadır. Elektronik atık, küresel boyutta belediye atıklarının neredeyse üç katı oranında artmaktadır (Kumar ve Baskar 2015). Elektronik atık, birçok farklı

malzemeden ve kimyasaldan oluşmakta ve bunlar doğru kullanılmadığı durumda çevresel ve ekolojik problemler ortaya çıkarmaktadır. Elektronik atıkların bertarafı ve atık yönetimi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ciddi kaygılara neden olmaktadır.

Günümüzde atıklar farklı yollarla geri kazanılmaktadır. En çok kullanılan geri kazanım seçeneklerinin; direkt yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim, geri dönüşüm ve bertaraf olarak tanımlanmaktadır (Çapraz 2013). Doğal kaynakların ve hammaddelerin tükenmesi veya azalması, maliyetlerinin yüksek olması inşaat sektörünü ek kaynaklara yönlendirmekte ve e-atık gibi malzemelerin kullanılması yeni bir kaynak oluşturmaktadır. Bununla beraber çevre üzerinde etkisini azaltmaktadır. Bu amaçla son yıllarda, e-atıklar ile inşaat mühendisliği alanında çalışmalar yapılmaktadır fakat kullanımı çok yeni olup bilimsel çalışmalar sınırlı sayıdadır. Özellikle geoteknik alanında kullanımına, hem ulusal hem de uluslararası literatürde hemen hemen hiç rastlanılmamıştır. İnşaat mühendisliği alanında yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalar ise genel olarak ulaşım ve beton teknolojisi alanındadır.

Bu çalışmada ince daneli zeminlerin (CH) kıvam limitleri, serbest basınç ve donma çözülme davranışı üzerinde e-atıkların etkisi araştırılmıştır. E-atık olarak bilgisayar ana kartları üzerlerindeki aksamalar uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen plastik kısım kullanılmıştır. E-atık değirmen tipi öğütücüde yeteri kadar küçüklükteki dane boyutuna gelinceye kadar öğütülmüştür. Öğütülen e-atık CH kiline farklı oranlarda (kuru ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5) ilave edilerek bir seri deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen numuneler ile laboratuvarında kıvam limitleri, donma- çözülme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme deneyleri 3, 5 ve 10 farklı çevrimler için tekrarlanmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda e-atığın CH kilinin likit limit (w_L) ve plastik limit (w_P) değerleri, donma-çözülme davranışı üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

1.2. Kaynak Özetleri

Bágel' and MatiašovsNý (2010) tarafından yapılan çalışmada, beton teknolojisi alanında uygulanan ve literatüre katkı sağlayan ilk örneklerden biri WEEE'nin (Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atığı) beton agregası olarak kullanılmasının uygulanabilirliği incelenmiştir. Farklı agrega ve katkı maddelerinin kombinasyonu ile iyileştirilen plastik agreganın yüzey modifikasyonu araştırılmıştır. Uygulanan işlemler plastik taneler ve çimento matrisi arasındaki ara yüzey bağ dayanımının artırılmasında etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonuçları hafif beton karışımlarında WEEE'den ayrılan plastiklerin geri dönüştürülmesi için yararlı bir malzeme olacağını göstermiştir.

Lakshmi and Nagan (2010) tarafından yapılan çalışmada, betonda atık malzemelerin ve yan ürünlerin kullanımının çevresel ve ekolojik sorunlara kısmi bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Bu malzemelerin kullanımının sadece çimento, beton ve diğer inşaat malzemelerinde kullanılmasına yardımcı olmakla kalmadığı aynı zamanda çimento ve beton üretim ve depolama maliyetlerinde azaltmaya yardımcı olduğu, çevreyi olası kirlilik etkilerinden koruduğu ve enerji tasarrufu gibi sayısız dolaylı yarar sağladığı ifade edilmiştir. Beton endüstrisinde yapılan çalışmada, e-atığın biyobozunur olmayan bileşenlerinin kaba veya ince agrega olarak kısmen değiştirilmesinin sonuçları incelenmiştir. E-atık partiküllerinin betonda kaba agrega olarak kullanılması üzerine, M20 betonun mukavemet kriterlerine göre %0 ile %30 arasında değişen bir değişim yüzdesi ile deneysel çalışma yapılmıştır. Agregası olarak e-atık içeren ve içermeyen betonun basınç dayanımı, çekme mukavemeti ve eğilme dayanımı gözlenmiştir. Mukavemet özelliklerine göre ultrasonik testler yapılmış ve e-plastik parçacıkların kaba agreganın kısmi yerine konmasının kullanılabilirliği sunulmuştur. Çalışmada e-atıkların kaba agrega ile kısmen yer değiştirmesinin kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Ghazavi and Roustai (2010) tarafından yapılan çalışmada, fiber katkılı kil zeminlerin basınç mukavemetleri üzerinde donma-çözülme çevrimlerinin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak katkılı ve katkısız numunelerin serbest basınç dayanımları bulunmuştur. Çalışmada numuneler -20°C'de 6 saat donmaya ve 25°C'de 6 saat çözülmeye

bırakılmıştır. Çevrim sayıları 0-1-3-5-10 olarak seçilmiştir. Donma-çözülme çevrimlerinin artması ile kil numunelerin serbest basınç dayanımları %20-25 oranında azaldığı belirtilmiştir.

Lakshmi and Nagan (2011) tarafından yapılan çalışmada, e-plastik atıkların inşaat betonunun dayanıklılık özellikleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Kaba agregası olarak e-plastik atıkla hazırlanan beton performansının inceleme sonuçları sunulmuştur. Betonda, kaba agregası olarak çeşitli oranlarda e-atık kullanımının betonun basınç dayanımındaki etkisine dair sistematik bir çalışmayı detaylandırmak için çaba gösterilmiştir. Test sonuçlarına göre e-plastik betonda geleneksel betona kıyasla basınç dayanımında önemli bir iyileşme sağlandığı gösterilmiştir. E-plastik agregası ile kaba agregası ağırlığının %15'e kadar ve çimentonun ağırlıkça %10 olarak uçucu kül ile değiştirilmesinin betonda etkili bir şekilde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Ayrıca e-atığın beton içerisinde kullanılmasının basınç dayanımında önemli bir değişiklik oluşturmadığını fakat kaba agregası miktarının %20'den fazlası e-atık ile değiştirildiği zaman kontrol numunesine göre basınç dayanım değerinin %23,6 azaldığı ifade edilmiştir.

Colbert and You (2012) tarafından ulaşım alanında yapılan bir çalışmada, geleneksel asfalt bağlayıcıları yerine bilgisayar plastiklerinden elde edilmiş elektronik atıklar modifiye asfalt bağlayıcısı kullanılmıştır. Asfalt bağlayıcılara sırasıyla %2,5, %5 ve %15 oranlarında e-atık tozları karıştırılmıştır. Rotasyonel viskozite, dinamik kesme (makaslama) reometresi testi ve giriş eğme reometresi testi modifiye ve modifiye edilmemiş asfalt bağlayıcı numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. E-atık tozların ilavesi, modifiye edilmemiş asfaltta bağlayıcıların viskozitesini ve karıştırma sıcaklıklarını artırırken iz duyarlılığını azaltmıştır. Ayrıca daha düşük yüzdelerdeki e-atık tozlarının kontrol numunesine benzer değerler gösterdiği belirtilmiştir.

Kumar and Baskar (2015) tarafından yapılan çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde e-plastik atıkların inşaat malzemesi olarak geri dönüşümü üzerine, elektronik plastik atık kullanılarak kaba agregasının kısmi değiştirilmesiyle yapısal beton üzerinde deneysel bir

araştırma yapılmıştır. Bilgisayar plastiğinden gelen e-plastik iri agrega olarak kabul edilmiştir. Kaba agrega, hacimce e-plastikten farklı yüzdelere (10, 20, 30, 40 ve 50) ile değiştirilmiştir. Testler 7 ve 28 günlük farklı yaşlarda taze ve sertleşmiş beton özellikleri için yapılmıştır. İnceleme sonucu olarak, karışımın işlenebilirliğinin e-plastiğin yüzdesindeki artışa karşı azaldığı kaydedilmiştir. E-plastiğin betona eklenmesiyle beton kuru yoğunluğunun azalmış olduğu ve kırılmadan önce numunenin yüksek deforme davranışını gösterdiği belirtilmiştir.

Suchithra *et al.* (2015) tarafından yapılan çalışmada, e-atıkların kaba agrega ile kısmi değiştirilmesi incelenmiştir. M20 sınıfı betonda %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında e-atıklar kaba agrega yerine kullanılmıştır. E-atıkların eklenmesi ile elde edilen beton karışım örneklerinin mekanik özellikleri ve dayanıklılığı, kontrol beton karışımı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, e-atık ilaveli betonun geleneksel betona kıyasla basınç dayanımında önemli bir iyileşme sağlandığı ve betonda etkin bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Hasan *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada, e-atık katkıli asfalt bağlayıcıların performansı değerlendirilmiştir. E-atıklar, kontrol bağlayıcı ve kimyasal olarak modifiye edilmiş bağlayıcılar ile karıştırılmıştır. Sonuçlara göre, işlenmemiş e-atık modifiye asfalt bağlayıcıların kontrol bağlayıcıya kıyasla daha sert ve daha elastik davranış gösterdiği ortaya konulmuştur. Kimyasal olarak işlenmiş e-atık modifikatörlerin kullanılması ile asfalt bağlayıcıların iz direncinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir.

Gavhane *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada, e-atıkların (e-plastik) biyobozunur olmayan bileşenlerinin kaba veya ince agreganın kısmen değiştirilmesi için betonda incelemeler yapılmıştır. Beton dayanıklılığı ve sertleştirilmiş özellikleri, optimum çimento içeriği ve %10 e-plastik içeriği için araştırılmıştır. E-plastiğin betonda kullanılmasının, geleneksel ince agregaların gereksinimini azaltacağı ve böylece doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Bulut ve Şahin (2017) tarafından yapılan çalışmada, polimer beton dolgu maddesi olarak kullandıkları kuvars kumu ve çakıl malzemeleri yerine bir kısım e-atık kullanarak polimer betona bir seri mekanik deneyler yapılmıştır. Elektronik plastik/dolgu oranı %0, %5, %15 ve %25 olacak şekilde karışıma katılmıştır. Deneyler sonucunda e-plastik oranı arttıkça basınç, eğilmede ve yarmada çekme dayanımları azaldığı ve ideal e-plastik oranının da %5 ve %15 olduğu belirtilmiştir.

Zaimoglu *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada, ince daneli zemin içerisine lif oranı donatılı zeminin toplam kuru ağırlığının %0,15, %0,20 ve %0,25'i olacak şekilde seçilmiş ve rastgele dağıtılmış farklı boydaki (3mm, 6mm ve 12mm) polipropilen lifler için incelemeler yapılmıştır. Donma-çözülme deneylerinde 1, 3, 5 ve 10 donma çözülme çevrimi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, donma-çözülme çevrim sayısının artması ile serbest basınç dayanımının azaldığı belirtilmiştir. Ve ayrıca donma-çözülme maruz kalmış donatılı numunelerde lif boyundaki artışın serbest basınç mukavemetini olumsuz etkilediği ancak daha sünek davrandığı belirtilmiştir.

Kurup and Kumar (2017) tarafından yapılan çalışmada, PVC kablo dış muhafazasından gelen elektronik atık (e-atık) betonda fiber olarak kullanılmıştır. Sonuçlara göre dayanıklılıkta azalma gözlenmiş olsa da, e-atık lifleri normal betonun kırılma davranışını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Bu nedenle, e-atık lifinin betonda kullanımının, katı atık yönetim problemini azaltmaya yardımcı olacağı ifade edilmiştir.

Işık ve Akbulut (2018) tarafından yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş karbon karası KKg'nin killi zeminlerin (CH ve CL kili için) kıvam limitlerine olan etkisi incelenmiştir. Killerin içine kuru ağırlıkça %0, %1, %3, %5 ve %10 oranında KKg katılarak hazırlanan numunelerde likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre CH kilin likit limit değerinin %1 KKg içeriğinde, %0 KKg içeriğine göre ani olarak düştüğü ve KKg arttıkça azalma eğilim hızının düşerek devam ettiği belirtilmiştir. Diğer taraftan, CH kilin plastik limit değerinin ise %1 KKg içeriğine kadar arttığı ve bu noktadan sonra KKg arttıkça azaldığı ifade edilmiştir. CL kilin likit limitinde ise gözle görülür bir düşüşün olmadığı ve benzer şekilde CL kilin plastik limit değerlerinde de önemli bir düşüşün olmadığı belirtilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. E-Atık

Kullanılmış, istenmeyen ve çevre için zarar oluşturan her türlü madde atık olarak tanımlanmaktadır. Kırılmış, hasar görmüş, demode olmuş veya kullanım ömrünü tamamlamış elektronik atıklar (e-atık), katı atık türü olup, ağır metaller ile organik kirleticilerin bilinen en büyük kaynaklarından biridir.

Katı atıklar; tekrar kullanım (reuse), geri dönüşüm (recycle) ve geri kazanım (recovery) olmak üzere yeniden değerlendirilebilirler. Tekrar kullanım ile ürünün kullanım ömrü uzatılmış olur. Geri dönüşüm ile atıkların üretimde kullanılması için ikincil hammaddeye dönüşümü gerçekleştirilebilir. Geri kazanım ile hammadde tüketimi azalacağından doğal kaynakların korunması sağlanmaktadır. Bu şekilde; kaynakları koruma, çevrenin korunması, hava, su, toprak ve görüntü kirliliğinin azaltılması, ikincil hammaddelerden üretim sırasında enerji tasarrufu yapmak, atık miktarını azaltmak, yer tasarrufu yapmak hedeflenir (Çiftlik vd 2009).

22.05.2012 tarihli ve 28300 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği'nde elektrikli ve elektronik eşya kategorileri Ek-1/A'da verilmiştir. Bu yönetmelik, elektrikli ve elektronik eşyalar (EEE) üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığının korunması için elektrikli ve elektronik eşyalarda bazı zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılmasını düzenlemektedir. Bu sınırlandırmalardan muaf tutulacak uygulamaların belirlenmesi, elektrikli ve elektronik eşyaların ithalatının kontrol altına alınması, elektrikli ve elektronik atıkların oluşumunun ve bertaraf edilecek atık miktarının azaltılması için, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım yöntem ve hedeflerine ilişkin hukuki ve teknik esasları da bu yönetmelik düzenlemektedir.

Ek-1/A'da verilen EEE kategorileri aşağıda verilmiştir. Bu kategorilere giren ürünlerin listesi 22.05.2012 tarihli ve 28300 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği'nde Ek-1/B'de detaylandırılmıştır.

1. Büyük ev eşyaları
2. Küçük ev aletleri
3. Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları
4. Tüketici ekipmanları
5. Aydınlatma ekipmanları
6. Elektrikli ve elektronik aletler (büyük ve sabit sanayi aletleri hariç olmak üzere)
7. Oyuncaklar, eğence ve spor ekipmanları
8. Tıbbi cihazlar
9. İzleme ve kontrol aletleri
10. Otomatlar

Kamu ve çevre sağlığının ve kaynakların korunması için e-atıkların yönetimini sağlamak amacı ile toplama, taşıma, yeniden kullanılabilir özellikteki eşyaların tamir ve bakımlarını yapma, bütün olarak yeniden kullanıma uygun olmayan eşyaların veya bunların parçalarının kırma, öğütme, ayrıştırma, tür ve kalite sınıflandırmasını yapma, geri dönüşüm ile elde edilemeyecek e-atık sınıfındaki materyallerin geri kazanım proseslerine tabi tutulması ve bunun da mümkün olmaması durumunda bertarafı için gerekli tüm işlemlerin yürütülmesi uzman ve yetkili bir organ tarafından yapılmalıdır (Çapraz 2013).

2.1.1. Atık elektrikli ve elektronik eşya (AEEE) miktarı

Avrupa Birliği uyum sürecinde Türkiye'de e-atık yönetimine ilişkin yapılan detaylı bir çalışmada United Nations University'nin 2007 yılında yaptığı araştırmalar sonucuna dayanarak 27 üyesi bulunan Avrupa Birliği'nin her yıl 8,3-9,1 milyon ton e-atık ürettiği sonucu sunulmuştur. Bununla birlikte dünyada her yıl yaklaşık 40 milyon ton e-atık ortaya çıktığı ve her yıl %3-5 artış gösterdiği tahmin edilmektedir (Kahraman 2014).

Öte yandan elektronik atık üretim kaynakları göz önüne alındığında dünyada yıllık yaklaşık 50 milyon ton e-atık oluştuğu tahmin edilmektedir (Atasever 2015). Bu kadar büyük miktarda e-atık için depolama alanlarının oluşturulması arazi kullanımını azalttığı gibi ekonomik açıdan da ülke ekonomisine olumsuz etki oluşturmaktadır.

