



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARDA GERİ DOLGU MALZEMESİ
OLARAK BETON ATIKLARININ KULLANIMI**

Onur YAVAN

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İlknur BOZBEY**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Erol GÜLER**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Ekim, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Onur YAVAN tarafından, **Prof. Dr. İlknur BOZBEY** danışmanlığında hazırlanan "**GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARDA GERİ DOLGU MALZEMESİ OLARAK BETON ATIKLARIN KULLANIMI**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **18/10/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. İlknur BOZBEY	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Sadık ÖZTOPRAK	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Hakkı Oral ÖZHAN	☒
	Yeditepe Üniversitesi	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Havvanur KILIÇ	☒
	Yıldız Teknik Üniversitesi	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret

Rahmetli Babam Zeki YAVAN'a ve Annem Sabire YAVAN'a ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARDA GERİ DOLGU MALZEMESİ OLARAK BETON ATIKLARIN KULLANIMI

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon

Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 34898



TEŞEKKÜR

Doktora tezi çalışmalarım süresince beni maddi manevi her türlü konuda destekleyen, çalışmalarımı yönlendiren ve çalışmalarım süresince beni sürekli motive eden değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlknur Bozbey'e, bilgi birikimleriyle ve tecrübeleriyle yapmış olduğum çalışmalara katkı veren ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol Güler'e ve bu doktora tezi çalışma süresince bilgisi ve tecrübesiyle yanımda olan, çalışmama destek veren Sayın Prof. Dr. Burak Tanyu'ya bütün içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında İstanbul ili içerisinde numune bulmama ve rehabilitasyon merkezlerine girebilmem için gerekli izinleri çıkartan İSTAÇ personeli Orman Mühendisi Sayın Mustafa Kiriş'e bütün içtenliklerimle teşekkür ederim.

Arazi deneylerimi yaparken iş makinalarını ve malzemelerini kullandığım Bergiz İnşaat'a ve özellikle arazi deneyleri sırasında yardımcı olan Bergiz İnşaat personeli İnşaat teknikeri Erhan Güner'e bütün içtenliklerimle teşekkür ederim.

Geogrid deneylerimi yapmamda gerekli izinleri veren İstanbul Teknik Firması Genel Müdürü Macit Tanyol ve Genel Müdür Yardımcısı Tonguç Değer'e, deneylerimi yapmamda yardımcı olan Sibel Akkaş'a ve Esra Şen Özdemir'e bütün içtenliklerimle teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince desteklerini arkamda hissettiğim sevgili ailem ve burada isimlerini tek tek sayamadığım arkadaşlarımdan hepsine bütün içtenliklerimle teşekkür ederim.

Ekim 2023

Onur YAVAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BÜTÇE DESTEKLERİ	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. GEOSENTETİKLER.....	4
2.1.1. Geogridler.....	5
2.2. GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARIN TASARIMI	6
2.2.1. Geri Dolgu Malzemesi Özellikleri	11
2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
2.3.1. Geri Dönüşüm Beton Agregası için Literatür Araştırması	12
2.3.2. Geogridler için Literatür Araştırması	18
3. YÖNTEM	25
3.1. İSTANBUL İLİ İÇERİSİNDEN İYA NUMUNELERİ TEMİNİ	25
3.2. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGA DENEYLERİ	31
3.2.1. Elek Analizi Deneyi	34
3.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi.....	34
3.2.3. Los Angeles Aşınma Deneyi.....	36
3.2.4. Kıvam Limitleri Deneyi	37
3.2.5. pH Analiz Deneyi.....	38
3.2.6. Harç Yüzdesi Bulma Deneyi.....	40
3.3. GEOGRİD DENEYLERİ	43

3.3.1. Geogridler için Arazi Deneyleri	43
3.3.2. Geogridler için Laboratuvar Deneyleri	48
4. BULGULAR	56
4.1. GBA için YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI	56
4.1.1. Elek Analizi Deney Sonuçları	56
4.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları	57
4.1.3. Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları	59
4.1.4. pH Analiz Deney Sonuçları.....	60
4.1.5. Harç Yüzdesi Bulma Deney Sonuçları.....	61
4.2. GEOGRİDLER için LABORATUVARDA YAPILAN DENEY SONUÇLARI.....	62
4.2.1. Geogridlerin Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları	62
4.2.2. Geogridlerin FT-IR Analiz Deney Sonuçları	67
5. TARTIŞMA.....	70
5.1. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGALAR için DEĞERLENDİRME	70
5.2. PVC KAPLI PET GEOGRİDLER için DEĞERLENDİRME	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR.....	81
EKLER	86
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	103

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Ekstude Geogrid Ürünler (Han, 2015).	5
Şekil 2.2: Üretim Şekli Örgü olan Çift Yönlü Geogrid Ürünü.....	6
Şekil 2.3: Geosentetik Donatılı Duvarlar için Aktif Zemin Basınç Teorisi (Koerner, 2005).....	7
Şekil 2.4: Şartnamelerdeki Geri Dolgu Malzemesi Granülometri Aralıkları.	12
Şekil 2.5: PVC Kaplı Geogridin Saf Su ile Sıcaklık Etkisiyle Çekme Mukavemeti Kaybı (Elias, 1999).....	20
Şekil 2.6: PVC Kaplı Geogridin Alkali ortamda Çekme Mukavemeti Değişim Yüzdesi (Jeon,2005).	21
Şekil 3.1: İstanbul İli İçerisinden Temin Edilen İYA Bölgeleri.....	27
Şekil 3.2: Temin Edilen İnşaat Yıkıntı Atığı Numuneleri.....	31
Şekil 3.3: İYA Numunesinin Kırım Süreci.	32
Şekil 3.4: Üretilen Geri Dönüşüm Beton Agregaları.	33
Şekil 3.5: Elek Seti.	34
Şekil 3.6: Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Aşamaları.	35
Şekil 3.7: Los Angeles Aşınma Deney Aşamaları.	36
Şekil 3.8: Casagrande Cihazı ve Likit Limit Deney Aşamaları.	38
Şekil 3.9: pH Deneyinde Kullanılan Malzemeler.....	39
Şekil 3.10: pH Analiz Deney Aşamaları.	40
Şekil 3.11: Harç Yüzdesi Bulma Deney Aşamaları.	42
Şekil 3.12: Geri Dolgu Malzemesi için Hazırlanan Karışımların Granülometri Eğrileri.....	43
Şekil 3.13: Üretilen Geri Dolgu Malzemesi.	44
Şekil 3.14: Arazi Deneyinde kullanılan Dolgu Malzemesi Granülometri Eğrileri.	44
Şekil 3.15: Geri Dolgu Malzemesi Alt Tabaka Serim İşlemi.....	45

Şekil 3.16: Geri Dolgu Malzemesi Alt Tabaka Sıkıştırma İşlemi.	46
Şekil 3.17: Tabakalar Arasına Geogridin Serilme İşlemi.....	46
Şekil 3.18: Geogrid Üzerine Serilen Geri Dolgu Malzemesi Üst Tabaka İşlemi.....	46
Şekil 3.19: Geri Dolgu Malzemesi Üst Tabakasının Sıkıştırılma İşlemi.	47
Şekil 3.20: Sıkıştırılan Tabakaların Sökülme İşlemi.	47
Şekil 3.21: Tabakalar Arasından Çıkarılan Geogrid.	47
Şekil 3.22: Laboratuvara Temin Edilen Kür Tankları ve İç Boyutları.	48
Şekil 3.23: Farklı Sıcaklıklarda Bulunan Kür Tankları ve pH Ölçümü.	50
Şekil 3.24: Kür Tankları İçerisine Yerleştirilen Kesilmiş geogrid Numuneleri.....	50
Şekil 3.25: Geogridlerin Kesilen Bölgelerine PVC Polimeri Sürülme İşlemi.	51
Şekil 3.26: Geosentetikler için Çekme Cihazı.....	51
Şekil 3.27: MD ve CMD Yönleri için Numunelerin Deney Öncesi ve Sonrası.....	52
Şekil 3.28: Çekme Deneyi için Hazırlanan Geogridler Üzerindeki Referans Noktaları	53
Şekil 3.29: 4 Ay 60 °C’de Bekleyen Hasarlı Numuneler.....	53
Şekil 3.30: Çekme Cihazına Yerleştirilen Geogrid Numune Örneği.	54
Şekil 3.31: FT-IR Analizi için Hazırlanan Numuneler.....	55
Şekil 3.32: FT-IR Analizlerinin Gerçekleştirildiği Bölge.	55
Şekil 4.1: Çeneli Kırıcıdan Sonra Elde Edilen Malzemenin Granülometrisi.	56
Şekil 4.2: Kuru Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.	58
Şekil 4.3: Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.	58
Şekil 4.4: Görünen Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.....	58
Şekil 4.5: Su Emme Yüzdesi Deneyleri için Whisker Grafiği.	59
Şekil 4.6: Los Angeles Aşınma Oranı Tayini Deneyleri için Whisker Grafiği.....	60
Şekil 4.7: pH Analiz Deneyleri için Whisker Grafiği.	60
Şekil 4.8: Harç Yüzdesi Tayin Deneyleri için Whisker Grafiği.....	62
Şekil 4.9: Çözgü Yönünde Yapılmış Geogrid Çekme Deney Grafikleri.	63
Şekil 4.10:Atkı Yönünde Yapılmış Geogrid Çekme Deney Grafikleri.....	64

Şekil 4.11: Orijinal Numune ile Hasarlı Numunenin FT-IR Analiz Karşılaştırılması. 69



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Geosentetiklerin Kullanım Alanları (Han, 2015).....	4
Tablo 2.2: Koerner'ın (2005) Önerdiği Geosentetikler için Azaltma Faktörleri.	9
Tablo 2.3: Standartların Belirtmiş Olduğu Geri Dolgu Malzemesi Granülometrisi.	11
Tablo 2.4: Türkiye’de Yıllara Göre Hazırlanan Beton Üretimi (THBB, 2022).	13
Tablo 3.1: İYA Numuneleri ve Temin Edildiği Yapıya Ait Görsel Analiz Bilgileri.	27
Tablo 3.2: Numune Temini Gerçekleştirilen Bölgelerin Görselleri.	29
Tablo 4.1. GBA Numunelerinin Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdeleri.....	57
Tablo 4.2: GBA Numunelerinin Los Angeles Aşınma Oranları.	59
Tablo 4.3: GBA Numunelerinin pH Değerleri.	61
Tablo 4.4: GBA Numunelerinin Harç Yüzdesi Değerleri.	61
Tablo 4.5: Çözgü Yönünde Yapılmış Orijinal Geogrid Çekme Deney Sonuçları.	65
Tablo 4.6: Çözgü Yönünde Yapılmış Hasarlı Geogrid Çekme Deney Sonuçları.	65
Tablo 4.7: Atkı Yönünde Yapılmış Orijinal Geogrid Çekme Deney Sonuçları.....	66
Tablo 4.8: Atkı Yönünde Yapılmış Hasarlı Geogrid Çekme Deney Sonuçları.....	66
Tablo 4.9: Orijinal Numunenin Referans alındığı FT-IR Analiz Sonuçları.	67
Tablo 4.10: Hasarlı Numunenin Referans alındığı FT-IR Analiz Sonuçları.	68

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
c_a	: Zemin ile Geotekstil Arasındaki Adhezyon Kuvveti
cc	: Santimetre Küp
$Ca(OH)_2$	: Kalsiyum Hidroksit
C_c	: Derecelendirme Katsayısı
C_u	: Uniformluk Katsayısı
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
D	: Geri Dolgu Malzemesi Üzerindeki Tabaka Yüksekliği
H	: Duvar Yüksekliği
H^+	: Hidrojen
HCl	: Hidroklorik Asit
L	: Toplam Geosentetik Uzunluğu
L_0	: Geotekstillerin Bindirme Boyu
L_e	: Geotekstil Katmanların Gömülme Uzunluğunun
L_R	: Aktif Bölge İçerisinde Kalacak Olan Geotekstil Uzunluğu
Ni	: Nikel
$NaOH$	: Sodyum Hidroksit
M	: Molarite
Mo	: Molibden
μm	: Mikrometre
γ	: Birim Hacim Ağırlık
σ_h	: Duvara Etki eden Toplam Yanal Basınç
σ_{hs}	: Zeminden Dolayı Oluşan Yanal Basınç
σ_{hq}	: Yayılı Yükten Dolayı Oluşan Yanal Basınç
σ_{hl}	: Hareketli Yükten Dolayı Oluşan Yanal Basınç
OH^-	: Hidroksit
P	: Dolgu Yüzeyine Konsantre Edilmiş Hareketli Yük
Pb	: Kurşun

Simgeler	Açıklama
R	: Basıncın Hesaplandığı Duvardaki Yük Noktasından Radyal Mesafe
RF_{ID}	: Uygulama Sırasında Oluşacak Hasar Azaltma Faktörü
RF_{CR}	: Sünme (Krep) Azaltma Faktörü
RF_{CBD}	: Kimyasal veya Biyolojik Bozulma Azaltma Faktörü
$\prod RF$	: Kümülatif Azaltma Faktör Değeri
S_v	: Geosentetikler Arası Düşey Mesafe
T_a	: Geosentetiklerde İzin Verilen Çekme Mukavemeti
T_{ult}	: Geosentetiklerin Nihai Çekme Mukavemeti
τ	: Kayma Mukavemeti
x	: Yük ile Duvar Arasındaki Yatay Mesafe
q	: Yayılı Yük
$\emptyset$	: İçsel Sürtünme Açısı
δ	: Zemin ile Geotekstil Arasındaki Sürtünme Açısı
Z	: Derinlik
Z_n	: Çinko

Kısaltmalar	Açıklama
AASHTO	: Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Derneği
CMD	: Makine Doğrultunun Tersine
FHWA	: USA Federal Karayolları İdaresi
FS	: Güvenlik Sayısı
GBA	: Geri Dönüşüm Beton Agregası
GCL	: Geosentetik Kil Örtü
H	: Hasarlı Numune
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HRS	: Hafriyat Rehabilitasyon Sahası
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
İYA	: İnşaat Yıkıntı Atığı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolu Teknik Şartnamesi
MD	: Makine Doğrultunda
MSE	: Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Toprak Duvar

Kısaltmalar	Açıklama
AASHTO	: Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Derneği
CMD	: Makine Doğrultunun Tersine
FHWA	: USA Federal Karayolları İdaresi
FS	: Güvenlik Sayısı
GBA	: Geri Dönüşüm Beton Agregası
GCL	: Geosentetik Kil Örtü
H	: Hasarlı Numune
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HRS	: Hafriyat Rehabilitasyon Sahası
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
İYA	: İnşaat Yıkıntı Atığı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolu Teknik Şartnamesi
MD	: Makine Doğrultunda
MSE	: Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Toprak Duvar
O	: Orijinal Numune
PD	: Prekast Modüler Duvar
PE	: Polietilen
PET	: Polyester
pH	: Potansiyel Hidrojen
PI	: Plastisite İndisi
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil Klorür
SSD	: Şerit Donatılı Duvar

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARDA GERİ DOLGU MALZEMESİ OLARAK BETON ATIKLARIN KULLANIMI

Onur YAVAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. İlknur BOZBEY

II. Danışman : Prof. Dr. Erol GÜLER

İnşaat sektöründe en çok kullanılan inşaat malzemelerinden bir tanesi agregadır. Nüfusun artmasından dolayı yeni yerleşim yerlerinin oluşturulması da agreganın kullanımını her geçen gün artırmaktadır. Dolayısıyla agregalar yerine kullanılabilecek yeni malzemeler için araştırma çalışmaları sürdürülmektedir. Özellikle Türkiye’de 2012 yılında başlayan ve günümüzde devam eden kentsel dönüşüm projeleri kapsamında çok fazla inşaat yıkıntı atığı ortaya çıkmaktadır. Ancak bu malzemeler günümüzde çoğunlukla kullanılmamakta ve rehabilitasyon merkezlerine taşınarak atılmaktadır. Günümüzde bu malzemelerin geri dönüşümü ile tekrar kullanılarak doğanın sürdürülebilir bir şekilde gelecek nesillere bırakılması ve ülke ekonomisi için çok önemli bir konudur.

Bu tez kapsamında iki farklı konu detaylı olarak araştırılmıştır. İlk olarak, İstanbul ili içerisinde ve farklı bölgelerden kentsel dönüşüm projesi kapsamında yıkılmış ve yıkılmakta olan yapılardan alınan beton atıkları ve beton laboratuvarlarında basınç deneylerine tabi tutulmuş küp beton atıklarından geri dönüşüm beton agregaları üretilmiştir. Üretilen geri dönüşüm beton agregalarının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla agrega deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin yanında üretilen geri dönüşüm beton agregalarının pH değerleri ve harç yüzdeleri belirlenmiştir. Bütün bu deney sonuçları değerlendirilerek İstanbul ili için geri dönüşüm beton agregası karakterizasyonu yapılmış ve kullanım alanları ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Daha sonra, geri dönüşüm beton agregaları ile beraber kullanılması düşünülen PVC kaplı PET lifli geogridlere arazi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Arazide tabaka kalınlığı

20 cm olmak üzere 2 tabaka arasına PVC kaplı PET lifli geogrid malzemesi yerleştirilmiş ve sıkıştırılmıştır. Arazi uygulamasında kullanılan dolgu malzemesinin maksimum dane boyutu FHWA’de geosentetikler için önerilen 19.0 mm olarak seçilmiştir. Arazi uygulamalarına maruz kalan hasarlı geogridler ile orijinal geogridlere yüksek pH ortamında ve farklı sıcaklıklarda 4 ay sürecinde kür işlemi yapılmıştır. Sıcaklık ve yüksek pH ortamına maruz kalan geogridlerin her bir ay sonunda çekme mukavemetleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak İstanbul ili içerisinde temin edilen inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüşüm beton agregaların mekanik özelliklerini gösteren deney sonuçları ve İstanbul ili için karakterizasyon deney sonuçları verilmiştir. Bu tür malzemelerle kullanılması düşünülen PVC kaplı PET lifli geogridlerin de uzun süreli alkali ortam ve sıcaklıkla değişen mukavemet eğrileri ve deney sonuçları tezde verilmiştir.

Ekim 2023, 125 sayfa.

Anahtar kelimeler: Geri Dönüşüm Beton Agregası, PVC Kaplı PET Lifli Geogrid, Geri Dolgu Malzemesi, Karakterizasyon, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

UTILIZATION of RECYCLED CONCRETE as BACKFILL MATERIAL in GEOSYNTHETICS REINFORCED WALLS

Onur YAVAN

İstanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Programme of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. İlknur BOZBEY

Co-Supervisor: Prof. Dr. Erol GÜLER

One of the most widely used construction materials in the construction sector is aggregate. The creation of new settlements due to the increase in population also increases the use of aggregate day by day. Therefore, research studies are continuing for new materials that can be used instead of aggregates. Especially in Turkey, a lot of construction demolition waste is generated within the scope of urban transformation projects that started in 2012 and continue today. However, these materials are mostly not used today and are transported and disposed to rehabilitation centers. Nowadays, recycling and reuse of these materials is a very important issue for leaving nature to future generations in a sustainable way and for the country's economy.

Within the scope of this thesis, two different topics were investigated in detail. Firstly, recycled concrete aggregates were produced from concrete wastes taken from buildings demolished and being demolished within the scope of urban transformation project from different regions within the province of Istanbul and from cube concrete wastes subjected to pressure tests in concrete laboratories. Aggregate tests were carried out to determine the mechanical properties of the produced recycled concrete aggregates. In addition to these tests, pH values and mortar percentages of recycled concrete aggregates were determined. By evaluating all these test results, recycled concrete aggregates were characterized for Istanbul province and recommendations were made for their usage areas. Then, field applications were carried out on PVC coated PET fiber geogrids which were considered to be used with recycled concrete aggregates. In the field, PVC coated PET fiber geogrid material was placed between 2 layers

with a layer thickness of 20 cm and compacted. The maximum grain size of the backfill material used in the field application was selected as 19.0 mm as recommended for geosynthetics in FHWA. The damaged geogrids exposed to field applications and the original geogrids were cured in a high pH environment and at different temperatures for 4 months. The tensile strengths of the geogrids exposed to temperature and high pH environment were determined at the end of each month.

As a result, test results showing the mechanical properties of recycled concrete aggregates obtained from construction demolition wastes obtained from Istanbul province and characterization test results for Istanbul province are given. The strength curves and test results of PVC coated PET fiber geogrids, which are considered to be used with such materials, are also given in the thesis.

October 2023, 125 pages.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate, PVC Coated PET Fiber Geogrid, Backfill Material, Characterization, Sustainability.

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik başlığı altında geri dönüşüm kavramı her geçen gün önem kazanmaktadır. Geri dönüştürülebilecek her türlü malzemenin tekrar üretime katılması ülke ekonomilerine katkı sağlamaktadır. Ayrıca geri dönüşüm ile tekrar üretime katılan malzemelerle doğal kaynakların kullanılabilirlik süreci daha uzun olacaktır. İnşaat sektöründe en çok kullanılan inşaat malzemelerinden birisi olan agreganın yerine kullanılabilecek olan geri dönüşüm malzemesi günümüzün önemli araştırma konularındandır. Özellikle inşaat yıkıntı atıklarından (İYA) elde edilen molozların kırıcılardan geçirilerek agrega boyutlarına getirilip beton üretimi veya dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği güncel araştırma konularındandır.

İYA'lar yapı ömrünü tamamlamış devlet yapılarından, tek katlı veya çok katlı bireysel konutlardan, sanat yapılarından veya beton laboratuvarlarında deneye tabi tutulmuş beton atıklarından elde edilen moloz atıkları olabilir. Bu atıkların yanında deprem bölgesi olan ülkemizde meydana gelen depremlerde de çok fazla miktarda İYA ortaya çıkmaktadır. Bu İYA'lardan elde edilebilecek olan geri dönüşüm beton agregaların (GBA) yüzeyinde hidrate olmayan çimento olması muhtemeldir. Ayrıca farklı amaçla kullanılan yapı ömrünü tamamlamış yapılardan elde edilen İYA'ların her birinin karbonatlaşma süreçleri de birbirlerinden farklıdır. Bu karbonatlaşma sürecinin ve hidrate olmayan çimento miktarının belli olmaması GBA'ların kullanıldığı bölgede ortamın alkali derecesinin de farklı olmasına neden olacaktır. Dolayısıyla bu geri dönüşüm malzemesinin kullanılacak olan bölgede yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı etkileşimde olacağı malzemenin doğru seçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında geosentetik donatılı duvarlarda geri dolgu malzemesi olarak beton atıklarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Geosentetikler polimer malzemelerden üretilmiş tekstil ürünlerinin genel adıdır. Üretim şekli ve üretildiği malzemelere bağlı olarak birçok çeşidi olan geosentetikler, son yıllarda gelişen teknoloji ile mühendisliğin her alanında kullanılan alternatif bir malzeme haline gelmiştir. Özellikle inşaat mühendisliğinin her bir anabilim dalı için yapılan çalışmalar geosentetiklerin birçok alanda kullanılabileceğini göstermiştir.

Geosentetikler üretim şekline göre farklı alanlarda ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bu ürünler; zemin tabakaları arasına serilerek kullanıldığında zemin mukavemetini artırıp

erozyonu önlemesi, yapıların temel altlarında veya barajlarda kullanıldığında su yalıtımı, atık veya rehabilitasyon bölgelerinde kullanıldığında yer altı suyuna karışması muhtemel asbestli atıkları filtremesi ve peyzaj için kullanıldığında arazi düzenlemesi gibi birçok amaçla kullanılabilir. Geosentetiklerin bu kadar farklı alanda kullanılabilir olması literatürde araştırma çalışmalarının artmasını sağlamıştır.

Geosentetiklerin geotekstil, geogrid, geomembran, geopipe, geosentetik kil örtü ve geokompozit vb. gibi birçok çeşidi bulunur. Bunların arasında özellikle geogridler, yüksek çekme mukavemetli ve uzun ömürlüdürler. Geogridlerin bu özelliklerinden dolayı mekanik olarak stabilize edilmiş toprak duvarlarda (MSE), asfalt ve beton içerisinde donatı olarak son yıllarda sıkça tercih edilen inşaat malzemesi olmuştur. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polietilen (PE), polipropilen (PP), polyester (PET) ve poliamid ham maddelerinden üretilen geogridler çekme mukavemeti yönünden tek eksenli, çift eksenli ve üç eksenli olabilir. Bu hammaddeler arasından PET liflerin yüksek mukavemetli ve kimyasal dirençlerinin iyi olması geogridlerin üretiminde en çok tercih edilen hammadde olmasına neden olmuştur. PET lifler kullanılarak üretilen geogridlerde, hem kimyasal etkileri en aza indirmek hem de inşaat sırasında oluşabilecek hasarları azaltmak için PVC, aramid, poliamid gibi kaplamalar PET liflerin yüzeylerinde kullanılır. Aramid malzemesinin pahalı olması, poliamid malzemesinin sert ve suya karşı hassas olması PVC kaplamanın daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Ancak, bu kaplamalar uygulama sırasında hasar alabilmekte ve PET liflerin yüzeyinden aşınabilmektedir. Bu durumda PET lifler her ne kadar kimyasal dirençleri iyi olsa da GBA'lar ile kullanıldığında oluşabilecek alkali ortama maruz kalacaktır.

Geosentetiklerin tasarım mukavemeti hesaplanırken malzemenin zamana bağlı olarak sünme (krep) problemi için, inşaat sırasında oluşabilecek deformasyonlar için ve durabilite problemleri için olmak üzere üç farklı azaltma faktörü kullanılır. Bu azaltma faktörlerinin kullanımı tasarımın daha güvenilir olmasını sağlar. Ancak geosentetiklerin kullanıldıkları bölgelerin pH ve sıcaklık değerlerinin bilinmesi de önemlidir. Geosentetik donatılı duvar arkasında kullanılacak zeminin çimento veya kireç ile stabilize edilmesi veya kullanılacak olan dolgu malzemesine bağlı olarak ortam pH değerinin yükselmesi ve bu bölgenin alkali olmasına neden olacaktır. Zemin derinleştikçe sıcaklığının artması ve dayanma yapısının ön yüzeyinin özellikle yaz aylarında maruz kalacağı sıcaklık artışı PET bazlı geosentetiklerin bu alkali ortamdan daha fazla etkileneceği literatürde verilmiştir. Alkali ortamda, PET liflerin moleküler yapısındaki ester bağlar hidroksit iyonlarıyla bozulup yeni karboksil grupların oluşması, polyesterin

molekül ağırlığının azalmasına neden olur. Ayrıca, alkali ortam polyester liflerin yüzeyinde lekelenme, delinme, aşınma gibi bozulmalara da neden olabilir. Bu iki durumda da polyester ipliklerin çapının küçülmesi ve buna bağlı olarak da malzeme mukavemetinde azalmalar meydana gelir.

Geosentetik donatılı duvarların projelendirilmesinde en çok kullanılan geosentetik çeşidi geogridlerdir. Projelendirme de kullanılan azaltma faktörleri dışında bir diğer önemli konu da seçilecek olan dolgu malzemesinin özellikleridir. Tasarımı yapılan donatılı duvar için seçilen geogrid ile kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin granülometrisi, elektrokimyasal özellikleri, granülometri özellikleri (C_c , C_u) ile Plastisite İndisi (PI) için kriterleri Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS, 2013) ve USA Federal Karayolları İdaresi (FHWA (2009)) vermiştir. Bu kriterlere ilave olarak FHWA (2009) geri dolgu malzemesinin geosentetiklerle kullanıldığı durumlarda dolgu malzemesinin maksimum dane çapının 19.0 mm olarak seçilmesi yönünde bir öneride bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında iki farklı konu detaylı olarak çalışılmıştır. İstanbul ili içerisinde farklı lokasyonlardan moloz atıkları temin edilip İstanbul ili için geri dönüşüm beton agregası karakterizasyonu yapılmıştır. İlk olarak geri dönüşüm beton agregası üretebilmek için İstanbul ili içerisinde Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında yıkılan yapılardan, Hafriyat Rehabilitasyon Sahalarına atılan inşaat yıkıntı atıklarından ve beton laboratuvarlarında basınç deneylerine tabi tutulmuş küp beton atıklarından numuneler temin edilmiştir. Ancak bu katı atıkların, yapı kullanım amaçları, kat sayıları, inşa sırasında kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve karbonatlaşma süreçleri gibi özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla her bir numuneden üretilecek geri dönüşüm beton agregalarının da özellikleri birbirinden farklı olacaktır. Karakterizasyon işleminden sonra, geogrid deneyleri gerçekleştirilmiştir. PVC kaplı PET liflerden üretilmiş geogridler için öncelikle FHWA (2009)'un önermiş olduğu maksimum dane çapı 19.0 mm olan geri dolgu malzemesi ile arazide uygulama yapılmıştır. Arazi uygulamasından elde edilen geogridler ile orijinal geogridler, 40 °C, 50 °C ve 60 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta ve pH değeri 12.0 ± 0.2 olan alkali ortamda 4 ay süre ile kürlenmişlerdir. Her bir ay sonunda birer set geogrid numuneleri kür tanklarından çıkarılarak çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda İstanbul ili için üretilen geri dönüşüm beton agregaların karakterizasyonu yapılmış ve PVC kaplı PET geogridlerle beraber kullanılabilirliği araştırılıp tartışılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Geosentetik donatılı duvarların tasarımı yapılırken kullanılacak olan geosentetik türü ve geri dolgu malzemesinin doğru seçimi önemlidir. Özellikle tasarım için seçilecek olan geosentetik türüne göre şartnamelerde verilen dolgu malzemesinin granülometresinin yanında malzemeye etki edecek olan kimyasal özellikler de dikkate alınmalıdır. Bu tez kapsamında kullanılması planlanan beton atıklarının PET bazlı PVC kaplı geogridlerin çekme mukavemet değişimlerine etkisi incelenmiştir.

Bu bölümde tez çalışmalarında kullanılan geosentetiklerin bir çeşidi olan geogridler, geosentetik donatılı duvarların tasarım parametreleri, geri dolgu malzemesinin özellikleri ve literatür araştırmaları verilmiştir.

2.1. GEOSENTETİKLER

Geosentetikler zemin mukavemetini güçlendirmek için zemine gömülerek veya zeminle kullanılan sentetik malzemelerdir. Geosentetiklerin çoğunluğu düzlemseldir ve rulolar halinde üretilir. Genellikle iki eksenli olarak üretilen geosentetikler üç eksenli de üretilebilir. İnşaat sektöründe kullanılabilirliği kanıtlanmış geosentetik malzemeler son 60 yıldır kullanılmaktadır (Evans, 2022). Geosentetikler üretim şekline ve kullanım alanlarına göre, geotekstil, geogrid, geonet, geomembran, geosentetik kil örtü (GCL), geocell, geofoam ve geokompozit olarak sınıflandırılabilir. Han (2015) geosentetik çeşitlerinin hangi alanlarla kullanılabilirliğini Tablo 2.1’de vermiştir.

Tablo 2.1: Geosentetiklerin Kullanım Alanları (Han, 2015).

Geosentetik Çeşidi	Ayırma	Filtreleme	Drenaj	Güçlendirme	Erozyon Önleme	Set/Bariyer
Geotekstil	√	√	√	√	√	√
Geogrid				√		
Geonet			√			
Geomembran	√				√	√
GCL	√				√	√
Geocell				√	√	
Geokompozit	√	√	√	√	√	√

Evans (2022) geotekstillerin inşaat mühendisliği tasarımlarında kullanım alanlarını;

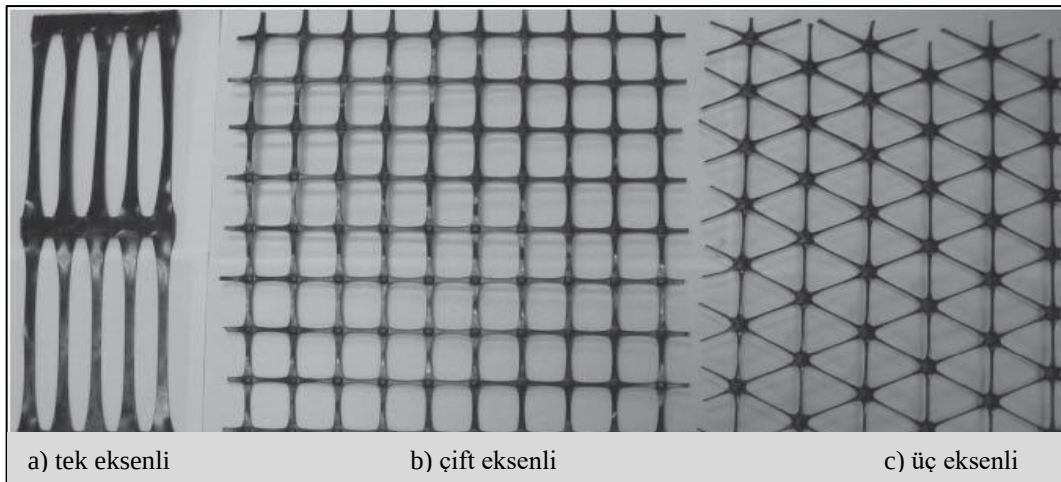
1. Filtreleme; şevli bölgelerde zeminle suyu ayırma, barajlarda, ulaştırma yapılarında, istinat duvarı arkasında,
2. Güçlendirme, temellerin ve şev dolgularının mukavemetlendirilmesinde, istinat yapılarında, yollarda,
3. Ayırma; özellikle karayollarında killi zemin tabakalarını killi olmayan tabakalarından ayırma, zeminleri sudan ayırma,
4. Erozyon ve çökme; siltli bölgeleri erozyon kontrol malzemesi olarak kullanma,
5. Drenaj; şevli bölgelerde, barajlarda, ulaştırma yapılarında suyu uzaklaştırma ve
6. Su yalıtımı; asfalt beton kaplamalar, gölet kaplamaları, temel su yalıtımı

olarak belirtmiştir.

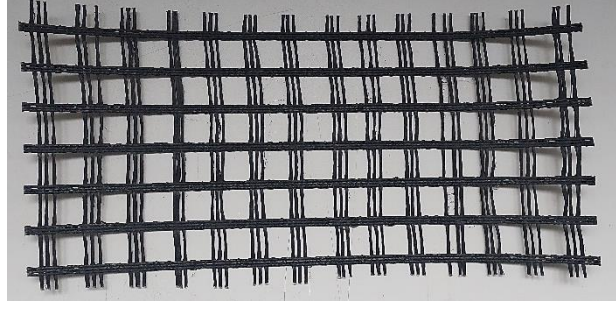
Bu bölümde bu tez çalışması kapsamında deneylerde kullanılan geogridler detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.1. Geogridler

Geogridler üretim şekline göre ekstrude ve örgü olmak üzere iki farklı şekilde, mukavemet açısından da tek eksenli, çift eksenli ve üç eksenli olarak üretilebilirler. Geogridler üretilirken enine ve boyuna yapılan örgülerin açıklıkları malzeme yönünü değerlendirmede önemli bir ölçüttür. Şekil 2.1’de gösterilen ekstude tek eksenli geogridler boyuna mukavemetli, iki eksenli geogridler enine ve boyuna mukavemetli, üç eksenli geogridler üç ekseninde mukavemetlidir (Han, 2015). Şekil 2.2’de çift yönlü PVC kaplı üretim şekli örgü olan PET geogrid verilmiştir. Geogridler istenilen ekseninde ve farklı çekme mukavemetlerinde üretilebilirler (Evans, 2022).



Şekil 2.1: Ekstude Geogrid Ürünler (Han, 2015).



Şekil 2.2: Üretim Şekli Örgü olan Çift Yönlü Geogrid Ürünü.

Geogridler üretilen malzemelere bağlı olarak da çeşitlilik gösterirler. Genellikle tek eksenli geogridler HDPE polimerlerle üretilirken, PET ve PP polimerli geogridler çok eksenli olarak üretilirler (Koerner, 2005). Kullanılacak bölgenin temel gerilmeleri hesaplanarak proje için uygun geogrid seçilip üretilir.

Polyester ve propilen bazlı geogridler kimyasallardan ve uygulama sırasında oluşabilecek hasarlardan korumak amacıyla PVC, Aramid ve Poliamid gibi polimerler ile kaplanırlar. Aramid malzemesinin pahalı olması, poliamid malzemesinin sert ve suya karşı hassas olması PVC kaplamamın üretimde daha fazla tercih edilmesini sağlamıştır.

Evans (2002) geogridlerin ana işlevlerini;

1. Güçlendirme, zemin iyileştirme,
2. Muhafaza, koruma, büyük parçacıkları bir şilteye sarma.

olarak belirtmiştir. Ayrıca Evans (2022) geogridlerin inşaat mühendisliğinin;

1. Levha halindeyken donatı olarak; temellerin güçlendirilmesi, dolgu şevlerinin güçlendirilmesi, istinat duvarı ve yol yapımı,
2. Şilte halinde zemine sardırılma hali; temel inşaatı ve dolgu güçlendirmesi,

temel tasarımlarda kullanıldıklarını belirtmiştir.

