

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEMALİYE (EĞİN) EVLERİNİN TOPRAK DÜZ DAM
YAPIM SİSTEMLERİNİN KORUNMASI VE ONARIMINA
YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

Temmuz, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEMALİYE (EĞİN) EVLERİNİN TOPRAK DÜZ DAM YAPIM
SİSTEMLERİNİN KORUNMASI VE ONARIMINA YÖNELİK
BİR MODEL ÖNERİSİ**

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI tarafından hazırlanan tez çalışması
31.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen
Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Işıl POLAT PEKMEZCİ, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Aynur ÇİFTÇİ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Zafer AKDEMİR, Üye

İstanbul Gedik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Kemaliye (Eğir) Evlerinin Toprak Düz Dam Yapım Sistemlerinin Korunması ve Onarımına Yönelik Bir Model Önerisi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI



Bu çalışma, TÜBİTAK'ın 217M561 numaralı projesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü' nün FBA-2021-4738 numaralı projesi ile desteklenmektedir.



Canım Bera'ma...

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen, bana her alanda yol gösterici olan değerli hocam Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarımı destekleyen TÜBİTAK'a, alan çalışmalarımı destekleyen YTÜ-BAPK'a, proje ekibinde yer alan değerli hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma, ahşap ölçümlerini gerçekleştirebilmem için gerekli ekipmanı sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Coşkun KÖSE'ye,

Tez izleme komitesinde yer alan ve tezin ilerleme sürecinde bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Nabi YÜZER ve Doç. Dr. Işıl POLAT PEKMEZCİ'ye,

Deneyisel çalışmalarım ve alan çalışmalarım sırasında büyük bir hassasiyet ve sabırla benden yardımını esirgemeyen sevgili Hülya SEVER, Türkan SARP, Nazlı Ece ÖZ, Murat GÜLEN ve teknisyenimiz Halil Yavaşca'ya,

Geleneksel yapım teknikleri bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan Mustafa MALKOÇ başta olmak üzere tüm Kemaliye'li yerel yapı ustalarına,

Hayatım boyunca varlıklarına şükrettiğim canım babam Mehmet Oğuz GÖKYİĞİT'e ve canım kardeşim Ahmet Yiğit GÖKYİĞİT'e,

Doktora çalışmalarım boyunca hayatımı kolaylaştırmak için ellerinden geleni yapan ve desteklerini esirgemeyen sevgili halam Emine Arzu GÖKYİĞİT, yengem Reyhan GÖKYİĞİT, annem Gülümser ARPACI ve babam Gürcan Birol ARPACI'ya,

Her zaman elini omuzumda hissettiğim, zaman zaman sabrını sınadığım ama hep sevgisinden güç aldığım çok değerli eşim Dağhan Mehmet ARPACI'ya,

Hayatımın anlamını değiştirip tekrar sorgulamamı sağlayan canımın içi oğlum Ahmet Bera ARPACI'ya

Tüm aileme, kalanlara ve gidenlere en içten teşekkürlerimi sunarım.

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xx
ÖZET	xxii
ABSTRACT.....	xxv
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	8
2 GELENEKSEL DÜZ TOPRAK DAM YAPIM TEKNİKLERİ VE KORUMA SORUNLARI	8
2.1 Dünyada Düz Toprak Dam Yapım Tekniği ve Koruma Sorunları	9
2.1.1 Asya Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği	9
2.1.2 Avrupa Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği	11
2.1.3 Afrika Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği	15
2.1.4 Amerika Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği	17
2.2 Anadolu’da Düz Toprak Dam Yapım Tekniği ve Koruma Sorunları.....	21
2.2.1 Ege Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	23
2.2.2 Akdeniz Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	24
2.2.3 Karadeniz Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	25
2.2.4 İç Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	25
2.2.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	27
2.2.6 Doğu Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	29
3 KEMALİYE YERLEŞİMİNİN ÖZELLİKLERİ	38
3.1 Kemaliye Yerleşiminin Fiziki Konumu ve Sismolojik Özellikleri.....	38
3.2 Kemaliye Yerleşiminin Demografik ve Ekonomik Yapısı	41
3.3 Kemaliye Yerleşiminin Meteorolojik Özellikleri	46
3.4 Kemaliye Yerleşiminin Mimari Özellikleri ve Koruma Sorunları	50
3.5 Kemaliye’de Düz Toprak Dam Yapım Tekniği.....	63
4 YAPI TOPRAĞININ İNCELENMESİ VE KATKI MALZEMELERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ.....	78
4.1 Yapı Toprağının İncelenmesi.....	79
4.1.1 İç Yapı Analizleri.....	79