Kullanım ömrünü tamamlayan her elektrikli ve elektronik eşya atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlarla beraber EEE üretimi her geçen gün artmaktadır. EEE üretiminin artmasının sonucunda AEEE potansiyeli de artmaktadır. Bazı elektrikli ve elektronik ekipmanlar için fonksiyonel ve teknolojik ömürleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

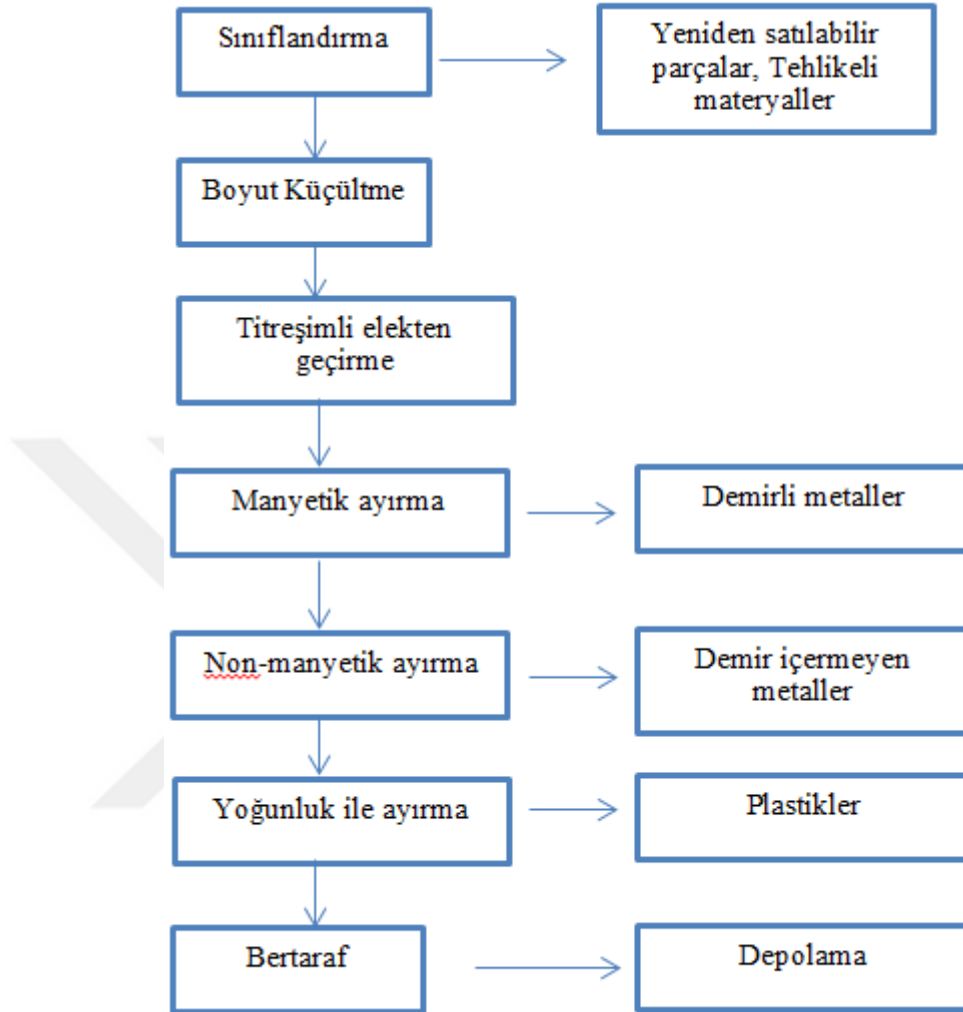
Çizelge 2.1. Bazı elektrikli ve elektronik ekipmanlar için fonksiyonel ve teknolojik ömür (Aydın 2011)

Ürün	Fonksiyonel Ömür (yıl)	Teknolojik Ömür* (yıl)
Masaüstü Bilgisayar	10	2
LCD Monitör	5	2
CD Kaydedici	7	2,5
Ses Sistemi	9	3,5
Televizyon Sistemi	11	4
Kablosuz Telefon	10	5
Çamaşır Makinesi	10	6

*Teknolojik ömür; teknolojik yenilikler karşısında ürünün seviyesini belirten parametre

2.1.2. AEEE’lerin geri dönüşüm teknolojileri

AEEE’ler iki tip tesislerde geri dönüştürülmektedir. İlk tesislerde metalleri geri kazanmak için; AEEE’ler söküm ve mekanik olarak işlem görürler. İkinci tip tesislerde ise metalürjik işlemler yapılarak metallerin geri kazanımı sağlanmaktadır; diğer çeşitli proseslerle de plastik vb. diğer maddeler geri kazanılabilmektedir. Materyal geri kazanım prosesinin basitleştirilmiş şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Materyal geri kazanım prosesinin basitleştirilmiş şeması (Aydın 2011)

Bazı Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların çeşitlerinde uygulanan geri dönüşüm prosesleri genel hatlarıyla aşağıda verildiği gibidir;

2.1.2.a. Elle sökme ve ayırma

Geri kazanım sürecinin ilk basamağı atıkların elle sökülmesi işlemidir. Bu aşamada atık metal, plastik veya cam parçalara ve daha özel işlem gerektiren tehlikeli bileşenlere (civa ihtiva eden bileşenler, piller, CRT cam ve LCD'ler) ayrılır. Bir sonraki adımda cıva

içeren bileşikler, özel cıva geri kazanım tesislerine veya modern baca temizleme sistemi olan tehlikeli atık bertaraf tesislerine gönderilmektedir. Piller, kadmiyum, nikel, cıva ve kurşun gibi maddeleri geri kazanma amacıyla proses edilmektedir. Kurşunlu CRT cam, kurşunun geri kazanılması için veya yeni kurşun cam üretiminde kullanılmak üzere, LCD'ler ise cam geri kazanımında kullanılmak üzere ayrılmakta veya bertaraf tesislerine gönderilebilmektedir (Çalışkan 2017).

2.1.2.b. Mekanik parçalama ve ayırma

AEEE bileşenleri boyut küçültme için parçalama/ezme işlemine tabi tutulur. Boyutları küçültüldükten sonra bileşenler boyut, ağırlık, öz ağırlık ve elektriksel iletkenlik, manyetik duyarlılık karakterlerine göre gruplandırılmaktadır.

Kullanılan tipik mekanik ayırma aşamaları verildiği gibidir ;

- Eleme,
- Manyetik ayırma (demirli parçaları ayırmak için),
- Eddy current ile ayırma (bakır, alüminyum gibi demir içermeyen materyalleri elektrik iletkenlik farklılığından faydalanarak ayırmak için),
- Öz ağırlık ve yerçekimi ile ayırma (plastikleri su veya hava tablaları kullanarak, suda yüzdürme yöntemi ile ayırmak)

Mekanik ayırma işlemi sırasında oluşan metal/değerli metal kaybı gibi dezavantajlar nedeniyle fiziksel yöntemler, genellikle metalürjik işlemler öncesi sadece ön ayırma metodu olarak uygulanmaktadır (Kahraman 2014).

2.1.2.c. Metalürjik prosesler

Metalik bileşenlerin daha da ayrıştırılabilmesi için metalürjik işlemler uygulanmaktadır. Metalürjik işlemler pirometalürjik işlemler ve hidrometalürjik işlemler olmak üzere iki

kısımıdır. Pirometalürjik işlemlerde metaller eritilir. Hidrometalürjik işlemlerde ise metaller çözdürülür. Bakır ergitmede kullanılan pirometalürjik işlemlerde elektrolitik saflaştırma, demir içermeyen metalleri geri kazanımda kullanılan yaygın bir metottur. İşlemlerde, ezilmiş parçaları plastikten arındırabilmek için erimiş kurşun banyosunda veya fırında yakılmaktadırlar. Demir, kurşun, çinko gibi metaller oksitlendirilerek silika bazlı cüruf ile sabitlenmektedir. Esas olarak bakır içeren eriyik (ayrıca gümüş, altın, nikel, selenyum, çinko da içerebilir) bir anot fırınında daha da rafine edilebilmektedir. Anotlardaki metaller daha sonra rafine edilebilir ve asidik çözelti içinde elektroliz ile geri kazanılabilir.

Hidrometalürjik işlemler, pirometalürjik işlemlerden sonra yada pirometalürjik işlemlerin yerine, metallerin son rafinasyonu amacıyla kullanılır. Yaygın olarak kullanılıyor olmasa da, hidrometalürjik proseslerin pirometalürjik işlemlere göre, daha az enerji tüketmek ve daha fazla ürün elde etmek gibi pek çok yararı vardır (Aydın 2011).

2.1.3. E-atık geri dönüşümünün ekonomiye etkisi

2016 yılı envanter rakamlarında bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları içerisinde bilgisayarların oluşma miktarı yaklaşık 30.000 ton olarak varsayılarak, bir bilgisayar ağırlığı 7,5 kg olarak kabul edilirse yaklaşık 4.000.000 adet bilgisayar atığı oluşacağı tahmin edilmektedir. Bu atıkların materyal karşılıkları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Bilgisayar atıklarından kaynaklı toplam 10.400 ton metal hurda oluşması beklenmektedir. Bu miktarın yalnızca %60'ı geri dönüştürüldüğünde 6.240 ton hurda ekonomiye geri kazandırılabilir. 2017 yılı için hurda metal fiyatı (900 TL/ton) dikkate alındığında ise bu miktarın ekonomik karşılığı yaklaşık 5.616.000 TL olmaktadır (Çalışkan 2017).

Çizelge 2.2. Birim bilgisayar ağırlığı içindeki materyal oranları (Çalışkan 2017)

Materyal	Oran (%)	Birim bilgisayar ağırlığı (7,5 kg) içindeki ağırlık (kg)
Çelik	7	0,7
Plastik	28	2,2
Alüminyum	5	0,4
Bakır	20	1,5
Cam	18	1,35
Altın	-	0,0001
Diğer	18	1,35

2.1.4. E-atıkların bileşimi

Çizelge 2.3’de farklı marka ve modellerde üretilmiş 5 adet cep telefonu ve 5 adet Bilgisayar Merkezi İşlem Ünitesinin (CPU) WDXRF analizleri verilmiştir. Elektronik atıklar bazı değerli metaller ve çevre ve insan sağlığı için zararlı ağır metaller içermektedir. Analizlere göre CPU’lar yaklaşık %43 oranında, cep telefonları yaklaşık %29 oranında bakır barındırmaktadır. Bunlara ek olarak analizleri verilen e-atıklar; altın (Au) ve alüminyum (Al), krom (Cr), kurşun (Pb) ve magnezyum (Mg) gibi metaller içerdiği görülmektedir (Yıldırım 2018).

Çizelge 2.3. E-atıkların WDXRF analizine göre bileşenleri (Yıldırım 2018)

	CPU-1	CPU-2	CPU-3	CPU-4	CPU-5	TELEF ON1	TELEF ON-2	TELEF ON-3	TELEF ON-4	TELEF ON-5
Au	0.08	0.18	0.15	0.11	0.10	0.03	0.03	0.10	0.10	0.03
Cu	40.87	42.70	44.50	47.02	42.03	27.07	29.09	29.30	32.69	26.60
Al	1.23	0.00	1.08	1.18	1.70	2.77	2.45	1.87	5.10	4.02
Si	7.90	7.42	7.30	6.12	6.76	9.64	9.65	9.81	8.65	11.10
Fe	3.15	3.19	3.00	3.10	2.52	5.94	5.71	6.20	4.74	1.96
Ca	3.70	2.98	2.88	3.21	3.95	5.49	5.78	5.03	5.62	8.64
Sn	0.66	3.24	3.12	0.67	0.79	2.16	1.43	3.23	1.60	2.03
Ba	3.51	1.23	2.27	1.10	0.75	2.40	3.28	1.75	1.51	1.64
Cr	0.41	0.38	0.38	0.32	0.27	0.60	0.49	0.63	0.53	0.21
Br	3.42	2.93	2.49	2.58	3.53	4.59	5.11	3.82	0.02	0.07
Ti	1.03	0.36	0.67	0.27	0.27	0.66	0.72	0.57	0.44	0.30
Pb	0.32	0.30	0.35	4.40	5.68	0.99	0.72	0.31	0.03	0.03
Ni	2.48	2.26	2.47	1.58	1.54	1.71	1.80	1.29	1.27	0.78
S	0.12	0.09	0.11	0.09	0.00	0.16	0.38	0.12	0.22	0.29
Mg	0.05	0.07	0.05	0.04	0.05	0.27	0.11	0.46	0.18	0.15
Ag	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.09	0.0	0.23	0.34	0.20

*Çizelgede metal oranları % olarak verilmiştir.

Baskı devre kartlarından minimum artık ve maksimum verimle metal kazanımı üzerine dünya çapında geniş çalışmalar yürütülmektedir. Çözeltiye alınan metallere Au, Ag ve Cu için sırasıyla; %99, %99,9 ve %99,5 verimlilikte geri dönüşüm yapılabilirken Fe, Zn, Al, Sn, Ni gibi diğer metaller %90 verimlerle çözeltiye alınabilir. Farklı çözeltilerle ve çözülme çevrimiyle farklı metallere daha iyi verime ulaşılabilir (Tamışlı 2018).

2.2. Donma Çözülme Davranışı

Donma olayı, suyun sıcaklığının donma noktasının altına düşmesiyle birlikte gerçekleşir. Donma, suyun hacimce yaklaşık %9 oranında genişlemesine neden olur. Ve

ayrıca buz lenslerinin oluşumuna neden olur. Sıcaklığın erime sıcaklığını aşmasıyla çözülme olayı gerçekleşir. Zeminde buz lenslerinin erimesiyle su muhtevası artar ve zeminin mukavemeti azalır. İlkbahar dönemlerinde yaşanan bahar erimesi veya bahar bozulması olarak da isimlendirilen bu olay nedeniyle özellikle otoyol kaplamaları ciddi yapısal hasara uğrayabilir (Holtz *et al.* 2015).

Doymuş kum veya çakıl zeminlerde, suyun bir kısmı donma esnasında dışarıya atılacağından donan suyun hacimce genişmesi boşluk oranında %9 oranında bir artış sağlamamaktadır. Ancak, doymuş silt ve kil zeminde donmanın etkileri sıcaklığın düşüş oranına bağlıdır. Laboratuvar ortamında, doymuş bir numunenin hızlı soğutulması suyun bulunduğu yerde donmasına neden olur. Sıcaklık kademeli olarak düşürülürse, su, donma sıcaklığına maruz kalan yüzey kısmında yüzeye paralel bir şekilde buz merceklere (buz lensleri) oluşturmaktadır. Buz tabakalarının oluşması numunenin alt kısmından yüzeye doğru hareket eden su ile sınırlı olmaktadır. Numunenin alt kısmı suyun kılcallıkla yukarıya doğru hücum etmesi sonucu konsolidasyona uğramaktadır (Çiftliklioğlu 2018).

Donma olayına maruz kalan bir zeminde, donmuş tabaka, donma bölgesi ve donmamış tabakalar bir arada bulunmaktadır. Donma bölgesi, donmuş tabaka ve donmamış tabaka arasında bulunmaktadır ve bir geçiş bölgesi olarak tanımlanabilir. Donma bölgesi buz merceklere oluşmaya başladığı yere kadar devam eder. Donmuş bir zemindeki hacimsel değişim yani kabarma ise, zeminin üst kısmında oluşan buz merceklere hacmi ve zeminin altından donmuş bölgeye doğru kapilarite etkisi ile yükselen su sayesinde gerçekleşmektedir (Işık 2014). Holtz *et al.* (2015) zeminde don olayı ve buz lenslerinin oluşması için;

- Donma noktası altında sıcaklık,
- Donma çizgisine kapiler su sağlayan yeterince yakın su kaynağı
- Donmaya duyarlı zemin tipi ve dane (boşluk) çapı dağılımı

koşullarının sağlanması gerektiğini belirtmektedir. Dona duyarlı zeminlerin tahmini ve tanımlaması için kullanılan don tasarım zemin sınıflandırması çizelgesi Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Don tasarım zemin sınıflandırması (Holtz *et al.* 2015)

Don Grubu	Dona Duyarlılık	Zemin Tipi	0,02 mm'den ince yüzdesi	USCS'ye göre zemin sınıflandırması
NFS(*)	İhmal edilebilir	a.Çakıl, Kırmataş b.Kum	0-1,5 0-3	GW, GP SW, SP
PFS(**)	Mümkün	a.Çakıl, kırmataş, kırma kaya b.Kumlar	1,5-3 3-10	GW, GP SW, SP
S1	Çok düşükten ortaya	Çakıllı zeminler	3-6	GW, GP, GW-GM, GP-GM
S2	Çok düşükten ortaya	Kumlu zeminler	3-6	SW, SP, SW-SM, SP-SM
F1	Çok düşükten yükseğe	Çakıllı zeminler	6-10	GM, GW-GM, GP-GM
F2	Ortadan yükseğe	a. Çakıl b. Kum	10-20 6-15	GM, GW-GM, GP-GM SM, SW-SM, SP-SM
F3	Ortadan çok yükseğe(a ve b)	a.Çakıl b.Kum (çok ince siltli kumlar hariç.) c.Kil (PI>12)	>20 >15	GM, GC SM, SC
	Düşük (c)		-	CL, CH
F4	Ortadan çok yükseğe (a ve b)	a.Tüm siltler b.Çok ince siltli kumlar c.Kil (PI<12)	- >15	ML, MH SM
	Ortadan yükseğe(c)	d.Tabakalı killeri ve diğer ince daneli damarlı çökeltiler	-	CL, CL-ML CL ve ML;CL,ML ve SM;CL,CH ve ML;CL,CH,ML ve SM
	Çok düşükten çok yükseğe (d)		-	

(*)Dona duyarlı değil

(**)Muhtemelen dona duyarlı

Donma olayının ardından hava sıcaklığının artması ile çözülme olayı gerçekleşmektedir. Zemin içerisinde bulunan buz mercikleri erimektedir. Eriyen su, dona duyarlılığı yüksek zeminlerde, zeminin dane dizilimini etkilemekte ve zemini daha gevşek hale getirerek zeminin taşıma kapasitesini azaltabilmektedir. Dolayısıyla donma-çözülme sonrası zeminde oturmalar ve deformasyonlar oluşabilmektedir. Donma-çözülme

döngüsü sonucunda zeminler fiziksel ve mekanik olarak değişime uğrayacağından sıkışabilirlik, permeabilite ve mukavemet gibi çeşitli mühendislik özellikleri önemli ölçüde etkilenmektedir (Holtz *et al.* 2015).

2.3. Zemin İyileştirmesi

Zemin iyileştirme yöntemleri, zeminlerin bazı mühendislik özelliklerini iyileştiren yöntemlerdir. Günümüzde kullanılan iyileştirme yöntemlerinin başında fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri gelmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise atık malzemelerin kullanımıyla yeni bir alan ortaya çıkmaktadır.