2.2. GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARIN TASARIMI

Yukarıda ifade edildiği gibi, geogridlerin en yoğun kullanım alanlarından birisi de geosentetik donatılı duvarlardır. Geosentetik donatılı duvarların tasarımı için birçok araştırmacı tasarım parametrelerini vermiştir. Koerner (2005) geotekstil donatılı duvarların tasarımı için iki farklı yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Bu yöntemlerden birincisi Broome's'un (1987) ABD Orman Servisi tarafından kullanılan ve Steward ve arkadaşları (1977) ile Whitcomb ve Bell'in (1979) tartıştığı bir yöntemdir. Diğer yöntem ise Lee ve arkadaşlarının (1973) metal donatılar ile

güçlendirilen donatılı duvarları tasarım yöntemini, Bell ve arkadaşlarının (1975) geosentetik donatılı duvarlar için oluşturduğu yöntemdir. Koerner (2005) kitabında güncel olan yöntemi dikkate alarak tasarım sürecini aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Geotekstil aralığını, geotekstil uzunluğunu ve bindirme mesafesini belirlemek için öncelikle iç stabilite ele alınır.
- Devrilmeye, kaymaya ve temel çökmesine karşı dış stabilite araştırılır ve iç tasarım buna göre modifiye edilir veya değiştirilir.
- Duvar yüzeyi detayları ve drenaj gibi etmenler tasarımda dikkate alınarak tasarım tamamlanır.

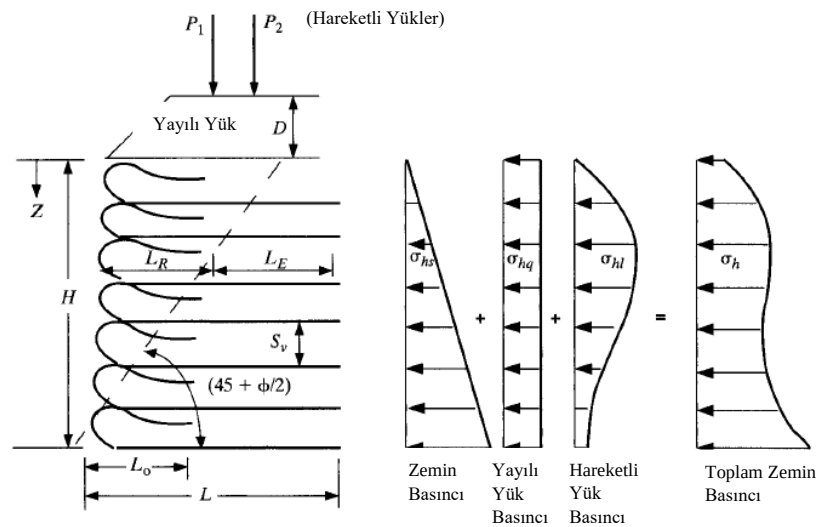
Geotekstiller katmanlarının mesafelerini hesaplamak için Rankine aktif zemin basınç teorisi veya Colulomb aktif basınç teorisi kullanılarak aktif zemin basıncı (K_a) bulunur. Boussinesq'in duvar arkasındaki hareketli yükler için elastik teori kullanılır. Şekil 2.3'de gösterilen geosentetik donatılı duvar ve duvara etki eden zemin basınçları gösterilmiştir. Bu yükler aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z \quad (2.1)$$

$$\sigma_{hq} = K_a q \quad (2.2)$$

$$\sigma_{hl} = P \frac{x^2 z}{R^5} \quad (2.3)$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hl} \quad (2.4)$$



Şekil 2.3: Geosentetik Donatılı Duvarlar için Aktif Zemin Basınç Teorisi (Koerner, 2005).

Bu terimlerin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

- σ_{hs} = Zeminden dolayı oluşan yanal basınç,
 K_a = $\tan^2(45 - \phi/2)$ = aktif zemin basınç katsayısı,
 ϕ = Dolgunun içsel sürtünme açısı,
 z = Zemin yüzeyinden tabakalara olan mesafe,
 σ_{hq} = Yayılı yükten dolayı oluşan yanal basınç,
 q = $\gamma_q D$ = Dolgu üzerindeki tabakanın yayılı yükü,
 γ_q = Dolgu üzerindeki tabakanın birim hacim ağırlığı,
 D = Dolgu üzerindeki tabakanın yüksekliği,
 σ_{hl} = Hareketli yükten dolayı oluşan yanal basınç,
 P = Dolgu yüzeyine konsantre edilmiş hareketli yük,
 x = Yük ile duvar arasındaki yatay mesafe,
 R = Basıncın hesaplandığı duvardaki yük noktasından radyal mesafe,
 σ_h = Duvara etki eden toplam yanal basınç.

Zeminden dolayı oluşacak yanal basınç ve yayılı yükten dolayı oluşacak basınç hesaplamaları kolaylıkla yapılabilir. Ancak yayılı yüklerden dolayı oluşacak basıncı hesaplamak için zemin abakları kullanılması gerekmektedir. Bütün yükler hesaplandıktan sonra, toplam yanal basınç diyagramında herhangi bir derinlikte serbest bir kütleyi dikkate alıp yatay yöndeki kuvvetler toplanarak, düşey yönde geosentetikler arası mesafe (S_v) denklemi elde edilir (Koerner, 2005).

$$\sigma_h S_v = \frac{T_a}{FS} \quad (2.5)$$

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_h FS} \quad (2.6)$$

Burada kullanılan terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- S_v = Geosentetikler arası düşey mesafe,
 T_a = Geosentetiklerde izin verilen çekme mukavemeti,
 σ_h = Dikkate alınan derinlikte toplam yatay zemin basıncı,
 FS = Güvenlik sayısı.

Geosentetikler için izin verilen gerilme hesaplanırken uygulama sırasında oluşacak hasar azaltma faktörü (RF_{ID}), sünme (krep) azaltma faktörü (RF_{CR}) ve kimyasal veya biyolojik bozulma azaltma faktörleri (RF_{CBD}) kullanılır. Farklı uygulamalar için azaltma faktörü değer aralıkları Tablo 2.2’de verilmiştir (Koerner, 2005).

Tablo 2.2: Koerner'ın (2005) Önerdiği Geosentetikler için Azaltma Faktörleri.

<i>Uygulama Alanı</i>	<i>Azaltma Faktörleri Değer Aralıkları</i>		
	<i>(RF_{ID})</i>	<i>(RF_{CR})</i>	<i>(RF_{CBD})</i>
Ayırma	1.1 - 2.5	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5
Yastıklama/Yataklama	1.1 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 2.0
Kaplamasız Yol	1.1 - 2.0	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5
Duvarlar	1.1 - 2.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.5
Toprak Dolgu	1.1 - 2.0	2.0 - 3.5	1.0 - 1.5
Temeller	1.1 - 2.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.5
Şev Stabilitesi	1.1 - 1.5	2.0 - 3.0	1.0 - 1.5
Üst Yapı Katmanı	1.1 - 1.5	1.0 - 2.0	1.0 - 1.5
Demiryolu (Filtreleme/Ayırma)	1.5 - 3.0	1.0 - 1.5	1.5 - 2.0
Esnek Uygulamalar	1.1 - 1.5	1.5 - 3.0	1.0 - 1.5
Siltli Bölgeyi Tutan Çit	1.1 - 1.5	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5

Tablo 2.2’de verilen duvar ve şevlerde kullanılacak geogridler için verilen kimyasal azaltma faktörü, doğal zeminlerle teşkil edilecek dolgular için verilmiştir. Tasarımı yapılacak olan uygulamaya uygun azaltma faktörleri seçilir ve izin verilen çekme mukavemeti; (T_a), bulunur.

$$T_a = T_{ult} \left(\frac{1}{(RF_{ID}) \times (RF_{CR}) \times (RF_{CBD})} \right) \quad (2.7)$$

$$T_a = T_{ult} \left(\frac{1}{\prod RF} \right) \quad (2.8)$$

Burada kullanılan terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

T_{ult} = Geosentetiklerin nihai çekme mukavemeti,

RF_{ID} = Uygulama sırasında geosentetiklerde oluşabilecek hasarlara karşı azaltma faktörü,

RF_{CR} = Geosentetiklerin sünme (krep) durumları için azaltma faktörü,

RF_{CBD} = Geosentetiklerin kullanıldığı ortamdan kaynaklı kimyasal/biyolojik bozulmaya karşı azaltma faktörü,

$\prod RF$ = Kümülatif azaltma faktör değeri.

Ankraj bölgesindeki geotekstil katmanların gömülme uzunluğunun; (L_e), elde edilmesi için aynı serbest cisim yaklaşımı kullanılabilir. Aktif bölge içerisinde kalacak olan geotekstil uzunluğu; (L_R), toplam geosentetik uzunluğu (L) hesaplanırken toplam uzunluğa eklenmesi önemlidir. Bu durumda toplam geosentetik uzunluğu;

$$L = L_e + L_R \quad (2.9)$$

$$L_R = (H - z) \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} S_v \sigma_h FS &= 2\tau L_e \\ &= 2(c_a + \sigma_v \tan \delta) L_e \\ &= 2(c_a + \gamma Z \tan \delta) L_e \\ L_e &= \frac{S_v \sigma_h FS}{2(c_a + \gamma Z \tan \delta)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Burada kullanılan terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

τ = Zeminin geotekstille kayma mukavemeti,

L_e = Geosentetiklerin aktif bölge dışında kalan uzunluğu (min. 1m),

c_a = Zemin ile geotekstil arasındaki adhezyon kuvveti (granüler zeminlerde 0 kabul edilir),

γ = Dolgu malzemesi birim hacim ağırlığı,

Z = Duvar yüzeyinden itibaren dikkate alınan derinlik,

δ = Zemin ile geotekstil arasındaki sürtünme açısı.

Son olarak bindirme mesafesi (L_0), geosentetik uzunluk hesaplarına benzer bir şekilde hesaplanır. Burada Z derinlik mesafesi duvarın orta noktasına kadar dikkate alınır bu durumda duvara etki edecek olan toplam zemin basıncı da makul olacaktır. Çünkü geosentetik elemanlarındaki gerilmenin göçme düzlemi yakınında maksimumdur ve o bölgeden uzaklaştıkça keskin bir şekilde düşer (Brooms, 1977). Bindirme mesafesi hesaplanırken toplam yatay gerilmenin yarısını hesaba katılarak hesap yapıldığında;

$$L_0 = \frac{S_v \sigma_h FS}{4(c_a + \gamma Z \tan \delta)} \quad (2.9)$$

formülü elde edilir.

Burada; L_0 , bindirme boyudur ve minimum 1,0 m olmalıdır.

Geosentetik donatılı duvarların tasarımı için kullanılacak olan geosentetik hesaplarından sonra dış stabilite kontrolleri de yapılmalıdır. Tasarımı yapılan duvarın göçmeye, kaymaya ve temel

taşıma problemlerine karşı mukavemet hesapları da kontrol edilip proje yapım aşaması gerçekleşir.

2.2.1. Geri Dolgu Malzemesi Özellikleri

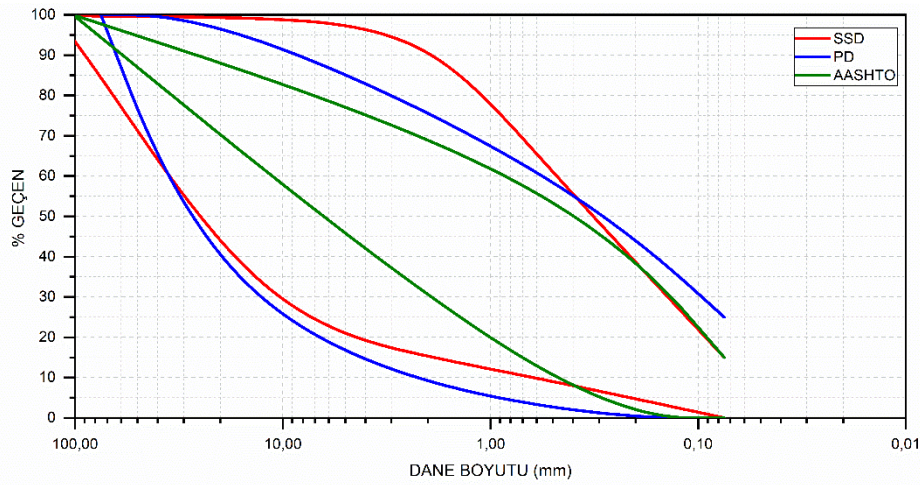
Geosentetik donatılı duvarların tasarımı yapılırken seçilecek olan geri dolgu malzemesinin mekanik ve kimyasal özellikleri de önemlidir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yayımlanan KTŞ (2013)'te geogrid donatılı istinat duvarları için herhangi bir geri dolgu malzemesi özelliğinden bahsedilmemiştir, ancak şerit donatılı duvar imalatı şartları içerisinde bulunan “yüksek çekme dayanımlı plastik şerit” ifadesi geosentetiklerle güçlendirilen duvarlar için de bu şartların kullanılması gerekliliğini göstermektedir. Bu kapsamda KTŞ (2013) ve FHWA (2009)'da geri dolgu malzemesi için olması gereken granülometri, elektrokimyasal özellikleri, granülometri özellikleri, PI ve malzeme dayanımı kriterleri incelenmiştir. Tablo 2.3'te KTŞ (2013)'te bulunan şerit donatılı duvar (SSD) ve prekast modüler duvar (PD) imalatlarında kullanılması gereken geri dolgu malzemesi gradasyonu ve FHWA'da bulunan mekanik stabilize edilmiş duvarlar için verilen geri dolgu malzemesi granülometri değerleri verilmiştir.

Tablo 2.3: Standartların Belirtmiş Olduğu Geri Dolgu Malzemesi Granülometrisi.

KTŞ (2013)				FHWA (2009)	
Şerit Donatılı Duvar için Geri Dolgu Malzemesi Özellikleri		Precast Modüler Duvar için Geri Dolgu Malzemesi Özellikleri		MSE Duvarları için Geri Dolgu Malzemesi Özellikleri	
Elek Boyutu (mm)	% Geçen	Elek Boyutu (mm)	% Geçen	Elek Boyutu (mm)	% Geçen
125 (5'')	100	75 (3'')	100	102 mm (4'')	100
75 (3'')	85-100	19 (3/4'')	20-100	0,425 mm (No: 40)	0-60
12,5 (1/2'')	25-100	0,425 (No:40)	0-60	0,075 (No: 200)	0-15
2 (No:10)	15-100	0,075 (No:200)	0-25		
0,60 (No:30)	10-65				
0,075 (No:200)	<15				

KGM Teknik Şartnamesinde prekast modüler duvar imalatı için kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin üniformluk katsayı değerinin (C_u) 5'ten büyük, Plastisite İndisi (PI) değerinin de 6'dan küçük olması gerektiği belirtmiştir. FHWA'da MSE Duvarlar için geri dolgu malzemesinin üniformluk katsayı değerinin (C_u) 4 veya 4'ten büyük, PI değerinin de 6 veya

6'dan küçük olması gerektiği belirtmiştir. AASTO malzemenin pH değeri, sülfat dayanımı ve elektriksel yalıtkanlıklarla ilgili de dikkat edilmesi gereken detayları vermiştir. AASHTO (2007) ve AASHTO (2004) köprü tasarım şartnameleri kullanılarak hazırlanan FHWA (2009) mekanik olarak stabilize edilen duvar tasarımları yayınında geosentetikler ve epoksi kaplı güçlendirmeler üzerinde yapılan son çalışmaların dikkate alarak, kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin maksimum dane çapının (3/4") 19,0 mm'e düşürülmesini tavsiye etmiştir. Tablo 2.3'te verilen geri dolgu malzemesi için alt ve üst limitleri gösteren grafik Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Şartnamelerdeki Geri Dolgu Malzemesi Granülometri Aralıkları.

Şekil 2.4'te verilen kırmızı ve mavi eğriler sırasıyla KTŞ'de şerit donatılı duvar ve precast modüler duvar imalatında kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin granülometri aralığını, yeşil eğriler ise FHWA'da belirtilen MSE duvarlar için kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin granülometri eğrilerini temsil eder. Bu eğri aralıklarında kalan granülometriye sahip olan dolgu malzemesinin standartlarda belirtilen diğer özellikleri kontrol edilir ve geri dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğine karar verilir.

2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.3.1. Geri Dönüşüm Beton Agregası için Literatür Araştırması

Agrega, doğada bulunan doğal taş madenlerindeki doğal taşların kırılarak küçük boyutlara getirilmiş halidir. Agregaların kullanım alanları oldukça fazladır. Hazır beton üretiminde, sıcak asfalt üretiminde, filtre malzemesi olarak dolgu malzemesi olarak vs. birçok alanda sıkça kullanılan bir malzemedir. Nüfus arttıkça dünyada olduğu gibi Türkiye'de de agrega kullanımı her geçen gün artmaktadır. Agregalar inşaat sektöründe tek bir malzeme olarak kullanılabilir

olmasına rağmen genellikle tasarım ve kullanılabilirlik açısından başka bir yapı malzemesi ile kullanılır. Örneğin, şev stabilitesi için imal edilen dayanma yapılarının arkasında dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Bu durumda zeminle ve dayanma yapısı ile etkileşim halinde olurlar. Bu dayanma yapıları geosentetikler ile donatıldığında agregalar geosentetikler ile etkileşim halinde olurlar.

Agregaların üretilmesi için doğa tahrip edilirken doğal kaynakların da tükenmesi de söz konusudur. Avrupa Hazır Beton Birliğinden (ERMCO) alınan 2017 yılı verilerine göre tüm Avrupa Birliği üyesi ülkelerin toplam beton üretim miktarı 235,2 milyon metreküp iken, Türkiye tek başına 115,0 milyon metreküp beton üretmiştir. Tablo 2.4'te Türkiye' de üretilen hazır beton miktarı, hazır beton firma sayısı ve tesis sayısı yıl yıl verilmiştir (THBB, 2022). Beton birim hacim ağırlığını $2,8 \text{ t/m}^3$ olduğunu kabul edersek, 2021 yılında üretilen beton miktarının yaklaşık 300 milyon ton olduğu hesaplanabilir. 1 m^3 beton birim ağırlığının hacimsel baz da ve ağırlık bazında, sırası ile %40 ve %45'ini iri agregaya oluşturmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında, 2021 yılı doğal iri agregaya tüketiminin 135,0 milyon ton olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu 135,0 milyon metreküplük doğal agregaya üretimi için ise yaklaşık olarak 50 milyon metreküplük bir doğal alanın tahribatı söz konusudur. Ayrıca doğal agregaya hazır beton üretimi yanı sıra kara yolu, demir yolu, dolgu malzemesi, filtre malzemesi vs. olarak da kullanıldığı düşünülürse bu miktarın daha da fazla olduğu anlaşılmaktadır. Nüfus arttıkça yeni yerleşim yerlerinin oluşturulması gerektiği için doğal agregaya tüketimi her geçen gün artmaktadır. Bu süreç doğanın gelecek nesillere sürdürülebilir bir şekilde bırakılabilmesini imkansız hale getirmektedir.

Tablo 2.4: Türkiye'de Yıllara Göre Hazırlanan Beton Üretimi (THBB, 2022).

Yıl	Hazır Beton Üretimi (milyon m ³)	Hazır Beton Firma Sayısı	Tesis Sayısı	Yıl	Hazır Beton Üretimi (milyon m ³)	Hazır Beton Firma Sayısı	Tesis Sayısı
1988	1.5	25	30	2012	93.1	540	980
1993	10	70	110	2013	102	580	1040
1998	26.5	166	341	2014	107	580	1040
2003	26.8	238	429	2015	107	621	1098
2005	46.3	277	568	2016	109	570	1120
2006	70.7	409	718	2017	115	540	1184
2007	74.4	477	845	2018	100	495	1100
2008	69.6	462	825	2019	77	450	900
2009	66.4	467	845	2020	95	542	1032
2010	79.7	500	900	2021	105	600	1106
2011	90.5	520	945				

2012 yılında Türkiye’de özellikle İstanbul ili içerisinde başlayan kentsen dönüşüm projesi kapsamında tonlarca inşaat yıkıntı atığı ortaya çıkmış ve hala bu proje kapsamında inşaat yıkıntı atığı çıkmaya devam etmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne bağlı İSTAÇ kurumu kontrolünde 2012 yılında İstanbul, Şekerpınar bölgesine bir adet geri dönüşüm tesisi kurulmuş ve bu atıklar bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Bu tesis günümüzde çalışmamakta ve kentsel dönüşüm projeleri kapsamında ortaya çıkan inşaat yıkıntı atıkları belirlenen rehabilitasyon merkezlerine taşınarak çöp olarak atılmaktadır. Kurulan geri dönüşüm beton agregası tesisinin kapanmasının sebepleri;

- Tesisin şehrin çok dışına kurulması ve yükleniciye çok ekonomik olmamasından dolayı; İYA’ların geri dönüşüm beton agregası tesisi yerine rehabilitasyon merkezlerine taşınması;
- İnşaat Yıkıntı Atıklarının bu tesise getirilmesi zorunluluğu olmaması,
- Tesise getirilen inşaat yıkıntı atıklarının belirli bir boyutta kırılmayıp ince ve kaba malzemenin karışık bir şekilde depolandığı için satın alınmak istenmemesi,
- Doğal agrega ile üretilen GBA malzemelerin satış fiyatı birbirine yakın olması,
- Bu malzemelerin kullanılması zorunluluğu bulunmaması,

olarak sıralanabilir.

Günümüzde özel birkaç geri dönüşüm beton agrega tesisi bulunmakla birlikte Eskişehir Büyükşehir Belediyesi’ne de ait bir geri dönüşüm beton agrega tesisi bulunmaktadır. Buralarda üretilen GBA numunelerin çevreye olası asbest malzemelerinin salınıp salınmadığını inceleyen veya uygun boyutlarda siloladıkları hakkında bilgi yoktur.

Agrega ihtiyacının zamanla artmasından dolayı araştırmacılar bu malzemenin yerine kullanılabilecek yeni malzemeler üzerine çalışmalar yürütmektedir. Özellikle inşaat yıkıntı atıklarının bu kapsamda kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı tarafından; Türkiye’de yıllık ortaya çıkan 45 milyon ton inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) miktarının, 2012 yılında yayımlanan Kentsel Dönüşüm Kanunu ile ilk 3 yıl boyunca yıllık 10 milyon ton ilave atık oluşacağı dikkate alındığında yıllık 55 milyon ton İYA meydana

geleceğini açıklamıştır. Bu malzemelerin bertaraf edilmesi için şehir merkezlerinden rehabilitasyon merkezlerine taşınması da ülkelere ilave iş yükü ve maliyet çıkarmaktadır. Bu malzemeleri bertaraf etmek yerine kullanılabilmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında molozlardan elde edilen geri dönüşüm beton agregası üretilmesi ve bu geri dönüşüm malzemesinin geri dolgu malzemesi olarak geosentetiklerle beraber kullanılması araştırılmıştır. Literatürde birçok araştırmacı geri dönüşüm beton agregaların mekanik özelliklerini inceleyip kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Örneğin; Ajdukiewicz ve ark. (2002), Topçu ve Şengel (2003), Sani ve ark. (2005), Leigh ve ark. (2005), Poon ve ark. (2006), Rakshvir ve ark. (2006), Rao ve ark. (2007), Tam ve ark. (2007), Etxeberrie ve ark. (2007), Köken, A. (2008), Tüfekçi, M. (2011) ve Matias (2013) gibi birçok araştırmacı geri dönüşüm beton agregaların mekanik özelliklerini belirleyip doğal agregası ile kıyaslamışlar ve kullanılabilirliğini incelemişlerdir.

RILEM (Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions) komitesi tarafından üç çeşit geri kazanılmış agregası tanımlanmıştır (Oikonomou, 2005). Bunlar:

- Tip 1: Öncelikle duvar molozlarından elde edilenler. (Kargir kalıntılardan elde edilenler, $1,5 \text{ g/cm}^3$),
- Tip 2: Öncelikle beton molozlarından elde edilenler. (Beton kalıntılardan elde edilenler, $2,0 \text{ g/cm}^3$),
- Tip 3: Doğal agregası (%80) ile geri kazanılmış agregasının (%20) karışımı ile elde edilenler ($2,4 \text{ g/cm}^3$).

Zhang L. ve ark. (2010) yol alt tabakasını geocell kullanarak güçlendirmiş ve taşıma kapasitesindeki değişimini laboratuvarında ve analitik olarak inceleyerek oturma problemine katkısını incelemişlerdir.

Galvin P.A. ve ark. (2011) Hollanda ve Avrupa standartlarında 4 farklı geri dönüşüm beton malzemeleri üzerinden iki farklı yöntem ile elde edilen sızıntı suyu pH değerinin çevreye olan etkisini incelemişlerdir. Bu iki farklı yöntemde de deney parametreleri değiştirilerek potansiyel tehlikeli sızıntı elementleri ölçülmüş ve 2003/33/EC konsey kararını referans göstererek malzemeleri tehlikeli veya tehlikeli değil diye sınıflandırmışlardır.

Gürbuz A. (2011) isimli araştırmacı Zhang ve arkadaşlarının yapmış oldukları yayına atıfta bulunarak bir tartışma makalesi yayınlamış ve bu makalede kullanılan analitik metodun eşleşmediğini yayınlamıştır.

Barbudo A. ve ark. (2012) 11 farklı geri dönüşüm beton agregası ve farklı oranlarda alçı taşı kullanılarak elde edilen laboratuvar numunesi üzerinde sülfat içeriğini çalışmışlardır. %4,4 miktarında geri dönüşüm agregasına eklenen kireç taşı ile Avrupa standartlarında elde ettikleri sızıntı suyunun sülfat etkisini azalttıklarını belirtmişlerdir.

Engelsen J.C. ve ark. (2012) yol alt tabakasında kullanılan geri dönüşüm beton agregaların durumunu 4 yıldan fazla bir süre incelemişler ve aynı arazi koşulunu laboratuvarda hazırladıkları sisteme uygulamışlardır. Arazi ile laboratuvar arasında sadece asfalt kaplama farkı koymuşlardır. Araştırmacıların 2,5 sene sonra tekrar yapılan deneyler sonucunda asfalt kaplı araziden elde edilen sızıntı suyunun pH değerinin 12,6'dan 10,0'a düştüğünü belirlemişlerdir. Ancak asfalt kaplaması olmayan laboratuvar da bu değere 1 yıl içerisinde geldiğini vurgulamışlardır. Ayrıca araziden elde edilen sızıntı suyunun içerisinde Cd, Ni, Pb ve Zn elementleri olduğunu vurgulamışlardır. İki kış sezonun sonunda ise Cr ve Mo element konsantrasyonlarının arttığı da belirtmişlerdir.

Galvin P.A. ve ark. (2012) çalışmalarında Avrupa standartlarına bağlı kalarak 7 farklı geri dönüşüm beton agregası üzerinde ve 2 doğal agrega malzemesi üzerinden elde edilebilecek potansiyel ağır metal içeren sızıntı suyunun elde etme sürecini incelemişlerdir. Araştırmacılar standartlarda belirlenen şartların hızlı sızıntı suyu elde etme yöntemleri ile kompleks süreci olan deneyler arasında bağlantı kurabilmeyi amaçlamışlardır. Veriler toplandığında ise kompleks deneyler ile hızlı deneyler arasındaki ilişkiyi açığa çıkartmışlardır.

Leshchinsky B. ve Ling I.H. (2012) demiryolu alt tabakalarının ve balast sisteminin geosentetikler ile güçlendirilerek ekonomik boyutlarını numerik olarak incelemişlerdir.

Santos C.G.E. ve ark. (2013) 3-6 m yüksekliğindeki geosentetik ile güçlendirilmiş duvar arkasında kullanılan geri dönüşüm beton agregası ve yıkıntı atıklarını konu almışlardır. Bu duvar kuru ve yağışlı mevsimlerde gözlemlenmiştir. Araştırmacılar geri dönüşüm malzemesi olarak bu tür malzemelerin kullanılmasının ekonomik açıdan uygun olacağını belirtmişlerdir.

Galvin ve ark. (2014) geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonun sadece mekanik özellikleri değil çevreye yayacağı ağır metal mineralleri içeren su sızıntısının da analizini yapmışlardır.

Han J. ve Thakur K.J. (2014) ulaştırma yapılarında kullanılan agregaların yerine geosentetik ile güçlendirilmiş geri dönüşüm kapsamında elde edilen beton agregalı yapının mekanik özelliklerini gerilme dağılımını, kalıcı deformasyonu ve çatlak oluşumunu incelemişlerdir.

Vieira S.C. ve Pereira M.P. (2015) geri dönüşümün öneminden bahsedip, geri dönüşüm malzemelerin Geoteknik mühendisliğinde kullanılmasını amacıyla hazırlanan makaleleri derlemişlerdir. Ayrıca, Avrupa birliği üyesi ülkelerde meydana gelen inşaat ve yıkıntı atığı miktarlarını ve bunların yüzde kaçının geri dönüşümde kullanıldığını inceleyen sayısal verilerle yayınlarında göstermişlerdir.

Vierira ve ark. (2016) geosentetik ile güçlendirilmiş yapının arkasında kullanılan geri dönüşüm malzemenin mekanik, fiziksel özellikleri, çevreye etkileri ve sürtünme özellikleri kesme kutusu deneyi, pull-out ve sızıntı deneyleri ile belirlemişlerdir. Yazarlar geosentetikle güçlendirilmiş yapılar için kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Bestgen J.O. ve ark. (2016) geri dönüşüm beton agregalar üzerinden sızıntı metal iyonlarını farklı yöntemlerle elde edip bu yöntemleri birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bunlara ilave bu yöntemlerden bir tanesini MINTEQA2 geo-kimyasal model programını kullanarak değerlendirmişlerdir.

Abbaspour A. ve ark. (2016) rehabilitasyon merkezlerinde bulunan geri dönüşüm beton agregalarda tüfleşmenin oluşup oluşmadığını ve sızıntı suyunun zamanla nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Laboratuvar ve arazi koşullarında incelenen numunelerin farklı davrandığını belirlemişler ve laboratuvar numunelerinin daha yavaş bozulduğunu belirtmişlerdir. Geo-kimya modelini kullanarak hangi oksitlerin meydana geldiğini bularak karbonatlaşma için önemli ağır metalleri belirlemişlerdir.

Pokharel K.S. ve ark. (2017) geocell ile güçlendirilen zeminlerin, birçok çalışmanın statik yükler altında davranışı incelediğini ve çalışmalarında tekrarlı yükler altında elastik deformasyon performansını incelediklerini yayınlamışlardır. Ayrıca çalışmada geocelin çift tabaka olarak kullanılarak hazırlanan deney düzeneğinde tek tabaka kullanılarak hazırlanana göre performansının daha iyi olduğunu da vurgulamıştır.

Abbaspour A. ve Tanyu B.F. (2018) saf geri dönüşüm beton agregaların kimyasal mekanizmasının ve bunun sonucu kimyasal bileşenlerinin çalışmasını yapmışlardır. DeneySEL olarak ve teorik olarak bulunan sonuçlar makalelerinin ana konusunu oluşturmuştur.

Makalelerinde yapıda oluşabilecek mineral bileşenler ile geri dönüşüm beton agregasının mineral bileşen farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

Kronolojik olarak verilen bu çalışmalar geri dönüşüm beton agregasının kullanılabilirliği için yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar dikkate alınarak bu tez kapsamında araştırmaların ilk bölümü olan geri dönüşüm beton agregasının donatılı duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

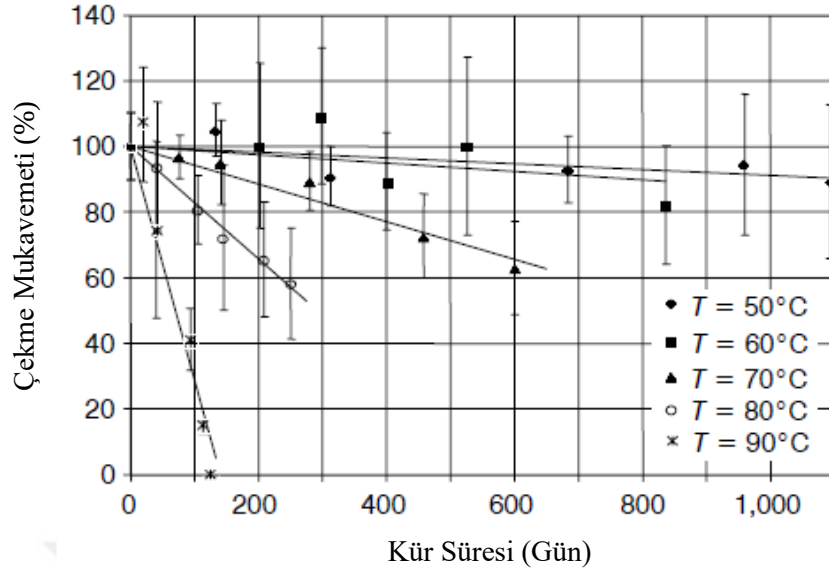
GBA'nın kalitesi doğal olarak beton üretimi sırasında kullanılan agregaya bağlıdır. Bu nedenle GBA malzemelerinde karşılaşılabilecek ana kaya türleri hakkında fikir sahibi olabilmek için şehirdeki agrega kaynağının önceden bilinmesi gerekmektedir. İstanbul'daki agrega kaynakları Ündül ve Tuğrul (2006) ve Tuğrul ve diğerleri (2016) tarafından Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayalar olarak belgelenmiştir ve şehrin hem Avrupa hem de Anadolu yakasında dağılım göstermektedir. İstanbul'un Avrupa yakasında, taş ocaklarının mikrokristalin kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl (tüm tortul kayalar) çıkardığı üç farklı bölge bulunmaktadır. Anadolu yakasında ise taş ocakları dolomitik kireçtaşı, killi kireçtaşı, dolomit, bazalt ve kum-çakıl çıkarmaktadır. Mevcut duruma göre, bugün İstanbul'da üretilen agrega malzemesinin çoğu kireçtaşından elde edilmektedir. Bu anlamda, uygun şekilde karakterize edilmiş GBA uygun bir alternatifi temsil etmektedir çünkü önceki çalışmalar GBA'nın tipik olarak kireçtaşı gibi bazı kayalardan daha güçlü bir malzeme olabileceğini göstermektedir (Çetin vd., 2021). Bu nedenle, uygun karakterizasyonun bir parçası olarak, inşaatta RCA kullanımının güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için GBA'nın ana kayası da tanımlanmalı ve malzeme buna göre sınıflandırılmalıdır.

2.3.2. Geogridler için Literatür Araştırması

Bu tez araştırmaları kapsamında ikinci araştırma bölümü olan geosentetiklerin bir türü olan ve donatılı duvar imalatında en çok tercih edilen geogridler için de literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Geri dönüşüm beton agregalarının kullanılacak bölgelerde su ile temas etmesi durumunda ortamı alkali duruma getireceği literatürde belirtilmiş ve çalışmalar sonucunda da belirlenmiştir. Alkali ortamdan geosentetiklerin özellikle bu tez kapsamında kullanılması planlanan PET lifli PVC kaplı geogridlerin çalışma prensibini anlayabilmek ve geogridler için arazide uygulama sırasında meydana gelebilecek olan hasarların etkilerini anlayabilmek adına literatürdeki yayınlar incelenmiştir. Bu amaçlar amacıyla yapılan literatür araştırması aşağıda kronolojik olarak özetlenmiştir.

Allen ve Bathurst (1994), teknik bir makale yayınlayıp 12 farklı durum çalışması yapmışlardır. 55 farklı geosentetik numuneyi farklı arazi uygulamalarına tabi tutup bu numunelerin çekme deneyleri ile rijitlik modülleri ve maksimum gerilme değişimlerini ölçmüşlerdir. Her bir durum için yapılan çalışmalar içerisinde bulunan geotekstillerin çakıl dolgu ve kum dolgu ile sıkıştırıldıktan sonra yapılan çekme mukavemet deneyleri için, mukavemet kaybının sırasıyla yaklaşık %70 ve %30 olduğunu grafiklerde vermişlerdir. Ayrıca; farklı geosentetiklerin ilk durumdaki çekme mukavemet grafikleri verilmiş olup mukavemet değişimlerinin arazi uygulamasında kullanılan dolgu malzemesi gradasyonu, malzemenin sertliği, köşeli olması ve dane boyutu ile direkt ilgili olduğu göstermişlerdir. Ayrıca dolgu malzemesinin sıkıştırılmasında kullanılan ekipmanın tipi ve ağırlığı ve sıkıştırma enerjisinin de uygulama sırasında oluşan hasarın boyutu ile direkt ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Elias V. ve arkadaşları (1999), PET liflerin diğer geosentetiklere göre daha az uzaması ve daha yüksek mukavemetli olması sebebiyle de ulaştırma yapılarında sıkça tercih edildiğinden dolayı çalışmalarında tercih ettiklerini belirtmişlerdir. PET liflerin hidrojen (H^+) veya hidroksit (OH^-) iyon ataklarına maruz kaldığında polimer zincirlerinin bozulduğu bilinmesinden dolayı piyasa da en çok kullanılan üç farklı geogridi deneylerinde kullanılmışlardır. 1,7, 10 ve 12 olmak üzere üç farklı pH değerinde 3.5 sene numunelerini kürlemişlerdir. Deneyler sonucunda, pH değeri 7 olan çözeltide bekleyen numunelerin ilk ağırlıkları ile son ağırlıkları arasında çok değişiklik görülmemiş, lif çaplarında bir değişikliğe rastlanılmamış olduğu ama sıcaklık artıkcı çekme mukavemetlerinin azaldığını söylemişlerdir. PVC kaplı bu geogridler pH değeri 1 olan ortamda çok fazla etkilenmezken, $NaOH$ ile hazırlamış oldukları pH değeri 12 olan ortamda numunelerin çekme mukavemet kayıplarının olduğunu belirtip yayınlarında grafikleri vermişlerdir. Şekil 2.5'te Elias ve arkadaşlarının 1999 yılında yapmış oldukları deneylerde saf su içerisinde bulunan PVC kaplı geogridlerin sıcaklık ve zaman etkisini gösteren mukavemet kaybına ait grafik verilmiştir.