4.1.2	Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesi.....	79
4.1.3	Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	85
4.1.4	Mekanik Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	91
4.2	Yapı Toprağının Katkı Malzemeleri Kullanılarak İyileştirilmesi.....	93
4.2.1	Yapı Toprağına Katılan Portland Çimentosu.....	95
4.2.2	Yapı Toprağına Katılan Kireç Katkı,.....	95
4.2.3	Yapı Toprağına Katılan Bitüm Katkı.....	98
4.2.4	Yapı Toprağına Katılan Elektrolitler.....	98
5	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	101
5.1	Özgün Malzemelerin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	106
5.1.1	Özgün Malzemelerin İç Yapı Özelliklerinin Belirlenmesi.....	107
5.1.2	Özgün Malzemelerin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	109
5.1.3	Özgün Malzemelerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	114
5.1.4	Özgün Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	121
5.1.5	Özgün Malzemelerle Gerçekleştirilen Deneylerin Değerlendirilmesi.....	122
5.2	Katkılı Topraklarla Gerçekleştirilen Ön Deneyler.....	125
5.2.1	Katkılı Toprakların Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	126
5.2.2	Katkılı Toprakların Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	127
5.2.3	Katkılı Topraklarla Yapılan Ön Deneylerin Değerlendirilmesi ve Katkıların Seçilmesi.....	135
5.3	Seçilen Katkılı Toprakların Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	141
5.3.1	Seçilen Katkılı Toprakların Su Muhtevalarının Belirlenmesi.....	141
5.3.2	Seçilen Katkılı Topraklarla Numune Üretilmesi ve Taze Haldeki Deneyler.....	142
5.3.3	Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Kür Koşulları ve Donma-Çözülme Çevrimlerinin Belirlenmesi.....	146
5.3.4	Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	147
5.3.5	Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Mekanik Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	154
5.3.6	Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Malzeme Deneylerinin Değerlendirilmesi.....	157
6	ALAN ÇALIŞMASI.....	163

6.1 Model Dam Deneyleri Öncesi Prototipin Üretilmesi.....	163
6.2 Kemaliye’de Model Damların Üretilmesi.....	171
6.3 Model Damların Deney Düzenegi ve Ölçümlerin Alınması.....	178
6.4 Model Damlardan Alınan Ölçümlerin ve Gözlemlerin Değerlendirilmesi	184
7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	196
KAYNAKLAR	204
EK-A LİKİT LİMİT GRAFİKLERİ.....	212
EK-B KILCAL SU EMME GRAFİKLERİ	215
EK-C ALAN ÇALIŞMASI DENEY VERİLERİ.....	224
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR.....	227



SİMGE LİSTESİ

A	Alan
as	Ağırlıkça Su Emme Miktarı
f_b	Basınç Dayanımı
β	Birim Hacim Ağırlık
f_e	Eğilme-Çekme Dayanımı
E_e	Elastisite Modülü
V	Hacim
hs	Hacimce Su Emme Miktarı
f_n	Kayma Gerilmesi
f_{es}	Kesme Direnci
Qi	Kılcal Yolla Emilen Su Miktarı
k	Kompasite
W	Kütle
W_l	Likit Limit
W_0	Numunenin Etüv Kurusu Ağırlığı
γ	Özgöl Ağırlık
W_p	Plastik Limit
I_p	Plastisite İndisi
p	Porozite
W_s	Rötre Limiti
°C	Santigrat Derece
ΔT	Sıcaklık Değişimi
W_i	Su Emdirilen Numunelerin Belirli Dakikalardaki Ağırlıkları
W_{ss}	Suya Doyurulmuş Numunenin Havadaki Ağırlığı
W_{ss}	Suya Doyurulmuş Numunenin Sudaki Ağırlığı