Zemin iyileştirme uygulamaları problemlili zeminlerde uygulanmaktadır. Problemlili zeminler kapsamında, öncelikle suya doymuş yumuşak killler, suya doymuş gevşek kumlar, non plastik siltler, yarı doymuş yüksek plastisiteli killler, aşırı konsolide killler, non plastik dispersif killler ve siltler ile organik zeminler sayılmaktadır (Sarsılmaz 2017).

Problemlili zeminlerden olan kil zemin, genellikle belli bir su muhtevasına ve belli bir plastisiteye sahip olan, aynı zamanda kurduğunda sertleşen ve diğer mineral bileşikleri ile beraber bazı kil mineralleri içeren kohezyonlu bir zemini ifade etmektedir. Zeminlerin mühendislik özellikleri zeminin mineral yapısına bağlıdır. Zeminlerin mineral içeriği çakıl, kum, siltlerde büyük oranda kuvars minerallerinden, killerde ise silikatlardan oluşmaktadır. Kil mineralleri çok küçük boyutludurlar ve elektrokimyasal olarak çok aktif kristal bir yapıdadırlar. Bu nedenle, zeminlerde çok az bir miktarda kil mineralinin bulunması bile o zeminin mühendislik özelliklerini büyük oranda kil minerallerinin özelliklerine bağlı olarak değiştirecektir. Zemin içerisinde yaklaşık %25-%35 oranında kil minerali bulunması durumunda; zemin içerisindeki daha iri daneler (siltler, kumlar veya çakıllar) kil içinde yüzecek ve bu iri daneli zeminlerin mühendislik davranışına etkisi oldukça az olacaktır. Kil zeminlerin davranışı üzerinde suyun varlığı önemli bir kriterken dane boyutu dağılımı etkili bir parametre değildir. Bunun aksine iri daneli zeminlerin davranışını dane boyu dağılımı ve dane şekli gibi belirgin

karakteristik özellikler etkilerken suyun bu tür zeminler üzerindeki etkisi oldukça azdır (Holt *et al.* 2015).

Yumuşak veya gevşek zeminlerdeki inşaatlar sırasında stabilite (taşıma gücü) ve deformasyon problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu tür zeminlerde zemin iyileştirmesine gidilmezse bazen yüksek deformasyonlar bazen de kayma göçmeleri sonucunda yapı kullanılamaz hale gelebilmektedir. Gevşek kum zeminlerde taşıma gücünü artırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak için; yumuşak kil zeminlerde ise genelde taşıma gücünü artırmak, konsolidasyon oturmalarını azaltmak veya sınırlandırmak için zemin iyileştirmesine gidilmektedir. Zemin iyileştirmesi denildiğinde genelde zeminin kayma direncinin artırılması, geçirimsizliğin azaltılması ve iri daneli zeminlerde sıkılığın ve ince daneli zeminlerde kıvamın artırılması anlaşılmaktadır (Ayan 2009).

Zeminlerin ıslahı için günümüzde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler zemin cinsine ve iyileştirmenin amacına göre değişmektedir. Yöntemlerin seçimi için çok iyi bir geoteknik alt yapı bilgisi gereklidir. Tüm yöntemler için projelendirme tarzı ve geçerli teoriler oldukça karmaşık olup ve farklılıklar göstermektedir, yaygın bir pratiği yoktur (Sarsılmaz 2017).

Zeminin özellikleri yeterli olmadığında,

1. Kötü zemini geçerek temelleri sağlam tabakaya oturtmak,
2. Yapı temelini zayıf zeminin taşıyabileceği şekilde boyutlandırmak ve inşa etmek
3. Kötü malzemeyi tamamen kaldırarak yerine sağlam zemin doldurmak, ya da doğal zemini iyileştirerek tekrar belirli sıklıkta yerleştirmek,
4. Zeminin özelliklerini yerinde yapılan işlemlerle iyileştirmek uygulamalarından biri kullanılabilir (Demiröz ve Karaduman 2009)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylerde kullanılan kil Erzurum İlinin Kuzeydoğusunda yer alan Oltu İlçesinden temin edilmiştir. Kil zemin için yapılan kıvam limit deneyleri sonucunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre kil zeminin yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu belirlenmiştir. Kil zemine ait bazı özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kil zeminin bazı geoteknik özellikleri

Temel Özellikler	Kil Zemin
Renk	Kırmızı
Likit limit (%)	60
Plastik limit (%)	31
Plastisite indisi (%)	29
Sınıflandırma (USCS ve TS 1500)	CH
Optimum su içeriği (%)*	20
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)*	14,52

*Standart Kompaksiyon Deneyi (ASTM D698, 2015)

Deneylerde kullanılan e-atık (elektronik atık) malzemesi bilgisayar ana kartlarının plastik kısımlarının öğütülmesiyle temin edilmiştir. E-atık’a ait sırasıyla öğütülmeden önce ve öğütüldükten sonraki görsel Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Öğütülmeden önce e-atık ve öğütüldükten sonra e-atık

3.2. Yöntem

3.2.1. E-atığın öğütülmesi

Atık bilgisayar main boardları önce küçük parçalar halinde kırılmış daha sonra bu parçalar Atatürk Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan değirmen tipi öğütücüde öğütülerek istenilen dane boyutuna getirilmiştir. E-atığın öğütülmesi için kullanılan değirmen tipi öğütücü Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Değirmen tipi öğütücü

3.2.2. Kıvam limit deneyleri

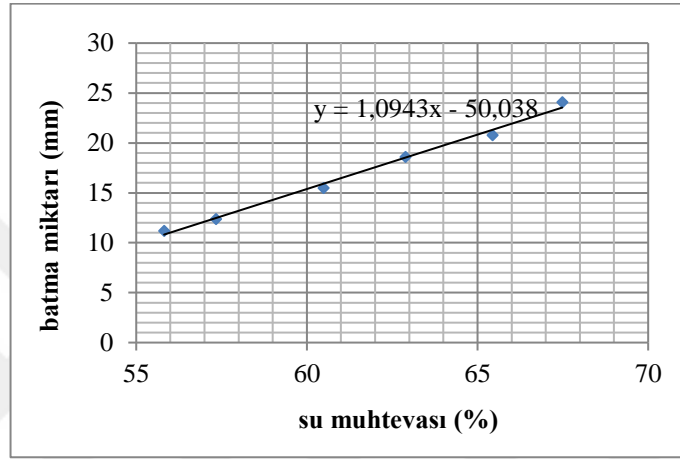
Laboratuara getirilen CH kili etüvde kurutulduktan sonra danelenmiştir. Elde edilen kil numune 40 nolu elekten elenerek kıvam limit deneyi için uygun hale getirilmiştir. Zemin içerisine bir miktar su ilave edilip homojen hale gelinceye kadar karıştırılıp 24 saat desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra desikatörden çıkarılan kil zemin ile kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Likit limit ve plastik limit deneyleri TS1900-1 ve ASTM D4318 – 17ε1'e uygun olarak yapılmıştır. Likit limit ölçümlerinde, deneyin yinelenabilir olması, Cassagrande yöntemine göre daha objektif ve daha kolay belirlenebilir olması nedenlerinden dolayı koni penetrasyon yöntemi tercih edilmiştir (Zaimoğlu vd 2011).

Çalışmada likit limit değerlerini belirlemek için düşen koni penetrasyon deney aleti kullanılmıştır. Düşen koni penetrasyon yöntemi ile likit limit belirleme, kap içerisine yerleştirilen zemin numunesine dokunma pozisyonuna getirilmiş 80 gr ağırlığındaki konik ucun kendi kütlesi ile 5 saniye süreyle batması esasına dayanır. Batma miktarı alet üzerinde bulunan deformasyon saatinden okunarak kaydedilir. Bu işlem zeminin değişik su muhtevaları için tekrar edilir (Şekil 3.3). Su muhtevası/ batma derinliği grafiği çizilerek düşen konisinin 20 mm batmasına karşılık gelen su içeriği yani likit limit değeri belirlenir.



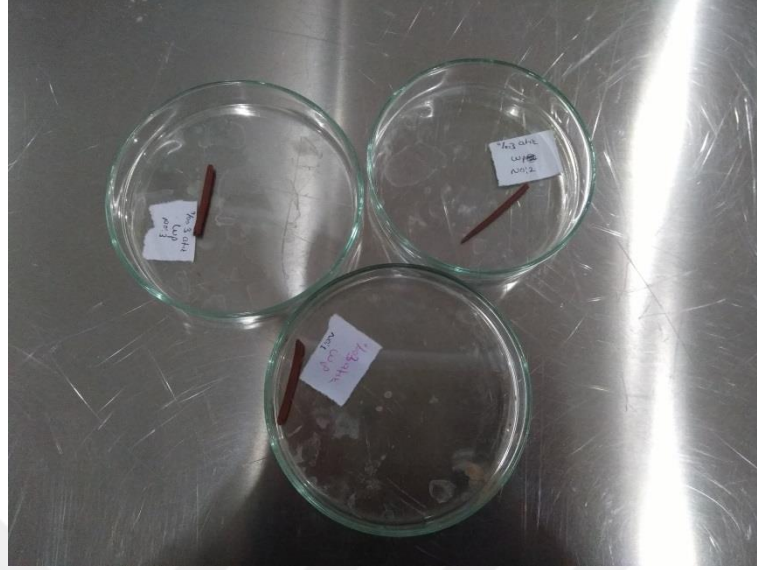
Şekil 3.3. Düşen koni penetrasyon deney aleti

CH kili likit limitini belirlemek için yapılan işlemler, CH kiline kuru ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek homojen hale getirilen karışımlar için tekrar edilmiştir. Deney her bir e-atık oranı için 3 kez tekrar edilmiş ve ortalamaları kullanılmıştır. Şekil 3.4'de CH kiline %0,1 e-atık ilave edilerek hazırlanan numune için likit limit grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Likit limit grafiği

Plastik limitin belirlenmesi için, 24 saat desikatörde bekledikten sonra çıkarılan numuneler cam levha üzerinde avuç ayası marifetiyle yuvarlanarak silindirik çubuklar haline getirilmiştir. Çubuklarda 3 mm çapında kılcal çatlakların görüldüğü andaki su muhtevası plastik limit değeri olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.5). CH kili plastik limitini belirlemek için yapılan işlemler, CH kiline kuru ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında ilave edilerek homojen hale getirilen karışımlar için tekrar edilmiştir. Deney her bir e-atık oranı için 3 kez tekrar edilmiş ve ortalamaları kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Plastik limitleri deneyi

3.2.3. Kompaksiyon deneyi

CH kiline ait optimum su muhtevası (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) değerlerini belirlemek için standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Standart kompaksiyon deneyi ASTM D698 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerde CH kiline ait bulunan optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerleri kullanılmıştır.

3.2.3. Serbest basınç deneyi

Kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen w_{opt} ve γ_{kmax} değerleri kullanılarak 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindirik numuneler üretilmiştir. Bu numuneler serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler ASTM D 2166'ya uygun olarak yürütülmüştür. Deneylerde yük değerlerini belirlemek için S tipi Loadcell kullanılmış ve yükleme hızı 0,8 mm/dakika olarak seçilmiştir. Deney esnasında eş zamanlı olarak gerilme ve şekil değiştirme okumaları yapılmıştır. Deney CH kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan her bir numune için 3 kez tekrarlanmış ve ortalamaları kullanılmıştır.

Serbest basınç deneyine ait bir görsel Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Gerilme şekil değiştirme değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenir.

$$\sigma = \frac{P}{A_f} \quad (3.1)$$

Burada ;

σ = Gerilme

P = Kırılma anındaki yük

A_f = Düzeltilmiş alan

$$A_f = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \quad (3.2)$$

A_0 =Deney başlangıcındaki kesit alanı

ε = Deformasyon

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.3)$$

ΔL = Uzama farkı

L_0 = Numune başlangıç uzunluğu



Şekil 3.6. Serbest basınç deney aleti

3.2.4. Donma-çözülme deneyleri

Donma - çözülme deneyleri 110 cm x 55 cm x 55 cm boyutlarında minimum sıcaklığı -25°C maksimum sıcaklığı +60°C olacak şekilde programlanabilen donma-çözülme deney aletinde yürütülmüştür (Şekil 3.7). Deneylerde CH kili için ve %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek, optimum su muhtevasında 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanmıştır. Her bir e-atık oranı için 3 er adet numune hazırlanmıştır. Donma çözülme çevrimleri süresince numuneler su muhtevası kaybına uğramaması için alüminyum folyo ile sarılmıştır (Şekil 3.8). Numunelerin alüminyum folyoya yapışmasını önlemek amacıyla folyo üzerine ince bir film tabakası olacak şekilde vazelin sürülmüştür (Zaimoğlu vd 2016). Hazırlanan numuneler 6 saat -20°C ve 6 saat +25°C'de (1 çevrim) (Ghazavi and Roustaie 2010; Zaimoğlu 2010) kalacak şekilde programlanarak donma-çözülme deney aletine yerleştirilmiştir. Donma çözülme çevrim sayısı 3, 5 ve 10 olarak seçilmiştir. Donma çözülme çevrimleri süresince numuneler donma çözülme deney aletinden

ıkarılmamıştır. Donma-özölme çevrim sayısı tamamlanan numuneler serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.



şekil 3.7. Donma-özölme deney aleti



şekil 3.8. Folyo kağıdına sarılan numuneler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

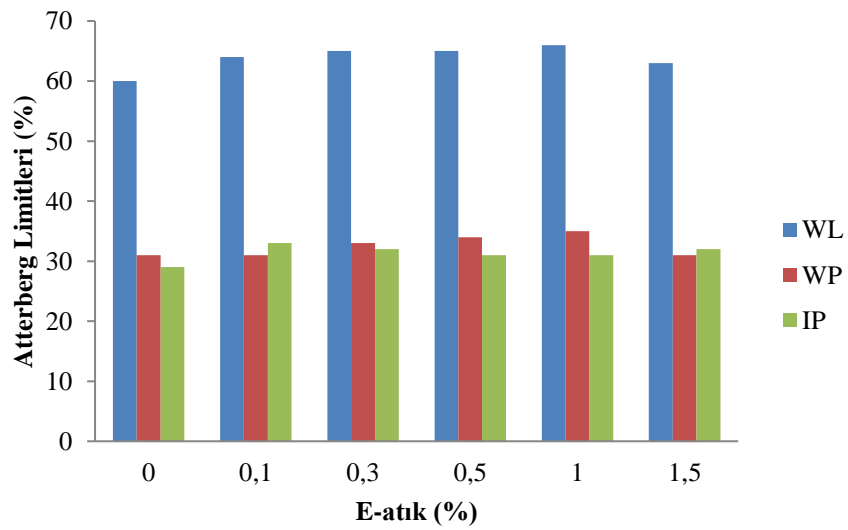
4.1. Kıvam Limitleri

CH Kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerden elde edilen Likit Limit (W_L), Plastik Limit (W_P) ve Plastisite İndisi (IP) değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kıvam limitleri

(%)	W_L	W_P	IP
0	60	31	29
0,1	64	31	33
0,3	65	33	32
0,5	65	34	31
1	66	35	31
1.5	63	31	32

Çizelge 4.1’deki veriler kullanılarak çizilen karşılaştırmalı likit limit, plastik limit ve plastisite indisi grafikleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

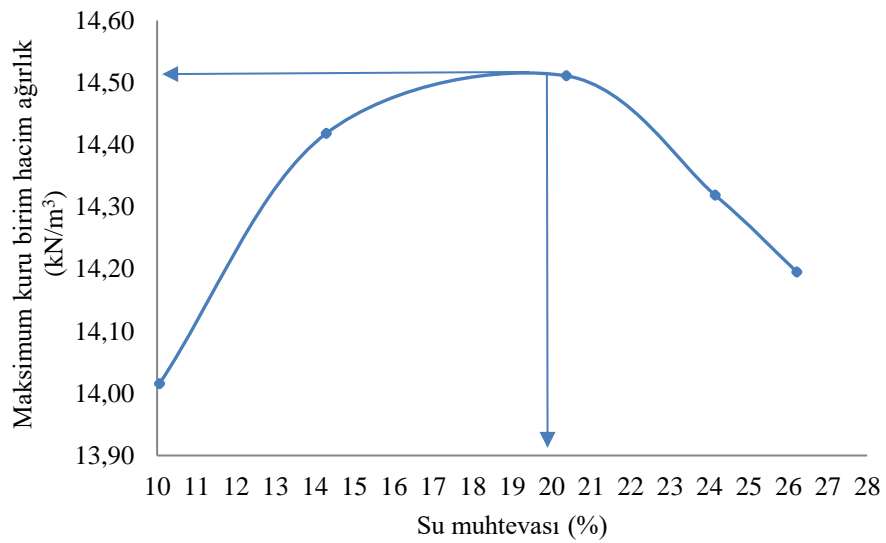


Şekil 4.1. Karşılaştırmalı kıvam limitleri grafiği

Şekil 4.1 incelendiğinde e-atığın W_L , W_P değerlerinde %1 e-atık oranına kadar artırıcı yönde bu değerden sonra azaltıcı yönde etki gösterdiği görülmektedir. En yüksek likit limit ve plastik limit değerleri %1 e-atık oranında sırasıyla %66 ve %35 değerlerinde, en düşük likit limit ve plastik limit değerleri ise CH kilinde sırasıyla %60 ve %31 olarak belirlenmiştir. CH kilinin likit limit değeri %60'dan %66'ya ve plastik limit değerinin %31'den %35'e artarak sırasıyla yaklaşık olarak %10 ve %13 oranında arttığı görülmüştür. İşlenebilirliğin göstergesi olan plastisite indisi e-atık ilave edilen numunelerde kil numunesine nazaran artış gösterdiği Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de görülmektedir. Plastisite indisinin artması zeminin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Mallela *et al.* 2004).