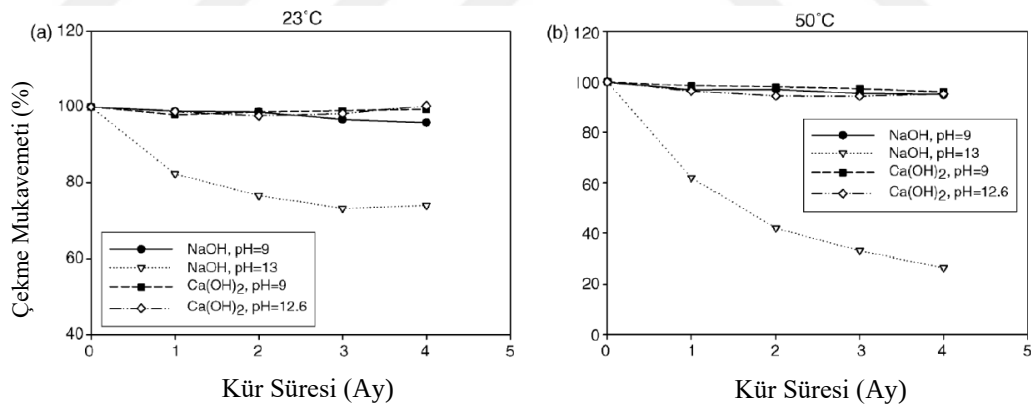
Şekil 2.5: PVC Kaplı Geogridin Saf Su ile Sıcaklık Etkisiyle Çekme Mukavemeti Kaybı (Elias, 1999).

Cho S.D. ve ark. (2004), çalışmalarında maksimum dane çapı 40 mm, 60 mm ve 80 mm olan ve anakaya malzemesi granit olan 3 farklı dolgu malzemesi ile 12 farklı tür geogrid kullanılmışlardır. Arazi de uygulanan sıkıştırma işleminden sonra orjinal geogridler ile uygulamaya maruz kalan geogridlerin çekme mukavemetlerini kıyaslamışlardır. Uygulamada tabaka kalınlığı 40 cm olarak seçilmiş ve tabakalar vibratörlü silindir ile %95 sıkışma sağlamışlardır. Arazi deneyleri sonucunda, tabakalar arasından çıkarılan geogridlerin çoğunda aşınma, yaranılma ve kısmi kopma deformasyonlarının olduğunu belirtmişlerdir. Kopma deformasyonunun esnek geogridlerde daha fazla oluştuğunu belirtirken uygulamada kullanılan geogridlerde meydana gelen deformasyonların malzemenin esnek veya rijit olmasına bağlı olarak değiştiğini raporlamışlardır. Maksimum tane boyutu 40 mm, 60 mm ve 80 mm olan granit dolgular için inşaa sırasında oluşabilecek hasar azaltma faktörleri esnek geogridler için sırasıyla 1.25-1.33, 1.31-1.55 ve 1.48-1.69 değerleri arasında ve tüm rijit geogridler için 1,05'den az olacak şekilde değerlendirmişlerdir.

Hufenus R. ve ark. (2005), 38 farklı geotekstil ve geogride, arazide kurmuş oldukları büyük ölçekli test mekanizması ile malzemeleri arazide oluşabilecek hasarları geogridlere uygulamışlardır. Polimer cinsi, ürün tipi, agrega tipi değişimleri ile uygulama sırasında oluşacak hasar derecelerini incelenmişlerdir. Aynı numunelere laboratuvar ortamında da uygulama sırasında oluşabilecek hasarlar verilmiş ve arazideki numuneler ile mantıklı korelasyonlar oluşturmuşlardır. Deneyler sonucunda malzeme tipi ve hasar miktarlarının, kompaksiyon enerjisinin, sıkıştırma işlemlerinde kullandıkları silindirlerin enerjisinin, dolgu

malzemesinin granülometrisinin ve köşeli olmasının uygulama süresinde oluşacak hasarların miktarını direkt olarak etkilediğini belirterek azaltma faktör değerleri sunmuşlardır. Sunulan azaltma faktörleri arasında 55 kPa'dan yüksek sıkıştırma enerjisi ile 150 mm çapından küçük kırmataş dolgu malzemesi kullanılarak sıkıştırılan kaplamalı grid için inşaa sırasında oluşabilecek olan azaltma faktör değerleri 1.3-2.1 aralığında olduğu verilmiştir.

Jeon ve ark. (2005), çalışmalarında geogridlerin alkali ortamlara karşı direncini araştırmışlardır. İlk olarak 5 farklı çekme mukavemetine sahip PVC kaplı geogridler pH değeri 9 ortamında 50°C'de 4 ay bekletilmiş ve çekme deneyleri uygulanmışlardır. Daha sonra PVC ve Akrilik ile kaplanan geogridler farklı sıcaklık ve farklı pH ortamlarında 4 ay süre ile bekletip çekme deneylerini yapmışlardır. Çözelti pH değerleri 9.0, 13.0 ve 12.6 olup $NaOH$ ve $Ca(OH)_2$ kullanılarak hazırlanmışlardır. Deneyler sonucunda akrilik kaplamalı geogridlerin 50°C'de farklı pH ortamlarında PVC kaplamalı geogridlere göre daha fazla mukavemet kaybettiği gösterilmiştir. Zemin ortamında pH değerinin 9.0'dan fazla olduğu durumun gözlenmez olduğunu belirterek pH değeri 9.0 olan ortamında polyester bazlı geogridlerin %2-%12 değerleri arasında mukavemet kaybı olduğu sonucuna vararak kimyasal azaltma faktörlerini yayınlarında vermişlerdir.



Şekil 2.6: PVC Kaplı Geogridin Alkali ortamda Çekme Mukavemeti Değişim Yüzdesi (Jeon,2005).

Şekil 2.6'da Jeon ve arkadaşlarının $Ca(OH)_2$ ve $NaOH$ ile hazırlamış oldukları alkali ortamda 23 °C ve 50 °C' de kürlenmiş PVC kaplı geogridlerin zamanla değişen mukavemet kayıpları verilmiştir.

Jeon ve ark. (2006), çalışmalarında tasarım mukavemeti 8.0 t/m olan 5 farklı geogrid türünü deneylerinde kullanılmışlar. Azaltma faktörleri değerlendirilmek amacıyla, uygulama sırasında meydana gelen bozulmayı, sünme (krep) bozulmayı, kimyasal ve biyolojik bozulmayı

uyguladıkları numunelerine çekme testlerini yapmışlardır. Numunelerde kimyasal bozulma için pH değeri 3.5, 7.3 ve 12.4 olan çözeltide ve sıcaklık 25°C, 35°C ve 70°C olmak üzere 180 gün kür ortamında numunelerini bekletilmişler. Biyolojik bozulma için ise 12 ay süre ile geogridleri zemin içerisine yerleştirmişler. Uygulama sırasında oluşabilecek bozulma, akma bozulması, kimyasal ve biyolojik bozulma direnci ölçmek için çeşitli ortamlara maruz bırakılan numuneler ASTM D5322 standartında belirtilen şartlara uygun şekilde çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Ölçülen çekme mukavemetleri ile zarar görmeyen numunelerin çekme mukavemetleri kıyaslanarak azaltma faktörleri sunulmuştur ve güvenlik sayıları yayında verilmiştir. Örgü tipi geogrid için pH değeri 12.4 olan çözeltide yapılan deneyler sonucu kimyasal azaltma faktörlerinin 1.01-1.02 aralığında olduğunu belirlemişlerdir.

Bathurst ve ark. (2011), 20 farklı çalışmadan alınan veriler ile veri tabanı oluşturmuşlardır. Toplamda 799 zarar görmemiş orijinal numune ile, 2248 arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı numunelerin deney sonuçlarını analizlerinde kullanılmışlardır. Yapmış oldukları analizler ve simülasyonlar sonucunda dolgu malzemesinin D₅₀ dane boyutunun 19.0 mm'den büyük ya da küçük olmasına bağlı olarak hasar oranlarının değiştiği vurgulanmıştır. Ayrıca bulmuş oldukları sonuçların genellikle FHWA 'in önermiş olduğu azaltma faktörleri ile tutarlı sonuçlar olduğunu belirtip ve arazide uygulama sırasında oluşabilecek hasarlar için azaltma faktörü değerleri önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada PVC kaplı PET geogridlerin kaba dolgu malzemesi ile kullanımında inşaa sırasında oluşacak hasar için azaltma faktörlerinin FHWA'de 1.3-1.85 aralığında iken kendi çalışmalarında 1.07-1.85 bulduklarını belirtmişlerdir.

Kongkitkul W. ve ark. (2012), çalışmalarında PP, HDPE ve PET geogridleri kullanmışlardır. Geogrid numuneler istenilen sıcaklıkta 2 saat bekletilmiş ve malzemelerde meydana gelen elasto-viskoplastik ve gerilme-deformasyon ilişkilerinin sıcaklıkla etkilendiği gösteren grafikleri yayınlarında vermişlerdir. Deneyler sonucunda elastik rijitliklerin çekme yükünün artmasıyla arttığının ve sıcaklığın artmasıyla da azaldığını belirtmişlerdir. Çekme deneylerinde elde edilen yükleme boşaltma döngülerinin yanında, yükleme hızı parametresi ile sıcaklık parametreleri kullanılmış ve elastik rijitlik denklemleri önerilmiştir.

Koerner R.M. (2013), 171 adet yıkılmış MSE duvar vakası incelemişlerdir. Yıkılan MSE duvarlarının genelinin ön yüz eğiminin 70°'den fazla olduğu, %39'unda geri dolgu malzemesinin iri malzeme kullanıldığı, %28'inde dolgu malzemesinin iyi sıkıştırıldığı belirtilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, genel olarak yıkılma problemleri tasarım yetersizliği, ilave dinamik yük ve su tahliyesi problemlerinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu

kusurlar dışında, yetersiz drenaj, dolgu malzemesinin siltli ve killi malzemelerin tercihi ve bunlara uygulanan yetersiz kompaksiyon enerjisi olarak belirtmişlerdir.

Rosete ve ark. (2013), çalışmalarında 2 adet örgüsüz PP geotekstil, 2 adet çift eksenli ve PET lifli geogrid ve 2 adet PET lifli tek eksenli geokompozit olmak üzere 6 farklı malzeme kullanmışlardır. Numunelere uygulama esnasında oluşabilecek hasarları vermek üzere laboratuvar ortamında mekanik, hidrolik ve fiziksel tekniklerle aşınma hasarları uygulamışlardır. PET dokulu çift eksenli korumalı geogrid ve diğerleri için %2 deformasyon değeri için pik çekme mukavemet değerleri ve rijitlik değerleri ile mekanik bozulmalarda kullanılan yükün 500 kPa dan 900 kPa a çıkmasının malzeme üzerinde aynı oranda bozulmaya sebep olmadığını belirtmişlerdir. En son malzemelerin mukavemetlerinde kıyaslamalar yaparak yayınlarını tamamlamışlardır.

Mehrjardi T.G. ve ark. (2019), farklı zemin türlerinde farklı açıklıklara sahip geocellerle güçlendirme çalışması yapılmış ve taşıma kapasitesindeki değişimi incelemişlerdir.

Pant A. ve ark. (2019), iki farklı termik santralden aldıkları uçucu kül ve kum ile hazırladıkları dolgu malzemesi arasında kalan tek yönlü ve çekme mukavemeti 80 kN/m geogridler için pull-out deneyleri yapılmışlardır. Uçucu kül ve kum ile hazırladıkları dolgunun ortam pH değerini 7.38'e çıkardığını ölçmüşlerdir. Dolgu malzemesini %80 ve %30 olarak sıkıştırıp her iki durum için pull-out deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda, normal gerilme arttığında dilatasyon bastırıldığı için, kilitleme faktörü azaldığı, kum ile küllerin gradasyonu benzer olduğu için pull-out dirençlerinin benzer olduğu, malzeme sıkıştırılmadığında pull-out direnci %60-%30 oranında sıkıştırılana göre azalma gösterdiğini ölçmüşlerdir. Ayrıca normal zemin kullanmaktansa kül kullanılınc MSE duvarlara daha az aktif basınç uygulanacak olmasından dolayı tasarımlarda daha az geosentetik kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Günümüzde agrega yerine kullanılabilecek geri dönüşüm malzemesinin araştırılması konusu önem kazanmıştır. Ancak geri dönüşüm kapsamında kullanılacak İYA'lerden elde edilecek olan GBA'nın su ile temas etmesi sonucu ortam pH değerinin yükselmesine sebebiyet vermesi bu malzeme ile kullanılabilecek malzemeler hakkında çalışmaların artmasını sağlamıştır. Bu tez kapsamında ise İstanbul'un farklı bölgelerinden ve farklı amaçlarla kullanılan yapılardan İYA'lar temin edilmiştir. Bu İYA'lar kullanılarak üretilen GBA'ların mekanik özellikleri belirlenerek İstanbul ili için karakterizasyon işlemi yapılmıştır. Daha sonra GBA'ları geri dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak için PVC kaplı PET geogridler arazide uygulama ile dolgu malzemeleri arasında sıkıştırılmış ve inşa sırasında oluşabilecek hasar

geogridlere verilmiştir. Bu hasarlı ve orijinal PVC kaplı PET geogridler pH değeri $12\pm0,2$ olan sıcaklıkları 40°C, 50°C ve 60°C'lik kür tanklarında 4 ay süreyle kürlenmiştir. 4 ay süresince her bir ay sonunda birer set numune kür tanklarından çıkartılarak çekme mukavemetleri ve yük-gerilme eğrileri incelenmiştir. FT-IR analizleri yapılarak PET malzemesinde olası kimyasal bozulmalara bakılmıştır.



3. YÖNTEM

Bu bölümde tez kapsamında hem agrega deneylerine hem de geogrid deneylerine yer verilmiştir. Tez kapsamında kullanılması planlanan İYA'ların temin edileceği bölgeye göre mekanik özelliklerinde farklılıkların olabileceği düşünülmüştür. Bu kapsamda ilk olarak İstanbul ili için GBA karakterizasyon işlemi yapılmasının gelecekte yapılacak olan çalışmalara öncülük edeceği düşünülmüştür. Dolayısıyla bu bölümde ilk olarak temin edilen İYA'lar ve atıklardan elde edilen GBA'lar için agrega deneyleri daha sonrasında bu malzemelerle beraber kullanılması düşünülen PET lifli PVC kaplı geogridler için yapılan deneyler detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. İSTANBUL İLİ İÇERİSİNDEN İYA NUMUNELERİ TEMİNİ

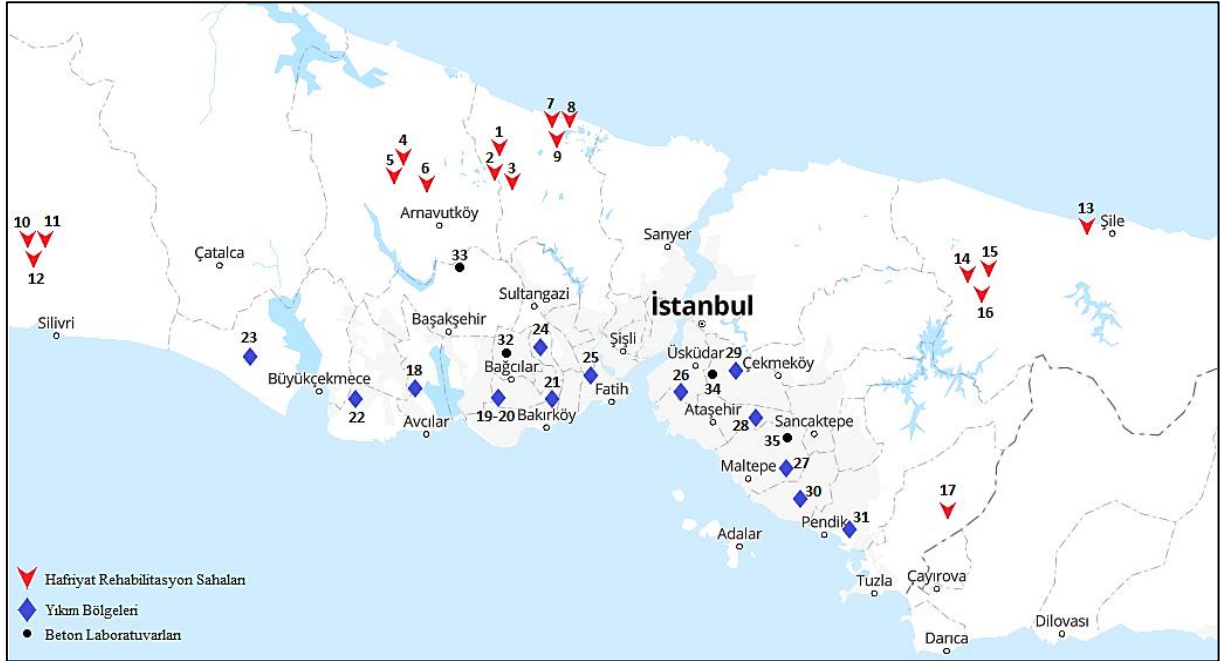
Tez çalışması kapsamında İstanbul ili Avrupa Yakası ve Anadolu Yakası olmak üzere 2 bölgeye ayrılmış ve numuneler temin edilmiştir. İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan hafriyat rehabilitasyon sahalarından (HRS) İYA numuneleri (hafriyat atık sahaları), kentsel dönüşüm proje kapsamında yıkılan inşaatların bulunduğu bölgelerden (yerinde) İYA numuneleri ve İstanbul'da faaliyet gösteren beton basınç deneylerinin yapıldığı beton laboratuvarlarında basınç deneylerine tabi tutulmuş küp beton atıkları temin edilmiştir. Bu beton atıklarının yanı sıra 2007-2013 yılları arasında faaliyet göstermiş ve günümüzde aktif olarak çalışmayan İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketinin (İŞTAÇ) geri dönüşüm tesisinde kırılmış ve Tuzla-Şekerpınar bölgesinde depolanmış beton atıklarından da numune temin edilmiştir. İnşaat yıkıntı atıklarının taşındığı hafriyat bölgelerinden alınan numuneler birinci, İŞTAÇ firmasının deposundan alınan moloz atıkları ikinci, kentsel dönüşüm projesi kapsamında yıkım aşamasında bulunan bireysel konutlardan alınan numuneler üçüncü ve beton laboratuvarlarında basınç deneyine tabi tutulmuş küp beton numunelerinden alınan beton atıkları ise dördüncü tür kategori olarak sınıflandırılarak deneyler yapılmıştır. İstanbul Avrupa yakasından; 8 farklı bölgeden yıkım aşamasında olan İYA, dört farklı rehabilitasyon sahasından toplamda 12 farklı bölgeden alınan İYA ve 2 farklı bölgede bulunan beton laboratuvarından alınan beton küp numuneleri olmak üzere toplamda 22 farklı bölgeden numune temini gerçekleştirilmiştir. İstanbul Anadolu

yakasından ise; 6 farklı bölgeden yıkım aşamasında olan İYA, iki farklı rehabilitasyon sahasından toplamda 4 farklı bölgeden alınan İYA, 2 farklı bölgede bulunan beton laboratuvarından alınan beton küp numuneleri ve 1 adet İSTAÇ'ın deposunda bulunan İYA olmak üzere toplamda 13 farklı bölgeden numune temini gerçekleştirilmiştir. Bu bölgeler;

- Boğazköy HRS (3 farklı bölge),
- Bolluca HRS (3 farklı bölge),
- Çiftalan HRS (3 farklı bölge),
- Silivri Ecemoba HRS (3 farklı bölge),
- Şile Ahmetli HRS,
- Şile Sahilköy HRS (3 farklı bölge),
- Tuzla-Şekerpınar Geri Dönüşüm Beton Agrega Deposu,
- İstanbul Avcılar İlçesi,
- İstanbul Bahçelievler İlçesi (2 farklı bölge),
- İstanbul Bakırköy İlçesi,
- İstanbul Beylikdüzü İlçesi,
- İstanbul Büyükçekmece İlçesi,
- İstanbul Güngören İlçesi,
- İstanbul Fatih İlçesi (Yenikapı Bölgesi),
- İstanbul Fikirtepe İlçesi,
- İstanbul Maltepe İlçesi,
- İstanbul Erenköy İlçesi,
- İstanbul Ümraniye İlçesi,
- İstanbul Kartal İlçesi,
- İstanbul Pendik İlçesi,
- Beton Laboratuvarı Atığı (4 farklı bölge),

olmak üzere toplamda 35 farklı bölgeden İYA temini gerçekleştirilmiştir. Numune temin bölgeleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Hafriyat rehabilitasyon merkezleri geniş araziler üzerinde bulundukları için farklı bölgelerinden numune temin edilmiştir. Bu rehabilitasyon merkezlerinden sadece Şile Ahmetli bölgesinde hizmet veren rehabilitasyon sahası küçük olduğu için bir bölge olarak numune temin edilmiştir. İstanbul'un ilçelerinden temin edilen İYA'lar ise çok katlı, müstakil ve devlet yapıları gibi çeşitli yapı örneklerini temsil etmektedir.

Temin edilen numune bölgelerinin ve İYA temin edilen yapıların görsel olarak yapılan incelemeleri içeren bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: İstanbul İli İçerisinden Temin Edilen İYA Bölgeleri.

Tablo 3.1: İYA Numuneleri ve Temin Edildiği Yapıya Ait Görsel Analiz Bilgileri.

		Bölge Adı	Yapı Özellikleri	Temin Edilen İYA Görsel Özellikleri
Kategori 1	1	Boğazköy HRS_1	BİLİNMIYOR	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Var, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	2	Boğazköy HRS_2		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	3	Boğazköy HRS_3		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	4	Bolluca HRS_1		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	5	Bolluca HRS_2		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	6	Bolluca HRS_3		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Var, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	7	Çiftalan HRS_1		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	8	Çiftalan HRS_2		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	9	Çiftalan HRS_3		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	10	Silivri Ecemoba_1		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	11	Silivri Ecemoba_2		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	12	Silivri Ecemoba_3		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	13	Şile Ahmetli HRS		Midye Kabuğu Yok, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.

Tablo 3.1 (devam):

Kategori 1	14	Şile Sahilköy_1	BİLİNMIYOR	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	15	Şile Sahilköy_2		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	16	Şile Sahilköy_3		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
K.2	17	Tuzla_Şekerpınar		Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
Kategori 3	18	Avcılar	4-6 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,5.	Midye Kabuğu Yok, Nervürlü Donatı İzi Var-Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Yok.
	19	Bahçelievler_1	5-7 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Yok.
	20	Bahçelievler_2	6-7 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Yok.
	21	Bakırköy	5-7 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	22	Beylikdüzü	4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Yok.
	23	Büyükçekmece	2 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	24	Güngören	4-6 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	25	Fatih	4-6 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,5.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Yok.
	26	Fikirtepe	2-4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	27	Maltepe	6 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	28	Erenköy	2-4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	29	Ümraniye	2-4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Yok, Doğal Taş Var.
	30	Kartal	4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
	31	Pendik	4 katlı betonarme yapı, Bina Önem Katsayısı 1,0.	Midye Kabuğu Var, Nervürlü Donatı İzi Yok, Kırmataş Var, Doğal Taş Var.
Kategori 4	32	Beton Lab. Atığı_1	BİLİNMIYOR	Midye Kabuğu Yok, Kırmataş Var.
	33	Beton Lab. Atığı_2		
	34	Beton Lab. Atığı_3		
	35	Beton Lab. Atığı_4		

Bu görsel analizler sonucunda temin edilen numunelerin çoğunun 2000 yılı öncesi inşa edilen yapılar olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle molozların içerisinde çıkan midye kabukları ve nervürlü donatı izleri yapıların 1999 Gölcük depreminden sonra hazırlanan ve 2006 yılında yürürlüğe giren deprem bölgelerinde yapılacak binalar yönetmeliğinden önce yapılan yapılar olduğunu işaret etmektedir. Özellikle bu tarihe kadar yapılan yapıların çoğunda hazır beton kullanılmaması, beton üretiminde kullanılan kumun denizden temin edilmesine rağmen yıkanıp

tuz ve midye kabuklarından temizlenmemesi bu yapılarda kullanılan betonun kalitesine olumsuz yönde etki etmektedir. İYA numunelerinin temini gerçekleştirilen 35 bölge için çekilmiş fotoğraflar Şekil 3.2’de verilmiştir. Kategori 1 HRS bölgelerini temsil etmektedir ve buralara İstanbul ili içerisinde her konumdan hafriyat geldiği için atıklar karışık olarak bulunmaktadır. Kategori 2 uzun yıllardır kullanılmayı bekleyen İYA numunelerini temsil etmektedir. Kategori 3 çok katlı betonarme yapı, iki katlı müstakil yapı, devlet yapıları gibi farklı amaçlarla kullanılan yapıları temsil etmektedir. Kategori 4 ise günümüzde kullanılan hazır betonların testlerinin gerçekleştirildiği laboratuvar atıklarıdır ve beton atık numunelerini temsil etmektedir.

Tablo 3.2: Numune Temini Gerçekleştirilen Bölgelerin Görselleri.

AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI
Numune 1-2-3	Numune 4-5-6	Numune 7-8-9
Boğazköy HRS 1-2-3	Bolluca HRS 1-2-3	Çiftalan HRS 1-2-3
		
AVRUPA YAKASI	ANADOLU YAKASI	ANADOLU YAKASI
Numune 10-11-12	Numune 13	Numune 14-15-16
Silivri Ecemoba HRS 1-2-3	Şile Ahmetli	Şile Sahilköy 1-2-3
		
ANADOLU YAKASI	AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI
Numune 17	Numune 18	Numune 19-20
Şekerpınar	Avcılar Veterinerlik	Bahçelievler 1-2
		

Tablo 3.2 (devam):

AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI
Numune 21	Numune 22	Numune 23
Bakırköy	Beylikdüzü	Büyükçekmece
		
AVRUPA YAKASI	AVRUPA YAKASI	ANADOLU YAKASI
Numune 24	Numune 25	Numune 26
Güngören	Fatih (Yenikapı Bölgesi)	Fikirtepe
		
ANADOLU YAKASI	ANADOLU YAKASI	ANADOLU YAKASI
Numune 27	Numune 28	Numune 29
Maltepe	Erenköy	Ümraniye
		
ANADOLU YAKASI	ANADOLU YAKASI	AVRUPA-ANADOLU YAKASI
Numune 30	Numune 31	Numune 32-33-34-35
Kartal	Pendik	Beton Laboratuvarı Atıkları
		

Yıkılacak yapı temel olarak iki yıkım aşamasından oluşmaktadır. Bu aşamalar ve amaçları şu şekilde açıklanabilir:

- İlk olarak yıkılacak olan yapının çatısı, kapıları ve pencereleri sökülerek hafriyat kamyonunda fazla hacim kaplamamaları ve hafriyat taşıma işleminde daha az nakliye işlemi olması amaçlanmaktadır. Buradan ayrıştırılan cam ve PVC malzemeleri genellikle geri dönüşüme, ahşap malzemeler ise yakma amacıyla kullanılmaktadır.

- İkinci olarak da yapının betonarme sistemi ve genellikle tuğla kullanılarak oluşturulmuş bölme duvarlar ise yapının yıkım süresince kırılarak rehabilitasyon merkezlerine taşınırlar. Ancak bu aşama da betonarme sistemler yıkılırken kullanılan iş makinelerinin yardımıyla yapıda kullanılan donatılar da hafriyattan ayrıştırılarak tekrar kullanılmak üzere hurdaya çıkarılmaktadır.

İstanbul ili içerisinde temin edilen numuneler beton parçalarıdır ve herhangi bir şekilde numune içerisinde, seramik, cam, donatı, ahşap, plastik vb. inşaat malzemeleri bulunmamaktadır. Kategorilere ait İstanbul ili içerisinde temin edilen bazı İYA parçaları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Temin Edilen İnşaat Yıkıntı Atığı Numuneleri.

3.2. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGA DENEYLERİ

Bölüm 3.1’de anlatılan ve laboratuvara getirilen İYA numuneleri deneylere tabi tutabilmek amacıyla fiziksel ve mekanik kırma işlemleri uygulanmıştır. Numunelerin kırma işleminde

kullanılacak olan çeneli kırıcının haznesinden geçebilmesi için ilk önce parçalara ayrılmıştır. Daha sonra bu parçalar çeneli kırıcıdan geçirilerek standartlarda belirtilen uygun dane boyutunda elenip agrega deneyleri yapılmıştır. Bir İYA numunesinin parçalara ayrılma ve çeneli kırıcıdan geçirilerek kırılma süreci şekil 3.3'te verilmiştir.



şekil 3.3: İYA Numunesinin Kırım Süreci.

şekil 3.3'te verildiği üzere laboratuvara getirilen numune ilk olarak mur ve balyoz yardımı ile çeneli kırıcının haznesinden geçebilecek boyutlarda parçalanır. Bu parçalar çeneli kırıcıdan geçirilerek kırım işlemi tamamlanır. Çeneli kırıcının hazne genişliği ayarlanarak istenilen boyutta numune elde edilebilir. Çeneli kırıcının hazne genişliği tek ekseninde kısıtlandırılabilir. Çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra maksimum dane boyutu 19,0 mm minimum dane boyutu 12,0 mm olmak üzere elenen GBA'lara ait fotoğraflar şekil 3.4'te verilmiştir.

İYA numuneleri çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra hangi agrega deneyi yapılacaksa ASTM standartlarına uygun elekler kullanılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Geri dönüşüm beton agregaları için yapılan agrega deneyleri;

- Elek Analizi Deneyleri,
- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri,
- Los Angeles Aşınma Deneyleri,
- Kıvım Limitleri Deneyleri,
- pH Analiz Deneyleri,
- Harç Yüzdesi Bulma Deneyleri,

yapılmıştır.



Şekil 3.4: Üretilen Geri Dönüşüm Beton Agregaları.

3.2.1. Elek Analizi Deneyi

İYA numunelerden üretilmesi planlanan GBA numunelerinin çeneli kırıcıdan çıktıktan sonraki granülometrisini bulmak amacıyla ASTM C136-06 standartı dikkate alınarak yapılan deneylerdir. Çeneli kırıcının hazne açıklık miktarına karar vermek için AASHTO'nun önerisi dikkate alınmıştır. AASHTO geosentetikler ve epoksi kaplı güçlendirmeler üzerinde yapılan son çalışmaları dikkate alarak kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin maksimum dane çapının (3/4") 19,0 mm'e düşürülmesini tavsiye etmesinden dolayı çeneli kırıcının hazne genişliği 19,0 mm olarak ayarlanmıştır. Her bir kategori için toplanan İYA numuneleri çeneli kırıcıdan geçirilip elek analizi deneyleri yapılmıştır. Çeneli kırıcının hazne genişliği tek boyutta ayarlanabildiği için çeneli kırıcıdan çıkan numuneler içerisinde 19,0 mm çapından büyük numuneler de ortaya çıkmaktadır. Bunların da miktarını bulabilmek için 19,0 mm açıklıktan daha büyük açıklığa sahip elekler de deneylerde kullanılmıştır. Deneylerler de kullanılan elek seti Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Elek Seti.

3.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Geri dönüşüm beton agregaların özgül ağırlıklarını ve su emme yüzdeleri bulmak için ASTM C127-15 standartı dikkate alınmıştır. Standart içerisinde poroz yapılara sahip agregaların su içerisinde bekleme süresinin 72 ± 4 saat olarak belirtmiştir. GBA'ların yüzeyleri de doğal agregalardan farklı ve gözenekli görünüme sahip olduğu için 3 farklı bölgede toplam 9 adet numune için hem 24 ± 4 saat hem de 72 ± 4 saat suda bekletilen numunelerin özgül ağırlıkları ve su emme yüzdeleri bulunmuştur. 72 ± 4 saat suda bekletilen numunelerin deney sonuçları 24 ± 4 saat suda bekleyen numunelerin deney sonuçlarını dikkate alınacak kadar değiştirmedikleri için özgül ağırlık ve su emme yüzdesi bulmak için kullanılacak numunelerin suda bekleme sürelerinin 24 ± 4 saat olmasına karar verilmiştir. Ayrıca deney standartında farklı dane boyutuna göre farklı miktarlarda numunelerin deneylerde kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Deneylerde AASHTO'nun geri dolgu malzemesinin geosentetikler ve epoksi kaplı güçlendirmelerle kullanılması durumunda önerilen maksimum dane boyutunun 19,0 mm olması sebebiyle bu deney için GBA numunelerinin dane çapı 19,0-9,5 mm olarak seçilmiştir. Deneylerin Yapılışı;

- İlk olarak numune temin edilen ve geri dönüşüm beton agregası üretilen 35 bölge için 19,0mm-9,5 mm çap aralığında numuneler hazırlanmıştır,
- Etüvde 110 °C'de 24 ± 4 saat bekleyen numunelerden 2,5 kg-3,0 kg olmak üzere tepsilere alınarak su içerisinde 24 ± 4 saat bekletilmiştir,
- 24 ± 4 saat suda bekleyen numuneler suyu süzildükten sonra havlu yardımıyla yüzeyinde su damlası kalmayacak şekilde dikkatlice kurularak doygun yüzey ağırlıkları bulunmuştur,
- Doygun yüzey ağırlıkları bulunan numuneler Arşimet Terazisi kullanılarak su içerisindeki ağırlıkları bulunmuştur.

Kuru ağırlıkları, doygun yüzey ağırlıkları ve su içerisindeki ağırlıkları belirlenen numunelerin özgül ağırlıkları ve su emme yüzdeleri bulunmuştur. Her bir bölge için 3'er tekrar olmak üzere toplamda 105 tane su emme ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneylere ait fotoğraflar deney yapım sırasıyla Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.6: Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Aşamaları.

3.2.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Geri dönüşüm beton agregaların Los Angeles aşınma değerlerini bulmak için ASTM C131/C131M-14 standartı kullanılmıştır. Deneylerin yapılışı;

- Her bir deney için İYA numuneleri kırılıp çeneli kırıcıdan geçirilerek maksimum dane çapı 4,75 mm (No:4) minimum dane çapı 2,36 mm (No:8) olan GBA numuneleri hazırlanmıştır,
- Deney için hazırlanan numuneler etüvde 110 °C’de 24 ± 4 saat bekletilmiştir,
- 24 ± 4 saat etüvde bekleyen numuneler 2500 ± 15 gr olacak şekilde Los Angeles aşınma cihazı içerisine ağırlıkları 390 gr-445 gr aralığında değişen 6 metal küre ile yerleştirilmiştir,
- Los Angeles aşınma cihazı dakikada 30-33 tur dönmek üzere toplamda 500 tur döndürülmüştür,
- Los Angeles aşınma cihazından çıkarılan numuneler 1,70 mm (No:12) açıklıklı elekten elenerek elek üzerinde kalan malzeme miktarı belirlenmiştir.

Deneylere ait fotoğraflar deney yapım sırasıyla Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.7: Los Angeles Aşınma Deney Aşamaları.

Standartta malzemenin granülometrisine bağlı olarak farklı sayıda küre kullanılması belirtilmiştir. Standart içerisinde belirtilen B granülometrilik malzemeler için 11 küre, C granülometrilik malzemeler için 8 küre ve D granülometrilik malzemeler için ise 6 küre kullanılması belirtilmiştir. Geri dönüşüm beton agregası laboratuvarında tarafımızca üretildiği için aşınma deneylerinde hangi boyutta malzemenin kullanılacağını belirlemek amacıyla B, C ve D granülometriliklerinde üçer tekrar olmak üzere üç bölge için deneyler yapılmış ve sonuçlar kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre farklı granülometri için kullanılan farklı sayıda küre sayısı deney sonuçlarını eser miktarda etkilemiştir. Bu deney sonuçlarına göre diğer 35 bölge için D granülometrisinde malzemeler hazırlanmıştır.