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society for Testing Material
BAPK	Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BS	British Standards
GAP	Genel Araştırma Projesi
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites / Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KAP	Katılımlı Araştırma Projesi
KEMAV	Kemaliye Kültür ve Kalkınma Vakfı
MEB	Millî Eğitim Bakanlığı
MEVBİS	T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sistemi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PVC	Polivinil klorür
RPM	Revolutions Per Minute / Sabit Eksende Bir Dakikada Gerçekleştirilen Dönüş
TS	Türk Standartları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
XRD	X-Ray Diffraction / X Işını Difraksiyonu
XRF	X-Ray Fluorescence / X Işını Floresansı
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 a,b) Ahşap kirişli toprak dam ve damı sıkıştırmakta kullanılan silindirik taş, Suriye [29]	12
Şekil 2.2 Düz, toprak dam üzerine membran sererek koruma uygulama adımları [29]	13
Şekil 2.3 a,b) Rodos Adası, Yunanistan [18]	14
Şekil 2.4 Rodos Adası, dam detayı ve damın iç organizasyonu [18]	14
Şekil 2.5 Kourassani uygulaması ve detayı [18]	15
Şekil 2.6 Tip 1: kirişli, parapetli çatılı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ahşap kirişler, 4-kiremit çörten, 5-parapet); Tip 2: kiriş üzerinde ahşap parçalar ve taş kaplama, saçak ucu eğimli taş kaplı (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ahşap kirişler, 4-ahşap parçalar, 5-eğimli taş plaklar); Tip 3: kiriş üzerinde ahşap parçalar ve taş kaplamalı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ahşap kirişler, 4-ahşap parçalar, 5-kiremit çörten); Tip 4: kiriş üzerinde ahşap ve taş kaplamalı, şimşir dallı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-şimşir dalları, 3-taş plaklar, 4-ahşap kirişler, 5-tahtalar, 6-kiremit çörten) [16]	16
Şekil 2.7 a) Anana Tuz Vadisi toprak kaplama, yeni uygulanan taş kaplama ve özgün taş kaplamanın beraber görünümü / b) Anana Tuz Vadisi özgün taş kaplama (Fotoğraf: A. Çiftçi, 2019)	17
Şekil 2.8 a,b,c,d)Tunus'ta geleneksel düz çatı uygulaması [25].....	44
Şekil 2.9 Fas, Marakeş'te geleneksel düz çatı uygulaması [26]	45
Şekil 2.10 Taos Pueblo, Taos [54]	47
Şekil 2.11 Yapımı 1750'lere dayanan bölgedeki en eski yapı, Santa Fe [55].....	21
Şekil 2.12 Anadolu'da İncelenen Şehirler [56]	49
Şekil 2.13 Anadolu'daki Düz Toprak Dam Katmanları [56].....	47
Şekil 2.14 a) Ahşap döşeme kirişleri ve ahşap taban kaplaması; b) Tavan kaplaması olmayan döşeme kirişleri, balta ile yarılmış ağaç parçaları görülmekte; c) Çatı kaplaması üzerinde loğ taşı.....	25
Şekil 2.15 Muğla'nın Datça ilçesi Hızırşah köyü, a)Toprak dam strüktürü / b) Geleneksel yapıda duvar-döşeme ilişkisi [15].....	52
Şekil 2.16 Isparta ve Burdur illerinde toprak dam kesiti [17].....	53
Şekil 2.17 Ankara ve Eskişehir'de e toprak dam kesiti [17].....	54
Şekil 2.18 Kayseri'nin Ağırnas ilçesinde toprak dam kesiti [17].....	54
Şekil 2.19 a) Mazungil Evi, Loğ Taşı [19] b) Konya, Aydıncısla'da teras çatı loğ taşıyla loğlanıyor [18].....	55
Şekil 2.20 Diyarbakır damları [57].....	56
Şekil 2.21 Diyarbakır dam örtüsü ve loğ taşı [12].....	56