4.2. Kompaksiyon Deneyi

CH kili için yapılan standart kompaksiyon deneyi sonucunda su muhtevası (w_{opt}) - maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ilişkisi çizilmiştir (Şekil 4.2.). Şekil 4.2'den yararlanılarak CH kiline ait w_{opt} %20, γ_{kmax} $14,52 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. E-atık ilave edilerek hazırlanan tüm karışımlar için (%0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5) CH kili için bulunan w_{opt} ve γ_{kmax} değerleri kullanılarak numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.2. Maksimum kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi

4.3. Donma Çözülme ve Serbest Basınç Deneyleri

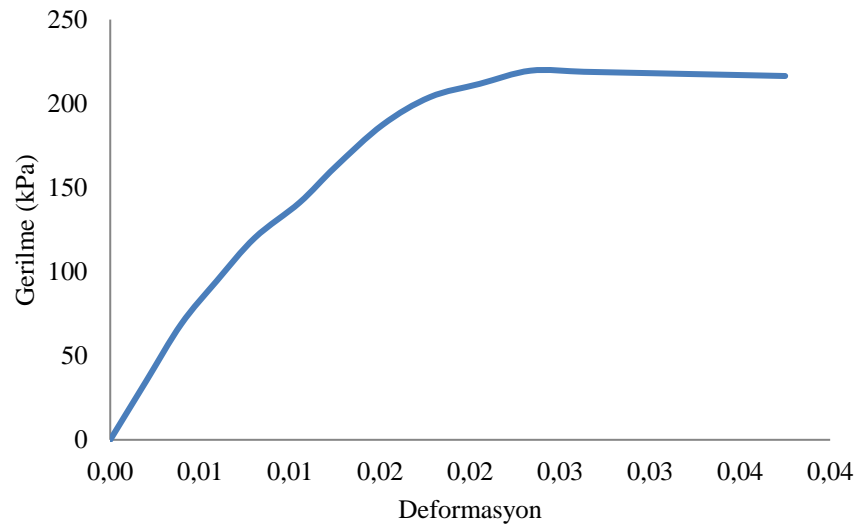
CH kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numuneler 0, 3, 5 ve 10 donma çözülme çevrim sayısına tabi tutulmuşlardır. Her bir donma çözülme çevrim sayısından sonra numuneler ile serbest basınç deneyi yapılmıştır. Bu deneylere ait bilgiler aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur.

4.3.1. Serbest basınç (0 Çevrim)

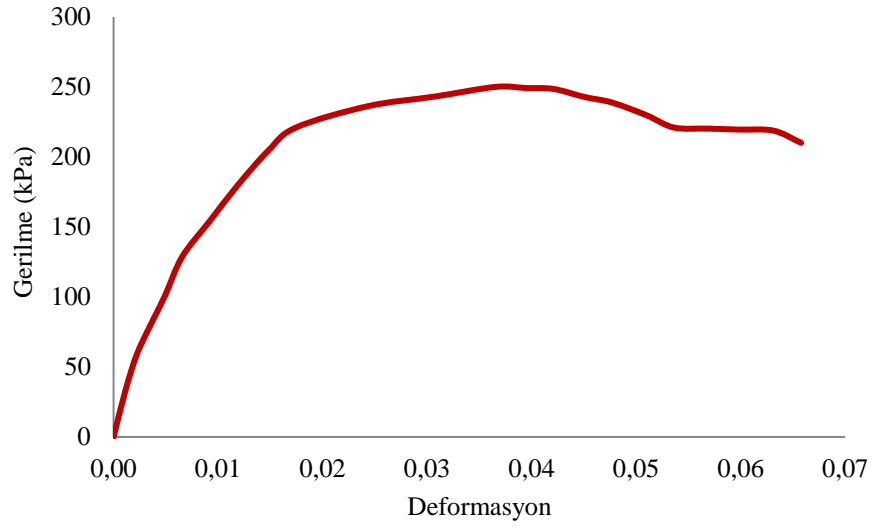
Serbest basınç deneylerinden elde edilen CH kili ve %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilen numunelere ait maksimum serbest basınç mukavemeti değerleri toplu olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir. Her bir numuneye ait veriler kullanılarak çizilen gerilme-deformasyon ilişkilerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Maksimum serbest basınç mukavemeti

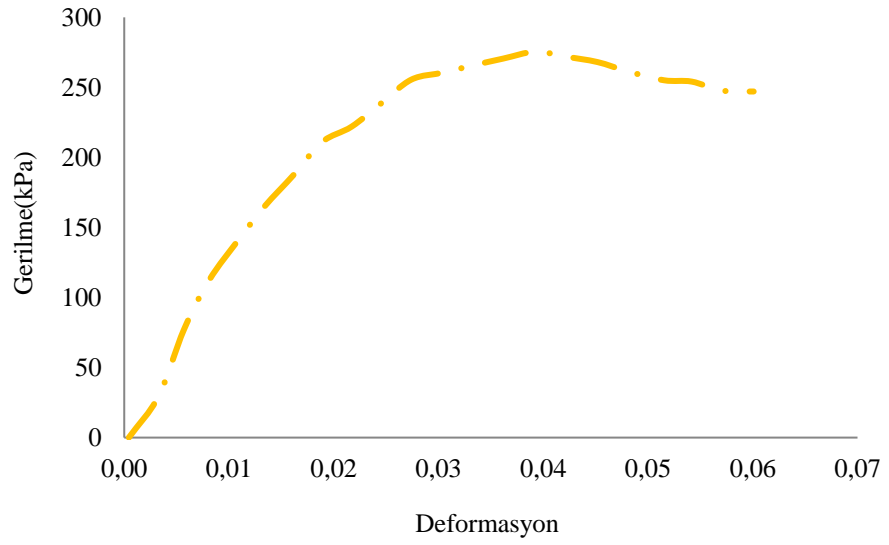
E-atık (%)	0	0,1	0,3	0,5	1	1,5
Max. Gerilme (kPa)	220	250	275	338	312	272



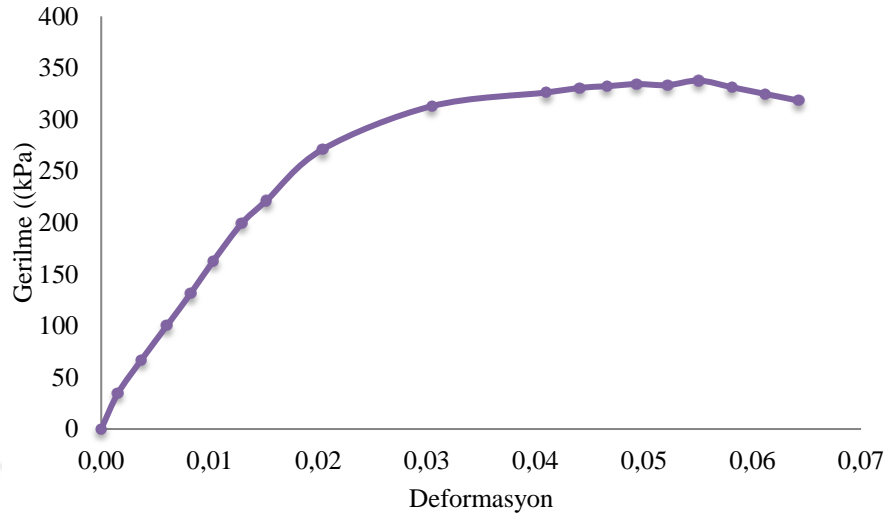
Şekil 4.3. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH kil)



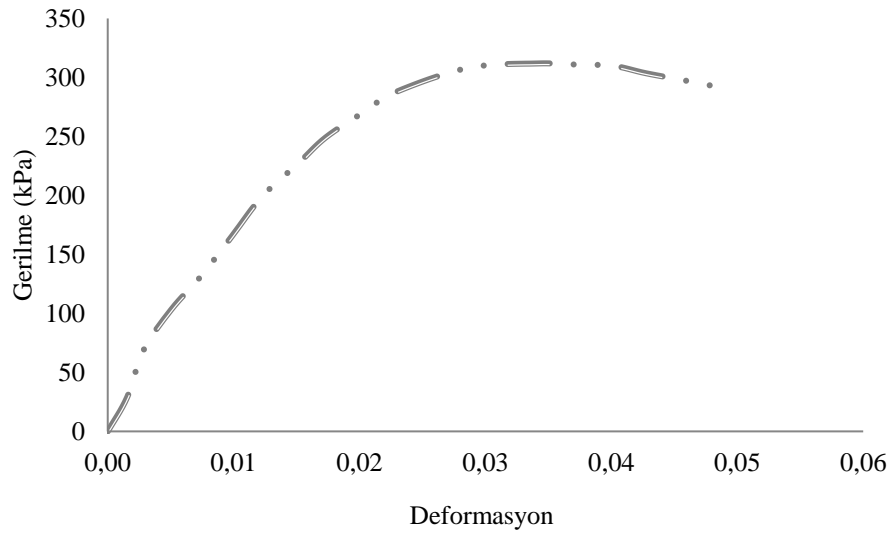
Şekil 4.4. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,1 e-atık)



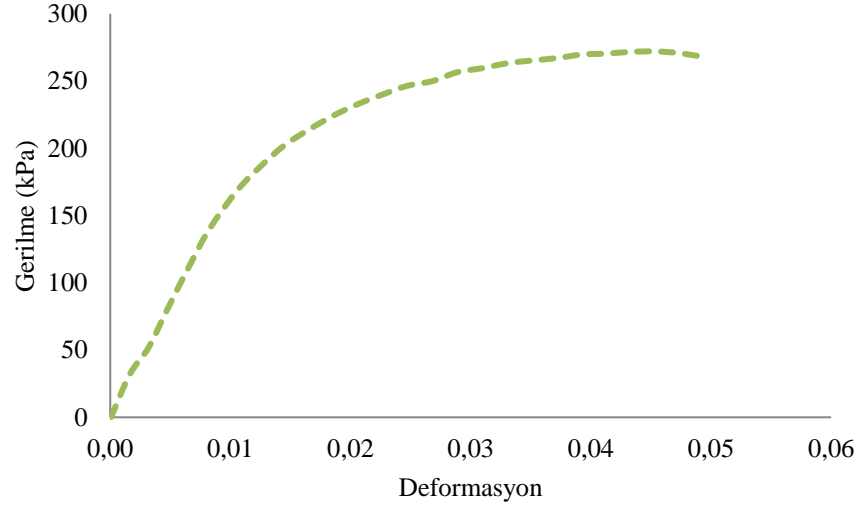
Şekil 4.5. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH + %0,3 e-atık)



Şekil 4.6. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH + 0,5 e-atık)

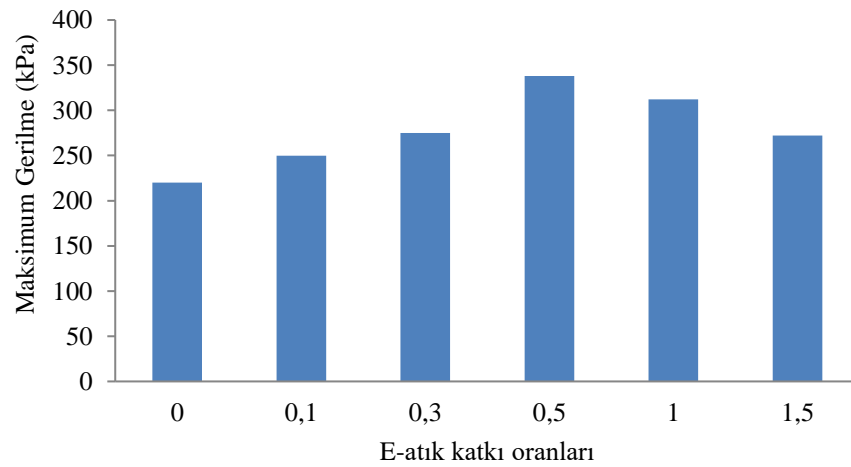


Şekil 4.7. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1 e-atık)

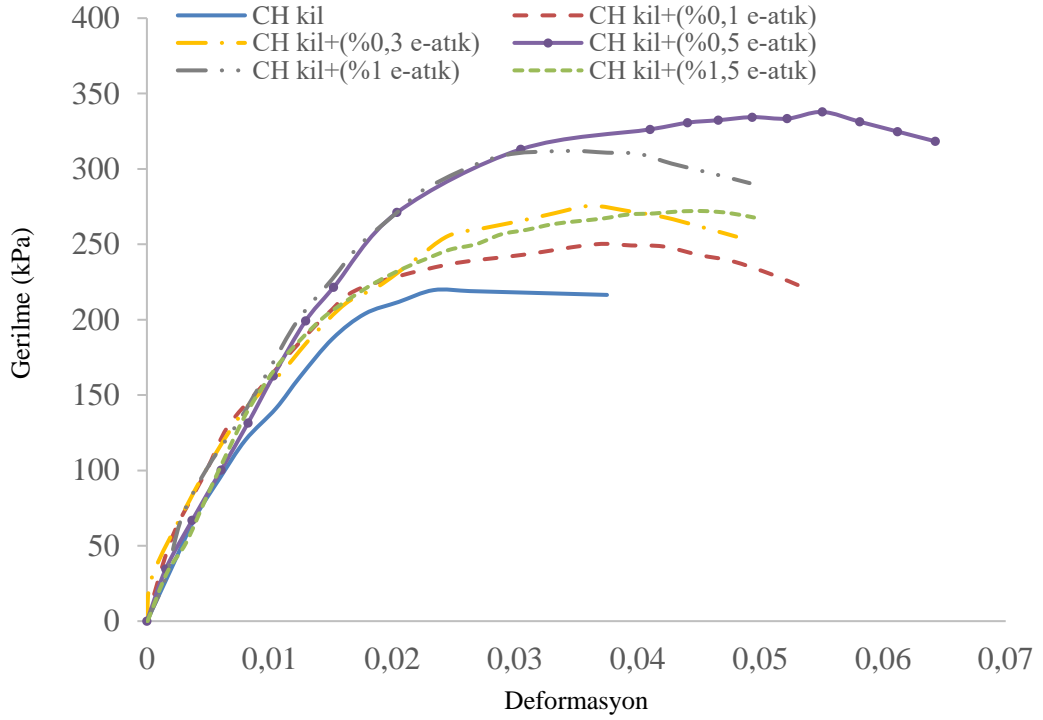


Şekil 4.8. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1,5 e-atık)

Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde en büyük gerilme değerinin 338 kPa ile %0,5 e-atık katkılı numune olduğu görülmektedir. En düşük gerilme değerinin ise 220 kPa ile CH kili olduğu görülmektedir. CH kiline %0,5 oranında e-atık katılmasıyla gerilme değerinin 220 kPa'dan 338 kPa'a artarak yaklaşık %54 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Her bir numuneye ait maksimum serbest basınç mukavemet değerleri ve gerilme-deformasyon ilişkisi karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Maksimum serbest basınç mukavemeti – e-atık ilişkisi



Şekil 4.10. Gerilme-deformasyon ilişkisi

Şekil 4.10 incelendiğinde genel olarak yaklaşık olmakla beraber CH kiline %1,5 oranında e-atık ilave edilen numunenin diğer numunelere nazaran daha duktil davranış sergilediği görülmektedir (Zaimoğlu ve Tan 2008). Diğer bir taraftan özellikle %0,1 , %0,3, %1 ve %1,5 e-atık ilave edilen numuneler aynı gerilmeye göre daha fazla deformasyona maruz kalmaktadır. Ayrıca %0,3 ve %1 e-atık katkılı numunelerin başlangıç teğet modüllerinin diğerlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bazı numunelere ait kırılma görselleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



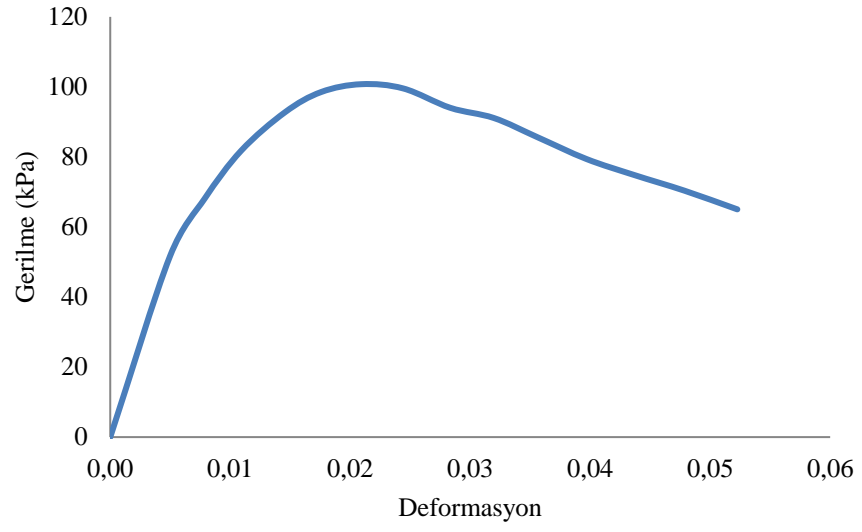
Şekil 4.11. Bazı numunelere ait kırılma şekilleri

4.3.2. Serbest basınç (3 Çevrim)

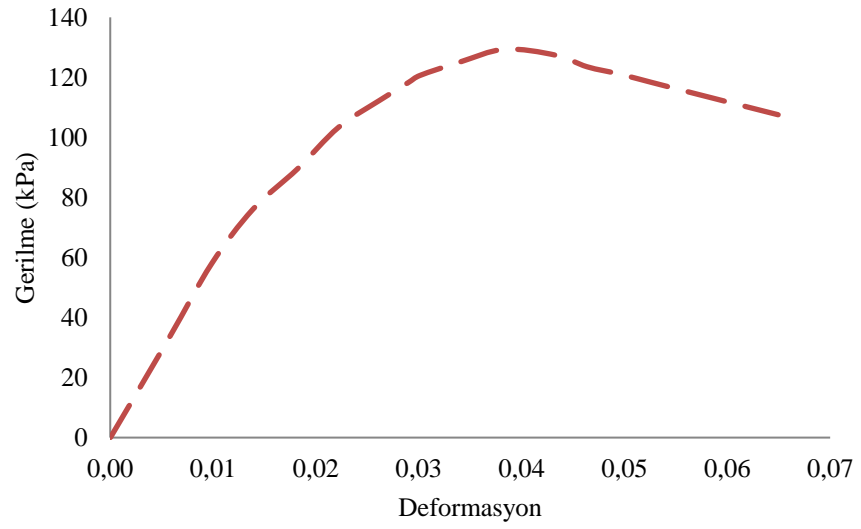
CH Kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerin 3 donma-çözülme çevrimi sonucunda yapılan serbest basınç deneyi sonuçları toplu olarak Çizelge 4.3’de verilmiştir. Her bir numuneye ait veriler kullanılarak çizilen gerilme-deformasyon ilişkileri sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Serbest basınç mukavemeti (3 Çevrim)