Her bir bölge için 3'er tekrar olmak üzere toplamda 105 tane Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır

3.2.4. Kıvam Limitleri Deneyi

GBA üretimi için kullanılan İYA malzemelerinin çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra No:40 (425- μ m) elek altında kalan malzemelerin kıvam limitlerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan deneylerdir. Kırılan İYA numuneleri içerisinde çıkan deniz kabuklarının varlığından dolayı beton içerisinde kullanılan malzemenin siltli veya killi olabilmesi ihtimalini ortaya çıkarmıştır. Bu molozlar içerisindeki malzemenin ne olduğunu daha iyi anlayabilmek için kıvam limitleri deneylerinden bir tanesi olan likit limit deneyleri yapılmıştır. Kıvam Limitleri deneyleri için ASTM D 4318-00 standartı kullanılmıştır. Likit Limit deneyinin yapılışı;

- No:40 (425- μ m) elek altında kalan etüv kurusu 250-300 gr kadar malzeme deney için hazırlanır,
- Malzeme kademeli olarak saf su ile homojen bir şekilde karıştırılıp Casagrande cihazının pirinç kabına tek seferde yerleştirilir,
- Pirinç kaba yerleştirilen numunenin ortasından Casagrande cihazının özel bıçağı ile bir yarık açılır,
- Daha sonra saniyede 2 düşüş olacak şekilde Casagrande cihazı çalıştırılır. Pirinç kabının vuruş sayısı bu yarığın kapanmasına kadar devam eder,
- Yarığın kapandığı noktadaki vuruş sayısı not edilir ve su muhtevası değeri hesaplanır,
- Bu işlem en az 3 tekrar olacak şekilde numunenin su muhtevası artırılıp tekrarlanır,

- Yapılan deneylerde vuruş sayısının en az bir tanesinin 25 vuruşun altında ve en az bir tanesinin 25 vuruşun üstünde olmasına dikkat edilmelidir. Eğer bu şekilde vuruş sayıları elde edilemezse numunenin su muhtevası artırıp deneyin tekrar sayısı artırılmalıdır.

Deneylere ait fotoğraflar deney yapım sırasıyla Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Casagrande Cihazı ve Likit Limit Deney Aşamaları.

Malzemelerin Likit Limit deney sonuçlarının NP çıkmasından dolayı Plastik Limit ve Büzülme (Rötre) Limit deneyleri yapılmamıştır.

3.2.5. pH Analiz Deneyi

Rehabilitasyon Hafriyat Alanlarından, yıkım bölgelerinden ve beton laboratuvarlarından temin edilen İYA numunelerinden elde edilen GBA’lar üzerinden elde edilen sızıntı suyunun pH değerleri ölçülmüştür. Sızıntı suyu elde etmek için birçok eluat hazırlama yöntemi olsa da literatürde var olan arazi deneyleri kapsamında kullanılan pH ölçüm yöntemi kullanılmıştır.

- 1 lt'lik plastik sızdırmaz şişe,
- Saf su,
- 50 cc'lik şırınga,
- pH metre,
- 0,45µm'lik naylon filtre,
- 0,1± hassasiyetli hassas terazi,
- 2 mm gözenek açıklığına sahip elek.

Özellikle arazilerde hızlı sonuç almak için kullanılan bu pH deneyinin yapılışı;

- 39

- 5 dk süreyle çalkanan saf su GBA karışımı 10 dk dinlendirilir,
- Dinlenen çözelti 0,45µm'lik naylon filtreden geçirilmesi sonucu sızıntı suyu elde edilir,
- Sızıntı suyunun pH değeri ölçülerek deney tamamlanır.

Bu doktora tezi çalışmaları kapsamında her bir moloz parçasından bir adet pH deneyi yapılmıştır. Her bir pH deneyi için yeni İYA parçası kırılmış ve numune temini gerçekleştirilmiştir. Her bir bölge için en az 5'er tekrar olmak üzere toplamda yaklaşık 175 adet pH analiz deneyleri yapılmıştır. Deneylere ait fotoğraflar deney yapım sırasıyla Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10: pH Analiz Deney Aşamaları.

3.2.6. Harç Yüzdesi Bulma Deneyi

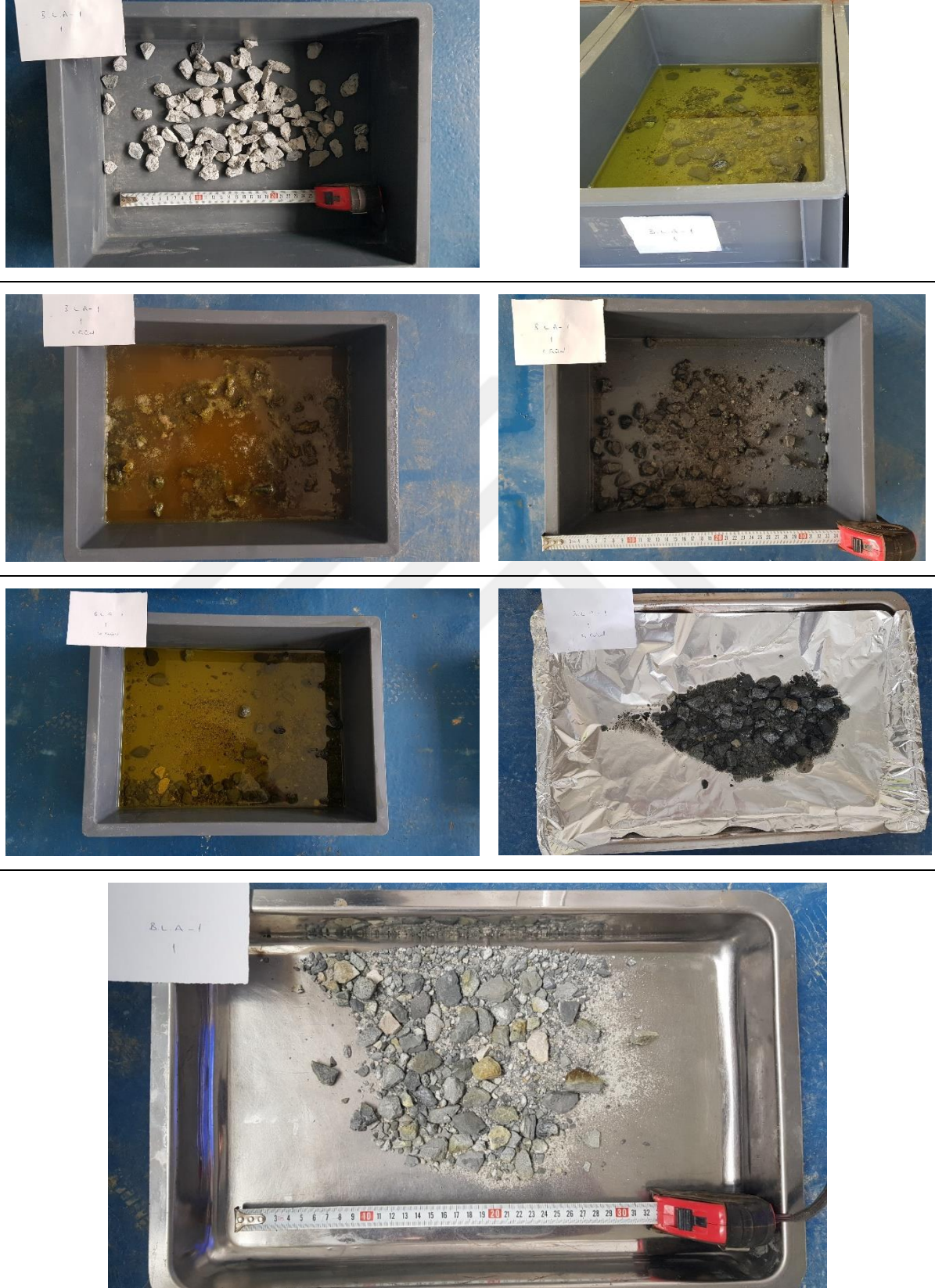
Bu deney GBA'lar yüzeyindeki harcın temizlenerek beton üretiminde kullanılan harç miktarının bulunması amacıyla yapılmaktadır. Böylelikle beton üretiminde kullanılan harç miktarı belirlenebilirken, GBA'lar yüzeyinden temizlenen harç ile betonda kullanılan agregaların ana kayası da tespit edilebilmektedir. Ancak bu deney de kullanılan Hidroklorik Asit (HCl) kalsiyum bazlı kireç taşı, dolomit, kalsit gibi minerallerden oluşan agregaları da eritmektedir. Bu durumda harç yüzdesi hesaplanamadığı gibi ana kayacın da bilgisine net bir şekilde ulaşılamamaktadır.

Bu deney için herhangi bir standart bulunmadığı için literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Literatürde agrega yüzeyindeki harcı yok etmek için birçok yöntem belirtilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi olan HCL ve GBA numunelerinin çalkalanması ile 24 saatte tamamlanan yöntemdir. Ancak HCL ile tepkimeye giren GBA'ların yüzeyindeki harç malzemeleri ve/veya kalsiyum bazlı agregaların tepkimelerinden dolayı gaz çıkışı meydana gelmektedir. Bu durumda çalkalama cihazı içerisindeki gazın kontrollü bir şekilde çıkarılırken sıvı HCl'nin kap içerisinden çıkmaması gerekmektedir. Numune çalkalanırken gaz çıkışı sağlanıp HCl'nin kap içerisinden çıkışı engellenemediği için literatürde verilen diğer bir yöntem olan HCL ile GBA numunelerinin bekletilmesi esasına dayanan diğer yöntem ile deneyler yapılmıştır. Deneyin yapılışı;

- Etüv kurusu 400-500 gr. maksimum dane boyutu 19,0 mm minimum dane boyutu 12,5 mm olan geri dönüşüm beton agregaları hazırlanır,
- Kuru özgül ağırlıkları bilinen malzemelerin hacimleri bulunur,
- Hacimsel olarak $V_{HCl} / V_{GBA} = 5$ oranında olacak şekilde 10 M Hidroklorik Asit ile GBA'lar tepkime için plastik veya paslanmaz çelik tepsilere konulur,
- Tepkimelerin gerçekleşmesi için 24 ± 2 saat süre çeker ocaklara yerleştirilir,
- 24 ± 2 saat sonunda 200 numaralı elek (0,075 mm) elek üzerinde yıkama işlemi gerçekleştirilir,
- Geri kalan malzeme tekrar plastik veya paslanmaz çelik tepsinin içerisine alınır,
- Tepsi içerisindeki malzemeye tekrar deney başlarken kullanılan 10 M HCl miktarı ilave edilir,
- Bu süreç malzeme yüzeyinde harç kalmayana kadar devam eder (≈ 4 tekrar),
- GBA'lar yüzeyinden harç temizlendikten sonra malzeme kuruması için etüve bırakılır,
- Yüzeyinden harçları temizlenen agregaların ağırlığı alınır,
- Harç yüzdeleri hesaplanır.

Harç yüzdesi deneyleri yapılırken maksimum 10 M asit kullanılması gerekmektedir. 10 M asit çözeltisinden fazla molaritedeki asit çözeltisi ana kayayı da bozabileceği gibi harç miktarlarını da yanlış bulmamıza sebep olacaktır. 10 M'den az ve hacimsel olarak farklı oranlarda da bu deney yapılabilir. Ancak bu durumda tekrar sayısı artacaktır. 10 M ve hacimsel olarak 5 katı kadar HCl kullanılarak yapılan deneyler literatür de de verildiği üzere 4 gün içerisinde sonuçlanmaktadır. Her bir bölge için en az 2'şer tekrar olmak üzere toplamda yaklaşık 70 adet harç yüzdesi bulma deneyleri yapılmıştır.

Deneylere ait fotoğraflar deney yapım sırasıyla Şekil 3.11’de verilmiştir.



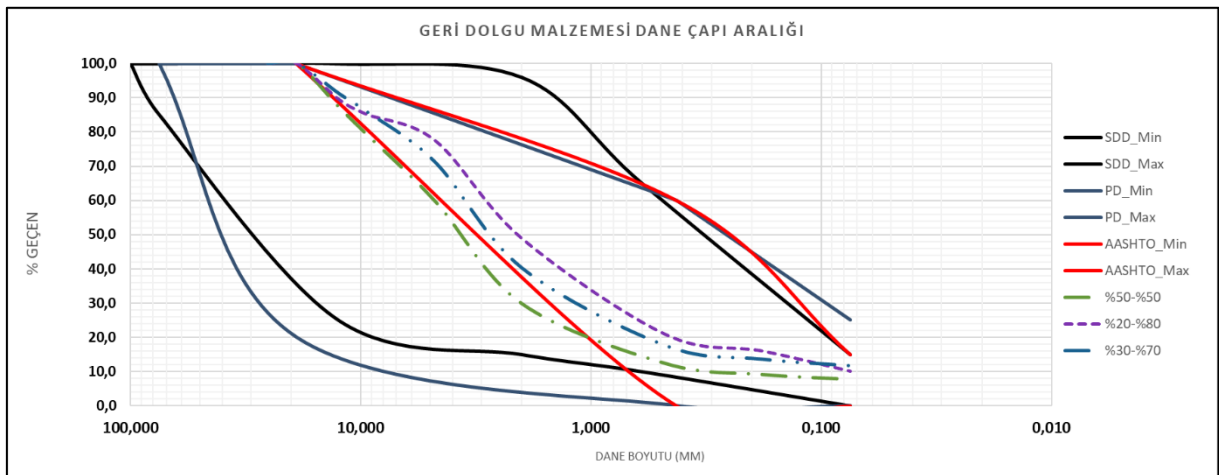
Şekil 3.11: Harç Yüzdesi Bulma Deney Aşamaları.

3.3. GEOGRİD DENEYLERİ

Geri dönüşüm beton agregalarla beraber kullanılması planlanan çift yönlü ve çekme mukavemeti 80/80 kN/m mukavemetli PVC kaplı PET geogridler için arazi ve laboratuvar olmak üzere iki aşamadan oluşan deneyler uygulanmıştır. İlk olarak geogridlere arazide kullanılması durumunda gerçek hasarın verilmesi için arazide dolgu tabakaları arasında sıkıştırılarak arazi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu hasarlı numuneler ile hiç hasar almamış numuneler laboratuvar deneylerine tabi tutulmuşlardır. Bu bölümde bu deneyler detaylı olarak anlatılmıştır.

3.3.1. Geogridler için Arazi Deneyleri

Geri dolgu malzemesinin maksimum dane boyutunun, Türk Karayolları Teknik Şartnamesi maksimum 12,0 cm, FHWA maksimum dane botunun 10,2 cm olması gerektiğini belirtmektedir. Ancak FHWA’de "Geosentetikler ve epoksi kaplı güçlendirmeler üzerinde yapılan son çalışmalar sonucunda, maksimum dane çapının (3/4”) 19,0 mm’e düşürülmesi tavsiye edilmektedir." ibaresi bulunmaktadır. Bu tavsiye dikkate alınarak bu tez kapsamında yapılacak olan arazi çalışmasında kullanılacak olan geri dolgu malzemesinin maksimum dane çapının 19,0 mm olmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda maksimum dane çapının 19,0 mm olan iyi derecelendirilmiş bir karışım yapmak amacıyla arazide silolar halinde bulunan 19,0 mm-5,0 mm (kaba) ve 5.0 mm-0.0 (ince) mm olan numunelerden ağırlıkça karışımlar yapılarak elek analizi deneyleri yapılmıştır. Yapılan elek analizi ve oluşturulan granülometri eğrileri Şekil 3.12’de verilmiştir.



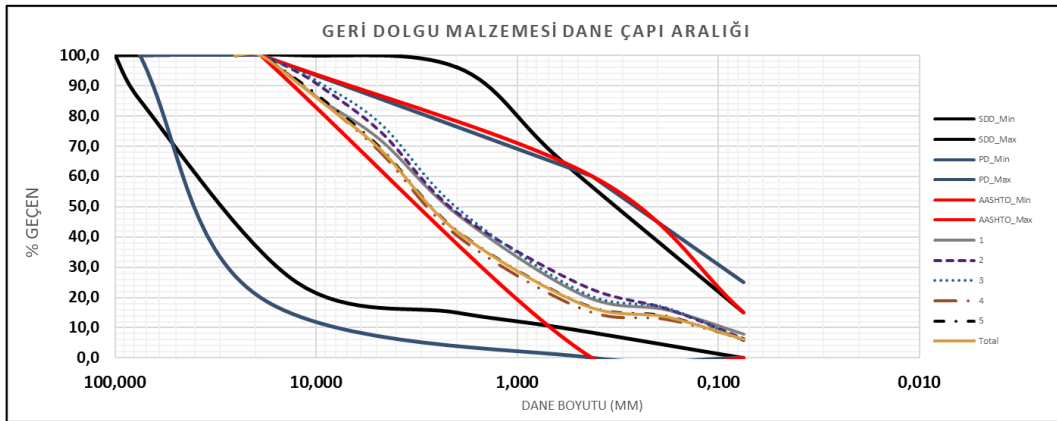
Şekil 3.12: Geri Dolgu Malzemesi için Hazırlanan Karışımların Granülometri Eğrileri.

Arazide ilk olarak ağırlıkça %50-%50 olacak şekilde 19,0mm-5,0mm (kaba) ve 5,0mm-0 (ince) malzemeleri karıştırılarak elek analizi yapılmıştır. Yapılan deney sonucuna göre FHWA’da belirtilen geri dolgu malzemesi boyut aralıklarının dışında kalmıştır. Daha sonra ağırlıkça %20 kaba %80 ince olacak şekilde karışım hazırlanarak elek analizi yapılmış ve uygun aralıkta granülometri bulunmuştur. Ancak biraz daha kaba malzeme kullanılarak bir granülometri çalışması daha yapılmıştır. Ağırlıkça %30 kaba %70 ince malzeme olacak şekilde hazırlanan karışıma elek analizi deneyi tekrar yapılmıştır. Şekil 3.12’de görüleceği üzere mor kesikli çizginin temsil ettiği karışım istenilen granülometri özelliklerine ve granülometriye sahip olmuştur. Bu karışımdan yaklaşık 50 ton malzeme üretilmiştir. Şekil 3.13’te üretilen malzeme gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Üretilen Geri Dolgu Malzemesi.

%30 kaba ve %70 ince olan bu karışımın arazide minimum sıkışma yüzdesini tayin edebilmek amacıyla laboratuvarında kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan kompaksiyon deneyine göre bu karışımın optimum su muhtevası %4,7 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 24,0 kN/m³ bulunmuştur. Arazi deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanan bu dolgu malzemesinden alınan numuneler üzerinde yapılan elek analiz sonuçları Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.14: Arazi Deneyinde kullanılan Dolgu Malzemesi Granülometri Eğrileri.

Şantiyede hazırlanan dolgu malzemesi üzerinde yapılan altı adet elek analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 3.14'te görüldüğü üzere, FHWA Standardı, Türk Karayolları Teknik Şartnamesi ve FHWA'in önermiş olduğu maksimum dane çapı şartına uyan ve sınırlandırdığı alanlar içerisinde yer almaktadır.

Hazırlanan bu geri dolgu malzemesinin arazide sıkışmış hali 20 cm, genişliği 2,5 m uzunluğu 14,0 m olacak şekilde serilmiştir. Üzerinden 1 adet vibrasyonsuz 4 adet vibrasyonlu olacak şekilde demir balyajlı silindir geçtikten sonra sıkışma kontrolü yapılmak üzere kum konisi deneyi yapılmıştır. Yapılan kum konisi deneyine istinaden sıkışma miktarının ortalama %95,6 olduğu hesaplanmıştır. Bunun üzerine tek parça halinde 10 m² PVC kaplı PET geogrid serilmiştir. Geogridin serilmesinden sonra tekrar üzerine sıkışmış hali 20 cm olacak şekilde dolgu malzemesi serilmiş ve demir balyajlı silindir ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılan üst tabakanın da sıkışma kontrolü yapıldıktan sonra geogrid tabakalar arasından çıkarılmıştır. Tabakalar arasından çıkarılan geogrid yıkanarak laboratuvara getirilmiştir. Arazide kullanılan dolgu malzemesinin su muhtevası ortalama %5 olarak hesaplanmıştır.

Arazi deneylerine ait çalışma aşamaları Şekil 3.15-Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.15: Geri Dolgu Malzemesi Alt Tabaka Serim İşlemi.



Şekil 3.16: Geri Dolgu Malzemesi Alt Tabaka Sıkıştırma İşlemi.



Şekil 3.17: Tabakalar Arasına Geogridin Serilme İşlemi



Şekil 3.18: Geogrid Üzerine Serilen Geri Dolgu Malzemesi Üst Tabaka İşlemi.



Şekil 3.19: Geri Dolgu Malzemesi Üst Tabakasının Sıkıştırılma İşlemi.



Şekil 3.20: Sıkıştırılan Tabakaların Sökülme İşlemi.



Şekil 3.21: Tabakalar Arasından Çıkarılan Geogrid.

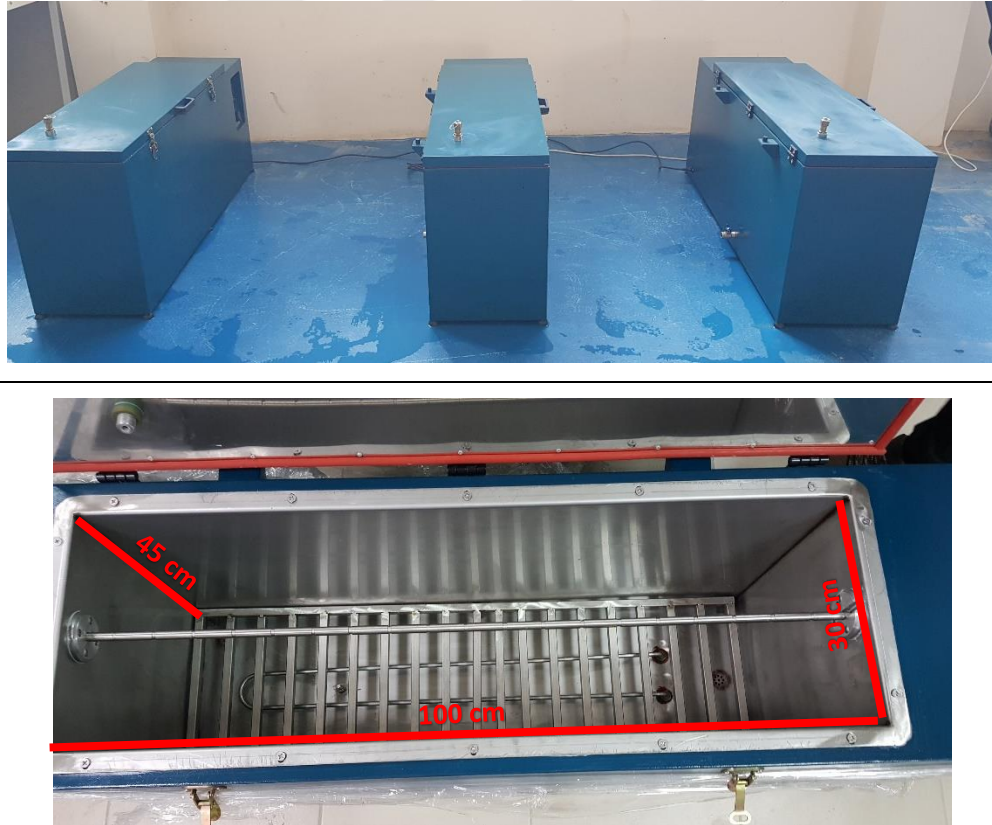
3.3.2. Geogridler için Laboratuvar Deneyleri

Geogridleri sıcaklık ve alkali ortamda küreyebilmek amacıyla BAP projesi kapsamında sıcaklık kontrollü kür tankları laboratuvara temin edilmiştir. Bu tanklar ile arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı geogridler ile orijinal geogrid numunelere yüksek pH ve farklı sıcaklıklarda kürlendirme işlemi yapılmıştır.

3.3.2.1. Kürlendirme Deneyleri

Deneylerde ASTM D5322-17 belirtilen şartlara uygun kürlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıkların ve bekleme sürelerinin araştırmacıya bağlı olarak değişebileceği standartta belirtilmiştir.

Geri dönüşüm beton agregaları ile kullanılması planlanan PVC kaplı PET geogridlerin mukavemet değişimlerini incelemek amacıyla BAP projesi ile alınan 3 adet kür tankı laboratuvara temin edilmiştir. Temin edilen kür tankları ve boyutları Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22: Laboratuvara Temin Edilen Kür Tankları ve İç Boyutları.

Bu kür tankları kapakları kapatıldığında kür tankı içerisinde bulunan malzeme ile hava temasını önlemektedir. Ayrıca sıcaklık ile buharlaşarak gaz sıkışması olmaması için de kapak üzerine

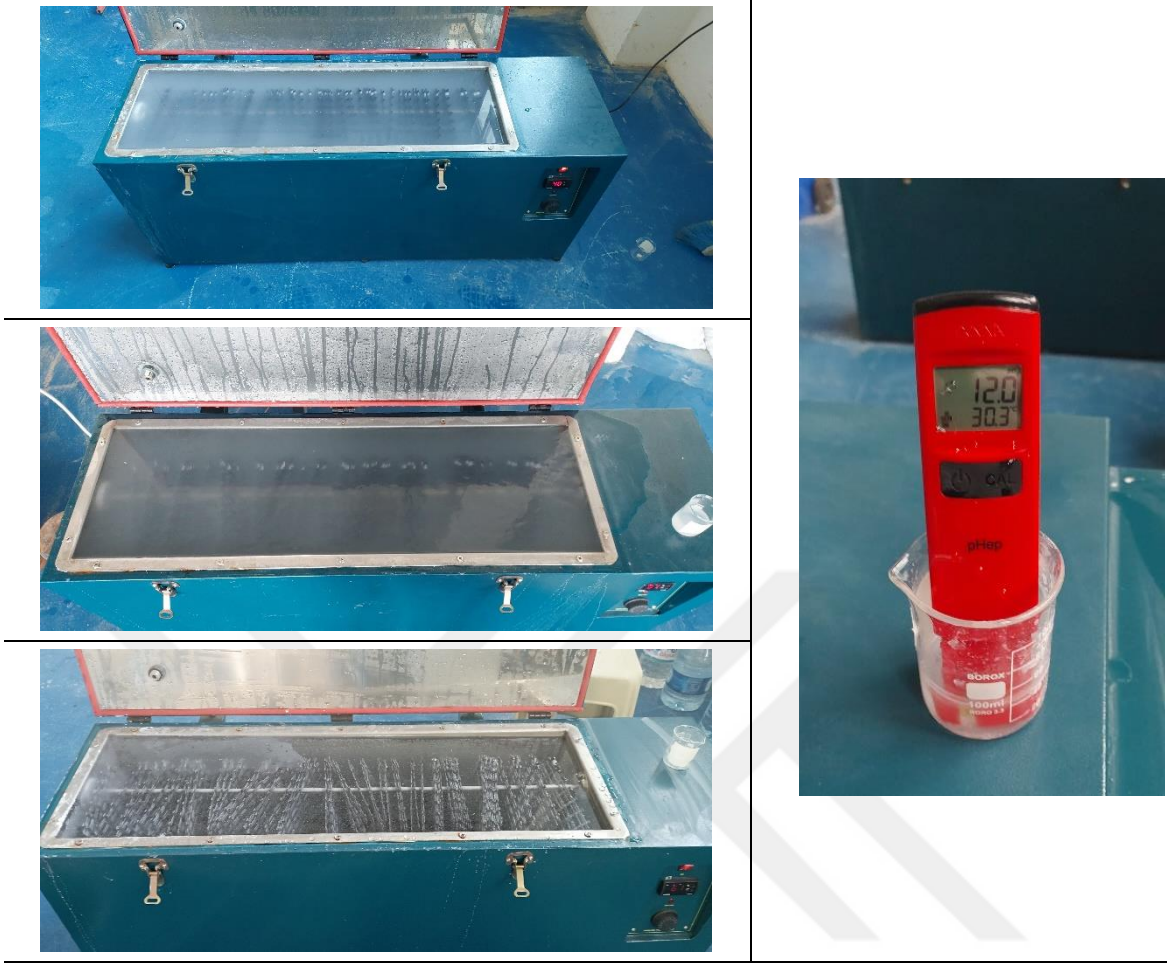
ventil monte edilmiştir. Tanklar içerisinde bulunan Ca(OH)_2 -saf su çözeltisinin tank içerisinde homojen bir halde bulunması için tanklara su devir daim pompası eklenmiştir.

GBA'ların kullanıldığı bölgede su ile temas etmesi durumunda ortamı alkali hale getirdiği ve PET liflerin bu alkali ortamdan olumsuz etkilendiği literatürde verilmiştir. Bu bilgiler ile GBA ve PVC kaplı PET lifli geogridlerin beraber kullanılması durumunda mukavemet değişimini incelemek amacıyla yüksek pH ortamı kür tanklarında hazırlanmıştır. Kür tankları içerisine saf su doldurularak Ca(OH)_2 ile pH değeri $12 \pm 0,2$ olan bir alkali ortam elde edilmiştir. Kür tanklarının pH değerleri haftada bir kontrol edilmiştir. Karbonatlaşma ve suyun buharlaşmasından dolayı düşen pH değeri tekrar tanklar içerisine Ca(OH)_2 eklenerek pH değeri $12 \pm 0,2$ değerine ulaşması sağlanmıştır.

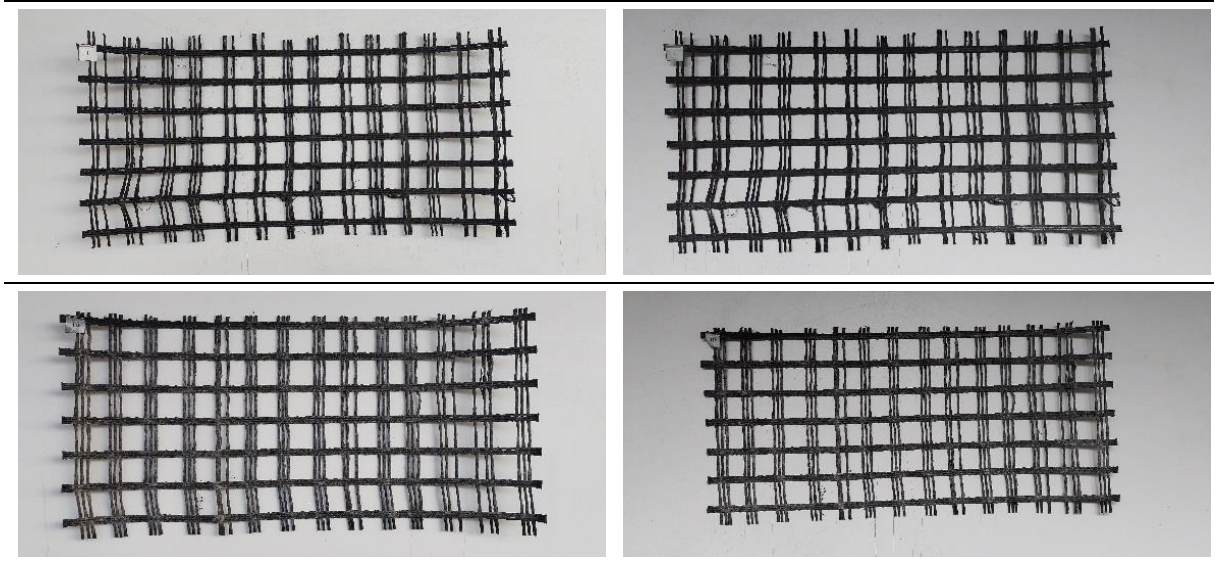
Deneylerde kür tanklarının sıcaklıkları $40 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $60 \pm 2^\circ\text{C}$ olarak karar verilmiştir. PET lifler yüzeyinde bulunan PVC polimerinin erime sıcaklığının 150°C - 220°C aralığında değiştiği ancak 65°C - 70°C 'de deforme olmaya başladığı bilindiği için maksimum sıcaklık 60°C olarak seçilmiştir. Şekil 3.23'te farklı sıcaklıklarda bulunan içlerinde geogrid numuneleri bulunan kür tankları ve ölçülen pH değeri verilmiştir. Malzemenin bu yüksek sıcaklık ve yüksek alkali ortamda sürekli bulunması olası değildir. Ancak malzemenin kimyasal yaşam döngüsünü bulabilmek ve Arrhenius model oluşturulabilmek için bu değişkenler seçilmiştir. Arrhenius model, reaksiyon hızının sıcaklığa bağlılığını gösteren bir formüldür; kimyasal reaksiyon hızının belirlenmesinde ve aktivasyon enerjisinin hesaplanmasında çok büyük ve önemli bir uygulamaya sahiptir. Bu model ile birlikte; PET lifli geogridin GBA ile kullanılması durumunda malzemede oluşabilecek deformasyonları mukavemet kaybını sürece bağlı olarak tahmin edilebilmesi planlanmıştır.

Arazide uygulamaya maruz kalan hasar gören geogridler ve orijinal geogrid numuneleri kür tanklarının içerisine asmak için uygun boyutlarda kesilmiştir. Şekil 3.24'te kür tankları içerisine yerleştirmek amacıyla kesilen geogrid numunelerine örnek verilmiştir.

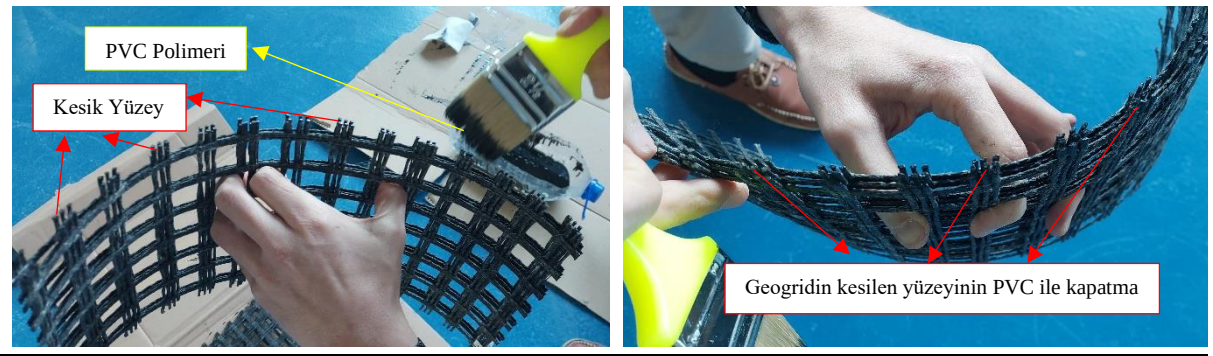
Arazide geri dolgu malzemeleri arasında sıkıştırma işlemlerine maruz kalan geogrid numunelerinde sadece arazide oluşan hasarlardan kaynaklı pH etkisini görmek için kesilen geogridlerin kesilen bölgelerine PVC polimeri sürülüp bu bölgelerden sıvı geçişine engel olunmuştur. Kesilen geogridlerin etrafına PVC sürüm işlemi fırça ile gerçekleştirilmiş olup Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Farklı Sıcaklıklarda Bulunan Kür Tankları ve pH Ölçümü.



Şekil 3.24: Kür Tankları İçerisine Yerleştirilen Kesilmiş geogrid Numuneleri.



Şekil 3.25: Geogridlerin Kesilen Bölgelerine PVC Polimeri Sürülme İşlemi.

Kür tankları içerisine yerleştirilen numuneler karışmamaları için numaralandırılmıştır. 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay olmak üzere her bir ay sonunda birer set numune kür tanklarından çıkarılarak çekme deneyleri için hazırlanmıştır. Her bir numunenin çözgü (MD) ve atkı (CMD) yönlerinden en az 5'er tekrar olmak üzere her bir ay için toplamda en az altmış adet çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır.