Şekil 2.22 a) Toprak dam üzerinde loğ taşı, Malatya [59], b) Bekir Tan Evi, kuzey-güney yönünde restitüsyon kesiti, Malatya [14].....	57
Şekil 2.23 Düz dam örtü kesiti, Van [21].....	58
Şekil 2.24 Kerpiç duvarlı köy evi, Van [21].....	59
Şekil 2.25 Bitlis Müftüler Evi'nden görünüş [13].....	59
Şekil 2.26 a) Özgün damın ek bir yeni çatı konstrüksiyonu ile kaplanması, Kemaliye- Erzincan; b) Düz toprak damın naylon ile örtülmesi, Divriği-Sivas; c) Düz toprak damın shingle ile örtmek, Divriği-Sivas (Fotoğraf: A. Çiftçi).....	63
Şekil 3.1 Kemaliye'nin konumu	39
Şekil 3.2 a) Kemaliye yerleşimi ve civar köyleri	39
Şekil 3.3 a) Kemaliye Yerleşimi, Karasu, Yama Dağı; b) Apçağa Köyünden Kemaliye Yerleşimi; c) Kemaliye Ariki Mahallesi; d) Karasu-Karanlık Kanyon	40
Şekil 3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, inşaat mühendisleri odası)	41
Şekil 3.5 a) Eğin halısı, b)Eğin kundurası, c) Kapı tokmakları.....	43
Şekil 3.6 Mani yolu ve Eğin manileri [73]	44
Şekil 3.7 Lökthane, damda dut kurutma, lök.....	45
Şekil 3.8 a) Kadıgölü; b) Bölgedeki barajlar	46
Şekil 3.9 Geçmiş ve güncel MGM verilerine göre Kemaliye'de ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi.....	47
Şekil 3.10 İklim projeksiyonlarına göre Fırat-Dicle Havzasında öngörülen yıllık ortalama sıcaklık artışları	48
Şekil 3.11 Kemaliye’de ortalama, yıllık yağış miktarının aylara dağılışı	49
Şekil 3.12 Kemaliye’de donlu günlerin aylara göre dağılışı	50
Şekil 3.13 Kemaliye’de ortalama nispi nem oranları	50
Şekil 3.14 Kemaliye merkezdeki özgün düz damlı konutlar (Kemaliye Belediyesi arşivi, tarihsiz fotoğraf)	51
Şekil 3.15 Nehre yakın ilk set üzerindeki düşük yoğunluklu yapılaşma [2]	52
Şekil 3.16 a) Eğime paralel ve dik yolların ev ile ilişkisi [2] b) Yakupağa Konağı (Fotoğraf: T. Akbulut, 2012).....	52
Şekil 3.17 a) Kayaların üzerine inşa edilmiş evler [4]; b)Apçağa Köyü kaya üzerindeki ev	53
Şekil 3.18 a) Kadıgölü, b,c) Su arkları	53
Şekil 3.19 a) Torta [4] b) Sokak köşesinde pahlama	54
Şekil 3.20 a,b,c) Kemaliye evleri d) Yakupağa Konağının düz toprak damı, b) KEMAV evinin düz toprak damı	55