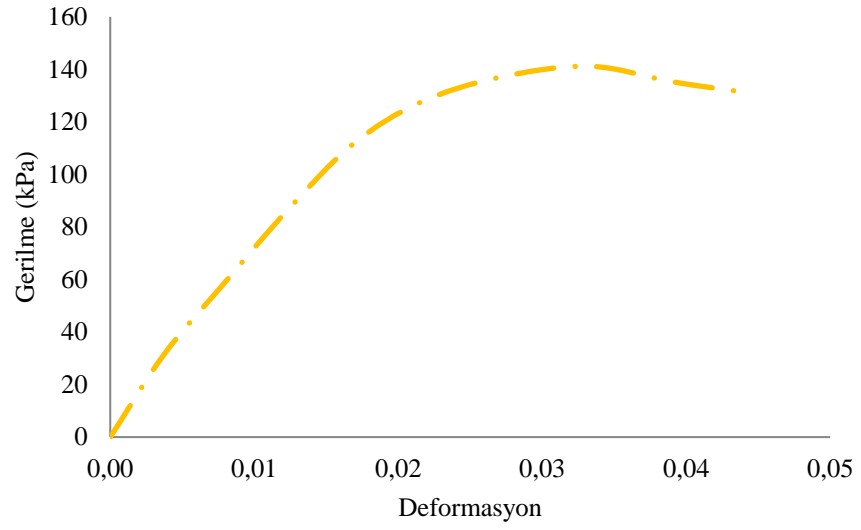
E-atık (%)	0	0,1	0,3	0,5	1	1,5
Max. Gerilme (kPa)	100	130	141	185	140	139



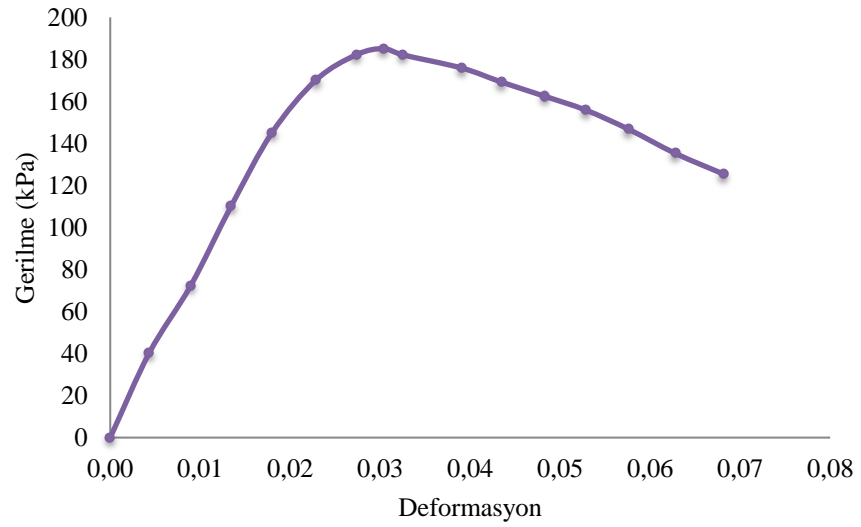
Şekil 4.12. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH kil)



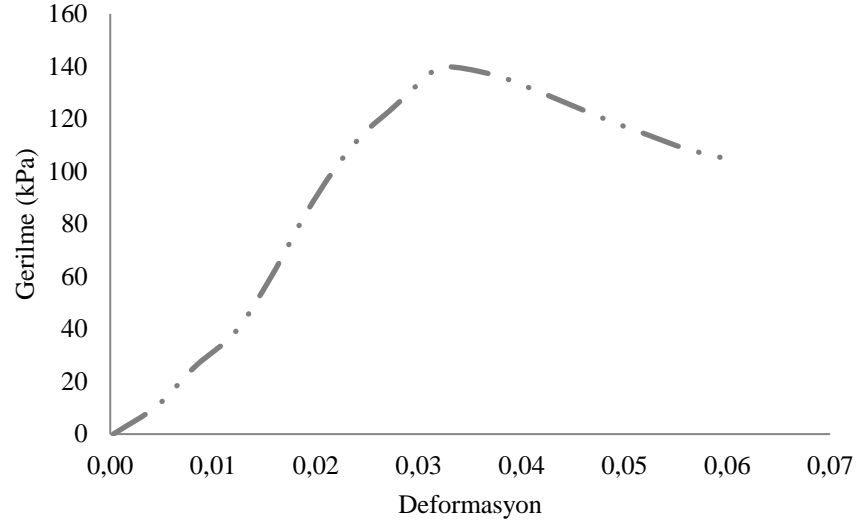
Şekil 4.13. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,1 e-atık)



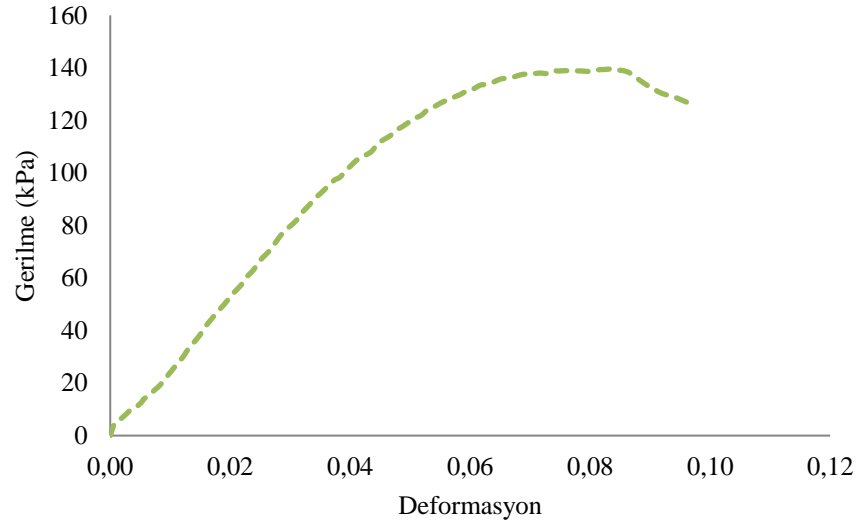
Şekil 4.14. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,3 e-atık)



Şekil 4.15. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,5 e-atık)



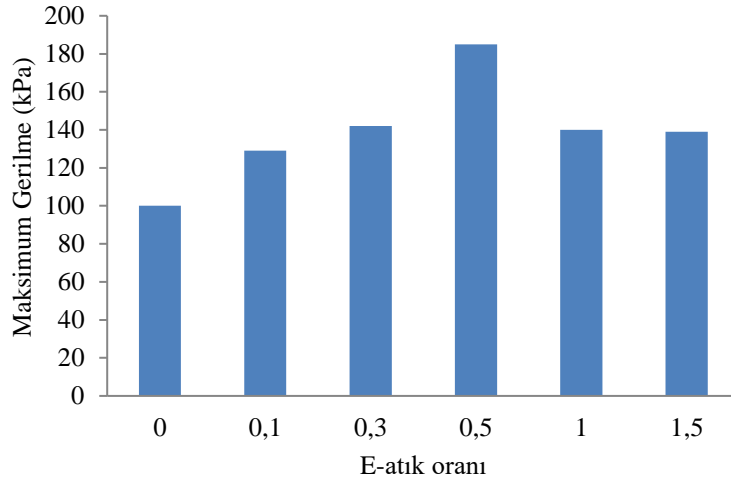
Şekil 4.16. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1 e-atık)



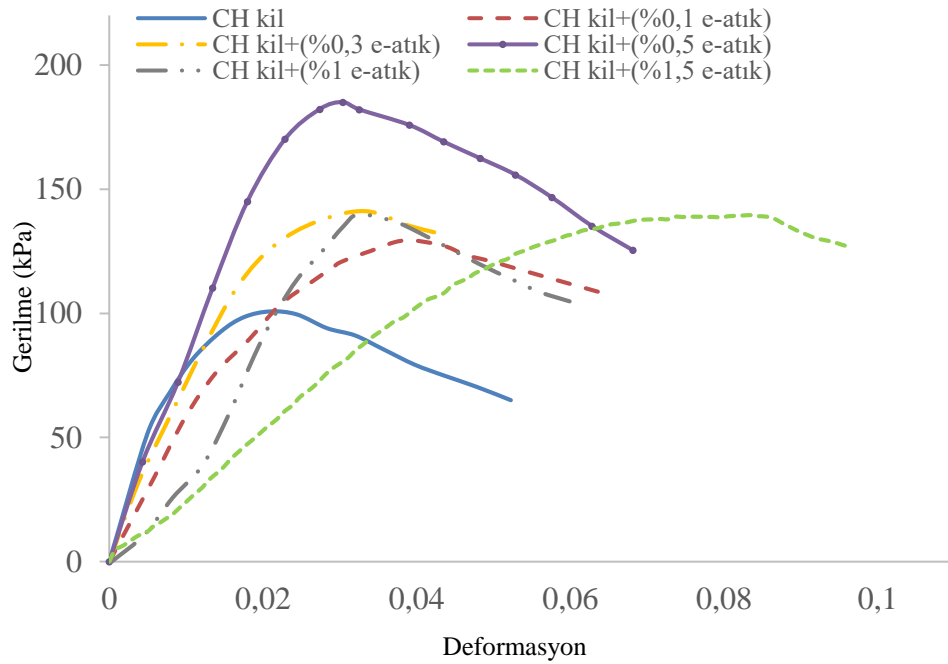
Şekil 4.17. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1,5 e-atık)

Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 185 kPa ile %0,5 e-atık katkılı numunesine, en düşük gerilme değerinin ise 100 kPa ile katkısız CH kil numunesine ait olduğu görülmektedir. Çizelge 4.3 ve şekiller birlikte değerlendirildiğinde 3 donma çözülme çevrimi sonucunda CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH

kilinin maksimum gerilme değeri olan 100 kPa dan 185 kPa ya çıkarak yaklaşık %85 artış göstermiştir. Her bir numuneye ait 3 çevrim sonundaki maksimum serbest basınç mukavemet değerleri ve gerilme-deformasyon ilişkisi karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Maksimum serbest basınç mukavemeti değerleri (3 Çevrim)



Şekil 4.19. Gerilme-deformasyon ilişkisi (3 Çevrim)

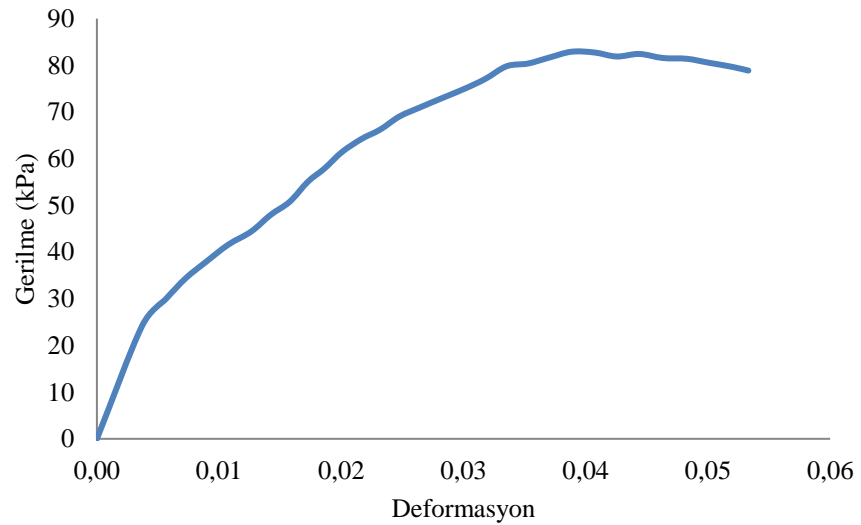
Şekil 4.19 incelendiğinde 3 donma çözülme çevrimi sonucunda en fazla düktil davranışın %1,5 e-atık ilave edilen numunende olduğu gözlenmektedir. Ayrıca Şekil 4.19'da görüldüğü üzere 3 donma çözülme çevrimi için %0,1, %0,5 ve %1 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerin kil zemine göre daha düktil davranış sergilediği anlaşılmaktadır. Öte yandan 3 donma çözülme çevrimi için en düşük başlangıç teğet modülü %1,5 e-atık katkılı numune olduğu görülmektedir.

4.3.3. Serbest basınç (5 Çevrim)

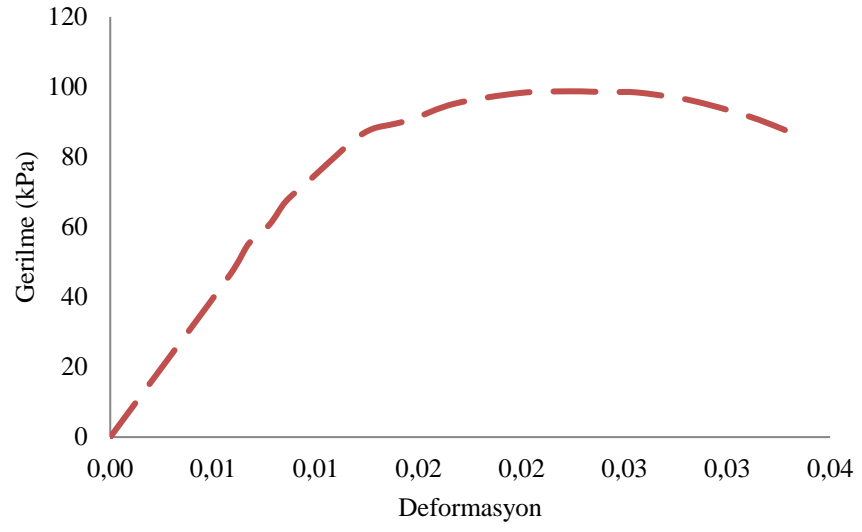
CH kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilen numunelere ait 5 donma çözülme çevrimi sonucunda yapılan serbest basınç deneyi sonuçları toplu olarak Çizelge 4.4'de verilmiştir. Her bir numuneye ait veriler kullanılarak çizilen gerilme-deformasyon ilişkilerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Serbest basınç mukavemeti (5 Çevrim)

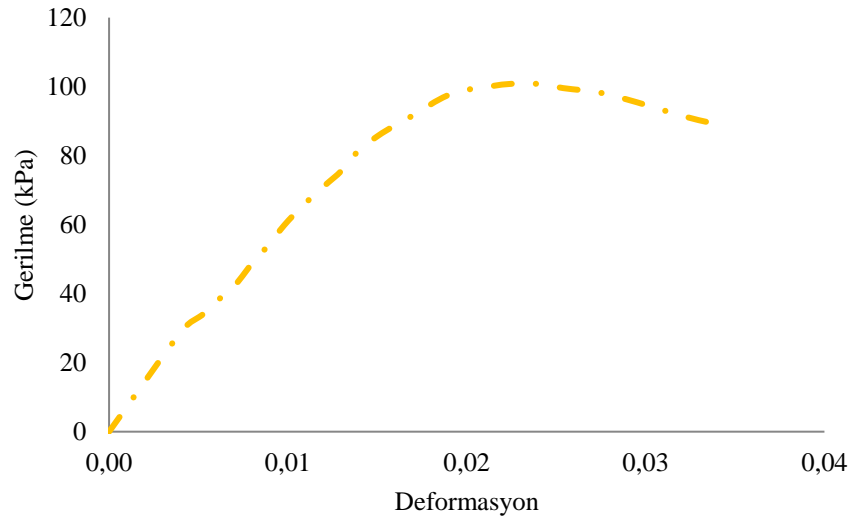
E-atık (%)	0	0,1	0,3	0,5	1	1,5
Max. Gerilme (kPa)	83	99	100	103	90	87



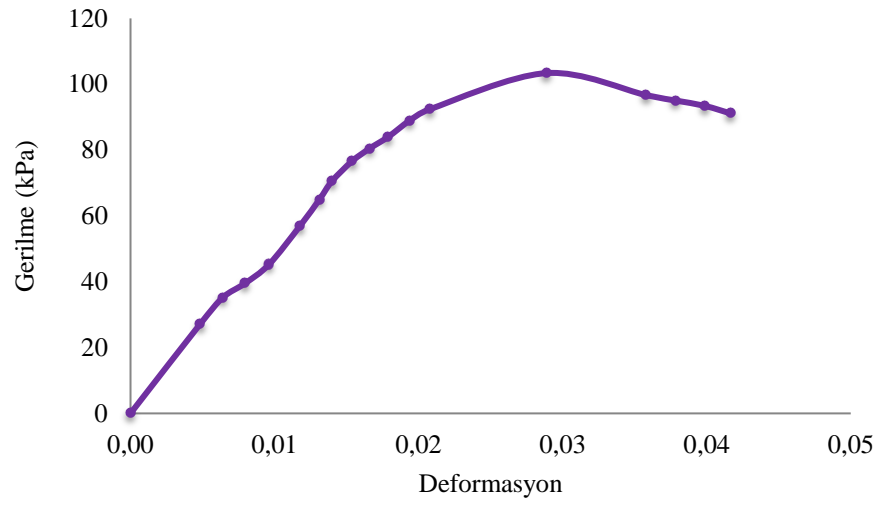
Şekil 4.20. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH kil)