3.3.2.2. Çekme Mukavemeti Deneyleri

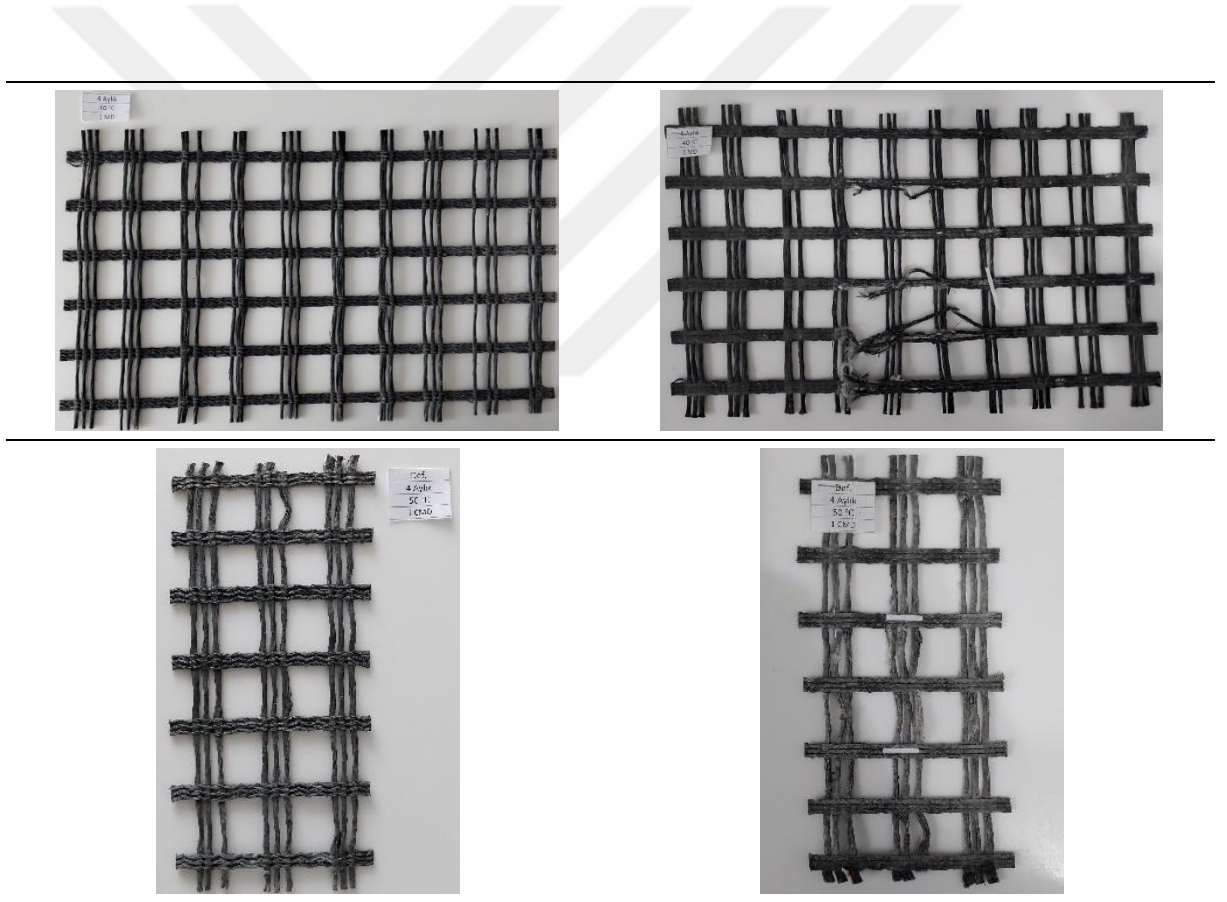
Geogridlerin çekme mukavemeti deneyleri için ASTM D4595-17 standardına uygun yapılmıştır. Çekme mukavemeti deneyleri için ilk olarak kür işlemine maruz kalmayan orijinal ve arazi deneylerine maruz kalan hasarlı numuneler kullanılmıştır. Çekme deneyleri İstanbul Teknik firmasının Bolu'da bulunan üretim fabrikasının laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Geosentetiklerin çekme mukavemeti deneyleri için kullanılan çekme cihazı Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26: Geosentetikler için Çekme Cihazı.

Kür tankları içerisinde çıkarılan numuneler çekme cihazına uygun boyutlarda hazırlanması için kesilmiştir. Çift yönlü PET lifli geogridler 2 eksenli olduğu için her bir numune için çözgü (MD) ve atkı (CMD) yönleri için çekme deneyleri yapılmıştır. Atkı ve çözgü yönü çekme deneyleri için hazırlanan deney numuneleri ve deney sonrası görüntüleri Şekil 3.27’de gösterilmiştir.

Geogridler çekme cihazının çeneleri arasında 10 cm kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Çeneler arasında kalacak olan numune üzerinde uzamaya denk gelen gerilmelerin hesaplanabilmesi için 6 cm’yi temsil eden referans noktalar işaretlenmiştir. 6 cm’i gösteren referans noktalar Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



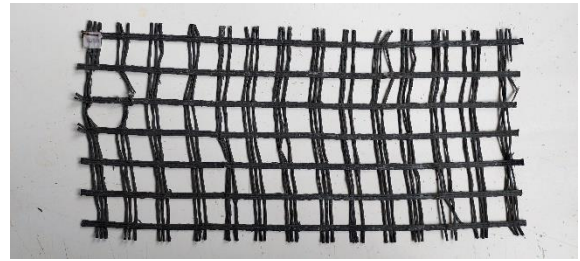
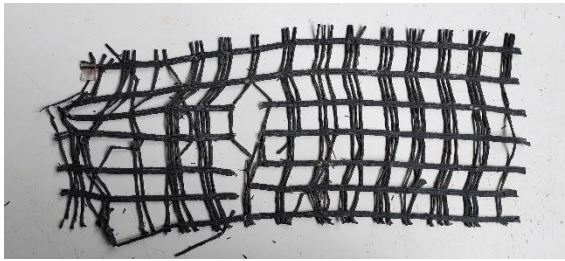
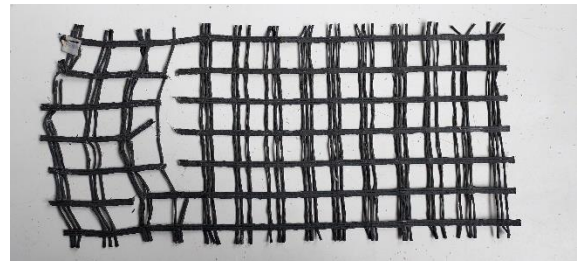
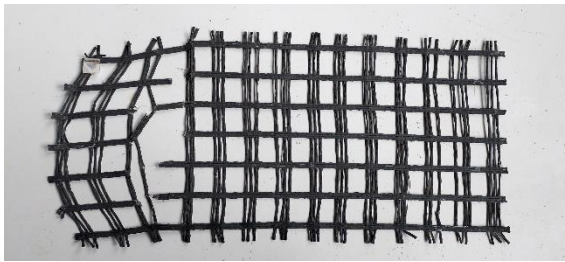
Şekil 3.27: MD ve CMD Yönleri için Numunelerin Deney Öncesi ve Sonrası.



Şekil 3.28: Çekme Deneyi için Hazırlanan Geogridler Üzerindeki Referans Noktaları

Arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı PET geogrid numuneleri 60°C’de 4 ay kürlendikten sonra deneye tabi tutulamamıştır. Kür tankları içerisinde kopma ve yırtılma bozulmaları gerçekleşen geogrid numuneleri Şekil 3.29’da verilmiştir. Kopma ve yırtılmanın oluşmadığı numuneler ise yük alamadığı için çekme deneyleri gerçekleştirilememiştir.

Çekme deney cihazı çeneler arasına yerleştirilen numune örneği Şekil 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.29: 4 Ay 60 °C’de Bekleyen Hasarlı Numuneler.

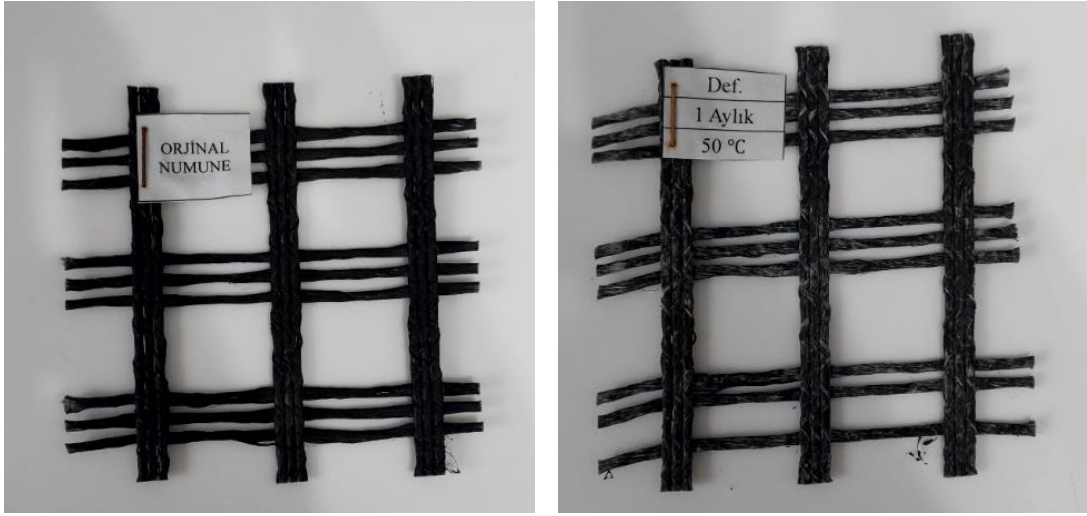


Şekil 3.30: Çekme Cihazına Yerleştirilen Geogrid Numune Örneği.

3.3.2.3. FT-IR Analiz Deneyleri

FTIR (Fourier Transform Infrared) spektroskopisi, organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel grupları belirlemek ve kimyasal bağları analiz etmek için güçlü bir analiz yöntemidir. Bu teknik, organik bileşiklerin yanı sıra inorganik maddelerin de analizinde kullanılabilir. FTIR spektroskopisi, infrakırmızı bölgedeki ışınların emilim ve saçılma özelliklerini kullanarak bilgi sağlayan bir test yöntemidir.

pH değeri $12 \pm 0,2$ olan çözelti ortamında bekletilen PET liflerin kimyasal yapısında olası bozulmaları anlamak amacıyla yapılan deneylerdir. Deneylerde kullanılan bütün numuneler için birer adet FT-IR deneyleri gerçekleştirilmiştir. ASTM E1252-98 standardı dikkate alınarak yapılan deney numuneleri Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Deney için hazırlanan numuneler yüzeyleri dikkatlice temizlenerek kurutulduktan sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney için her numunenin aynı bölgesinden okuma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.32’de deney sırasında gerçekleşen okuma gösterilmiştir.



Şekil 3.31: FT-IR Analizi için Hazırlanan Numuneler.



Şekil 3.32: FT-IR Analizlerinin Gerçekleştirildiği Bölge.

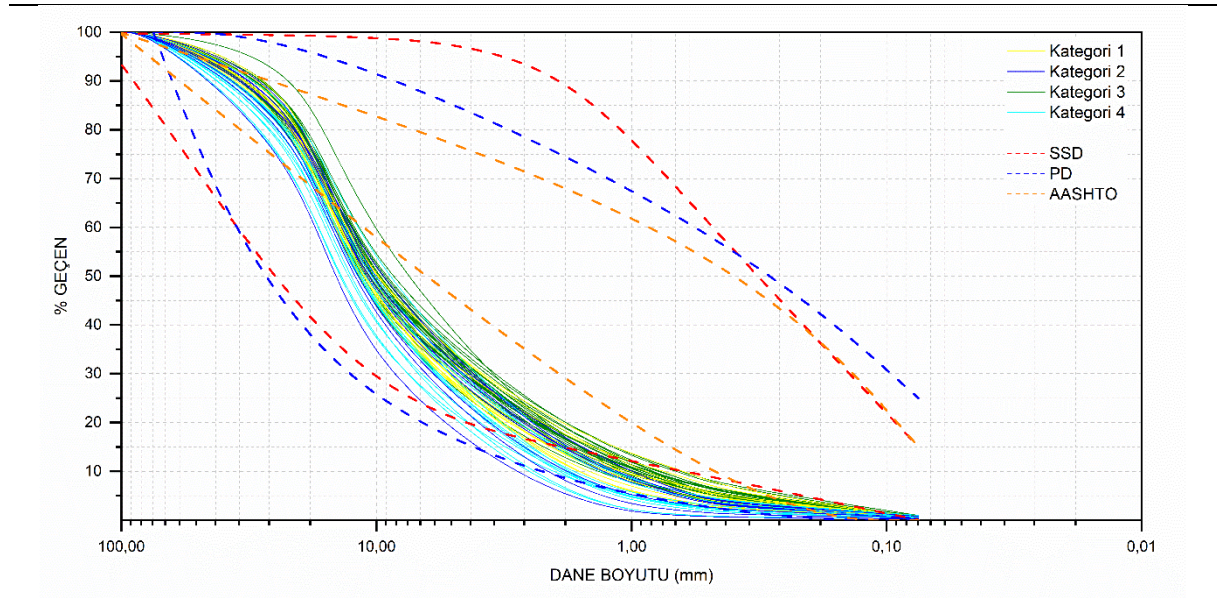
4. BULGULAR

Bu bölümde tez araştırmaları kapsamında Bölüm 3’te anlatılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Tez çalışması iki bölümden oluştuğu için ilk olarak geri dönüşüm beton agregaları için yapılan deney sonuçları ikinci olarak da PVC kaplı PET lifli geogridler için yapılan deney sonuçları bu bölümü oluşturmaktadır.

4.1. GBA için YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

4.1.1. Elek Analizi Deney Sonuçları

Çeneli kırıcının haznesinden geçebilecek boyutlarda kırılan İYA numunelerinin kırıcıdan geçtikten sonra granülometrisi bulmak amacıyla bu deneyler yapılmıştır. Çeneli kırıcının çeneler arası 19,0 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir kategori için yapılan elek analizlerinden elde edilen ve standartlarda belirtilen geri dolgu malzemesi boyut aralıklarını gösteren granülometri eğrileri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Çeneli Kırıcıdan Sonra Elde Edilen Malzemenin Granülometrisi.

Sarı eğriler kategori 1’i, mavi eğriler kategori 2’yi, yeşil eğriler kategori 3’ü ve açık mavi eğriler kategori 4 numunelerini temsil etmektedir. Kesik kırmızı eğriler şerit donatılı duvar için, kesik mavi eğriler prekast Modüler duvarlar için KGM’de verilen ve kesik turuncu eğriler AASHTO’da verilen geri dolgu malzemesi granülometri eğri aralıklarını göstermektedir.

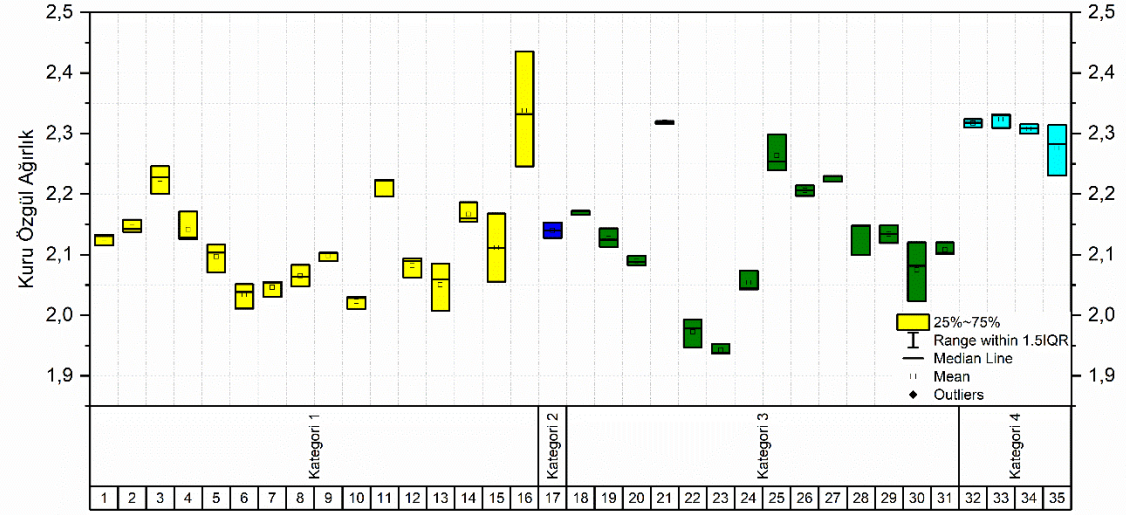
4.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Elde edilen geri dönüşüm beton agregaların özgül ağırlıklarını temin etmek amacıyla yapılmıştır. Deneyler için maksimum dane çapı 19,0mm minimum dane çapı 9,5 mm olan GBA numuneler hazırlanmıştır ve üçer tekrar olmak üzere özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda her bir bölge için üçer adet kuru özgül ağırlık, doymun kuru yüzey özgül ağırlık ve görünen özgül ağırlık ile su emme yüzdeleri hesaplanmıştır. Bulunan deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

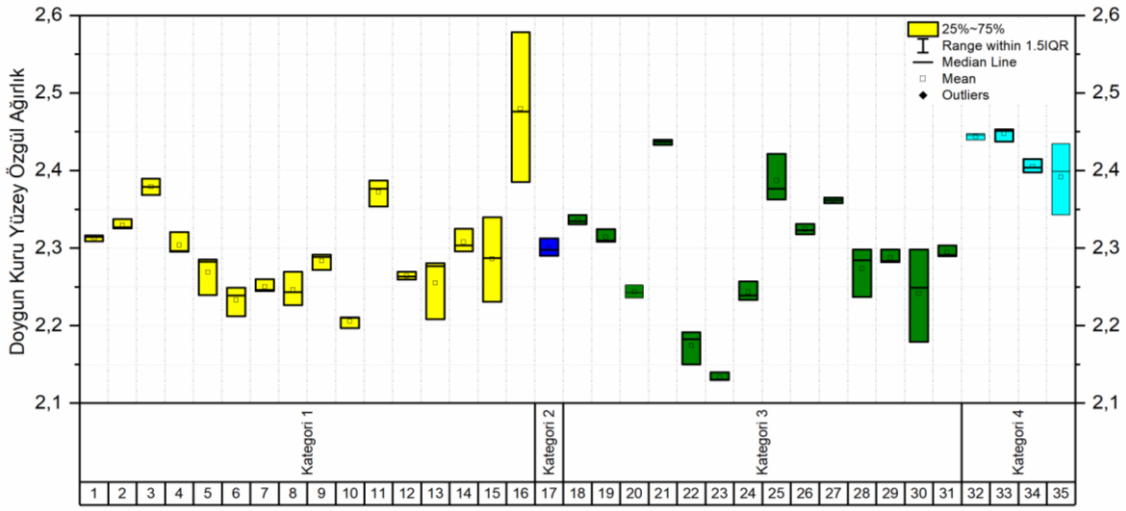
Tablo 4.1. GBA Numunelerinin Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdeleri.

KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	GS (OD)	GS (SSD)	GS (Görünen)	w (%)
Kategori 1	AVRUPA YAKASI	1	2,13	2,31	2,61	8,78
		2	2,15	2,33	2,63	8,58
		3	2,22	2,38	2,63	6,93
		4	2,14	2,30	2,56	7,59
		5	2,10	2,27	2,53	8,21
		6	2,03	2,23	2,54	9,82
		7	2,05	2,25	2,54	9,31
		8	2,07	2,25	2,52	8,78
		9	2,10	2,28	2,58	8,83
		10	2,02	2,21	2,48	9,04
		11	2,21	2,37	2,63	7,16
		12	2,08	2,26	2,55	8,75
	ANADOLU YAKASI	13	2,05	2,26	2,58	9,98
		14	2,17	2,31	2,52	6,51
		15	2,11	2,29	2,56	8,26
		16	2,34	2,48	2,73	6,08
Kategori 2	ANADOLU YAKASI	17	2,14	2,31	2,56	7,70
Kategori 3	AVRUPA YAKASI	18	2,17	2,34	2,60	7,65
		19	2,13	2,31	2,62	8,79
		20	2,09	2,24	2,47	7,36
		21	2,32	2,44	2,63	5,08
		22	1,97	2,17	2,47	10,23
		23	1,94	2,13	2,40	9,82
		24	2,05	2,24	2,53	9,22
		25	2,26	2,39	2,58	5,44
	ANADOLU YAKASI	26	2,21	2,32	2,50	5,35
		27	2,23	2,36	2,57	6,06
		28	2,13	2,27	2,48	6,64
		29	2,13	2,29	2,52	7,20
		30	2,08	2,24	2,49	8,04
		31	2,11	2,29	2,59	8,85
Kategori 4	AVRUPA YAKASI	32	2,32	2,44	2,65	5,47
		33	2,32	2,45	2,65	5,33
	ANADOLU YAKASI	34	2,31	2,41	2,56	4,21
		35	2,28	2,39	2,57	5,09

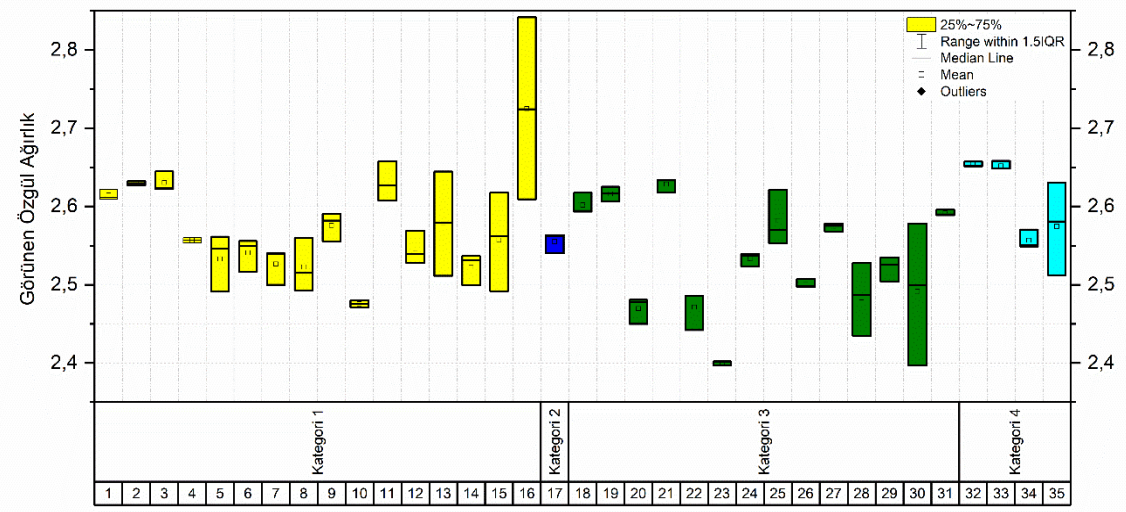
Bölgeler için yapılan özgül ağırlık ve su emme deneyleri için oluşturulan Whisker Grafikleri Şekil 4.2- Şekil 4.5’te verilmiştir.



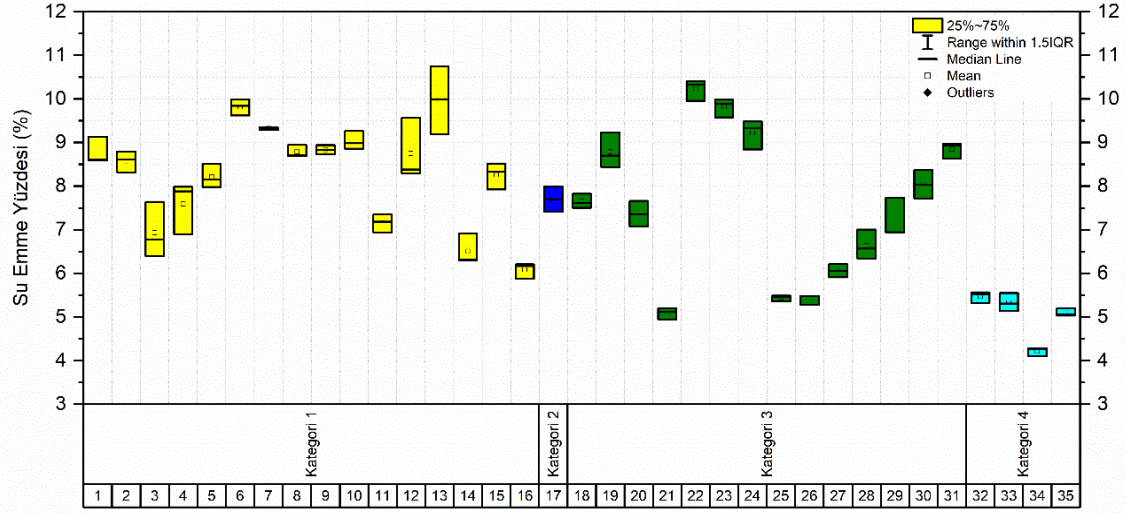
Şekil 4.2: Kuru Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.



Şekil 4.3: Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.



Şekil 4.4: Görünen Özgül Ağırlık Deneyleri için Whisker Grafiği.



Şekil 4.5: Su Emme Yüzdesi Deneyleri için Whisker Grafiği.

Whisker grafikleri yapılan deney sonuçlarının alt limit ve üst limit aralığını ve bu limitler aralığında kalan deney sonuçları ile yapılan deneyler sonuçlarına istinaden çıkan aykırı verileri göstermesi açısından önemli bir veri kaynağıdır.

4.1.3. Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları

Elde edilen geri dönüşüm beton agregaların aşınma oranlarını temin etmek amacıyla yapılmıştır. Deneyler için maksimum dane çapı 4,75 mm (No:4) minimum dane çapı 2,36 mm (No:8) GBA numuneler hazırlanmıştır ve üçer tekrar olmak üzere Los Angeles aşınma yüzdeleri tayini deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda her bir bölge için üçer adet Los Angeles aşınma yüzdeleri hesaplanmıştır. Bulunan deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

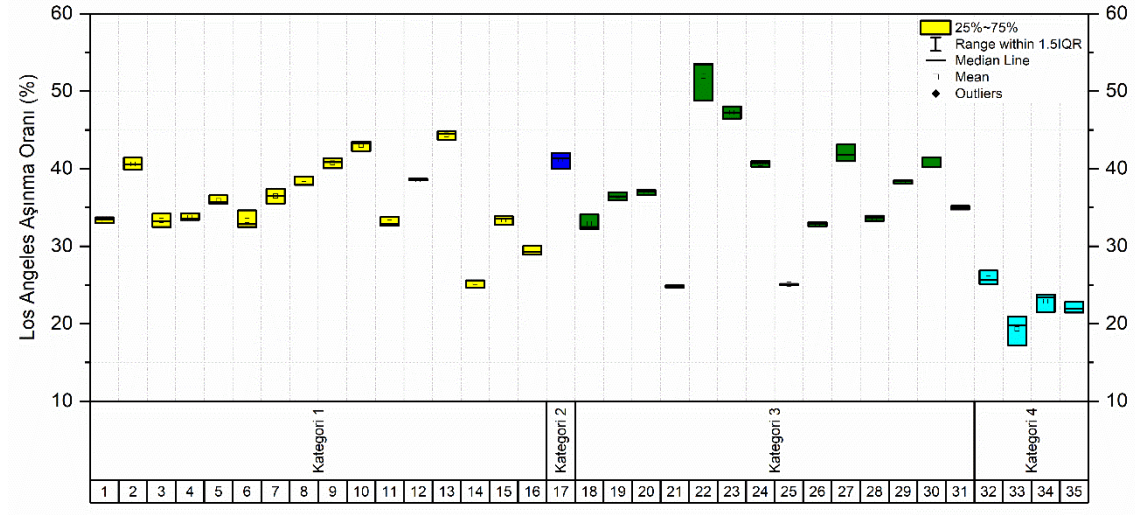
Tablo 4.2: GBA Numunelerinin Los Angeles Aşınma Oranları.

KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	L.A. (%)	KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	L.A. (%)
Kategori 1	AVRUPA YAKASI	1	33,38	Kategori 2	ANADOLU YAKASI	17	41,67
		2	40,62			18	32,92
		3	33,31	Kategori 3	AVRUPA YAKASI	19	36,44
		4	33,74			20	36,98
		5	35,90			21	24,79
		6	33,32			22	51,93
		7	36,46			23	47,25
		8	38,97			24	40,65
		9	41,08			25	25,08
		10	43,02		ANADOLU YAKASI	26	32,84
		11	33,10			27	41,98
		12	38,59			28	33,62
	ANADOLU YAKASI	13	44,35			29	38,32
		14	25,27			30	40,60
		15	33,38			31	34,98
		16	29,42				

Tablo 4.2 (devam):

KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	L.A. (%)	KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	L.A. (%)
Kategori 4	AVRUPA YAKASI	32	25,87	Kategori 4	ANADOLU YAKASI	34	22,89
		33	19,32			35	22,08

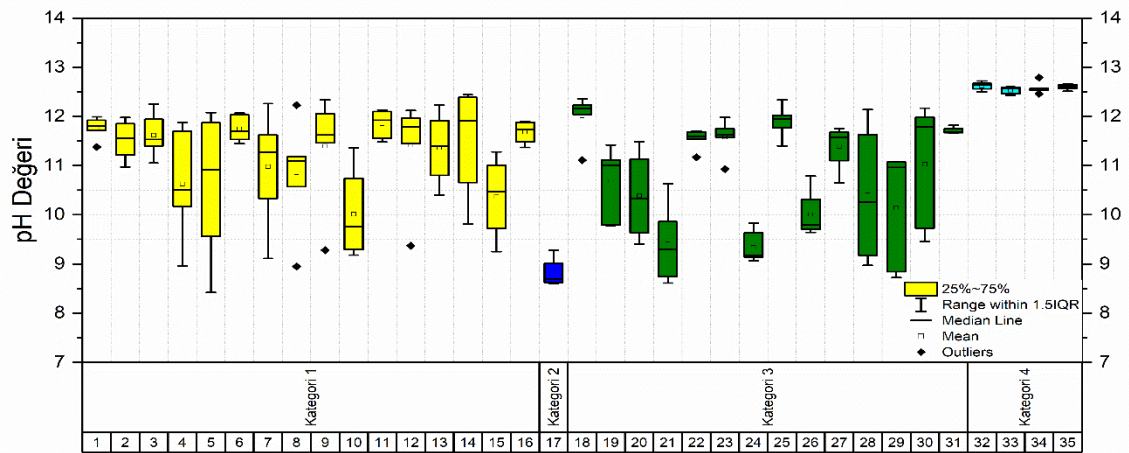
Bölgeler için yapılan Los Angeles aşınma deneyleri için oluşturulan Whisker Grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6: Los Angeles Aşınma Oranı Tayini Deneyleri için Whisker Grafiği.

4.1.4. pH Analiz Deney Sonuçları

Elde edilen geri dönüşüm beton agregaların pH değerlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deneyler için GBA numunelerinin 2,0mm çaplı elekten elenerek altta kalan 50 gr. ince malzeme hazırlanmış ve beşer tekrar olmak üzere pH analizi deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda her bir bölge için beşer adet pH değeri bulunmuştur. Bulunan deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.3’te verilmiştir. Bölgeler için yapılan pH analiz deneyleri için oluşturulan Whisker Grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7: pH Analiz Deneyleri için Whisker Grafiği.

Tablo 4.3: GBA Numunelerinin pH Değerleri.

KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	pH		KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	pH
Kategori 1	AVRUPA YAKASI	1	11,77		Kategori 3	AVRUPA YAKASI	18	12,01
		2	11,52				19	11,13
		3	11,62				20	10,39
		4	10,95				21	9,16
		5	11,45				22	11,54
		6	11,75				23	11,58
		7	11,35				24	9,34
		8	11,23				25	11,90
		9	11,82			ANADOLU YAKASI	26	10,01
		10	10,40				27	11,39
		11	11,85				28	10,40
		12	11,82				29	11,04
	ANADOLU YAKASI	13	11,36				30	11,98
		14	12,09				31	11,71
		15	10,74		Kategori 4	AVRUPA YAKASI	32	12,62
		16	11,68				33	12,53
Kategori 2	ANADOLU YAKASI	17	8,82			ANADOLU YAKASI	34	12,58
							35	12,60

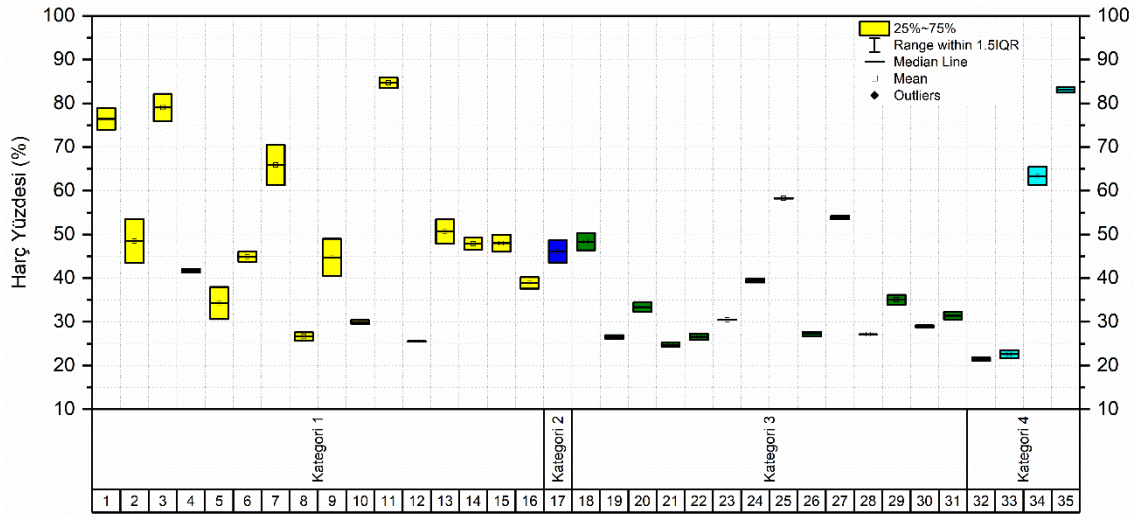
4.1.5. Harç Yüzdesi Bulma Deney Sonuçları

Elde edilen geri dönüşüm beton agregaların harç yüzdelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deneyler için maksimum dane boyutu 19,0 mm minimum dane boyutu 12,5 mm olan yaklaşık 500,0 gr. numune hazırlanmış ve ikişer tekrar olmak üzere pH analizi deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda her bir bölge için iki adet harç yüzdesi değeri bulunmuştur. Bulunan deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: GBA Numunelerinin Harç Yüzdesi Değerleri.

KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	Harç Yüzdesi		KATEGORİ	BÖLGE	Numune No	Harç Yüzdesi		
Kategori 1	AVRUPA YAKASI	1	76,43		Kategori 3	AVRUPA YAKASI	18	48,33		
		2	48,49				19	26,55		
		3	79,02				20	33,37		
		4	41,72				21	24,74		
		5	34,30				22	26,57		
		6	44,93				23	30,47		
		7	65,87				24	39,49		
		8	26,68				25	58,28		
		9	44,75			ANADOLU YAKASI	26	27,21		
		10	29,93				27	53,89		
		11	84,67				28	27,16		
		12	25,57				29	35,04		
	ANADOLU YAKASI	13	50,61				30	28,97		
		14	47,89				31	31,39		
		15	47,99		Kategori 4	AVRUPA YAKASI	32	21,46		
		16	38,91				33	22,61		
Kategori 2	ANADOLU YAKASI	17	46,13			ANADOLU YAKASI	34	63,34		
							35	83,12		

Bölgeler için yapılan harç yüzdeleri deneyleri için oluşturulan Whisker Grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Harç Yüzdesi Tayin Deneyleri için Whisker Grafiği.

4.2. GEOGRİDLER için LABORATUVARDA YAPILAN DENEY SONUÇLARI

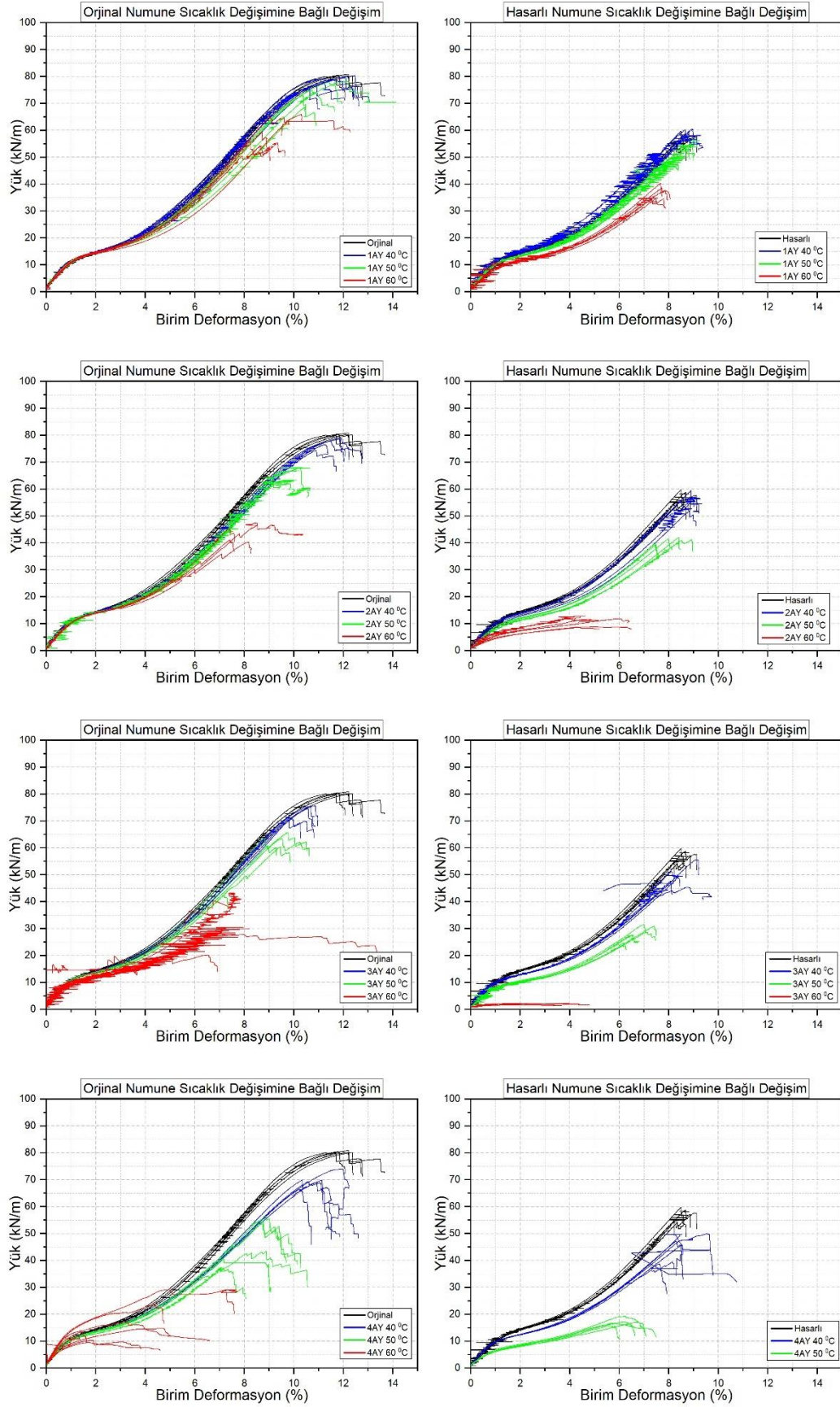
Arazide uygulamaya maruz kalan geogridler ve orijinal geogridler için laboratuvarda deneyler yapılmıştır. Bu bölümde arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı geogridler ile orijinal geogridler için yapılan çekme deneyleri ve FT-IR analiz sonuçları verilmiştir.