Şekil 3.21 a) Kemaliye evinin taş duvarı, b) Kemaliye evinin seki duvarı	56
Şekil 3.22 a,b,c,d,e) Kemaliye Evinin Döşemeleri.....	57
Şekil 3.23 Yakupağa Konağı, Zemin Kat Planı [76].....	58
Şekil 3.24 Yakupağa Konağı, 1. Kat Planı [76]	59
Şekil 3.25 Yakupağa Konağı, Yetme Kat Planı [76].....	59
Şekil 3.26 Yakupağa Konağı, A-A Kesiti [76].....	60
Şekil 3.27 Yakupağa Konağı, B-B Kesiti [76]	60
Şekil 3.28 a) Kemaliye evinin sac levhalarla kaplanması; b) Kemaliye merkezde muhdes çatılı konut dokusu (Fotoğraf: D. Ekşi Akbulut, 2010).....	62
Şekil 3.29 a) Kemaliye evinin özgün duvarlarının çimento harcıyla onarılması, b) Özgün ahşap kirişlerin çelik I ve kutu profillerle desteklenmesi, özgün zemin ve duvarın seramik kaplanması	62
Şekil 3.30 a) Çağdaş restorasyon çalışmaları sırasında özgün yapılara yapılan müdahaleler, b) Geleneksel konutların tam karşısına inşa edilen betonarme yapılar.....	63
Şekil 3.31 a) Mustafa Malkoç ve Mustafa Olgunöz ile görüşme, b) Mahmut Okçu ile görüşme	64
Şekil 3.32 a) KEMAV Evi, Yetme kattan toprak dama bakış; b) Röleve çalışmaları (Fotoğraf: S. E. Yıldız, 2019).....	65
Şekil 3.33 Döşeme kirişleri ve tavan kaplaması, a) KEMAV evi b) Apçağa Köyü	66
Şekil 3.34 a) Tavan kaplaması olmayan döşeme, KEMAV evi yetme kat, b) Sırakonak Köyü.....	66
Şekil 3.35 Toprak dam Kesiti a) Naip Mahallesi, b) Yakup Ağa Konağı, Apçağa Köyü.....	67
Şekil 3.36 a) Rıhtım ve Loğ Taşı, Hasan Köroğlu Evi, b) Rıhtım Taşı, KEMAV Evi	69
Şekil 3.37 a,b) Loğ taşı, Yakup Ağa Konağı Apçağa Köyü.....	70
Şekil 3.38 1949 yılında Hüseyin Karadayı tarafından fotoğraflanmış Apçağa Köyü'nün genel görünümü	71
Şekil 3.39 Çörtten detayı a) Efegil Konağı; b) Akçalı Köyü (Fotoğraf: A. Çiftçi, 2012).....	72
Şekil 3.40 Çörtten detayı a) Efegil Konağı; b)Apçağa Köyü	72
Şekil 3.41 a) 1. Tip özgün düz dam saçak kesiti, b) 2. Tip özgün düz dam saçak kesiti, c) 3. Tip saçak “cağ/yarma süvüng” kesiti, d) 4. Tip saçak “sanduka süvüng” detayı [10]	73
Şekil 3.42 KEMAV evi sistem kesiti.....	74
Şekil 3.43 KEMAV evi özgün dam yapım tekniği	101

Şekil 3.44 a,b,c) Suyun Kohezyonlu ve Küçük Daneli Toprak İçerisinde Toprak Suya Tamamen Doyana Kadar Yayılarak İlerlemesi [78]	77
Şekil 4.1 Toprak çeşitlerinin şematik gösterimi [80]	79
Şekil 4.2 a) Elek seti b) Hidrometre [89].....	82
Şekil 4.3 Killi topraklarda kıvam limitleri [30].....	84
Şekil 4.4 Casagrande cihazında a) Yarık açıldıktan sonraki durum, b) Yarık kapandıktan sonraki durum	85
Şekil 4.5 Yatılma tablası deney düzeneği [92]	87
Şekil 4.6 Vicat aleti (sondalı) [95].....	88
Şekil 4.7 Le chetalier flask şişesi.....	89
Şekil 5.1 Çalışma Adımları	102
Şekil 5.2 Çalışma Adımları (1. Aşama).....	102
Şekil 5.3 Çalışma Adımları (2. Aşama).....	102
Şekil 5.4 Çalışma Adımları (3. Aşama).....	102
Şekil 5.5 a) Gavcin toprağı, b) Yaşkuru toprağı, c) Rıhtım taşı	107
Şekil 5.6 Tez kapsamında kullanılan gavcin toprağının çıkarıldığı yerin konumu	107
Şekil 5.7 Rıhtım kodlu örneğe ait XRD paterni.....	134
Şekil 5.8 Gavcin kodlu örneğe ait XRD paterni.....	134
Şekil 5.9 Yaşkuru-1 kodlu örneğe ait XRD paterni.....	135
Şekil 5.10 Rıhtım kodlu örneğe ait petrografil ince kesit görüntüsü.....	136
Şekil 5.11 a) Toprağın yıkanarak elenmesi b) 50 g numune c) 200 numaralı elekten geçen ve etüvden çıkan numune d) Numunenin mikserde karıştırılması, e) Ölçüm kabındaki numune.....	137
Şekil 5.12 Gavcin toprağının dane çapı dağılımı.....	138
Şekil 5.13 Yaşkuru-1 toprağının dane çapı dağılımı.....	138
Şekil 5.14 Yaşkuru-2 toprağının dane çapı dağılımı.....	138
Şekil 5.15 a) Piknometreye su doldurulması b) Piknometreye eklenmiş numune ve su, c) Numunenin vakum pompasına bağlanması (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı, 2021).....	139
Şekil 5.16 a) Numunenin 40 nolu elekten elenmesi, b) Elenmiş zemin ve katkı malzemeleri, c) Palet bıçağı ile karıştırılan numune (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı,2021).....	114
Şekil 5.17 a) Casagrande cihazına yerleştirilmiş numune ve oluk açma bıçağı b)Krank kolunun çevrilmesi c) Likit limit ve plastik limit ölçümleri için etüve girmek üzere hazırlanan numuneler (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı,2021).....	141