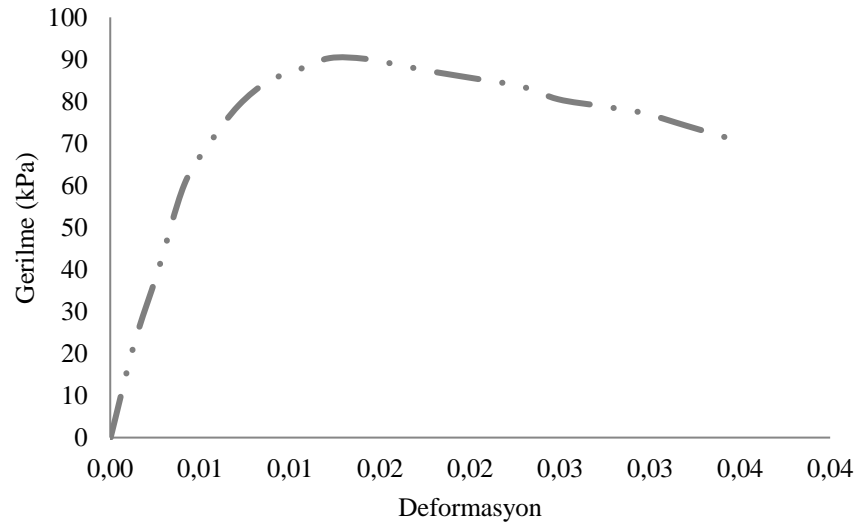
Şekil 4.21. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,1 e-atık)



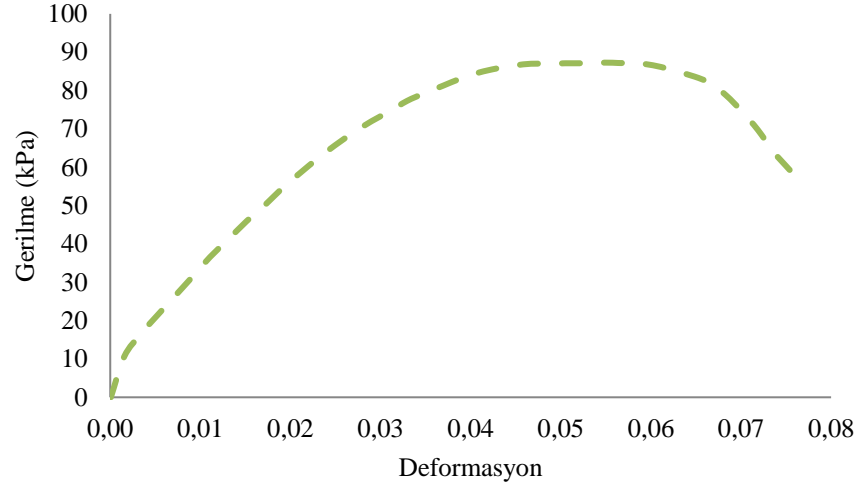
Şekil 4.22. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,3 e-atık)



Şekil 4.23. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,5 e-atık)

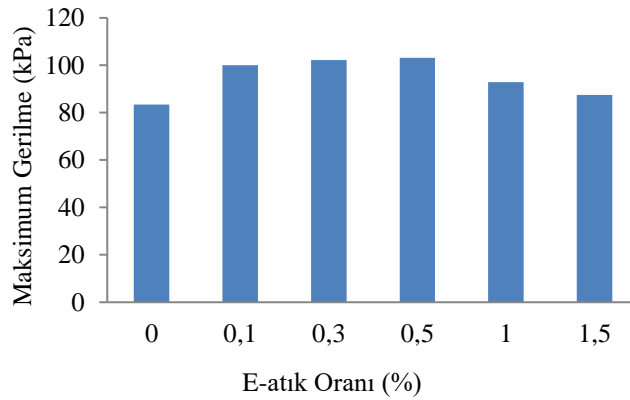


Şekil 4.24. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1 e-atık)

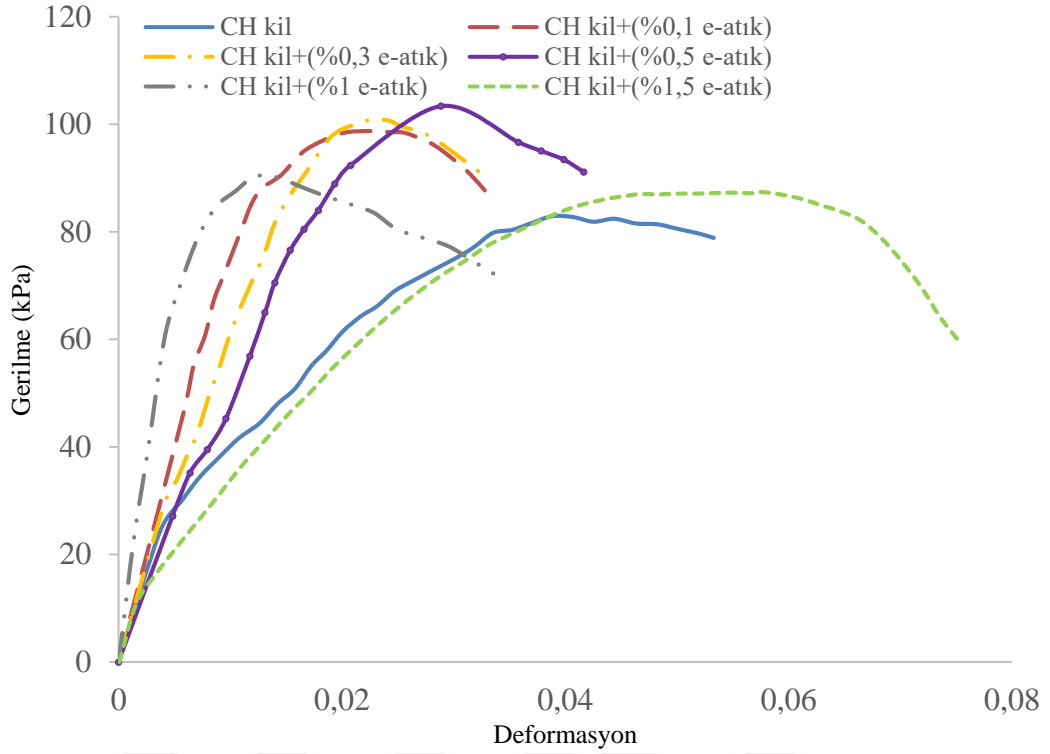


Şekil 4.25. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1,5 e-atık)

Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 v Şekil 4.25'de görüleceği üzere en yüksek gerilme değeri 103 kPa ile %0,5 e-atık katkılı numunesine, en düşük gerilme değeri ise 83 kPa ile katkısız CH kil numunesine aittir. Çizelge 4.4 ve şekiller birlikte değerlendirildiğinde 5 donma çözülme çevrimi sonucunda CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH kilinin maksimum gerilme değeri olan 83 kPa dan 103 kPa ya çıkarak yaklaşık %30 artış göstermiştir. Her bir numuneye ait 5 çevrim sonundaki maksimum serbest basınç mukavemet değerleri ve gerilme-deformasyon ilişkisi karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri (5 Çevrim)



Şekil 4.27. Gerilme-deformasyon ilişkisi (5 Çevrim)

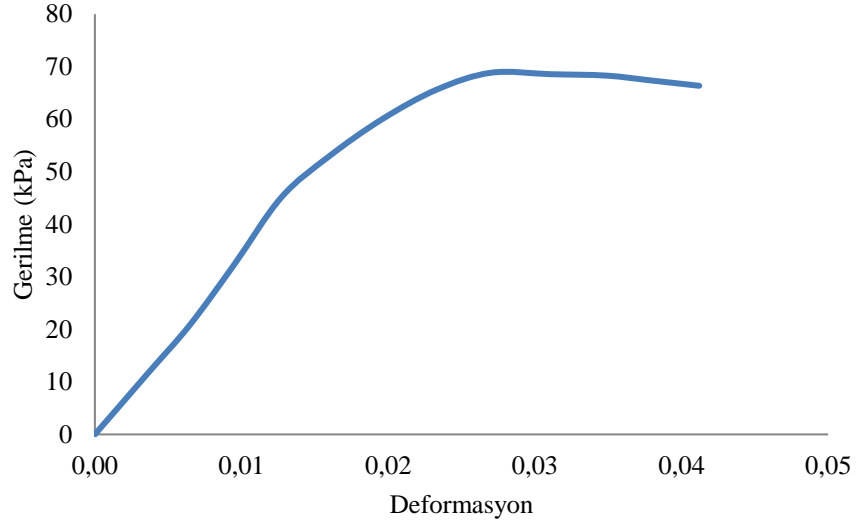
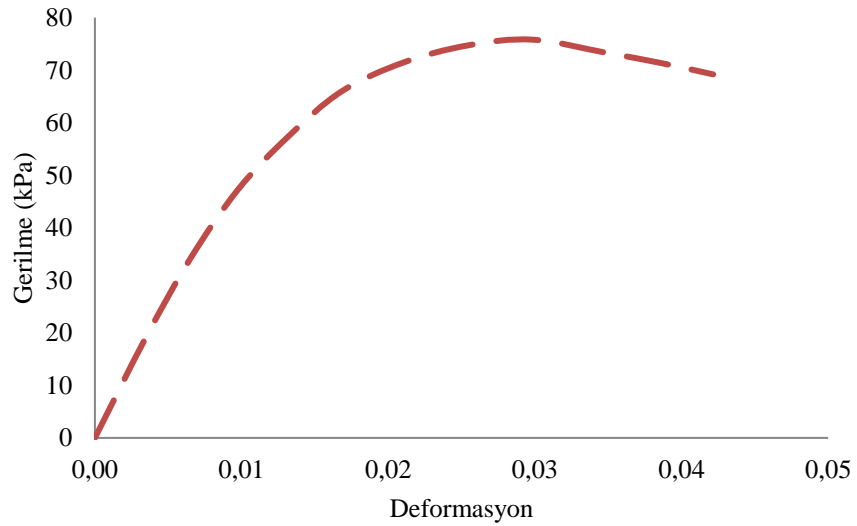
Şekil 4.27’de görüldüğü üzere 5 donma çözülme çevrimi için %1,5 oranında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin diğer numunelere göre daha düktil davranış sergilediği anlaşılmaktadır. Öte yandan 5 donma çözülme çevrimi için en düşük başlangıç teğet modülü %1,5 e-atık katkılı numune olduğu görülmektedir.

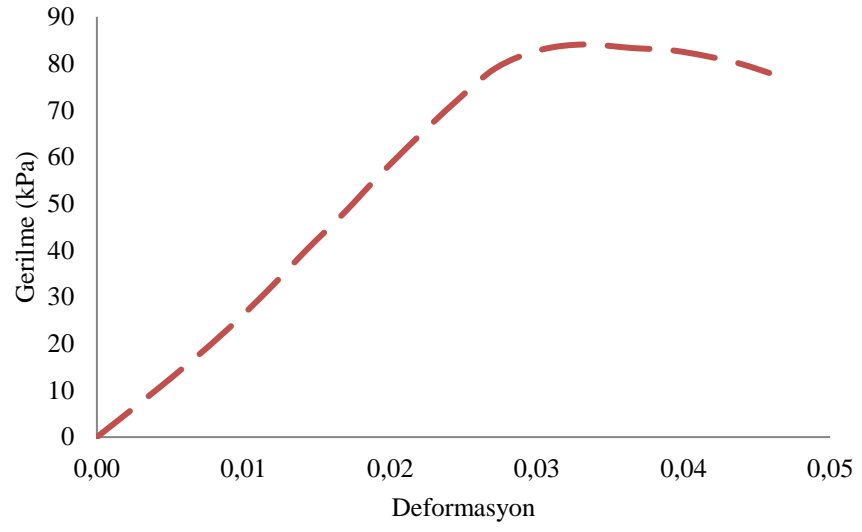
4.3.4. Serbest basınç (10 Çevrim)

CH Kili ve %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerin 10 çevrim donma-çözülme deneyi sonucunda yapılan serbest basınç deneyi sonuçları toplu olarak Çizelge 4.5’de verilmiştir. Her bir numuneye ait veriler kullanılarak çizilen gerilme-deformasyon ilişkilerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir.

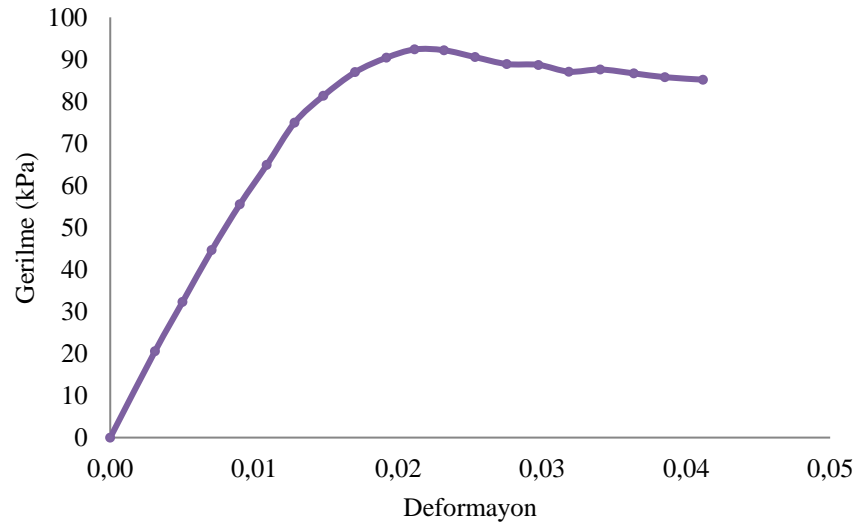
Çizelge 4.5. Serbest basınç mukavemeti (10 Çevrim)

E-atık (%)	0	0,1	0,3	0,5	1	1,5
Max. Gerilme (kPa)	69	76	84	92	88	86

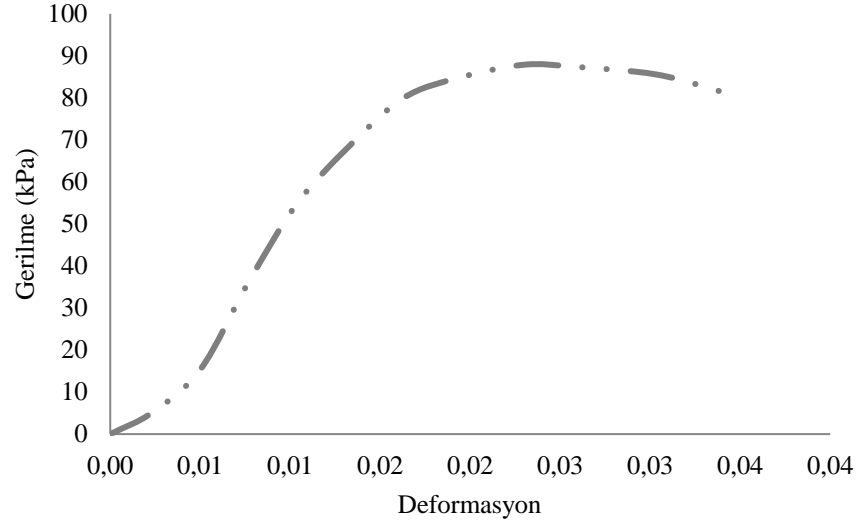
**Şekil 4.28.** Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH kil)**Şekil 4.29.** Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,1 e-atık)



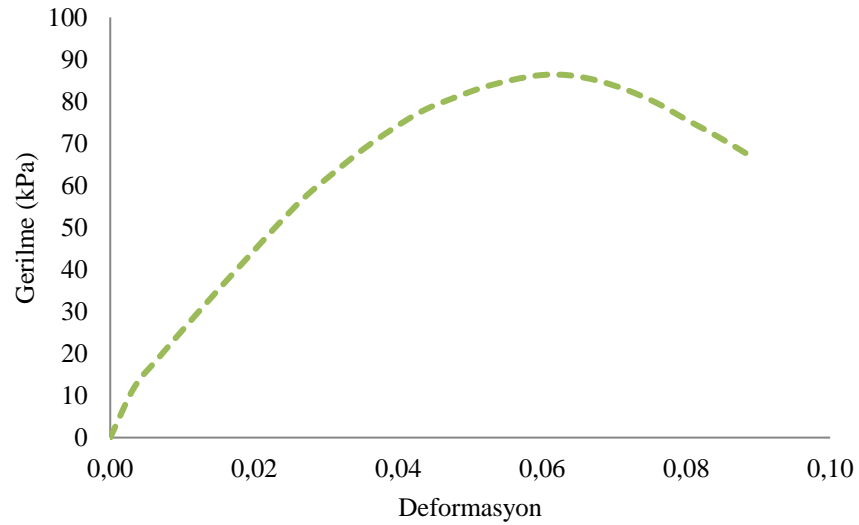
Şekil 4.30. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,3 e-atık)



Şekil 4.31. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%0,5 e-atık)



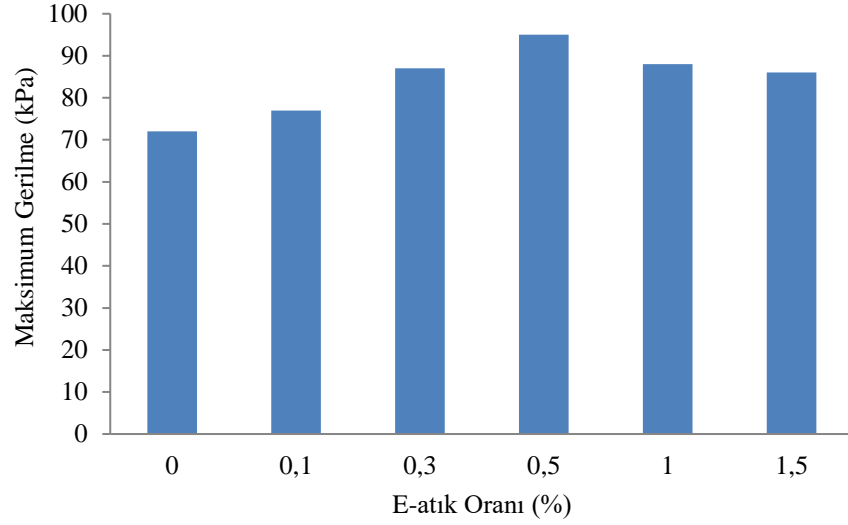
Şekil 4.32. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1 e-atık)