4.2.1. Geogridlerin Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları

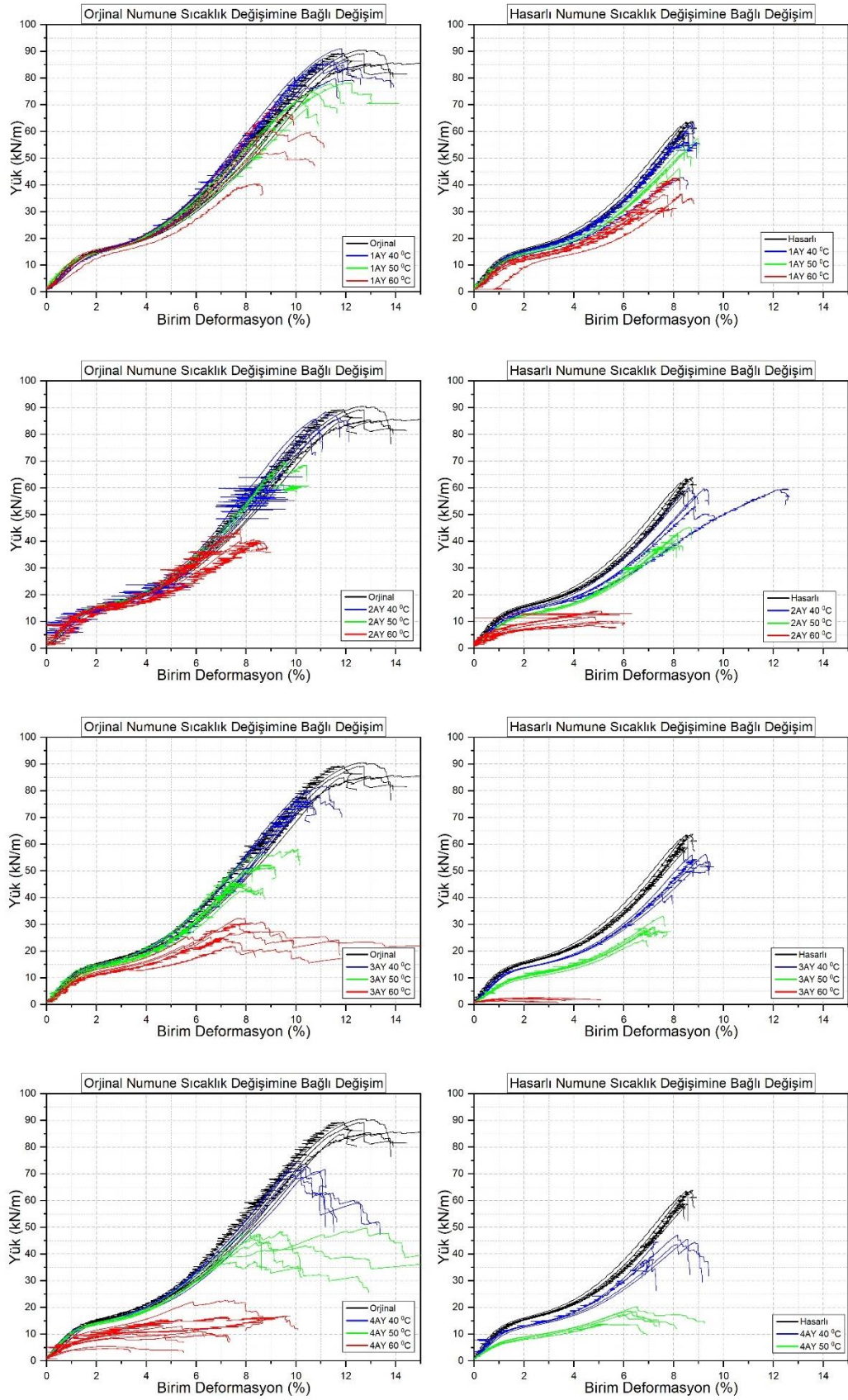
Arazide uygulamaya maruz kalan geogridler hasarlı diğer numuneler ise orijinal numune olarak adlandırılmıştır. Deneylerde kullanılan geogrid çift eksenli olduğu için atkı ve çözgü yönlerinde çekme deneyleri uygulanmıştır. Hasarlı ve orijinal geogridler herhangi bir kür ortamına maruz kalmadan önce her iki ekseninde beşer tekrar olmak üzere çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra hasarlı ve orijinal geogridler farklı sıcaklıklarda ve pH ortamında 4 ay süre ile kürlenmiştir. Her bir ay sonunda birer set geogrid kür tanklarından çıkartılarak her iki ekseninde beşer tekrar olmak üzere çekme deneyleri yapılmıştır.

60 °C’de pH değeri 12 olan çözelti de bekleyen hasarlı geogrid numuneleri kür tankları içerisinde mukavemetlerini kaybetmiştir. Bu numunelere çekme deneyleri yapılamamıştır. Yapılan çekme deneylerine ait %2-%4-%8 ve %10 birim deformasyonlar için ve geogridlerin koptuğu andaki çekme mukavemet değerleri EK A bölümünde verilmiştir. Çözgü yönü için yapılmış çekme deneyleri grafikleri Şekil 4.9’da atkı yönünde yapılmış çekme deneyleri grafikleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.9: Çözgü Yönünde Yapılmış Geogrid Çekme Deney Grafikleri.



Şekil 4.10:Atkı Yönünde Yapılmış Geogrid Çekme Deney Grafikleri.

Orijinal ve arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı PVC kaplı PET lifli geogridlere ait çözgü (MD) yönünde yapılan deneylere ait maksimum çekme mukavemeti (F_m), maksimum yükteki uzama (A_m) ve ölçülebilen %2 - %5 ve %8 uzamadaki çekme mukavemetlerine ait aritmetik ortalama deney sonuçları sırasıyla Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.5: Çözgü Yönünde Yapılmış Orijinal Geogrid Çekme Deney Sonuçları.

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m (kN/m)</i>	<i>A_m (%)</i>	<i>% 2’deki F (kN/m)</i>	<i>% 5’deki F (kN/m)</i>	<i>% 8’deki F (kN/m)</i>
Orijinal Numune (O.N.)	80,3	11,9	14,3	28,2	55,8
O.N. 1 Ay 40 °C	78,4	11,5	14,7	28,2	55,3
O.N. 1 Ay 50 °C	74,4	11,0	14,3	26,3	51,1
O.N. 1 Ay 60 °C	60,1	9,0	14,5	25,8	51,3
O.N. 2 Ay 40 °C	77,2	11,5	14,3	26,8	51,6
O.N. 2 Ay 50 °C	68,5	10,1	14,1	25,6	50,5
O.N. 2 Ay 60 °C	42,8	7,8	13,9	24,9	41,5
O.N. 3 Ay 40 °C	73,5	10,3	13,9	27,2	54,0
O.N. 3 Ay 50 °C	59,1	8,9	13,6	26,5	52,1
O.N. 3 Ay 60 °C	26,6	4,9	12,0	20,3	29,8
O.N. 4 Ay 40 °C	69,7	10,8	13,5	25,2	49,0
O.N. 4 Ay 50 °C	47,8	8,3	13,4	24,9	42,5
O.N. 4 Ay 60 °C	14,2	3,1	13,7	17,5	-

Tablo 4.6: Çözgü Yönünde Yapılmış Hasarlı Geogrid Çekme Deney Sonuçları.

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m (kN/m)</i>	<i>A_m (%)</i>	<i>% 2’deki F (kN/m)</i>	<i>% 5’deki F (kN/m)</i>	<i>% 8’deki F (kN/m)</i>
Hasarlı Numune (H.N)	57,0	8,6	14,4	26,5	52,6
H.N. 1 Ay 40 °C	58,0	8,4	14,4	27,2	51,4
H.N. 1 Ay 50 °C	52,3	8,6	13,4	24,7	47,2
H.N. 1 Ay 60 °C	37,2	7,6	11,3	20,6	36,7
H.N. 2 Ay 40 °C	55,1	8,6	13,5	24,9	48,5
H.N. 2 Ay 50 °C	40,8	8,1	11,7	21,2	39,3
H.N. 2 Ay 60 °C	10,7	4,9	7,1	9,7	-
H.N. 3 Ay 40 °C	50,0	8,5	12,8	23,8	46,5
H.N. 3 Ay 50 °C	28,6	6,8	10,2	19,0	-
H.N. 3 Ay 60 °C	2	2,1	1,9	-	-

Tablo 4.6 (devam):

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m</i> (kN/m)	<i>A_m</i> (%)	<i>% 2'deki F</i> (kN/m)	<i>% 5'deki F</i> (kN/m)	<i>% 8'deki F</i> (kN/m)
H.N. 4 Ay 40 °C	46,4	8,5	12,5	23,1	43,0
H.N. 4 Ay 50 °C	17,1	6,1	8,4	14,7	-
H.N. 4 Ay 60 °C	-	-	-	-	-

Orijinal ve arazide uygulamaya maruz kalan hasarlı PVC kaplı PET lifli geogridlere ait atkı (CMD) yönünde yapılan deneylere ait maksimum çekme mukavemeti (F_m), maksimum yükteki uzama (A_m) ve ölçülebilen %2 - %5 ve %8 uzamadaki çekme mukavemetlerine ait aritmetik ortalama deney sonuçları Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.7: Atkı Yönünde Yapılmış Orijinal Geogrid Çekme Deney Sonuçları.

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m</i> (kN/m)	<i>A_m</i> (%)	<i>% 2'deki F</i> (kN/m)	<i>% 5'deki F</i> (kN/m)	<i>% 8'deki F</i> (kN/m)
Orijinal Numune (O.N.)	88,0	12,8	14,7	24,7	49,8
O.N. 1 Ay 40 °C	86,1	11,2	14,8	26,8	55,6
O.N. 1 Ay 50 °C	80,9	10,6	14,8	26,5	54,9
O.N. 1 Ay 60 °C	54,1	8,9	14,5	24,8	50,7
O.N. 2 Ay 40 °C	84,5	11,0	14,2	24,9	53,7
O.N. 2 Ay 50 °C	68,8	9,9	15,1	26,4	53,1
O.N. 2 Ay 60 °C	42,0	8,4	13,7	22,3	37,8
O.N. 3 Ay 40 °C	79,2	10,7	14,2	25,3	53,0
O.N. 3 Ay 50 °C	50,2	8,6	13,9	24,5	48,5
O.N. 3 Ay 60 °C	27,2	7,7	11,8	18,6	25,3
O.N. 4 Ay 40 °C	72,1	10,4	14,2	25,0	50,0
O.N. 4 Ay 50 °C	45,7	9,3	13,9	23,8	42,3
O.N. 4 Ay 60 °C	12,2	5,6	8,1	10,9	16,1

Tablo 4.8: Atkı Yönünde Yapılmış Hasarlı Geogrid Çekme Deney Sonuçları.

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m</i> (kN/m)	<i>A_m</i> (%)	<i>% 2'deki F</i> (kN/m)	<i>% 5'deki F</i> (kN/m)	<i>% 8'deki F</i> (kN/m)
Hasarlı Numune (H.N)	61,3	8,5	15,5	27,2	56,2
H.N. 1 Ay 40 °C	58,6	8,7	14,8	25,7	52,3
H.N. 1 Ay 50 °C	51,3	8,4	14,2	24,0	47,9
H.N. 1 Ay 60 °C	35,7	7,8	11,4	19,6	35,6

Tablo 4.8 (devam):

<i>Numune Adı</i>	<i>F_m</i> (kN/m)	<i>A_m</i> (%)	<i>% 2'deki F</i> (kN/m)	<i>% 5'deki F</i> (kN/m)	<i>% 8'deki F</i> (kN/m)
H.N. 2 Ay 40 °C	57,9	25,4	14,0	23,6	46,7
H.N. 2 Ay 50 °C	41,5	8,2	12,3	20,7	39,4
H.N. 2 Ay 60 °C	10,7	5,2	7,4	9,9	-
H.N. 3 Ay 40 °C	52,4	8,7	13,6	23,0	46,0
H.N. 3 Ay 50 °C	28,4	7,2	10,4	17,7	-
H.N. 3 Ay 60 °C	1,9	1,8	1,9	1,8	-
H.N. 4 Ay 40 °C	43,9	8,0	12,9	22,5	43,6
H.N. 4 Ay 50 °C	17,7	6,1	8,6	14,7	15,3
H.N. 4 Ay 60 °C	-	-	-	-	-

4.2.2. Geogridlerin FT-IR Analiz Deney Sonuçları

Alkali ortamda 4 ay süre ile kürlenene geogridlerde olası kimyasal değişimleri belirleyebilmek amacıyla yapılan deneylerdir. Orijinal numunenin referans olarak alındığı ve kür tanklarında bekleyen orijinal geogrid numunelere ait FT-IR analiz karşılaştırması ile elde edilen benzerlik oranları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.9: Orijinal Numunenin Referans alındığı FT-IR Analiz Sonuçları.

Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)	Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)
Orijinal Numune ile Hasarlı Numune	99	Orijinal Numune ile Orijinal 2 Ay 50°C'de kürlenene Numune	96
Orijinal Numune ile Orijinal 1 Ay 40°C'de kürlenene Numune	98	Orijinal Numune ile Orijinal 2 Ay 60°C'de kürlenene Numune	97
Orijinal Numune ile Orijinal 1 Ay 50°C'de kürlenene Numune	98	Orijinal Numune ile Orijinal 3 Ay 40°C'de kürlenene Numune	97
Orijinal Numune ile Orijinal 1 Ay 60°C'de kürlenene Numune	97	Orijinal Numune ile Orijinal 3 Ay 50°C'de kürlenene Numune	98
Orijinal Numune ile Orijinal 2 Ay 40°C'de kürlenene Numune	95	Orijinal Numune ile Orijinal 3 Ay 60°C'de kürlenene Numune	92

Tablo 4.9 (devam):

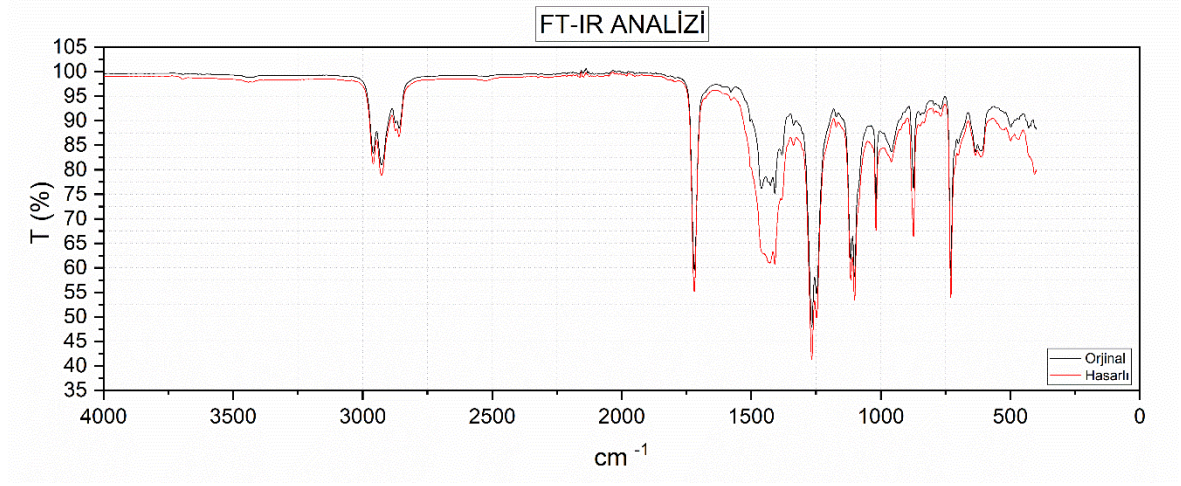
Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)	Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)
Orijinal Numune ile Orijinal 4 Ay 40°C'de kürlenmiş Numune	99	Orijinal Numune ile Orijinal 4 Ay 60°C'de kürlenmiş Numune	96
Orijinal Numune ile Orijinal 4 Ay 50°C'de kürlenmiş Numune	95		

Hasarlı numunenin referans olarak alındığı ve kür tanklarında bekleyen hasarlı geogrid numunelere ait FT-IR analiz karşılaştırması ile elde edilen benzerlik oranları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Hasarlı Numunenin Referans alındığı FT-IR Analiz Sonuçları.

Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)	Karşılaştırılan Ürünler	Benzerlik Oranı (%)
Hasarlı Numune ile Hasarlı 1 Ay 40°C'de kürlenmiş Numune	96	Hasarlı Numune ile Hasarlı 3 Ay 40°C'de kürlenmiş Numune	99
Hasarlı Numune ile Hasarlı 1 Ay 50°C'de kürlenmiş Numune	97	Hasarlı Numune ile Hasarlı 3 Ay 50°C'de kürlenmiş Numune	98
Hasarlı Numune ile Hasarlı 1 Ay 60°C'de kürlenmiş Numune	98	Hasarlı Numune ile Hasarlı 3 Ay 60°C'de kürlenmiş Numune	90
Hasarlı Numune ile Hasarlı 2 Ay 40°C'de kürlenmiş Numune	99	Hasarlı Numune ile Hasarlı 4 Ay 40°C'de kürlenmiş Numune	99
Hasarlı Numune ile Hasarlı 2 Ay 50°C'de kürlenmiş Numune	99	Hasarlı Numune ile Hasarlı 4 Ay 50°C'de kürlenmiş Numune	97
Hasarlı Numune ile Hasarlı 2 Ay 60°C'de kürlenmiş Numune	97	Hasarlı Numune ile Hasarlı 4 Ay 60°C'de kürlenmiş Numune	91

Orijinal geogrid numunesi ile hasarlı geogrid numunesinin FT-IR analiz deneyi ile elde edilen karşılaştırma eğrileri Şekil 4.11'de verilmiştir. Bütün karşılaştırma eğrileri EK B'de verilmiştir.



Şekil 4.11: Orijinal Numune ile Hasarlı Numunenin FT-IR Analiz Karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA

Bu bölümde ilk olarak geri dönüşüm beton agregaları için bulunan sonuçlar ve güncel literatürdeki veriler arasındaki ilişkiden bahsedilecektir. Daha sonra geogridlere yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin literatürdeki veriler dikkate alınarak yorumlacaktır.

5.1. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGALAR için DEĞERLENDİRME

Geri dönüşüm beton agregalar ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu çalışmaların genellikle fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirildiği görülmektedir. Geoteknik konulu makalelerde genellikle incelenen özelliklerin CBR, Elek Analizi, Los Angeles Aşınma, Özgül Ağırlık ve Su Emme deneyleri olduğu görülmektedir. Ancak geri dönüşüm malzemelerin kullanılması için üç ana başlıkta araştırmalar yapılması şarttır:

- Malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri,
- Malzemelerin kimyasal özellikleri,
- Malzemelerin beraber kullanılacağı diğer malzemelerle beraber kısa ve uzun dönem uyumu.

Geri dönüşüm beton agregaları ile ilgili çalışmalarda genellikle kullanılabilirliği araştırılmış ve malzemelere agrega deneyleri uygulanarak GBA'ların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarla beraber agregaların sülfat içeriği, ortam pH değerini değiştirmesi ve olası yer altı suyuna karışabilecek asbest malzemeler belirlenmeye çalışılmıştır.

Günümüzde kentsel dönüşüm projesi kapsamında 2000 yılı öncesi yapılar yıkılmakta ve çok büyük miktarda İYA oluşmaktadır. Bu tez kapsamında incelenmiş olan İstanbul ili İYA'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve PVC kaplı PET lifli geogridler ile kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çıkan sonuçlar aşağıda literatürle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada İstanbul ili içerisinde 4 farklı kategoride İYA'larını temsil eden 35 farklı bölgeden numune temini gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan deneyler bu numuneler üzerinde yapılmıştır. Her bir kategori grubunda bulunan ve farklı yapı türlerini temsil eden

İYA'ların kırıldıktan sonra çeneli kırıcıdan geçirilerek elde edilen GBA numuneleri için Elek Analizi, Su Emme ve Özgöl Ağırlık, Los Angeles Aşınma, Harç Yüzdesi Bulma, pH Değeri Bulma ve Kıvam Limitleri deneyleri yapılmıştır. Böylece İstanbul ilini temsil edebilecek nicelikte bir laboratuvar çalışması yürütülmüştür. İstanbul İYA ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Özellikle İYA'larının kırım süreci ve çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra İYA'larının çoğunluğu tuz ve midye kabuğundan ayrıştırılmamış, deniz kumunun kullanıldığı, nervürsüz ve yetersiz donatı kullanıldığı ve harç miktarlarının da yetersiz olduğu görülmüştür.
- Üretilen geri dönüşüm beton agregaların pH deney sonuçları dikkate alındığında kullanıldığı bölgelerde sıvı ile temas etmesi sonucunda ortamın pH değerini artıracığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en az pH değeri 8,82 ve en çok pH değeri 12,60 olarak ölçülmüştür. pH değeri 8,82 olarak en az çıkan Kategori 2 olan bölgede numunenin senelerdir orada bekliyor olması ve doğa olayları sonucunda karbonatlaşma sürecinin tamamlanmasına yakın olduğu düşünülmektedir. Kategori 1 ve Kategori 3'te de ölçülen yüksek pH değerleri ortamı alkali duruma getirebileceğini göstermektedir. Kategori 4'te ise en yüksek pH değerleri elde edilmiştir. Beton laboratuvarı atıklarını temsil eden bu kategoride taze betondan elde edilen numunelerin pH değeri ölçüldüğü için yüksek değer olması beklenen bir sonuçtur. Bu sonuçlar İYA'ların geoteknik uygulamalarda kullanılması durumunda alkali ortamın oluşturabileceği problemlerin göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.
- Üretilen geri dönüşüm beton agregalarının özgül ağırlık deneyleri dikkate alındığında kuru özgül ağırlık deney sonuçlarının 1,94 -2,23 aralığında değiştiği bulunmuştur. Doğal agregaların kuru özgül ağırlığı 2,8'e kadar çıkmaktadır. Yıkılan yapılardan elde edilen geri dönüşüm beton agregaların yüzeylerinin poroz olması özgül ağırlıklarının düşük olmasına neden olmuştur. Bu yorum doygun kuru yüzey özgül ağırlık ve görünen özgül ağırlık deney sonuçları için de geçerlidir.
- Üretilen geri dönüşüm beton agregalarının su emme değerleri %5,08-%10,23 aralığında değişen değerler olduğu bulunmuştur. Yıkılan yapılardan elde edilen geri dönüşüm beton agregaların yüzeylerinin poroz olması su emme yüzdeleri değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu malzemelerin geri dolgu malzemesi olarak kullanılması

durumunda su emme değerlerinin kompaksiyon su muhtevası değerleri hesaplanırken dikkate alınmalıdır.

- Üretilen geri dönüşüm beton agregalarının Los Angeles Aşınma oranları %24,79-%51,93 aralığında değişen değerler olduğu bulunmuştur. KTŞ'de bulunan uygulamalarda kaba agregası için Los Angeles aşınma oranları; taş dolgu ve temel imalatında maksimum %35, kagir inşaat işlerinde, bitümlü sathi kaplamalarda ve bitümlü temellerde maksimum %30, beton üretiminde maksimum %35 ve alt temel malzemesinde maksimum %45 vb. olması gerektiği belirtilmiştir. Geri dolgu malzemeleri için her hangi bir Los Angeles Aşınma değeri verilmemiştir. Dolayısıyla, GBA numunelerinin kullanılacağı bölge ve amacına göre temin edilen İYA malzemelerin aşınma oranları dikkatli tayin edilmeli ve ona göre kullanılmalıdır. Deney sonuçları, temin edilecek İYA numunelerin nereden geldiği, hangi amaçla kullanıldığı ve kullanıldığı sürelerle göre aşınma oranlarının çok değişken olacağını göstermiştir.
- Yapılan deneyler sonucu İYA malzemelerinin temin edilen yapılarında yıkanmamış deniz kumu kullanıldığı düşünülmektedir. Dolayısıyla olası alüvyon malzemenin de beton içerisinde kullanılıp kullanılmadığını anlamak üzere Kıvam Limitleri deneylerinden Likit Limit deneyleri yapılmıştır. Her bir kategoride bulunan bölgeler için yapılan Kıvam Limitleri deneyleri sonucunda numunelerin plastik özellik göstermediği (NP) görülmüştür.
- Üretilen geri dönüşüm beton agregaların yüzeyindeki harç miktarını bulmak için harç yüzdesi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları %21,5 ile %84,7 arasında değişmektedir. Bu deney uygulaması deney sonuçlarını yorumlama açısından zordur. Deneylerde kullanılan HCl malzemesi geri dönüşüm beton agregası yüzeyinde bulunan harç ile kireç taşı, dolomit, kalsit gibi minerallerden oluşan agregaları da eritmektedir. Dolayısıyla burada bir yüzde belirleyip o limitin üzerine çıkılması durumunda devam etmemesine veya etse dahi aranan sonucu vermeyeceği bilinmesi gerekmektedir. Bu deneyin HCl'nin eritemediği granit, andezit, bazalt gibi agregalar ile üretilen betonlar ve bu betonlar üzerinden elde edilen GBA'lar üzerinde yapılan deneylerde daha net sonuç verecektir.
- GBA'nın İstanbul'da dolgu agregası olarak yeniden kullanımı ancak ilgili yönetmeliklere uygun olması halinde mümkün olabilir. Türkiye'de ulaşım ağlarından sorumlu en önemli devlet kurumlarından biri Karayolları Genel Müdürlüğü'dür ve bu

nedenle ÷lkedeki ilgili şartnamelerde bu kurumun yönetmelikleri hakimdir. Bu yönetmelikte (KTŞ, 2013), dolgu malzemesinin gradasyonu önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. Bu gradasyonlar "yüksek çekme dayanımlı plastik şerit" ile inşa edilen duvarlar için de geçerlidir, dolayısıyla aynı granölometri geosentetik donatılı duvarlar için de geçerlidir. KTŞ (2013) ayrıca malzemelerin istinat duvarlarında dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi için C_u değeriinin 5'ten büyük, Plastisite İndeksi değeriinin ise 6'dan küçük olmasını şart koşmaktadır. Bu çalışmadaki tüm kategoriler bu kriterlere uygundur. Bununla birlikte, bazı şartnameler pH değeriini alt ve üst sınırlarla sınırlandırmakta ve agreganın pH'ı izin verilen aralıklarda değilse, dolgu malzemesi ve donatının uyumluluğu için ek uygun araştırmaların yapılması gerektiğini söylemektedir. Örneğin, Alman Şartnamesi 4 ile 9 arasında bir pH aralığı gerektirirken, AASHTO 5 ile 10 değeriini arasında olması gerektiğini söylemiştir. Bu malzemelerin şerit donatılı duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda gradasyon ile birlikte muhakkak pH değeriini de belirlenmesi gerekmektedir. Benzer şekilde yer altı borularında yatak malzemesi olarak kullanımında da dikkat edilmesi gerekmektedir.

5.2. PVC KAPLI PET GEOGRİDLER için DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması için toplanan İYA malzemelerinden elde edilen GBA numunelerinin genelinin ortam pH değeriini 10-12 aralığında değıştirebileceğı bulunmuştur. PVC kaplı PET lifli geogridler bu pH ortamından etkilenip etkilenmediğini anlamak için orijinal geogridler ile arazi uygulamasına maruz kalan hasarlı geogridler alkali ortamda farklı sıcaklıklarda kürlenerek çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır.

Bu tezde, FHWA'da "Geosentetikler ve epoksi kaplı güçlendirmeler üzerinde yapılan son çalışmalar sonucunda, maksimum dane çapının (3/4") 19,0 mm'e düşür÷lmesi tavsiye edilmektedir" ibaresi dikkate alınarak arazi deneyleri için maksimum dane çapı 19,0 mm olan dolgu malzemesi üretilmiştir. Arazide üretilen bu dolgu malzemesi arasında sıkıştırılarak hasarlı PVC kaplı PET geogridler elde edilmiştir. Bu tez çalışması için FHWA'da önerilen bir malzeme boyutunun PET geogridlerle uygulamada kullanılması ve bu malzemelerin alkali ortamda bekletilerek çekme mukavemeti deney sonuçları literatüre özgün bir veri kaynağı olacaktır.

Hasarlı ve orijinal geogrid numunelerin sıcaklık ve yüksek pH etkisine maruz bırakılarak kürlenene ve bu malzemelerin çekme deney sonuçları Bölüm 4'te verilmiştir.

- Orijinal numunelerde çekme mukavemeti deneyleri 4 ay süre ile 60°C'de bekletilen numunelerde yapılmasına rağmen uygulamaya maruz kalan numunelerde bu deney yapılamamıştır. Uygulamada hasarlanan numunelerin kimyasal ortamdan daha çok etkilendiği görülmektedir. Ancak orijinal numunelerde dahi deney süresi ve sıcaklığı arttıkça çekme mukavemetlerinde önemli seviyede düşüşler olduğu görülmektedir. Ancak bu etkinin yüksek sıcaklık nedeniyle mi yoksa pH ortamı nedeniyle mi oluştuğu konusunda net bir ayırım yapılamamaktadır. Deneyler planlanırken, PVC malzemesinin erime noktasının 150°C-220°C arasında değiştiği göz önüne alınarak bu deney sıcaklıkları seçilmiştir. Bu nedenle bu seviyede olan azalmaların nedeni daha sonraki çalışma konusu olarak belirlenmiştir.
- Arazi uygulamasına maruz kalan PVC kaplı PET lifli geogridin çekme mukavemeti, çözgü ve atkı yönünde yapılan çekme mukavemeti deneyleri sonrası yaklaşık %25 mukavemet kaybı meydana gelmiştir. Bu mukavemet kaybı Tablo 2.2'de verilen azaltma faktör sınırları arasındadır.
- Hem orijinal numuneler hem de arazi uygulamasına maruz kalmış hasarlı geogridlerin her iki yönde de sıcaklık ve pH ortamının etkisiyle mukavemet kaybı meydana gelmiştir.
- Sıcaklık ve pH etkisine maruz bırakılan ve deney yapılan bütün numunelerin gerilme-yük grafik eğrileri benzerlik göstermiştir.
- Sıcaklık ve pH ortamına maruz bırakılmayan orijinal ve hasarlı numunelerin %2 birim deformasyonda çekme değerleri değişmemiştir. %5 ve %8 birim deformasyonda çekme değerleri hasarlı numunenin orijinal numune göre %6 oranında azalmıştır.
- Sıcaklık ve pH ortamında 4 ay kürlenene orijinal numunelerin %2 birim deformasyona karşılık gelen çekme değerlerinde dikkate değer değişim olmamıştır. %5 ve %8 birim deformasyona denk gelen çekme değerleri %1 ile %12 arasında değişiklik göstermiştir.
- Orijinal numunelerin 40°C sıcaklık ve pH ortamında 1 ay, 2 ay, 3 Ay ve 4 ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %2, %4, %8 ve %13 olmuştur. Orijinal numunelerin 50°C sıcaklık ve pH ortamında 1 ay, 2 ay, 3 Ay ve 4 ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %7, %14, %26 ve %40 olmuştur. Orijinal

numunelerin 60°C sıcaklık ve pH ortamında 1 ay, 2 ay, 3 Ay ve 4 ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %25, %47, %66 ve %82 olmuştur.

- pH ortamında 40°C'de 1 ay süreyle kürlenmiş hasarlı numunelerin %2 ve %5 birim deformasyona karşılık gelen çekme değerleri değişmezken, 2 ay kürlenmişlerde %6, 3 ay kürlenmişlerde %11 ve 4 ay kürlenmişlerde %13'lük mukavemet kaybı olmuştur. % 8 birim deformasyona karşılık gelen çekme değerleri 1. ay %2, 2. ay %8, 3. ay %12 ve 4. ay %18 mukavemet kaybı olmuştur.
- pH ortamında 50°C'de 1 ay süreyle kürlenmiş hasarlı numunelerin %2 ve % 5 birim deformasyona karşılık gelen çekme değerleri %7, 2 ay kürlenmiş numunelerde %19 ve 3 ay kürlenmiş numunelerde %29 ve 4 ay kürlenmiş numunelerde %42 mukavemet kaybı olmuştur. % 8 birim deformasyona karşılık gelen çekme değerleri 1. ay %10, 2. ay %25 mukavemet kaybı olurken 3. ve 4. ay deneylerinde bu değer okunamamıştır.
- pH ortamında 60°C'de 1 ay süreyle kürlenmiş hasarlı numunelerin %2, %5 ve %8 birim deformasyonlarına karşı denk gelen mukavemet kayıp oranları sırasıyla %21, %22 ve %30'dur. 2 ay süreyle kürlenmiş hasarlı numunelerin %2 ve %5 birim deformasyonlarına karşı denk gelen mukavemet kayıp oranları sırasıyla %51 ve %63 olurken bu sürede % 8'lik birim deformasyona gelen çekme değeri okunamamıştır. 3 ay süreyle kürlenmiş hasarlı numunelerin %2 birim deformasyonuna karşılık gelen mukavemet kayıp oranı %87 olurken bu sürede %5 ve % 8'lik birim deformasyonlarına gelen çekme değerleri okunamamıştır.
- pH ortamında 4 ay 60°C'de kürlenmiş numuneler kür tankları içerisinde çıkarıldığında malzemenin çok sayıda bölgesinde yırtılmalar ve kopmalar olduğu için çekme deneyleri yapılamamıştır.
- Hasarlı numunelerin 40°C sıcaklık ve pH ortamında 1 Ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %2, %4, %12 ve %18 olmuştur.
- Hasarlı numunelerin 50°C sıcaklık ve pH ortamında 1 Ay, 2 Ay, 3 Ay ve 4 Ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %8, %28, %50 ve %70 olmuştur.
- Hasarlı numunelerin 60°C sıcaklık ve pH ortamında 1 Ay, 2 Ay ve 3 Ay kürlenmesi sonucu çekme mukavemeti kayıpları sırasıyla %34, %81 ve %96 iken 4 aylık numunelere çekme deneyi yapılamamıştır.
- Anlaşılabileceği üzere özellikle ortam sıcaklığı arttıkça çekme mukavemeti değerlerinde önemli kayıplar ölçülmüştür. Ancak bu sıcaklık seviyelerindeki (50°C ve 60°C)

mukavemet azalmaları PVC malzemesinin erimesi sonucunda çok daha büyük miktarda PET liflerin pH ortamından ve sıcaklıktan etkilenmiş olma olasılığını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle yapılması planlanmış olan Arrhenius modelin pH ortamının uzun dönem etkisine yönelik modelleme çalışması yanıltıcı olabileceği için yapılmamıştır. Daha sonraki çalışmalarda aynı numunelerin saf suda, aynı sıcaklıklarda ve aynı kür sürelerinde aynı çekme deneyleri yapıldıktan sonra Arrhenius modelinin oluşturulması planlanmaktadır. Böylelikle pH ve sıcaklık etkileri ayrı ayrı değerlendirilebilecektir.