Şekil 5.18	a) Üretimde kullanılan karıştırıcı, b) İlk tabakanın kalıplara yerleştirilmesi, c) İkinci tabakanın sarsma tablası üzerinde kalıplara yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021).....	142
Şekil 5.19	a) Yayılma deneyi - numunenin tokmaklanması, b) Yayılma deneyi - yayılma miktarının ölçülmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021).....	143
Şekil 5.20	a,b) Vicat kıvam ve priz süresi tayin cihazı (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	144
Şekil 5.21	a) Özgül ağırlık deneyi - numunenin öğütülüp elenmesi, b) Özgül ağırlık deneyi - Le chetallier şişesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021).....	145
Şekil 5.22	a) İklimlendirme kabini içerisinde neme doyurulan numuneler, b) İklimlendirme kabini kontrol paneli (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı, 2021).....	146
Şekil 5.23	a) Kılcal su emme (kapilarite) deneyi sonucu özgün numunelerde suyun yükselişi a) G1%29, b) G1%29-u, c) G1%17, d) G1%22, e) G1%17-dc, f) G1%22-dc.....	147
Şekil 5.24	Kılcal su emme (kapilarite) deneyi sonucu özgün numunelerin $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği.....	147
Şekil 5.25	a) Basınç dayanımı deney düzeneği b) Eğilme-çekme dayanımı deney düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	123
Şekil 5.26	a,b) Numune üretimi öncesi malzemelerin hazırlanması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021).....	155
Şekil 5.27	a,b,c) Numunelerin kıvamının belirlenmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021).....	156
Şekil 5.28	a,b) Kürde bekleyen numuneler.....	157
Şekil 5.29	Kılcal su emme deneyi sonucu numunelerin 28. gün $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği....	159
Şekil 5.30	Kılcal su emme deneyi sonucu numunelerin 365. gün $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği..	159
Şekil 5.31	28. gündeki kılcal su emme deneyi sonucu katkılı numunelerde suyun yükselişi a) $G_2=3\text{cm}$, b) $G_3<0.25\text{cm}$, c) $G_4=1\text{cm}$, d) $G_5=1,5\text{cm}$, e) $G_6=5\text{cm}$, f) $G_7=0,5\text{cm}$	160
Şekil 5.32	365. gündeki kılcal su emme deneyi sonucu katkılı numunelerde suyun yükselişi a) $G_2-u=4,5\text{cm}$, b) $G_3-u=1\text{cm}$, c) $G_6-u=5,5\text{cm}$	160
Şekil 5.33	28. günde suda çözünme deneyi a) Birkaç dakika sonra G_1 , b) 1 saat sonra G_1 , c) Birkaç dakika sonra G_4 , d) 1 saat sonra G_4 , e) Birkaç dakika sonra G_5 , f) 1 saat sonra G_2 , g) 24 saat sonra G_2 , h) 24 saat sonra G_3 , i) 24 saat sonra G_6 ve G_7	161
Şekil 5.34	Casagrande sınıflandırma ve plastisite kartı.....	166
Şekil 5.35	Su muhtevalarının belirlenmesi için alanda vicat kıvam deneyi yapılması (Erzincan, Kemaliye - Alan çalışması, 2022).....	169