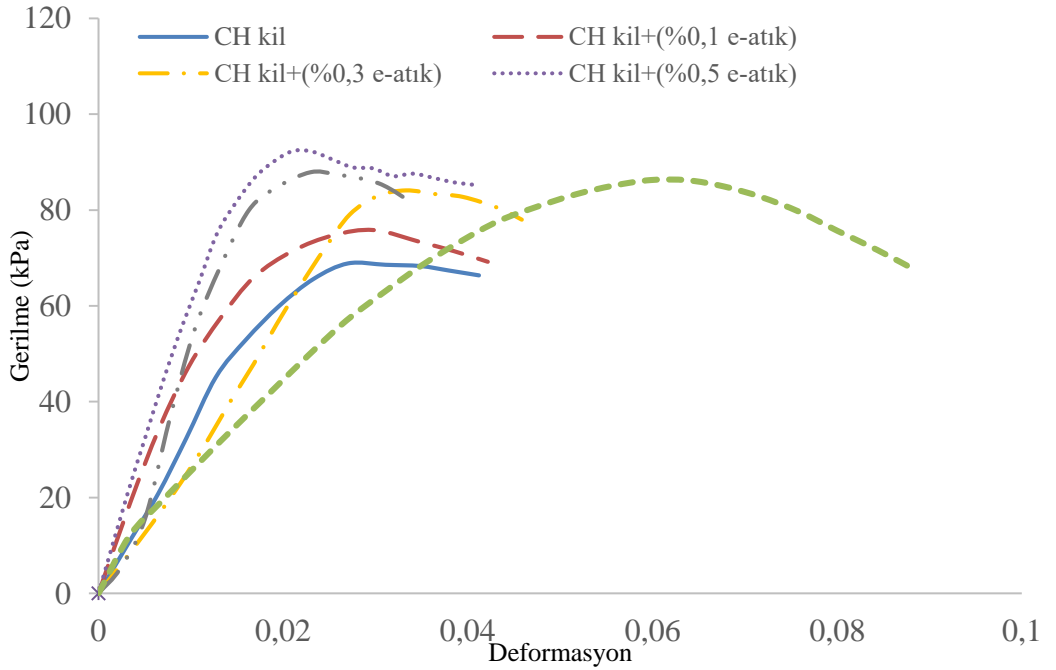
Şekil 4.33. Gerilme-deformasyon ilişkisi (CH+%1,5 e-atık)

Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'e göre maksimum gerilme değerinin 92 kPa ile %0,5 e-atık katkı numunesine, en düşük gerilme değerinin ise 69 kPa ile CH kil numunesine ait olduğu görülmektedir. Çizelge 4.3 ve şekiller birlikte değerlendirildiğinde 10 donma çözülme çevrimi sonucunda CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH kilinin

maksimum gerilme değeri olan 69 kPa dan 92 kPa ya çıkarak yaklaşık %32 artış göstermiştir. Her bir numuneye ait 10 çevrim sonundaki maksimum serbest basınç mukavemet değerleri ve gerilme-deformasyon ilişkisi karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri (10 Çevrim)



Şekil 4.35. Gerilme-deformasyon ilişkisi (10 Çevrim)

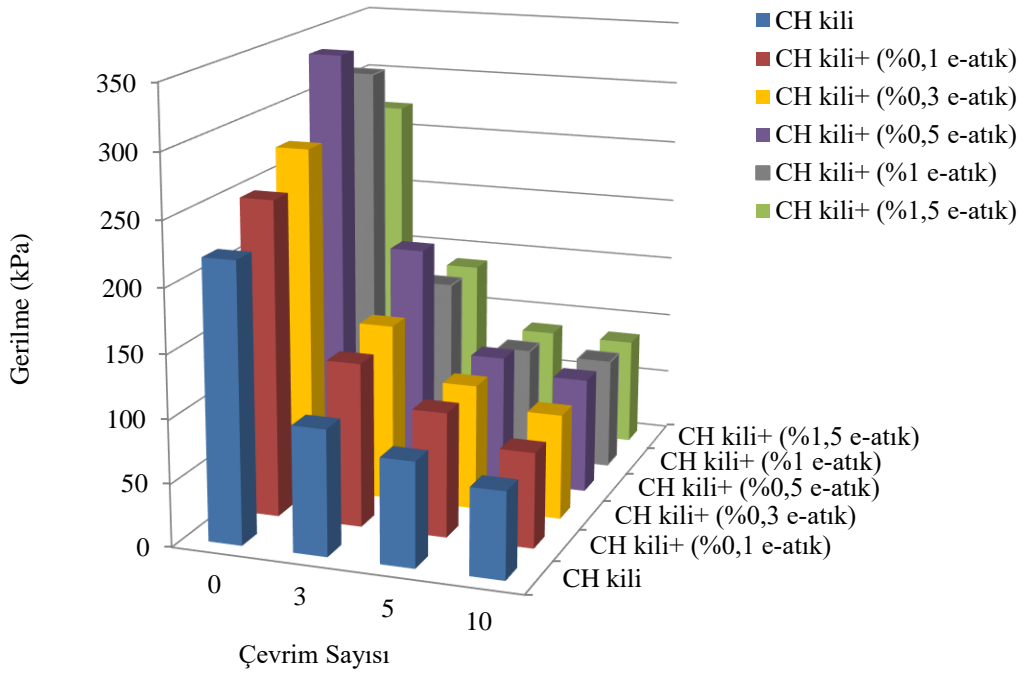
10 donma çözülme çevrimi sayısı için %1,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin daha düktil davranış sergilediği Şekil 4.35’de görülmektedir. Diğer taraftan 10 donma çözülme çevrimi için en düşük başlangıç teget modülü %1,5 e-atık katkılı numunede olduğu gözlenmektedir.

4.4. Donma Çözülme Çevrim Sayısı ve Atık Oranının Etkisi

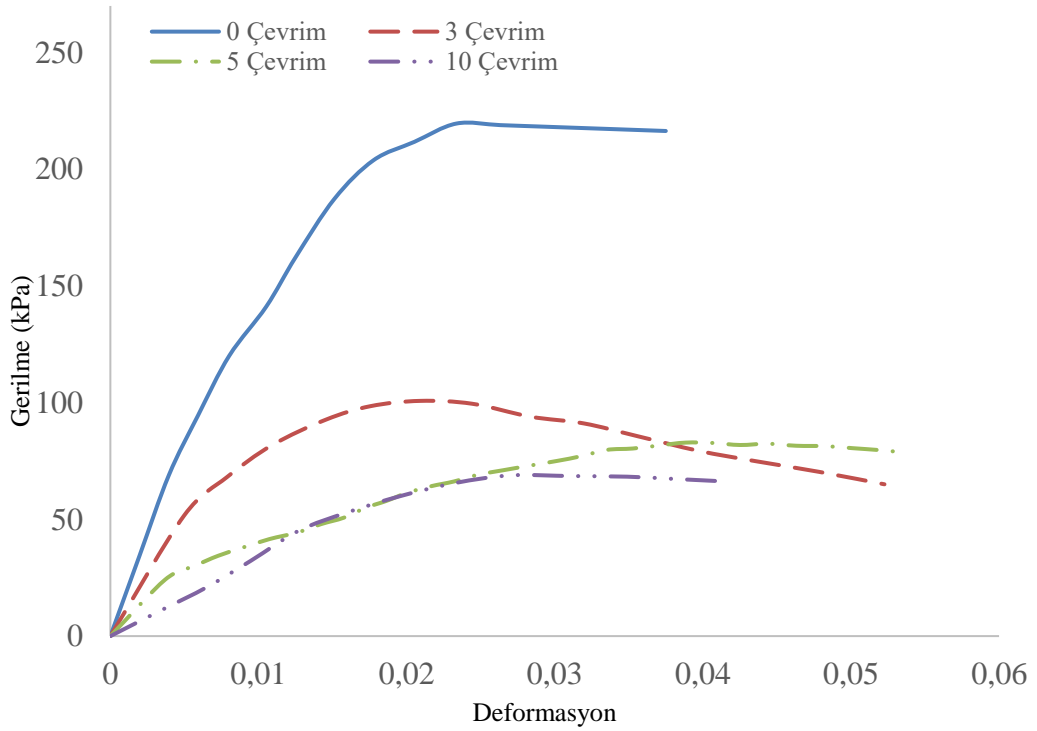
Serbest basınç ve donma çözülme deney sonuçları toplu olarak her bir atık oranı için Çizelge 4.6 de verilmiştir. Çizelge 4.6’daki veriler kullanılarak çizilen donma çözülme çevrim sayısı - gerilme - atık oranı ilişkisi Şekil 4.36’da gösterilmiştir. Ayrıca tüm numunelerin donma çözülme çevrim sayısına ait gerilme – deformasyon ilişkileri sırasıyla Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Maksimum serbest basınç mukavemet değerleri

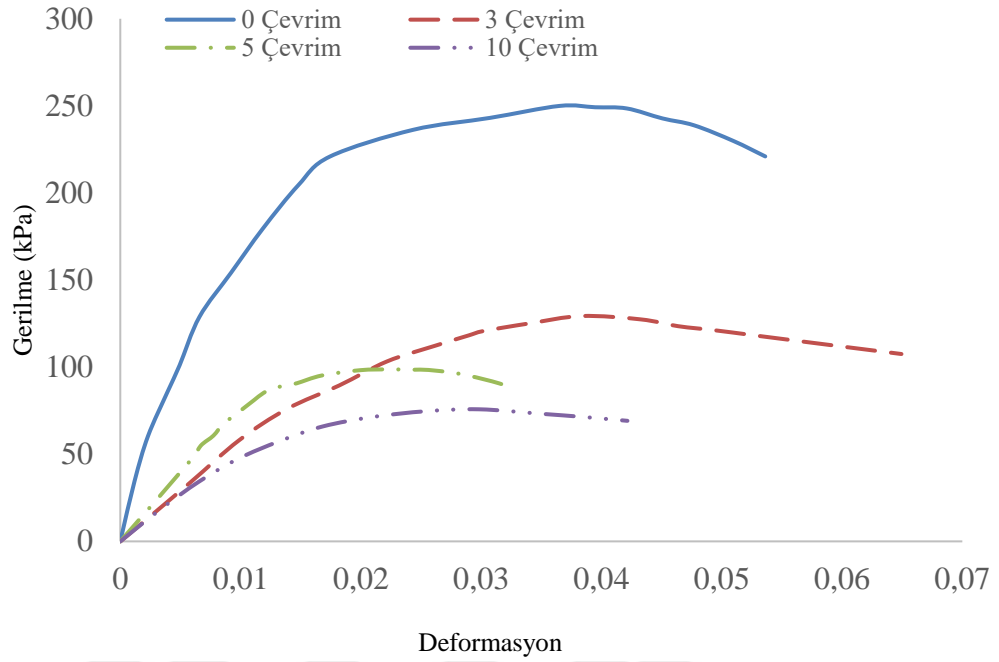
e-atık oranı (%)	gerilme(kPa)			
	0 çevrim	3 çevrim	5 çevrim	10 çevrim
0	220	100	83	69
0,1	250	130	99	76
0,3	275	141	100	84
0,5	338	185	103	92
1	312	140	90	88
1,5	272	139	87	86



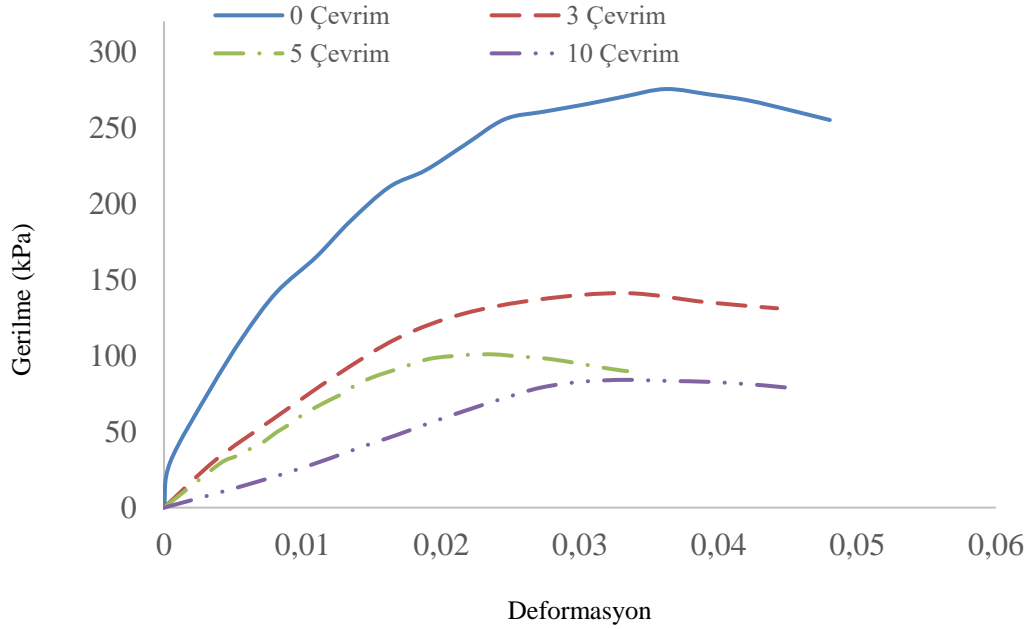
Şekil 4.36. Karşılaştırmalı maksimum serbest basınç mukavemeti grafiği



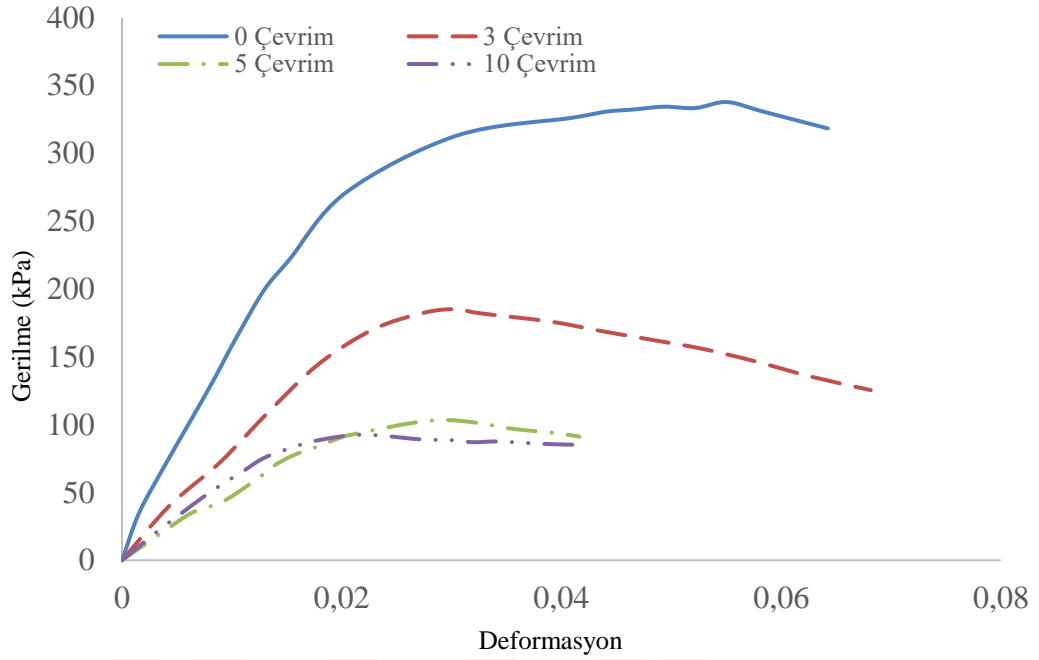
Şekil 4.37. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili)



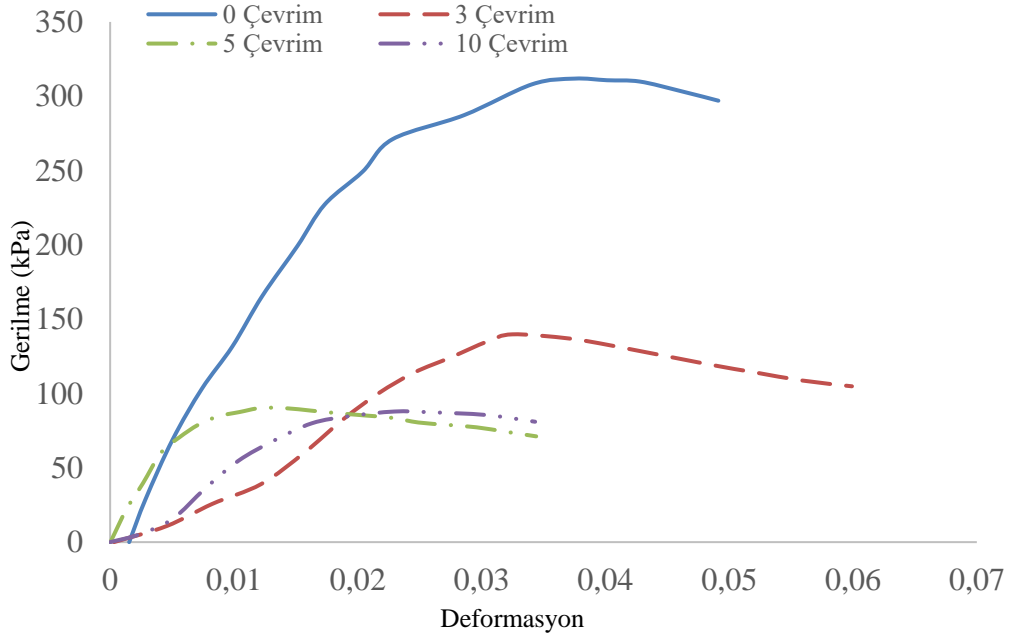
Şekil 4.38. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili +%0,1 e-atık)