- 60°C’de yapılan çekme mukavemeti deneyleri yüksek pH ortamında PVC kaplı hasar görmüş veya görmemiş PET liflerinin hasar görme potansiyelini ortaya çıkarmıştır. Ancak bu deney ortamının olabilecek en olumsuz ortamı temsil ettiği kabul edilmelidir. Arazi şartlarında bu seviyelerde yüksek pH ortamının bu kadar uzun süre kalıcı olması mümkün görülmemektedir. Bu nedenle hasar seviyesinin 60°C için olabilecek en yüksek hasar seviyeleri olacağına kanaat getirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda arazi ortamını temsil eden pH seviyelerinin ve maruz kalma sürelerinin de deneylere bir değişken olarak eklenmesi gereklidir.
- Bu deneyler sırasında numuneler bir gerilme altında değildir. Ancak gerilme altında olmasının da sonuçları etkilemesi muhtemeldir. Bu tez kapsamında gerilmeyi de içeren bir düzenek tasarlanmış olmakla birlikte bütçe nedeniyle yaptırılmamıştır. Daha sonraki projelerde bu düzeneğin yaptırılması ve deneylerin arazi şartlarını temsil eden gerilme ortamlarında düzenlenmesi planlanmaktadır.
- Kür tanklarında farklı sıcaklıklarda bekleyen orijinal ve hasarlı geogridlerin FT-IR analizleri yapılmış ve PET liflerin kimyasal olarak orijinal numuneye en az % 90 olarak benzerliği bulunmuştur. Ancak literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında sıcaklık ve pH etkisiyle her ne kadar PET lifler bağlarını korusa da lif çaplarında küçülmeler veya CEG grup bağlarında azalmalar meydana geldiği ve dolayısıyla mukavemet kayıplarının oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. PET liflerin çaplarında meydana gelen değişimler ve PET liflerin kimyasal yapısını oluşturan CEG gruplarında oluşan değişimlerin incelenmesi daha sonraki çalışmalarda planlanmaktadır.
- Geogridlerin şev stabilitesi amacıyla kullanımı için inşa sırasında oluşabilecek hasarlara karşı tasarım azaltma faktör değerleri 1.1-1.5 aralığındadır. Uygulamaya maruz bırakılan hasarlı geogridlerin çekme mukavemet değerlerinde %25 oranında bir azalma meydana gelmiş ve bu tasarım faktörleri kısıtlamaları arasında yer almıştır. Bu azaltma faktörleri arasında yer alan kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı alınması gereken

azaltma faktör değerleri 1.0-1.5 aralığındadır. Kür tankları içerinde farklı sıcaklıklarda bekletilen geogrid numuneler de sıcaklık ve zamanla mukavemet kayıpları artmıştır. 40°C sıcaklıkta 4 ay alkali ortamda bekletilen hasarlı numunelerde uygulamada meydana gelen mukavemet kaybına ilave olarak %15 oranında mukavemet kaybı yaşanmıştır. Ancak 60°C de alkali ortamda bekletilen geogridler 2 ay sonunda yaklaşık %90 oranında mukavemet kaybı yaşarken orijinal numuneler de bu oran yaklaşık %50 oranında kalmıştır. Ancak orijinal numuneler de de 60°C sıcaklıkta ve alkali ortamda 4 ay bekletilen numunelerde de mukavemet kaybı yaklaşık %80 oranında yaşanmıştır. Ancak bu azalmaların bir kısmının sıcaklığın yüksek olması ve PVC'nin eriyerek etkilenmesi nedeniyle oluştuğu dūřünüldüęünden bu azalmaları kimyasal azaltma faktörü olarak değerlendirmek doğru olmayacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında İstanbul ili içerisinde temin edilen numuneler ve yapılan deneyler sonucunda İstanbul ili için bir karakterizasyon işlemi yapılmıştır. Böylece İstanbul ili için İYA'ları tanımlayan en kapsamlı araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kentsel dönüşüm projesi kapsamında yıkılan yapıları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı hafriyat ve rehabilitasyon sahalarını ve beton laboratuvarlarında basınç deneylerine tabi tutulmuş küp beton atıkları incelenmiştir. Böylece İstanbul İYA numuneleri karakterize edilmiştir. Tezin diğer bir bölümünde bu İYA malzemesinin PVC kaplı PET lifli geogridler ile birlikte kullanılması durumunda yüksek alkali ortamının oluşturabileceği çekme dayanımı kayıplarına yönelik bir deneysel çalışma da yürütülmüştür. FHWA'nın önermiş olduğu şekliyle maksimum dane boyutu 19.0 mm olarak üretilen doğal agrega ile arazide uygulama hasarına maruz bırakılan geogridler deneylerde kullanılmıştır. Bu deney sonuçlarına istinaden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

İstanbul ili içerisinde temin edilen inşaat yıkıntı atıkları ve bu atıklardan elde edilen geri dönüşüm beton agregaları için;

Geri dönüşüm beton agregaları için yapılan deneylere istinaden bu tür malzemelerin,

- KTŞ (2013)'inde verilen şerit donatılı duvarların inşaatında kullanılacak olan dolgu malzemesinin özellikleri arasında verilen C_u değerinin 5'den büyük ve PI değerinin 6 dan düşük olması şartını sağlayan Kategori 1, Kategori 2, Kategori 3 ve Kategori 4 malzemelerinin uygun granülometreye getirilerek geri dolgu malzemesi,
- KTŞ (2013)'inde verilen yer altına serilen spiral sarımsı borular için kullanılan yataklama malzemesinin dane boyutu aralıkları 0-15 mm çakıl malzemesi veya 5-15 mm kırmataş olarak verilmiştir. Kategori 1, Kategori 2, Kategori 3 ve Kategori 4 malzemelerinin maksimum dane çapının 15 mm olarak elenmesi veya GBA numunesinin ilk çeneli kırıcından geçirilirken çeneler arası 15 mm olarak ayarlanıp kırılarak elde edilecek malzemenin yataklama malzemesi olarak,
- Yapı temeli ile zemin arasına konulan ve ara malzeme olarak kullanılan malzemelerin içeriğinde organik malzeme veya killi malzeme olması istenmemektedir. Likit Limit

sonuçları NP olan Kategori 1, Kategori 2, Kategori 3 ve Kategori 4 kapsamında üretilen GBA numuneleri bu bölgelerde ara malzeme olarak,

kullanılması önerilebilir. Ancak;

- KTŞ (2013)'inde belirtilen alt temel malzemesinin özellikleri arasında Los Angeles aşınma oranı %45'in altında, su emme yüzdesinin maksimum %3,5, Likit Limit değerinin % 25'den küçük ve PI'nin %6'dan küçük olması gerektiği verilmiştir. Üretilen GBA malzemeler arasında Kategori 3 içerisinde sadece bir bölgenin Los Angeles aşınma değeri standartta verilen değeri geçmiştir. Likit Limit ve PI değerleri alt temel malzemesi için uygundur. Ancak Kategoriler içerisinde bulunan GBA malzemelerinin su emme yüzdeleri yüksek olup şartnamede belirtilen sınır değerinden fazladır. KTŞ'ne göre bu bölgelerde kullanılmaması gerekmektedir.

Geri dönüşüm beton agregası üretmek için İstanbul ili içerisinde temin edilen İYA numunelerinin kırım süresince elde edilen görsel analiz sonuçlarına göre deprem ülkesi ülkemizde yaşanabilecek bir depremden en az hasarla kurtulabilmek için kentsel dönüşüm projesinin 2000 yılı öncesi yapılan yapılarda uygulanmaya hızlanarak devam etmesi düşünülmektedir. Özellikle İYA numunelerinin kırım sürecinde çıkan midye kabukları ve nervürsüz donatı izleri kentsel dönüşüm projesinin devam etmesi gerekliliğini ve dolayısıyla bu proje devam ettiği sürece de inşaat yıkıntı atıklarının çıkmaya devam edeceğini işaret etmektedir. Sürdürülebilirlik konusunun her geçen gün önem kazandığı günümüzde, bu tür malzemelerin de bir şekilde geri dönüşüme katılarak ülke ekonomisine katkı sağlayıp doğanın korunabileceği de düşünülmektedir.

Kaba bir hesaplama ile sadece hazır beton üretiminde 2021 yılında 50 milyon metreküp doğal alan tahrip edilip kırmataş üretilmiştir. Karayolu uygulamaları, dolgu malzemesi ve diğer uygulamalar içinde agrega kullanıldığı düşünülürse bu rakamın çok daha fazlasının günümüzde olduğu aşıkardır. İYA malzemelerinin geri dönüşümü ile de gelecek nesillere sürdürülebilir bir doğa bırakmayı sağlayacaktır.

Türkiye'de geri dönüşüm beton agregasının kullanılabilirliği;

- Geri dönüşüm tesislerinin belediyeler tarafından kurulması veya mevcut kırmataş tesislerin geri dönüşüm için kullanılması zorunluluğu,
- İYA malzemelerinin bu tesislere taşınması zorunluluğu,

- Tesislerde üretilebilecek olan GBA numunelerinin satın alınma zorunluğu,

getirilerek gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Üretilen GBA malzemelerinin deneyleri de agrega deneyleri ile benzer olduğu için üretilecek malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri de mevcut laboratuvarlarda belirlenebilecek ve bu işler için ekstra maliyet oluşmayacaktır.

Bu tezin diğer çalışma konusu olan PVC kaplı PET Geogridler için ise varılan sonuçlar ve öneriler:

- Arazi deneyleri kapsamında maksimum dane çapı 19.00 mm olan dolgu malzemesi ile kullanılan PVC kaplı PET lifli geogridlerin mukavemet kaybı uygulama sırasında oluşacak hasar azaltma faktörü (RF_{ID}) değerleri arasında kalmıştır.
- Orijinal geogrid numunesinin 1 ay ve 2 ay kür sürelerinde farklı sıcaklıklarda kürlenmiş numuneler üzerinde yapılan çekme deneylerinde, %2'lik birim deformasyona denk gelen çekme yükleri yaklaşık eşit çıkmaktadır. 3 ay kür süresinden sonra özellikle 60 °C'de kürlenmiş numunelerin birim şekil değiştirme-yük eğrileri farklılık göstermeye başlamıştır.
- Arazi uygulamasına maruz kalan hasarlı geogrid numunesinin 1 aylık kür süresinde 40°C ve 50°C'de bulunan geogridlerin %2 lik birim deformasyona karşılık gelen çekme yükü yaklaşık eşit iken 60°C'de bulunan numunenin değerleri düşük kalmıştır. Orijinal numunede 3 ay sonunda birim deformasyon-yük eğrisinde farklılıklar oluşurken hasarlı numunelerde 1. ayda değişiklik oluşmuştur.
- Orijinal numunelerin birim şekil değiştirme-yük eğrileri 50 °C'ye kadar olan kür sürelerinde benzerdir. Ancak nihai çekme mukavemet değerleri sıcaklık ve kür süresine bağlı olarak azalmıştır.
- Orijinal numunelerde 60°C sıcaklıkta 3 ay kür süresinden sonra birim deformasyon-yük eğrilerinde bozulmalar oluşmaya başlamıştır.
- Arazi uygulamasına maruz kalmış hasarlı numunelerin 40°C'de zamanla maksimum çekme mukavemeti düşmesine rağmen birim şekil değiştirme-yük eğrisi bozulmamıştır. Ancak 50°C ve özellikle 60°C'de birinci aydan itibaren eğrilerde bozulmalar başlamıştır.
- FT-IR analizleri sonuçlarına göre PET liflerin kimyasal yapısının bozulmadığı anlaşılmaktadır. Ancak mukavemet kaybının PET lif çaplarının alkali ortamdan kaynaklı küçüldüğü düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, 2nd Edition, 2004, with 2006 Interim Revision, American Association of State Highway and Transportation Officials 9781560512646.

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4th Edition, 2007, with 2008 and 2009 Interim Revisions, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1560513551.

Abbaspour A., Tanyu B.F., Cetin B., 2016, Impact of Aging on Leaching Characteristics of Recycled Concrete Aggregate, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 20835-20852.

Abbaspour A. ve Tanyu B.F., 2018, Tufa Precipitation from Recycled Concrete Aggregate (RCA) over Geotextile: Mechanism, Composition, and Affecting Parameters, *Construction and Building Materials*, 196, 317-329.

Ajdukiewicz, A. ve Kliszczewicz, A., 2002, Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC, *Cement and Concrete Composites*, 24, 269-279.

Allen T.M., Bathurst R.J., 1994, Technical Paper: Characterization of Geosynthetic Load-Strain Behavior After Installation Damage, *Geosynthetics International*, Vol.1, No.2, 181-199.

ASTM C127-15, 2015, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C131/C131M-14, 2014, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

ASTM C136-06, 2015, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

ASTM D4318-00, 2000, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

ASTM D4595-17, 2020, Standart Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Witdh Strip Method.

ASTM D5322-17, 2020, Standart Practice for Laboratory Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids.

ASTM E1252-98, 2021, Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis.

Barbudo A., Galvin A.P., Agrela F., Ayuso J., Jimenez J.R., 2012, Correlation Analysis Between Sulphate Content and Leaching of Sulphates in Recycled Aggregates from Construction and Demolition Wastes, *Waste Management*, 32, 1229-1235.

- Bathurst R.J., Huang B., Allen T.M., 2011, Analysis of Installation Damage Tests for LRFD Calibration of Reinforced Soil Structures, *Geotextiles and Geomembranes*, 29 (3), 323-334.
- Bell, J.R., Stilley, A. N., Vandre, B., 1975, Fabric Retained Earth Walls, *Proceeding of the 13th Engineering Geology Symposium*, April, Moscow, 115-126.
- Berg R.R., Christopher B.R., Samtani N.C., 2009, *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes- Volume I*, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C..
- Bestgen J.O., Cetin B., Tanyu B.F., 2016, Effects of Extraction Methods and Factors on Leaching of Metals from Recycled Concrete Aggregates, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 12983-13002.
- Brooms, B.B., 1977, Polyester Fabric as Reinforcement in Soil, *Proceeding of the International Conference on Soils and Textiles*, Paris, Vol.1, 129-135.
- Brooms, B.B., 1978, Design of Fabric Reinforced Retaining Structures, *Proceedings of the Symposium on the Earth Reinforcement*, Pittsburgh,PA, ASCE, 282-303.
- Cho S.D., Lee K.W., Oh S.Y., 2004, Experimental Investigation of Installation Damage of Geogrids, *Journal of Korea Geotextile Society Korea Geotextile Society*, Vol.3, No.3, 9-17.
- Elias V., Salman A., Goulias B.D., 1998, The Effect of pH, Resin Properties, and Manufacturing Process on Laboratory Degradation of Polyester Geosynthetics, *Geosynthetics International*, Vol.5 (5), 459-490.
- Engelsen C.J., Wibetoe G., Sloom H.A., Lund W., Petkovic G., (2012). Field Site Leaching from Recycled Concrete Aggregates Applied as Sub-Base Material in Road Construction, *Science of the Total Environment*, 427-428, 86-97.
- ERMCO, 2016, European Ready Mixed Concrete Organization Association, Brussels, Belgium.
- Etxeberria, M., Vazquez, E., Mari, A. ve Barra, M., 2007, Influence of Amount of Recycled Coarse Aggregates and Production Process on Properties of Recycled Aggregate Concrete, *Cement and Concrete Research*, 37, 735-742.
- Evans, J., Ruffing, D., Elton, D., 2022, *Fundamentals of Ground Improvement Engineering*, Taylor & Francis Group, United Kingdom, ISBN:978-0-367-41960-8.
- Galvin A.P., Ayuso J., Jimenez J.R., Agrela F., 2011, Comparison of Batch Leaching Tests and Influence of pH on the Release of Metals from Construction and Demolition Wastes, *Waste Management*, 32, 88-95.
- Galvin A.P, Ayuso J., Agrela F., Barbudo A., Jimenez J.R., 2012, Analysis of Leaching Procedures for Environmental Risk Assessment of Recycled Aggregate Use in Unpaved Roads, *Construction and Building Materials*, 40, 1207-1214.

Galvin A.P., Agrela F., Ayuso J., Beltran M.G., Barbudo A., 2014, Leaching Assessment of Concrete Made of Recycled Coarse Aggregate : Physical and Environmental Characterisation of Aggregates and Hardened Concrete, *Waste Management*, 34, 1693-1704.

Gurbuz A., 2011, Discussion of Bearing Capacity of Geocell Reinforcement in Embankment Engineering by Ling Zhang, Minghua Zhao, Chajun Shi And Heng Zhao, *Geotextiles and Geomembranes*, 31, 69.

Han J., Thakur J.K., 2014, Sustainable Roadway Construction Using Recycled Aggregates with Geosynthetics, *Sustainable Cities and Society*, 14, 342-350.

Han, J., 2015, *Principles and Practices of Ground Improvement*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey & Canada, ISBN: 978-1-118-25991-7.

Hufenus R., Rüegger R., Flum D., Sterba I.J., 2005, Strength Reduction Factors Due to Installation Damage of Reinforcing Geosynthetics, *Geotextiles and Geomembranes*, 23, 401-424.

Jeon H.Y., Cho S.H., Mok M.S., Park Y.M., Jang J.W., 2005, Assessment of Chemical Resistance of Textile Geogrids Manufactured with PET High-Performance Yarn, *Polymer Testing*, 24, 339-345.

Jeon H.Y., Kim S.H., Lyoo W.S., Yoo C, Koerner G.R., 2006, Evaluation of the Long-Term Performance of Geosynthetic Reinforcements from Their Reduction Factors, *Polymer Testing*, 25, 289-295.

Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013

Koerner, R.M., 2005, *Designing with Geosynthetics*, Pearson Prentice Hall, United States of America, ISBN:0-13-145415-3.

Koerner R.M., Koerner G.R., 2013, A Data Base, Statistics and Recommendations Regarding 171 Failed Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls, *Geotextiles and Geomembranes*, 40, 20-27.

Kongkitkul W., Tabsombut W., Jaturapitakkul C., Tatsuoka F., 2012, Effects of Temperature on the Rupture Strength and Elastic Stiffness of Geogrids, *Geosynthetics International*, 19 (2), 106-123.

Köken, A., Köroğlu, M.A., ve Yonar, F., 2008, Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, Cilt 7 (1), 86-97.

Lee, K.L., Adams, B.D., Vagneron, J.M.J., 1973, Reinforced Earth Retaining Walls, *Journal of Soil Mech. Fdtn. Eng. Div.*, SM10, 745-764.

Leigh, N.G. ve Patterson, L.M., 2005, Construction & Demolition Debris Recycling for Environmental Protection and Economic Development, 2007, Management of Construction Development, City and Regional Planning Program, *College of Architecture Georgia Institute of Technology*.

- Leshchinsky B., Ling H.I., 2012, Numerical Modeling of Behavior of Railway Ballasted Structure with Geocell Confinement, *Geotextiles and Geomembranes*, 36, 33-43
- Matias, D., Brito, J.D., Rosa, A. ve Pedro, D., 2013, Mechanical Properties of Concrete Produced with Recycled Coarse Aggregates-Influence of the Use of Superplasticizers, *Construction and Building Materials*, 44, 101-109.
- Mehrijardi G.T., Behrad R., Moghaddas Tafreshi S.N., 2019, Scale Effect on the Behavior of Geocell-Reinforced Soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 47, 154-163.
- Oikonomou, N.D., 2005, Recycled Concrete Aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 27, 315–318.
- Pant A., Datta M., Ramana G.V., 2019, Bottom Ash as a Backfill Material in Reinforced Soil Structure, *Geotextiles and Geomembranes*, 47 (4), 514-521.
- Pokharel S.K., Han J., Leshchinsky D., Parsons R.L., 2017, Experimental Evaluation of Geocell-Reinforced Bases Under Repeated Loading, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11, 114-127.
- Poon, C.S., 2006, Management of Construction and Demolition Waste, *Waste Management*, 27, 159-160.
- Rakshvir, M. ve Barai, S.V., (2006). Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, *Waste Manage Res.*, 24, 225-233.
- Rao, A., Kumar, N., Jha ve Misra, S., 2007, Use of Aggregates from Recycled Construction and Demolition Waste in Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 71-81.
- RILEM TC 121-DRG, 1994, Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, *Materials and Structures*, 27, 557-559.
- Rosete A., Lopes P.M., Pinho-Lopes M., Lopes M.L., 2013, Tensile and Hyrdraulic Properties of Geosynthetics after Mechanical Damage and Abrasion Laboratory Tests, *Geosynthetics International*, 20 (5), 358-374.
- Santos E.C.G., Palmeira E.M., Bathurst R.J., 2013, Behaviour of a Geogrid Reinforced Wall Built with Recycled Construction and Demolition Waste Backfill on a Collapsible Foundation, *Geotextiles and Geomembranes*, 39, 9-19.
- Steward, J.E., Williamson, R., Mohny, J., 1977, *Guidelines for Use of Fabrics in Construction and Maintenance of Low-Volume Roads*, u.s. Forest Service, Portland.
- Topçu, İ.B. ve Şengel, S., 2003, Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate, *Cement and Concrete Research*, 34, 1307-1312.
- Tuğrul, A., Yilmaz, M., Sönmez. İ., Hasdemir, S., 2016, Sustainable Management of Aggregate Resources in İstanbul, *Developments in Engineering Geology. Geological Society*, London. Engineering Geology Special Publication, 27, 55–61.

Tüfekçi, M.M., 2011, *Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, 2022, www.thbb.org.

URL 1, <http://www.edumine.com/courses/online-courses/underground-mine-backfill-1-introduction/>, 25.03.2017.

URL 2, http://www.pmw.de/cps/rde/xchg/SID-F8CB512C-65402D4D/pm_online/hs.xsl/9046_ENU_HTML.htm, 22.04.2017

URL 3, <http://www.tailings.info/storage/backfill.htm>, 15.03.2017

URL 4, <https://www.endomines.com/index.php/karelian-gold-line/pampalo>, 05.03.2017

Ündül, Ö., Tuğrul A., 2006, The Engineering Geology of İstanbul, Turkey, *International Association for Engineering Geology and the Environment*, 392, 1-14.

Vieira C.S., Pereira P.M., 2015, Use of Recycled Construction and Demolition Materials in Geotechnical Applications: A Review, *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 192-204.

Vieira C.S., Pereira P.M., Lopez M.L., 2016, Recycled Construction and Demolition Wastes as Filling Material for Geosynthetic Reinforced Structures. Interface Properties, *Journal of Cleaner Production*, 124, 299-311.

Whitcomb, W., Bell, J.R., 1979, Analysis Techniques for Low Reinforced Soil Retaining Walls, *Proceedings of the 17th Engineering Geology Symposium*, April, Moscow, 35-62.

Zhang, L., Zhao M., Shi C., Zhao H., 2010, Bearing Capacity of Geocell Reinforcement in Embankment Engineering, *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 475-482.

EKLER

EK A:

ÇÖZGÜ YÖNÜ için YAPILAN GEOGRİD ÇEKME DENEYLERİ SONUÇLARI

ORJİNAL NUMUNE_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	14,0	80,0	11,3	14,6	29,6	57,8	11,3
2	14,1	80,8	12,2	14,5	28,6	56,2	11,7
3	14,0	80,1	12,3	14,1	27,0	54,8	12,2
4	14,0	80,1	12,1	14,2	27,9	55,9	12,0
5	14,0	80,4	11,8	13,9	27,9	54,3	11,5
HASARLI NUMUNE_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	9,46	54,2	8,4	14,1	25,9	50,8	-
2	10,4	59,7	8,5	14,7	27,6	54,8	-
3	10,2	58,6	8,7	14,5	26,2	52,1	-
4	9,55	54,8	8,2	14,0	25,8	52,7	-
5	10,1	57,6	9,0	14,5	26,9	52,6	-
ORJİNAL NUMUNE 1 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	13,9	79,5	12,1	14,5	26,2	52,2	12,27
2	14,0	80,3	12,5	14,4	27,3	54,3	
3	13,8	79,4	11,2	14,9	30,1	58,3	12,27
4	13,1	75,3	10,6	14,9	29,1	56,7	
5	13,4	76,8	10,9	14,4	27,4	53,7	12,27
6	13,8	78,9	11,6	14,9	28,9	56,8	
HASARLI NUMUNE 1 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	10,5	60,1	8,7	14,5	27,6	55,1	-
2	10,4	59,5	8,5	14,7	27,6	54,0	-
3	10,2	58,7	8,8	14,6	26,0	50,0	-
4	10,6	60,5	8,9	13,9	25,7	51,4	-
5	9,0	51,4	7,3	14,5	29,0	46,7	-

EK A (devam):

ORJİNAL NUMUNE 1 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	13,0	74,7	10,7	14,4	27,0	53,8	-
2	12,7	72,9	10,4	14,3	27,4	53,3	-
3	13,6	77,7	11,4	14,3	26,4	52,3	-
4	12,0	68,7	10,4	14,5	24,4	46,4	-
5	13,6	78,1	12,2	14,2	26,2	49,5	-

HASARLI NUMUNE 1 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	8,8	50,3	8,1	13,5	25,7	49,4	-
2	9,9	56,5	9,1	13,4	23,4	46,3	-
3	9,5	54,4	8,7	13,5	25,3	49,0	-
4	8,3	47,8	7,9	13,6	25,7	-	-
5	9,5	54,6	9,0	13,1	23,8	46,8	-
6	8,8	50,4	8,6	13,3	24,0	44,7	-

ORJİNAL NUMUNE 1 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	11,3	64,9	9,1	14,9	27,6	54,5	-
2	11,5	66,0	10,3	14,1	23,0	46,3	-
3	10,3	59,3	8,7	14,7	26,5	52,8	-
4	9,8	56,0	8,2	14,6	26,6	53,8	-
5	9,5	54,2	8,6	14,3	25,3	49,3	-

HASARLI NUMUNE 1 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	6,0	34,6	7,5	11,1	19,4	-	-
2	6,7	38,5	7,7	11,4	20,9	36,7	-
3	7,0	40,3	7,7	11,9	21,6	-	-
4	6,6	37,6	7,8	11,7	20,3	-	-
5	6,1	34,9	7,4	10,6	20,6	-	-

ORJİNAL NUMUNE 2 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	13,7	78,5	11,8	14,6	27,3	53,6	-
2	13,8	78,9	11,9	14,2	26,5	50,3	-
3	13,0	74,3	10,9	14,3	26,3	51,0	-
4	13,6	77,8	11,5	14,4	27,3	51,7	-
5	13,3	76,5	11,3	14,2	26,4	51,2	-

EK A (devam):

HASARLI NUMUNE 2 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	9,0	51,4	7,9	13,9	26,7	49,9	-
2	10,4	59,5	8,9	13,8	26,0	51,2	-
3	9,7	55,8	8,5	13,6	25,7	51,1	-
4	9,9	56,9	9,0	13,2	23,6	45,7	-
5	9,0	51,7	8,8	12,8	22,6	44,8	-

ORJİNAL NUMUNE 2AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	13,0	74,7	10,8	14,2	25,7	51,3	-
2	11,4	65,4	9,9	14,2	24,0	46,1	-
3	11,8	67,9	9,9	14,0	25,2	48,7	-
4	12,4	71,2	9,7	14,4	28,0	56,0	-
5	11,1	63,4	10,0	13,9	25,2	50,3	-

HASARLI NUMUNE 2 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,3	41,6	8,0	12,0	21,6	41,6	-
2	7,2	41,2	8,9	10,9	20,0	37,0	-
3	7,3	42,0	8,4	11,5	20,0	39,2	-
4	7,0	39,8	7,5	11,9	22,1	-	-
5	6,9	39,3	7,5	12,2	22,3	-	-

ORJİNAL NUMUNE 2 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,0	40,1	7,8	14,2	25,5	-	-
2	7,0	40,3	8,2	13,8	25,3	39,7	-
3	7,9	45,2	7,4	14,0	25,7	-	-
4	7,2	41,1	7,4	13,8	24,7	-	-
5	8,3	47,5	8,4	13,8	23,1	43,2	-

HASARLI NUMUNE 2 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,2	12,7	4,4	8,2	-	-	-
2	2,1	11,8	6,1	7,3	10,7	-	-
3	2,0	11,6	4,8	7,5	11,1	-	-
4	1,5	8,8	5,0	6,2	8,8	-	-
5	1,5	8,7	4,3	6,2	8,1	-	-

EK A (devam):

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	12,4	70,9	9,8	13,7	26,8	54,6	-
2	13,0	74,8	10,5	14,0	27,6	54,3	-
3	13,2	75,7	10,9	13,8	26,8	52,4	-
4	13,2	75,4	10,6	14,1	28,6	55,4	-
5	12,4	70,8	9,9	13,9	26,3	53,2	-

HASARLI NUMUNE 3 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	9,7	55,6	9,1	12,8	23,7	46,6	-
2	7,9	45,3	8,7	12,7	24,4	43,5	-
3	9,0	51,4	8,1	12,9	24,0	49,7	-
4	8,6	49,1	8,3	12,7	23,1	45,5	-
5	8,3	47,6	8,1	13,0	23,8	47,0	-

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	11,1	63,5	8,8	13,9	28,3	55,9	-
2	11,5	65,7	9,7	13,8	26,8	52,1	-
3	10,5	60,4	9,5	13,5	25,6	49,2	-
4	11,1	63,5	9,5	13,8	26,4	51,1	-
5	7,4	42,2	7,2	13,0	25,4	-	-

HASARLI NUMUNE 3 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	4,3	24,6	6,2	9,8	19,3	-	-
2	5,5	31,5	7,0	10,7	19,9	-	-
3	5,0	28,7	7,1	9,9	18,1	-	-
4	5,4	30,9	7,4	10,4	18,3	-	-
5	4,8	27,5	6,5	10,2	19,2	-	-

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	3,5	19,8	2,8	12,5	-	-	-
2	7,5	43,2	7,5	13,5	23,9	-	-
3	3,5	20,2	6,5	11,4	19,3	-	-
4	2,9	16,7	0,3	12,2	-	-	-
5	5,3	30,4	7,2	10,2	17,7	29,8	-

EK A (devam):

HASARLI NUMUNE 3 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	0,3	1,8	2,6	1,7	-	-	-
2	0,3	1,8	1,4	1,7	-	-	-
3	0,4	2,2	2,2	2,1	-	-	-
4	0,4	2,3	2,5	2,2	-	-	-
5	0,3	1,9	1,9	1,8	-	-	-

ORJİNAL NUMUNE 4 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	12,2	69,9	10,3	13,8	26,0	50,4	-
2	12,9	73,9	11,9	13,4	24,7	48,6	-
3	12,1	69,2	10,5	13,5	25,3	48,9	-
4	11,6	66,3	10,3	13,5	25,4	48,9	-
5	12,0	69,0	10,9	13,4	24,8	48,1	-

HASARLI NUMUNE 4 AY 40 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	6,9	39,4	8,1	12,6	23,6	38,6	-
2	8,0	45,8	8,5	12,3	22,5	42,3	-
3	8,7	49,7	8,2	12,4	23,2	45,1	-
4	8,2	47,2	8,3	12,5	23,3	45,1	-
5	8,7	50,1	9,5	12,5	23,0	44,0	-

ORJİNAL NUMUNE 4 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,1	40,5	7,2	13,7	25,8	39,1	-
2	9,9	56,5	8,9	13,6	25,6	49,6	-
3	7,6	43,4	8,9	13,3	24,6	42,3	-
4	6,5	37,4	7,2	12,8	23,0	27,8	-
5	9,6	55,2	8,8	13,4	24,8	48,4	-
6	9,4	53,6	8,7	13,6	25,5	47,6	-

HASARLI NUMUNE 4 AY 50 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,7	15,5	5,5	8,0	14,4	-	-
2	2,9	16,7	5,8	8,4	14,9	-	-
3	3,0	16,9	6,7	8,1	13,5	-	-
4	3,0	17,2	6,2	8,5	15,1	-	-
5	3,4	19,2	6,2	8,8	15,8	-	-

EK A (devam):

ORJİNAL NUMUNE 4 AY 60 °C_ ÇÖZGÜ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,6	29,2	7,5	18,8	28,7	-	-
2	1,1	11,6	1,3	-	-	-	-
3	1,0	10,3	1,8	8,6	-	-	-
4	1,3	14,6	3,9	11,8	11,8	-	-
5	1,3	13,9	1,4	-	-	-	-
6	2,1	23,8	4,3	18,5	-	-	-
7	0,9	9,5	1,7	9,1	-	-	-
8	0,6	7,1	-	-	-	-	-
9	0,4	4,7	-	-	-	-	-
10	1,5	16,9	3,1	15,3	12,1	-	-

ATKI YÖNÜ için YAPILAN GEOGRİD ÇEKME DENEYLERİ SONUÇLARI

ORJİNAL NUMUNE_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	8,0	89,3	11,9	15,1	25,7	53,2	10,4
2	8,0	89,2	12,7	14,9	24,7	47,8	10,8
3	8,1	90,5	12,7	14,8	24,8	51,3	10,6
4	7,7	85,8	13,9	14,3	23,8	47,1	11,1
5	7,7	85,4	12,9	14,6	24,4	49,4	11,2

HASARLI NUMUNE_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	5,6	62,0	8,3	16,1	29,0	59,5	-
2	5,7	63,8	8,8	15,2	26,1	55,7	-
3	5,3	58,9	8,4	15,5	27,0	54,8	-
4	5,7	63,4	8,5	15,7	27,8	58,0	-
5	5,3	58,5	8,5	15,2	26,3	53,0	-

ORJİNAL NUMUNE 1 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,8	86,4	11,5	13,7	24,9	51,7	10,6
2	7,8	86,6	11,5	15,1	27,3	55,7	10,3
3	7,8	87,2	11,1	14,9	26,6	56,4	10,1
4	7,7	85,3	11,3	15,1	27,4	55,1	10,2
5	7,2	80,4	9,9	14,9	28,0	59,2	9,9
6	8,2	90,9	11,8	15,1	26,7	55,5	10,0

EK A (devam):

HASARLI NUMUNE 1 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	5,6	62,5	8,7	15,1	26,7	55,3	-
2	5,4	59,7	8,5	15,4	27,4	56,9	-
3	3,9	42,9	8,4	13,6	23,1	41,2	-
4	5,0	56,2	8,4	14,5	24,6	52,4	-
5	5,7	63,6	8,8	15,2	26,6	54,7	-
6	6,0	66,8	9,4	14,9	25,8	53,1	-

ORJİNAL NUMUNE 1 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,45	83,0	10,7	15,6	27,8	56,3	10,3
2	7,58	84,4	10,8	15,7	27,7	57,5	10,1
3	7,13	79,4	10,2	15,3	26,9	57,8	-
4	7,12	79,3	10,2	14,9	25,2	56,1	-
5	7,04	78,4	11,0	12,6	24,9	46,8	-

HASARLI NUMUNE 1 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	4,9	54,9	8,4	14,6	24,9	50,7	-
2	4,7	52,2	8,5	14,1	23,6	48,8	-
3	5,2	57,4	9,0	14,1	23,7	47,9	-
4	4,2	46,3	8,2	14,2	23,9	44,2	-
5	41	45,9	7,7	14,0	24,0	-	-

ORJİNAL NUMUNE 1 AY 60 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	5,4	60,4	9,0	15,0	25,2	52,5	-
2	3,6	40,4	8,4	12,4	21,3	39,3	-
3	5,2	57,8	8,4	15,0	25,5	54,9	-
4	4,7	52,4	9,6	14,3	24,6	48,9	-
5	6,2	59,4	9,2	15,9	27,3	57,7	-

HASARLI NUMUNE 1 AY 60 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,8	31,5	7,5	11,9	20,6	-	-
2	3,3	36,3	7,6	12,3	20,4	-	-
3	3,8	42,6	8,1	12,5	20,8	41,6	-
4	2,8	31,3	7,4	11,4	19,5	31,2	-
5	3,3	36,6	8,3	9,1	16,8	34,1	-

EK A (devam):

ORJİNAL NUMUNE 2 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,35	81,8	10,6	15,0	25,7	54,6	10,4
2	7,73	86,1	11,7	10,8	19,7	48,5	10,8
3	7,69	85,7	10,8	15,2	27,5	58,5	10,0
4	7,95	88,6	11,2	15,4	26,5	54,4	10,1
5	7,21	80,3	10,5	14,8	25,2	52,4	10,5

HASARLI NUMUNE 2 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	5,4	59,6	12,5	13,5	21,5	38,2	-
2	4,8	52,9	8,8	13,6	23,2	45,4	-
3	5,1	56,9	88	14,2	23,7	48,2	-
4	5,4	59,7	9,2	14,2	23,5	47,6	-
5	5,4	60,2	8,6	14,6	25,9	54,2	-

ORJİNAL NUMUNE 2 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	6,7	74,2	10,2	15,6	27,0	55,2	-
2	6,5	71,8	10,0	14,1	24,9	49,8	-
3	5,8	64,7	9,1	15,5	27,2	53,7	-
4	5,7	63,6	10,5	15,3	26,9	53,6	-
5	6,3	69,5	9,5	15,1	25,8	53,1	-

HASARLI NUMUNE 2 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	3,4	37,9	8,0	12,3	21,3	37,4	-
2	3,9	43,1	8,2	12,5	20,9	41,9	-
3	4,1	45,2	8,6	12,3	20,5	41,5	-
4	3,7	40,6	7,9	12,5	21,0	36,8	-
5	3,7	40,8	8,1	11,9	20,0	39,6	-

ORJİNAL NUMUNE 2 AY 60 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	3,6	40,2	8,4	12,4	19,7	36,	-
2	3,5	39,4	8,6	14,4	24,9	37,1	-
3	4,0	44,4	7,8	14,7	23,9	-	-
4	3,7	40,8	8,3	14,2	22,7	39,8	-
5	4,1	45,3	8,9	12,6	20,1	38,1	-

EK A (devam):

HASARLI NUMUNE 2 AY 60 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	0,9	10,1	5,5	7,1	9,6	-	-
2	1,3	13,9	5,0	8,4	12,4	-	-
3	1,1	11,7	4,7	8,1	-	-	-
4	0,9	9,5	5,9	6,9	9,2	-	-
5	0,8	8,4	4,8	6,7	8,2	-	-

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	7,3	81,6	11,2	14,6	26,4	55,1	10,5
2	7,1	79,5	10,6	14,2	26,0	55,7	-
3	7,0	78,0	10,9	13,7	23,8	49,0	-
4	7,2	80,4	10,3	14,6	27,1	56,1	10,3
5	6,9	76,4	10,4	13,9	23,0	48,9	-

HASARLI NUMUNE 3 AY 40 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	5,0	56,1	8,7	13,7	23,7	49,3	-
2	5,1	56,2	9,2	13,8	22,8	45,0	-
3	3,8	42,2	7,6	13,6	23,1	-	-
4	4,9	54,3	8,9	13,6	22,9	46,4	-
5	4,8	53,4	9,3	13,5	22,4	43,2	-

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	4,7	52,2	9,0	14,5	27,1	49,7	-
2	5,2	58,2	10,1	15,0	26,0	54,3	-
3	4,1	45,5	7,5	13,2	23,1	45,2	-
4	4,6	51,0	8,2	13,9	23,9	50,0	-
5	4,0	43,9	8,2	13,0	22,3	43,1	-

HASARLI NUMUNE 3 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,6	28,4	7,2	10,5	18,2	-	-
2	3,0	33,0	7,5	10,8	18,6	-	-
3	2,2	24,2	6,8	9,6	16,5	-	-
4	2,6	28,9	7,2	10,3	17,5	-	-
5	2,5	27,7	7,4	10,6	17,8	-	-

EK A (devam):

ORJİNAL NUMUNE 3 AY 60 °C_ ATKİ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	2,7	30,2	8,1	13,1	21,8	30,0	-
2	2,9	32,2	7,7	12,2	19,9	30,2	-
3	2,3	25,0	7,1	10,9	17,5	20,2	-
4	2,4	27,1	8,0	11,8	19,2	27,0	-
5	2,0	21,7	7,4	11,0	14,8	19,1	-

HASARLI NUMUNE 3 AY 60 °C_ ATKİ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	0,2	2,5	2,5	2,5	1,8	-	-
2	0,2	2,4	1,7	2,4	-	-	-
3	0,1	1,2	1,2	1,1	-	-	-
4	0,1	1,4	1,2	1,3	-	-	-
5	0,2	2,0	2,2	2,0	-	-	-

ORJİNAL NUMUNE 4 AY 40 °C_ ATKİ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	6,5	72,0	10,4	14,3	25,0	48,9	-
2	6,4	71,7	11,2	14,2	22,8	45,8	-
3	6,3	69,8	9,8	13,8	25,5	50,3	-
4	6,5	72,7	10,4	14,5	25,9	52,4	-
5	6,7	74,3	10,0	14,3	25,6	52,7	-

HASARLI NUMUNE 4 AY 40 °C_ ATKİ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	4,0	44,5	7,2	12,9	23,5	-	-
2	4,0	44,4	8,8	12,9	21,8	43,2	-
3	4,1	45,6	8,5	12,5	21,0	41,5	-
4	3,4	37,9	7,2	13,0	22,9	-	-
5	4,2	47,1	8,2	13,1	23,2	46,2	-

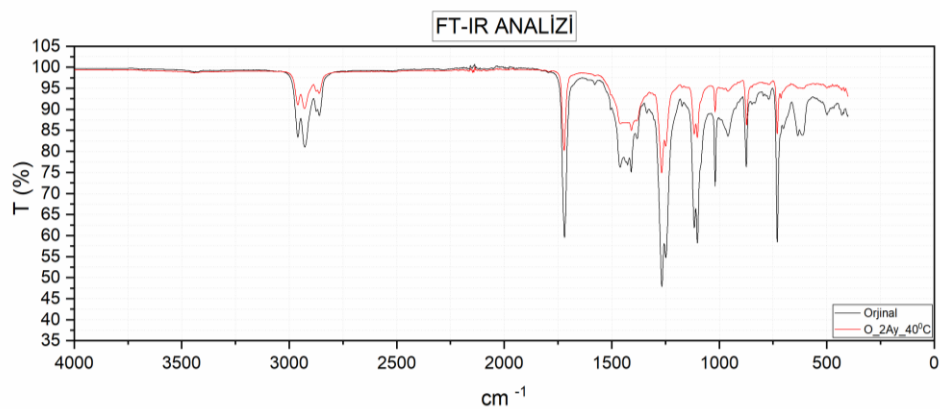
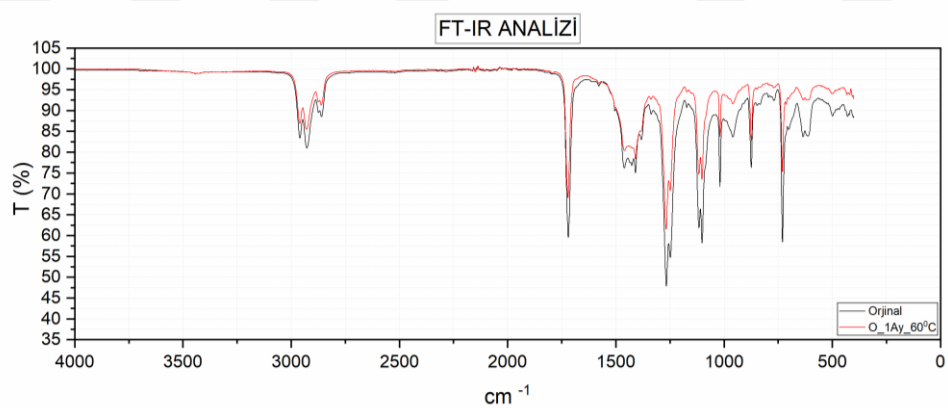
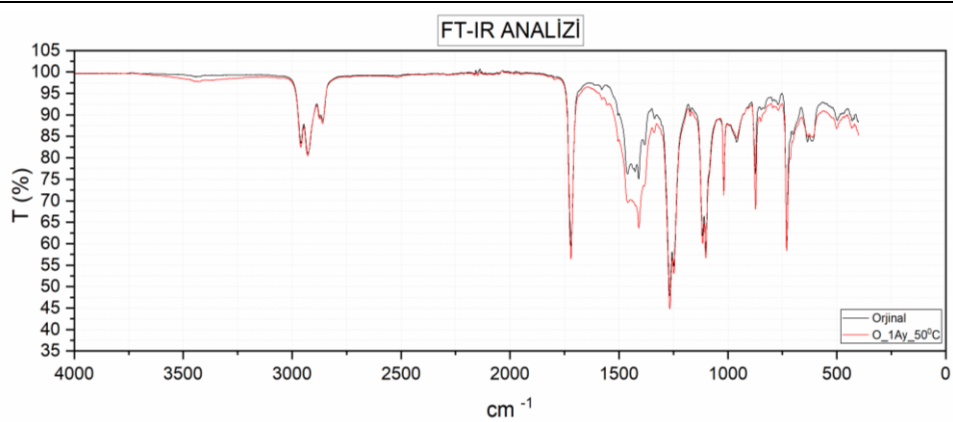
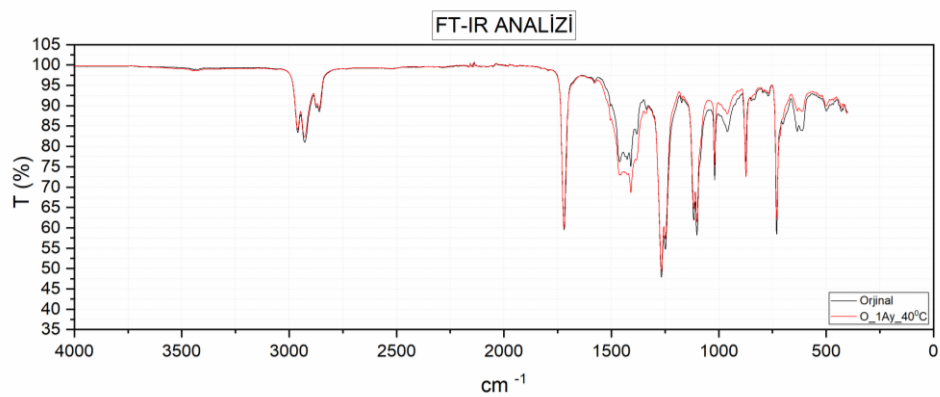
ORJİNAL NUMUNE 4 AY 50 °C_ ATKİ YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	3,3	37,1	8,3	13,5	23,3	35,1	-
2	4,3	48,3	9,4	14,0	23,9	44,9	-
3	4,5	49,6	12,8	14,1	23,9	39,2	-
4	4,0	44,6	8,9	13,8	23,2	42,3	-
5	4,1	45,7	8,3	13,4	23,3	44,7	-
6	4,4	49,0	8,2	14,4	25,2	47,6	-

EK A (devam):

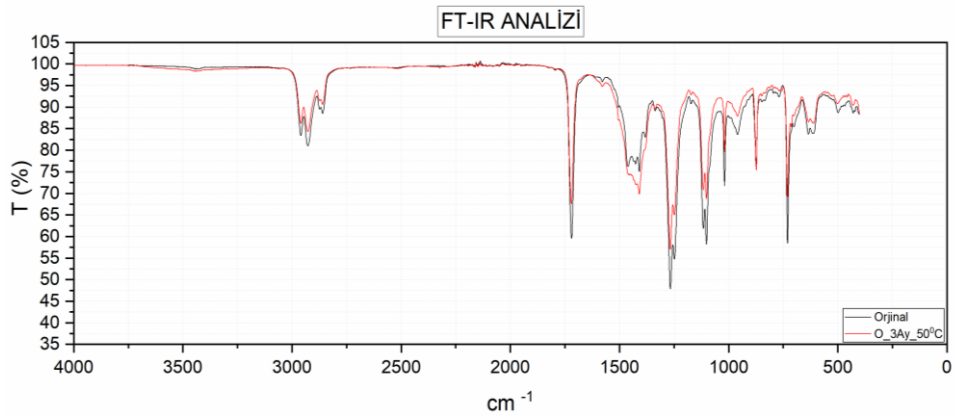
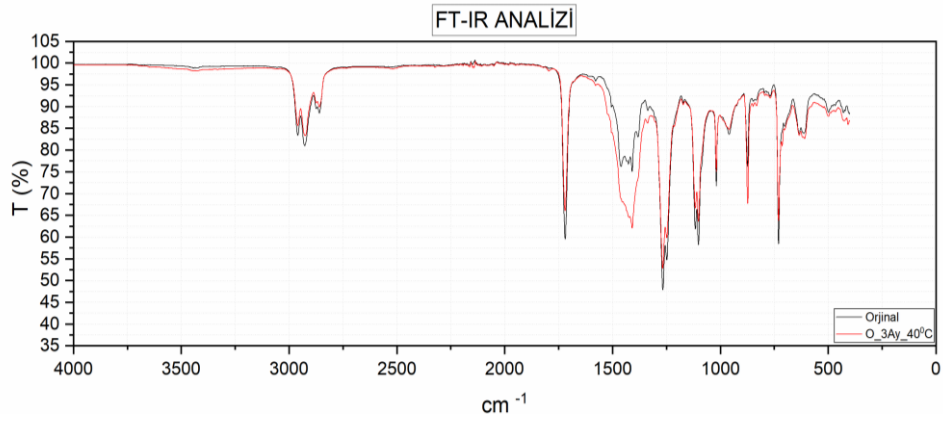
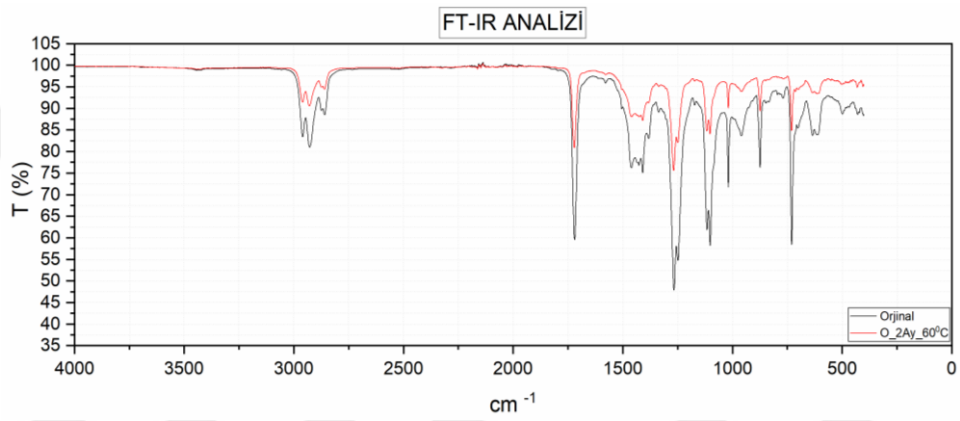
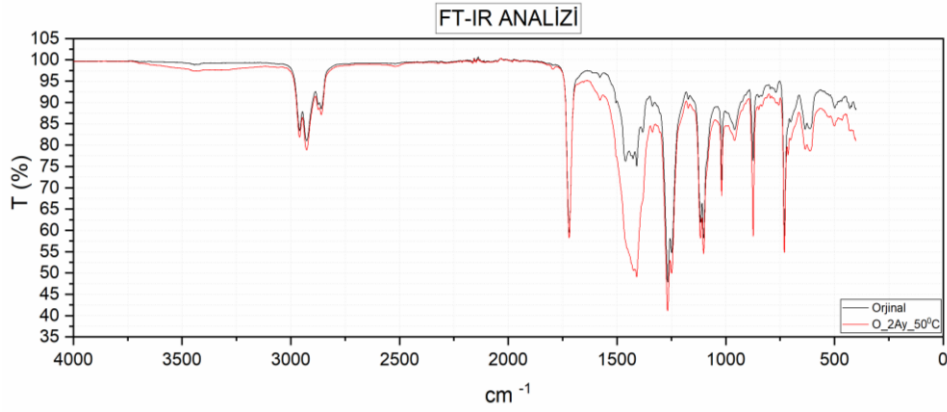
HASARLI NUMUNE 4 AY 50 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	1,8	20,3	6,5	8,9	15,3	17,2	-
2	1,6	18,4	6,5	9,0	15,2	-	-
3	1,6	17,3	6,0	8,3	14,5	13,4	-
4	1,2	13,8	5,2	8,0	13,2	-	-
5	1,7	18,6	6,2	8,9	15,2	-	-

ORJİNAL NUMUNE 4 AY 60 °C_ ATKI YÖNÜ							
Deney No	Fm (kN)	Fm (kN/m)	Am (%)	% 2'deki F (kN/m)	% 5'deki F (kN/m)	% 8'deki F (kN/m)	Gerilme (%)
1	1,5	16,8	9,5	8,8	11,0	14,1	-
2	1,5	16,3	7,0	9,3	13,9	15,6	-
3	0,5	5,4	2,3	5,3	4,0	-	-
4	0,9	10,1	6,7	7,7	8,8	-	-
5	0,9	10,1	3,4	8,6	7,9	-	-
6	1,2	12,9	5,4	9,2	12,5	-	-
7	2,0	22,7	7,2	11,5	19,1	18,6	-
8	0,4	4,7	2,7	4,4	-	-	-
9	1,0	11,1	6,2	7,9	9,9	-	-

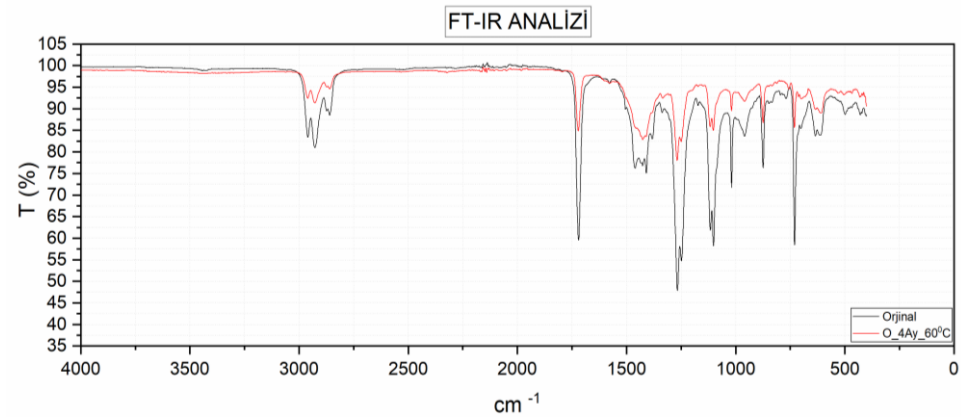
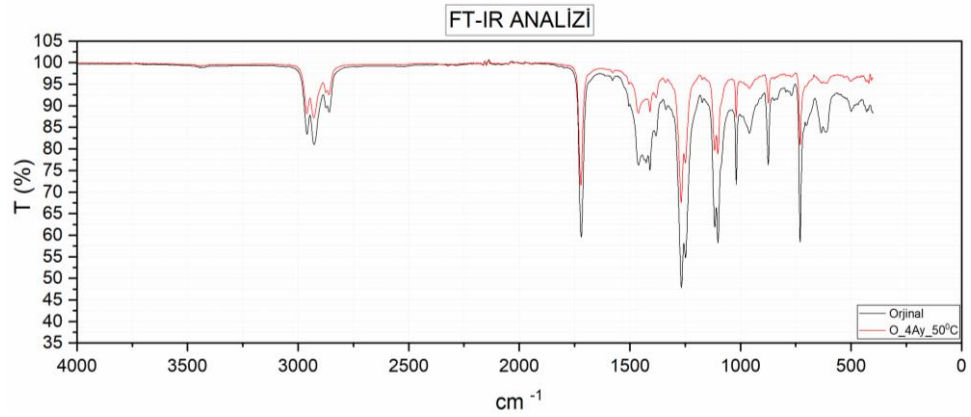
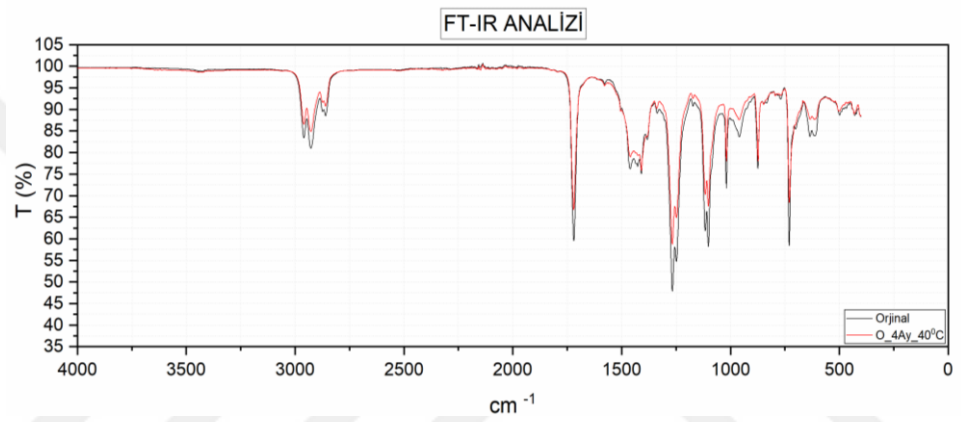
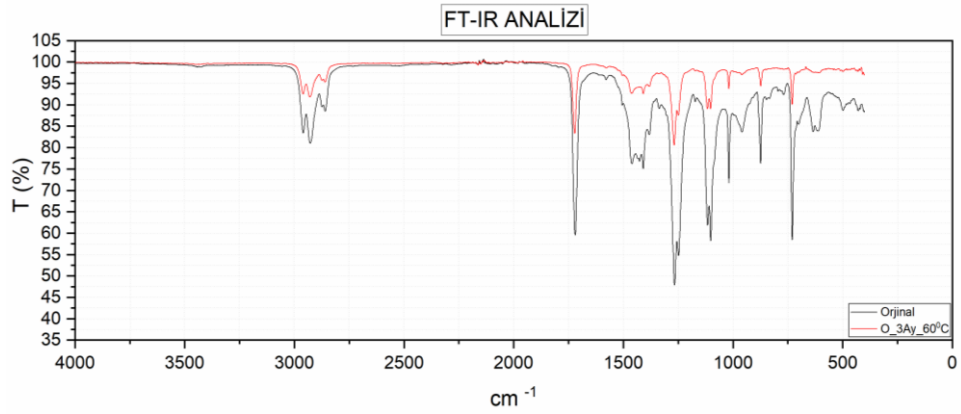
EK B:



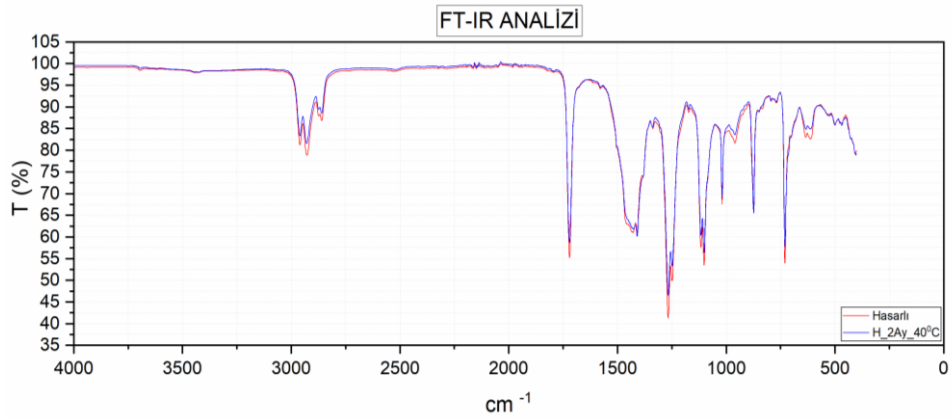
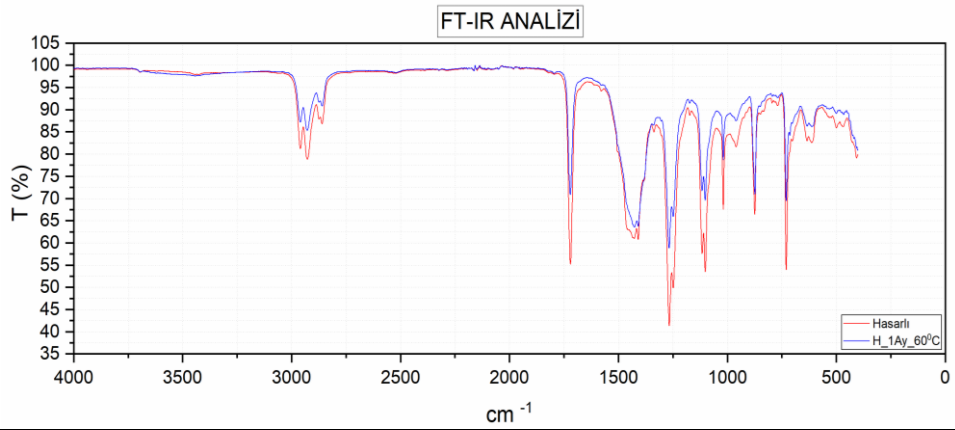
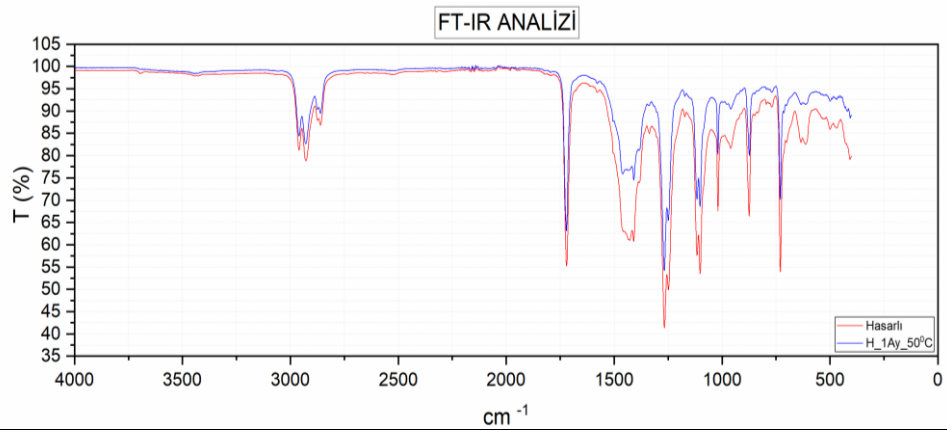
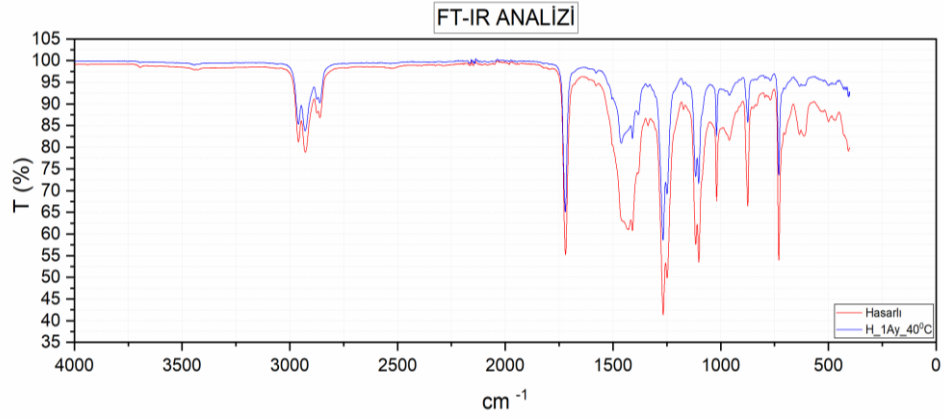
EK B (devam):



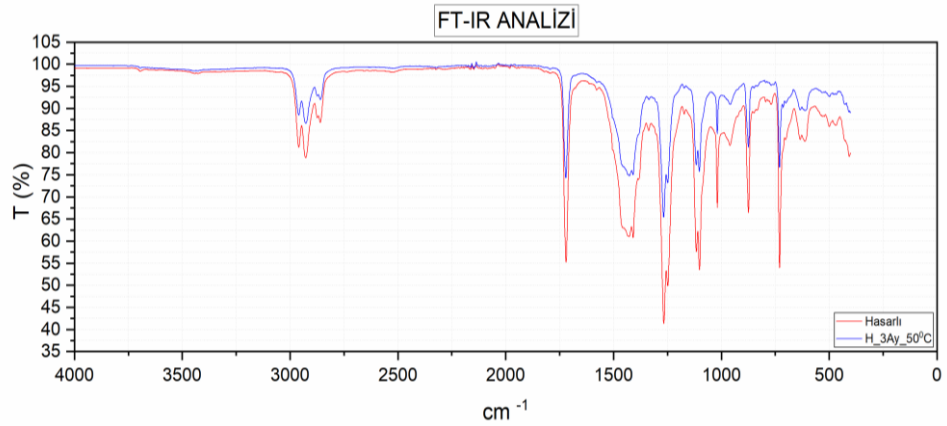
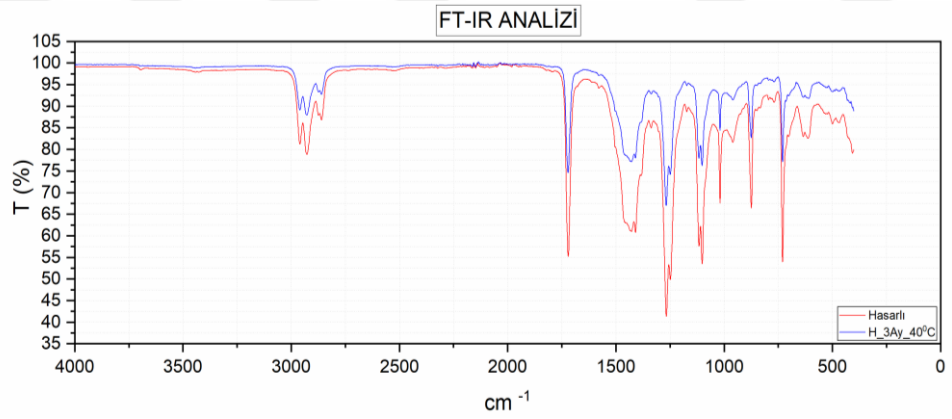
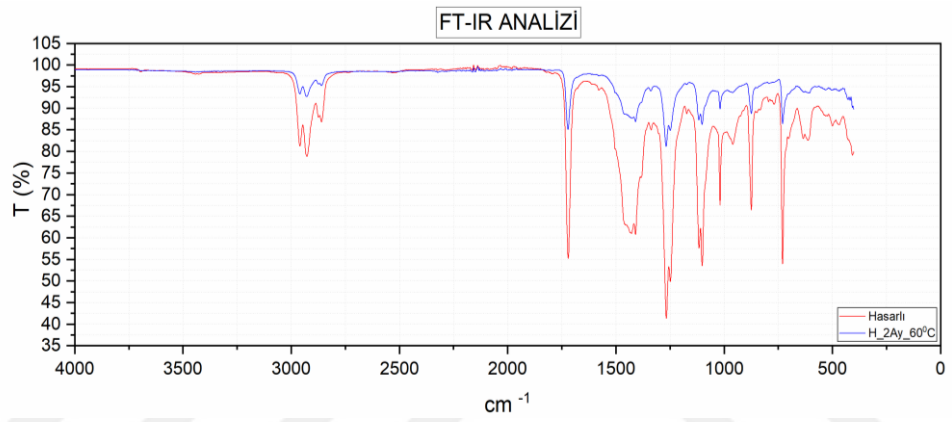
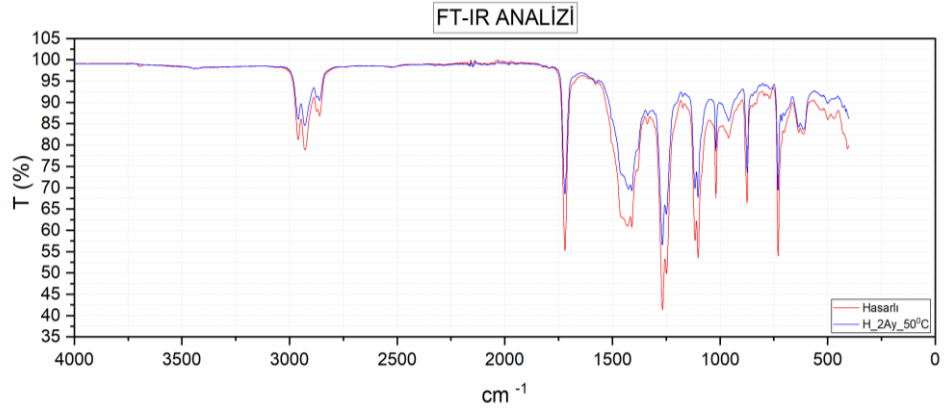
EK B (devam):



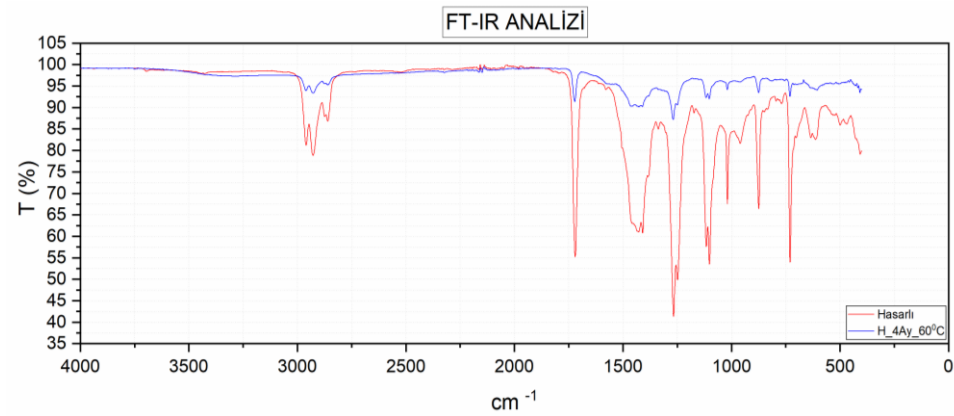
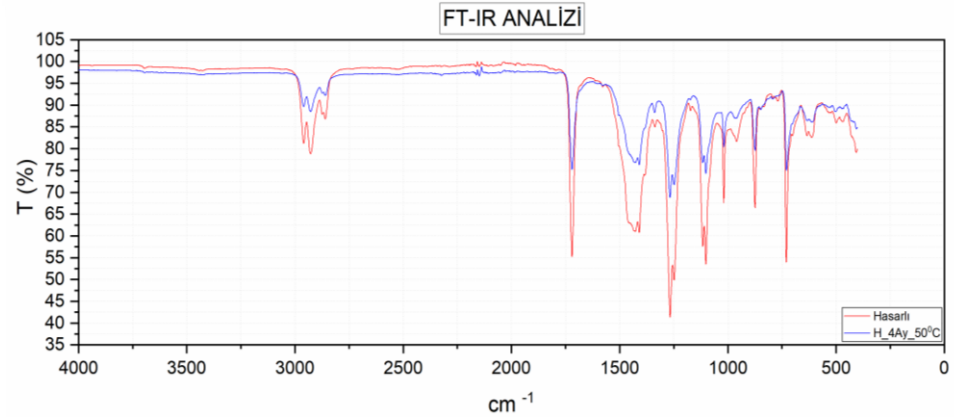
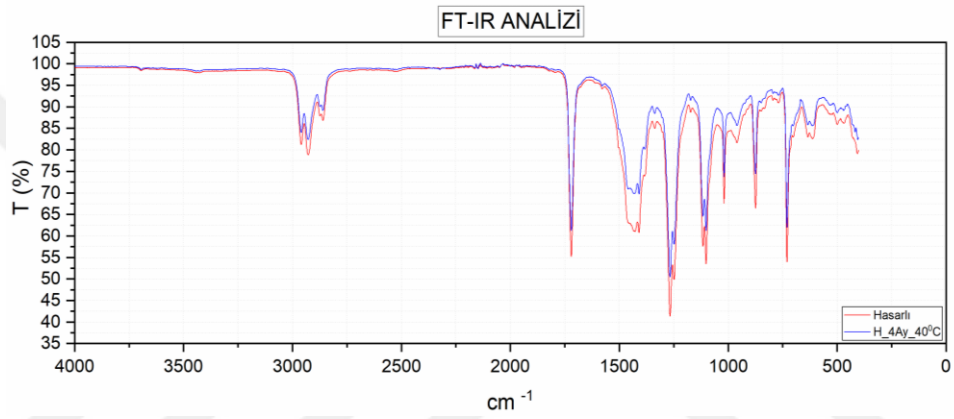
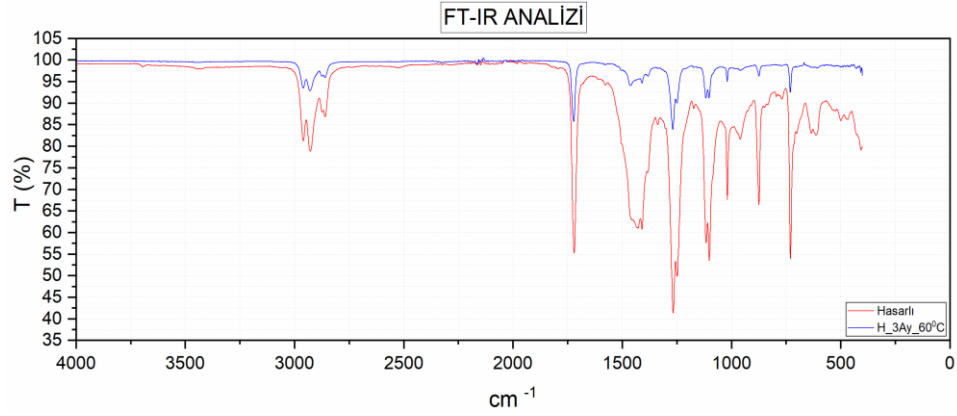
EK B (devam):



EK B (devam):



EK B (devam):



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

2602170057-Onur YAVAN

ORJİNALLİK RAPORU

%9

BENZERLİK ENDEKSİ

%8

İNTERNET KAYNAKLARI

%3

YAYINLAR

%3

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

Submitted to The Scientific & Technological
Research Council of Turkey (TUBITAK)

Öğrenci Ödevi

%2

2

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

%2

3

grpaustralia.com.au

İnternet Kaynağı

%1

4

docplayer.biz.tr

İnternet Kaynağı

<%1

5

hexavillelectric.hu

İnternet Kaynağı

<%1

6

www.cittametropolitana.bo.it

İnternet Kaynağı

<%1

7

avesis.istanbulc.edu.tr

İnternet Kaynağı

<%1

8

www.turkarchotolaryngol.org

İnternet Kaynağı

<%1

9

www.scribd.com

İnternet Kaynağı

<%1