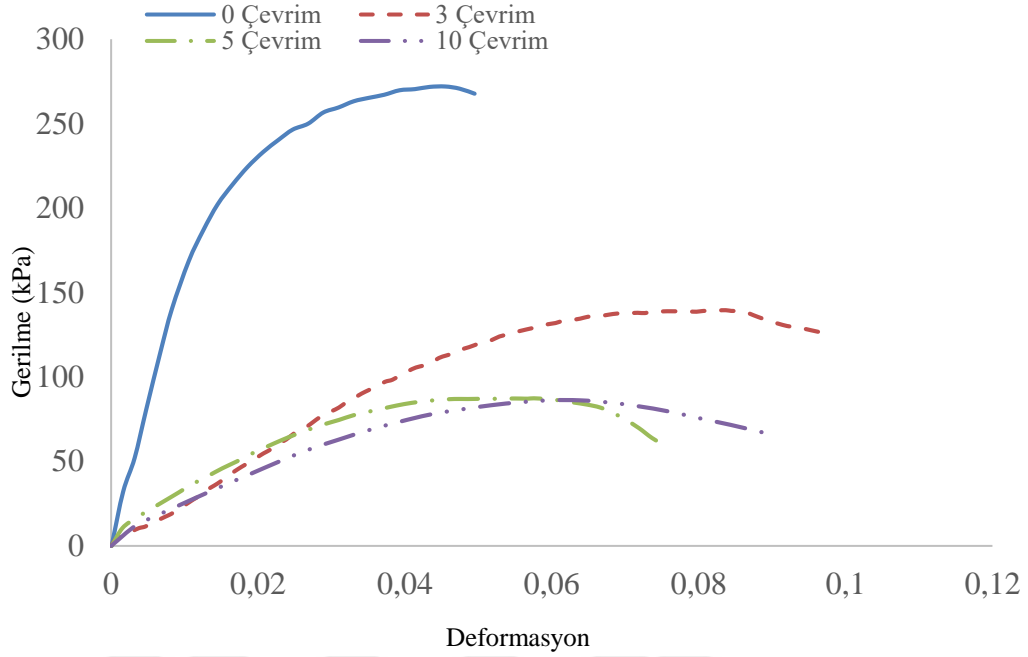
Şekil 4.39. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili +%0,3 e-atık)



Şekil 4.40. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili + %0,5 e-atık)



Şekil 4.41. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili+%1 e-atık)



Şekil 4.42. Donma-Çözülme çevrim sayısının gerilme - deformasyon ilişkisi (CH kili + % 1,5 e-atık)

Genel olarak donma çözülme çevrim sayısının artmasıyla CH Kili ve %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerinin maksimum gerilme değerlerinin azaldığı Şekil 4.36'da gözlenmektedir. Bununla birlikte tüm donma çözülme çevrimlerinde maksimum gerilme değeri CH kiline %0,5 oranında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunede elde edildiği yine Şekil 4.36'dan anlaşılmaktadır.

Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 birlikte ele alındığında donma çözülme çevrim sayısının artmasıyla her katkı oranında daha duktıl bir davranışın sergilendiği ve başlangıç teğet modülünün azaldığı anlaşılmaktadır. Numunelere ait serbest basınç deneyi sonrası örnek kırılma yüzeyi görüntüsü Şekil 4.43'de gösterilmiştir.



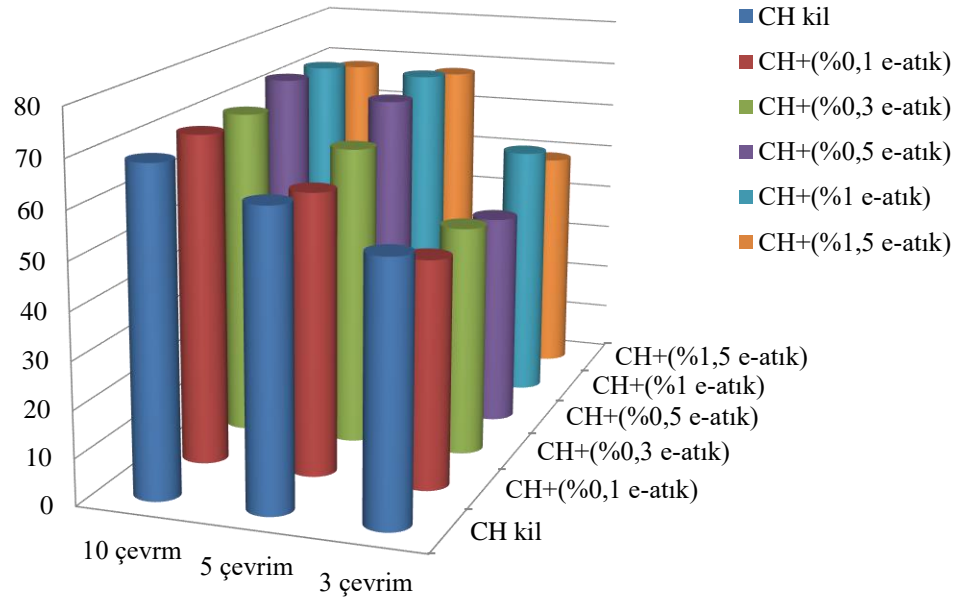
Şekil 4.43. Örnek kırılma yüzeyleri (3 çevrim, 5 çevrim, 10 çevrim)

4.5. Kıvam Limitlerinin Serbest Basınç Mukavemeti Üzerindeki Etkileri

CH Kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numuneler üzerinde yapılan kıvam limitleri deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek likit limit değeri %1 oranında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunede %66 olarak ve en düşük likit limit değeri ise CH kilinde %60 olarak belirlenmiştir. Likit değeri yüksek olan zemin numunelerinde su tutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle su içeriğinin de yüksek olması beklenir dolayısıyla donma-çözülme olayından daha çok etkilenmektedir (Işık 2014). Her bir donma çözülme çevrimi sonunda hesaplanan serbest basınç mukavemeti kayıpları ve kıvam limitleri toplu olarak Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7’deki değerler kullanılarak kıvam limiti – serbest basınç mukavemet kaybı ilişkisi Şekilde 4.44’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Likit limit-serbest basınç mukavemet değerleri

e-atık oranı (%)	WL (%)	0 çevrim (kPa)	3 çevrim (kPa)	Kayıp (%)	5 çevrim (kPa)	Kayıp (%)	10 çevrim (kPa)	Kayıp (%)
0	60	220	100	54,54	83	62,27	69	68.64
0,1	64	250	130	48	99	59,6	76	69.6
0,3	65	275	141	48,72	100	63,64	84	69.45
0,5	65	338	185	45,26	103	69,52	92	72.78
1	66	312	140	55,13	90	71,15	88	71.8
1,5	63	272	139	48,90	87	68,01	86	68.38



Şekil 4.44. Likit limit-serbest basınç mukavemet kaybı ilişkisi

Şekil 4.44 ve Çizelge 4.7 beraber incelendiğinde, kıvam limitleri deneyi sonucunda en yüksek likit limite sahip olduğu belirlenen CH kiline %1 e-atık ilave edilerek hazırlanan numune, en düşük likit limit değerine sahip olan CH kilinden belirgin şekilde her bir donma çözülme çevrimi sonunda daha fazla mukavemet kaybına uğramıştır. Genel olarak likit limitin artmasıyla mukavemet kaybı artan bir eğilim göstermiştir. Öte yandan CH kiline e-atık katılmasıyla kil zeminin mukavemet özellikleri iyileştiği için donma çözülme olayına maruz kalmasına rağmen, e-atık katkılı numuneler CH kilinden daha fazla serbest basınç mukavemetine sahiptir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada CH ve %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numuneler üzerinde kıvam limitleri, donma çözülme ve serbest basınç deneyleri olmak üzere bir seri laboratuvar deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kil zemine farklı oranlarda e-atık katılması ile kil numunelerinin likit limit ve plastik limit değerlerinin artmıştır.
- Kil zemine e-atık ilavesi IP değerini artırmış ve işlenebilirliğini olumsuz etkilemiştir.
- Kıvam limit değerlerinde en büyük artış %1 oranında e-atık ilave edilen numunede olduğu görülmüştür.
- Kil zemindeki e-atık miktarı arttıkça serbest basınç mukavemeti genel olarak artmıştır.
- Serbest basınç mukavemeti değerindeki en büyük artış %0,5 oranında e-atık ilave edilen numunede olmuştur.
- CH kiline %0,5 oranında e-atık ilave edilmesiyle gerilme değerinin 220 kPa'dan 338 kPa'a artarak yaklaşık %54 oranında artış gösterdiği görülmüştür.
- CH kiline %1,5 e-atık ilave edilen numunenin diğer numunelere nazaran daha düktil davranış sergilediği görülmüştür.
- 3 çevrim sonunda en yüksek gerilme değerinin 185 kPa ile %0,5 e-atık katılı numunesine, en düşük gerilme değerinin ise 100 kPa ile CH kil numunesine ait olduğu görülmüştür.
- 3 donma çözülme çevrimi sonucunda CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH kilinin maksimum gerilme değeri olan 100 kPa dan 185 kPa ya çıkarak yaklaşık %85 artış göstermiştir.
- 5 çevrim sonunda en yüksek gerilme değeri 103 kPa ile %0,5 e-atık katılı numunesine, en düşük gerilme değeri ise 83 kPa ile katkısız CH kil numunesinde gerçekleşmiştir.

- CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH kilinin maksimum gerilme değeri olan 83 kPa dan 103 kPa ya çıkarak yaklaşık %30 artış göstermiştir.
- 5 donma çözülme çevrimi sonunda %1,5 oranında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin diğer numunelere göre daha duktıl davranış sergilediği anlaşılmaktadır.
- 10 donma çözülme çevrimi sonunda maksimum gerilme değerinin 92 kPa ile %0,5 e-atık katkılı numunesine, en düşük gerilme değerinin ise 69 kPa ile CH kil numunesine ait olduğu görülmektedir.
- 10 donma çözülme çevrimi sonucunda CH kiline %0,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin maksimum gerilme değeri CH kilinin maksimum gerilme değeri olan 69 kPa dan 92 kPa ya çıkarak yaklaşık %32 artış göstermiştir.
- 10 donma çözülme çevrimi sonunda %1,5 e-atık ilave edilerek hazırlanan numunenin daha duktıl davranış sergilediği görülmektedir.
- Genel olarak donma çözülme çevrim sayısının artmasıyla CH Kili, %0,1, %0,3, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında e-atık ilave edilerek hazırlanan numunelerinin maksimum gerilme değerlerinin azaldığı gözlenmektedir.
- Donma çözülme çevrim sayısının artmasıyla her katkı oranında daha duktıl bir davranışın sergilendiği ve başlangıç teğet modülünün azaldığı görülmüştür.
- CH kiline %1 e-atık ilave edilerek hazırlanan numune, CH kilinden her bir donma çözülme çevrimi sonunda daha fazla mukavemet kaybına uğramıştır. Genel olarak likit limitin artmasıyla mukavemet kaybı artan bir eğilim göstermiştir. Öte yandan CH kiline e-atık katılmasıyla kil zeminin mukavemet özellikleri iyileştiği için donma çözülme olayına maruz kalmasına rağmen, e-atık katkılı numuneler CH kilinden daha büyük serbest basınç mukavemetine sahiptir.
- E-atık kil daneleri arasında köprü görevi görerek serbest basınç mukavemetinin artmasına neden olmuştur.
- E-atıkların çevresel zararları nedeniyle zeminde alternatif bir malzeme olarak kullanılabilirliği gözlemlenmiştir.

Konu ile ilgili daha kesin yargıya ulaşabilmek için farklı zeminlere e-atığın farklı oranları, farklı donma çözülme çevrim sayıları ile deneyler yapılarak ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Alpyürür, M., Şenol A., 2018. Yüzeysel Zemin İyileştirmesinde Yeni Bir Malzeme Olarak Atık Gazbeton Kullanımı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(2), 168-178.
- Anonim, 2006. TS 1900-1, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm-1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2012. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 22.05.2012 tarih ve 28300 sayılı Resmi Gazete, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- ASTM D 2166 Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, 2006. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM D4318 – 17ε1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2018. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- ASTM D698 – 12ε2 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)), 2015. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Atasever, Ş., 2015. Elektronik Atık Devre Kartlarının Pirolyzisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ayan, E., 2009. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, B., 2011. Elektrikli Ve Elektronik Ekipman Atıklarının Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bágel, L., Matiašovský, P., 2010. “Surface Pretreatment—a Way to Effective Utilization of Waste Plastics as Concrete Aggregate, Review and First Experiences”, CESB10: Central Europe Towards Sustainable Building from Theory to Practice, Prague, Czech Republic.
- Bulut, H. A., Şahin, R., 2017. “A Study on Mechanical Properties of Polymer Concrete Containing Electronic Plastic Waste”, Composite Structures, 178, 50-62.
- Colbert, B.W., You, Z., 2012. “Properties of Modified Asphalt Binders Blended with Electronic Waste Powders”, Journal of Materials in Civil Engineering, 24(10), 1261-1267.
- Çalışkan, H.P., 2017. Türkiye’de Evlerden Kaynaklanan Elektronik Atıkların (Evsel Aeee) Envanteri Ve Yönetim Modeli Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çapraz, O., 2013. E-Atık Geri Kazanım Sistemlerinde Demontaj Tesis Yerleşim Planlaması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çiftlik, S., Handırıl, İ., Beyhan, M., Akçıl, A.U., Ilgar, M., Gönüllü, M.T., 2009. Elektrikli ve Elektronik Atıkların (E-Atık) Yönetimi, Ekonomisi ve Metal Geri Kazanım Potansiyeli Bakımından Değerlendirilmesi, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İstanbul.

- Çiftliklioğlu, K., 2018. Donma-Çözülme Çevrimlerinin Uçucu Kül ve Kireç Katkılı Killerin Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demiröz, A., Karaduman, M., 2009. Zemin İyileştirme Metotları, Selçuk-Teknik Dergisi, 8(3) Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Gavhane, A., Sutar, D., Soni, S., and Patil, P., 2016. "Utilisation of E - Plastic Waste in Concrete", International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 5 Issue 02.
- Ghazavi, M., Roustaie, M., 2010. The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay, Cold Regions Science and Technology 61, 125-131
- Hasan, M.R.M., Colbert, B., You, Z., Jamshidi, A., Heiden, P. A., Hamzah, M.O., 2016. "A Simple Treatment of Electronic-waste Plastics to Produce Asphalt Binder Additives with Improved Properties", Construction and Building Materials, 110, 79-88.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 2015. Geoteknik Mühendisliğine Giriş, Nobel Akademik Yayıncılık, 857 s, Ankara.
- Işık, A., 2014. Sıkıştırılmış Zeminlerde Donma-Çözülme Olayının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Işık, F., Akbulut, R.K., 2018. "Geri Dönüştürülmüş Karbon Karasının Killi Zeminlerin Kıvam Limitlerine Etkisi", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2): 123-130.
- Kahraman, A.C., 2014. Avrupa Birliği Uyum Sürecinde Türkiye'de Eatık Yönetimi Ve Uygulamaya Yönelik Stratejik Analizler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumar, K.S., Baskar, K., 2015. "Recycling of E-plastic Waste As a Construction Material in Developing Countries", Journal of Material Cycles and Waste Management, 17(4), 718-724.
- Kurup, A.R., Kumar, K.S., 2017. Effect Of Recycled PVC Fibers From Electronic Waste And Silica Powder On Shear Strength Of Concrete, J. Hazard. Toxic Radioact. Waste, 21(3): 06017001
- Lakshmi, R., Nagan, S., 2010. "Studies on Concrete Containing E Plastic Waste", International journal of environmental sciences, 1(3), 270.
- Lakshmi, R., Nagan, S. 2011. "Investigation on Durability Characteristics of E-plastic Waste Incorporated Concrete", Asian Journal of Civil Engineering (Builing and Housing) Vol.12, No.6, April.
- Mallela, J., Quintus, H.V., Smith, K., 2004. "Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design", The National Lime Association.
- Sarsılmaz, O.M., 2017. Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması, İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Anılan Yöntemlerin Seçilme Kriterleri Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Suchithra S., Kumar, M., Indu, V.S., 2015. "Study on Replacement of Coarse Aggregate by E-waste in Concrete", International Journal of Technical Research and Applications, e-ISSN: 2320-8163, Volume 3, Issue4 (July-August 2015), PP. 266-270.
- Tanısalı, E., 2018. Baskı Devre Kartlarındaki Değerli Metallerin Cevher Zenginleştirme Yöntemleriyle Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yalvaç, E., 2011. Kilin Mühendislik Özelliklerine Atıksuların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yıldırım, İ., 2018. Elektronik Atıklarda Değerli ve Ağır Metal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Zaimoğlu A.S., Çalik Y., Akbulut R.K, Yetimoğlu T., 2016. A Study on Freeze-Thaw Behavior of Randomly Distributed Fiber-Reinforced Soil, Periodica Polytechnica Civil Engineering 60(1).
- Zaimoğlu, A.S., 2010. Freezing-thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers, Cold Regions Science and Technology 60, 63-65.
- Zaimoğlu, A.Ş., Tan O., 2008."Borojips ve Fosfojips İle Stabilize Edilmiş Granüler Zeminde Donma Çözülme Etkisi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi (ZM-12), TÜRKİYE, ss.807-814.
- Zaimoğlu, A.Ş., Yetimoğlu T., 2011. "Liquid and plastic limits of fine-grained soils treated with ice, snow, and vapor" Turkish J. Eng. Env. Sci.,TUBİTAK, 217-223.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Muş'ta doğdu. İlköğretim eğitimini Şanlıurfa Merkez İlköğretim Okulu'nda, orta öğretim eğitimini Artvin Atatürk Ortaokulu'nda ve lise eğitimini Artvin Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı ve üniversiteden 2015 yılında mezun oldu. 2017 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