Şekil 5.36 Taze haldeki kalıplanmış numuneler a)G1%17, b)G1%22, c)G3%17, d)G3%22, e)G7%17, f) G7%22 (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	171
Şekil 5.37 Yayılma deneyi düzeneği a,b) Ölçüm alınması, c) Numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	172
Şekil 5.38 Numunelerin donma-çözülme çevrimleri için iklimlendirme kabinine yerleştirilmesi (YTÜ, Geoteknik Laboratuvarı, 2023).....	174
Şekil 5.39 Donma-çözülme çevrimleri için uygulanan yöntem.....	176
Şekil 5.40 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkılı topraklarla üretilen numunelerin donma-çözülme öncesi $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	179
Şekil 5.41 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkılı topraklarla üretilen neme doyurulmuş numunelerin donma-çözülme sonrası $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	179
Şekil 5.42 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkılı topraklarla üretilen G3%17 ve G3%22 numunelerinin neme doyurularak ve suya doyurularak gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrası $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	180
Şekil 5.43 Numunelerin Suda Çözülmesi a) donma-çözülme öncesi G3%22 ve G7%22, b) donma-çözülme öncesi G1%17.....	181
Şekil 5.44 a,b) Basınç dayanımı test düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı).....	181
Şekil 5.45 Eğilme-çekme dayanımı test düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı).....	183
Şekil 5.46 Donma-çözülme çevrimlerinden sonra numuneler a) G7%17, b) G7%22, c) G3%17 ve G3%22 (YTÜ, geoteknik laboratuvarı, 2023).....	184
Şekil 6.1 Dam prototipinin ve modellerinin üçboyutlu çizimi	164
Şekil 6.2 a) YTÜ inşaat fakültesi yapı malzemeleri laboratuvarında muhafaza edilen ahşap ürünler (Şubat, 2022).....	165
Şekil 6.3 a) 1. Tip özgün düz dam sistem kesiti, b) Apçağa Köyü'nün Hüseyin Karadayı tarafından çekilmiş 1949 tarihli genel görünümü.....	165
Şekil 6.4 a) Taban kirişlerinin çakılması, b) Okların (kirişlerin) yerleştirilmesi, c) Kirişlerin kesilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)	166
Şekil 6.5 a,b) Konstrüksiyon içerisindeki payandalar ve cephe kaplamasının çakılması, c) Döşeme kirişlerinin yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	167
Şekil 6.6 a) Döşeme-Tavan Kaplamasının Çakılması, c) Alın Tahtasının Yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	168
Şekil 6.7 a) Fitol (eğik ahşap eleman) b) Alın tahtası birleşim detayı, c) Çörten cephesinden alın tahtasının yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	168

Şekil 6.8 a) Yaşkuru toprağının hazırlanması, b) Yaşkuru toprağının kıvamı (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	169
Şekil 6.9 a) Gavcin toprağının serilmesi, b) Rıhtım taşlarının kırılması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	170
Şekil 6.10 a) Oluktan başlayarak rıhtım taşlarının çakılması, b) Rıhtım taşlarının çakılması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022).....	170
Şekil 6.11 a) Rıhtım taşlarının çakılması, b) Gavcin toprağı ile doldurulmuş dam (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)	171
Şekil 6.12 a) Dam modellerinin konumu (Google,2022) b) Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Prof. Dr. Ali Demirsoy Doğa Tarihi Müzesi giriş avlusu, Kemaliye	172
Şekil 6.13 a) Dam modellerinin zemin döşemesi, b) Dam modellerinin duvar dolgusu, c) Dam modellerinin kapısı	173
Şekil 6.14 a,b,c) Dam modellerinin ahşap konstrüksiyonu ve merteklerin yerleştirilmesi	173
Şekil 6.15 a,b,c) Dam modellerinin ahşap konstrüksiyonu ve merteklerin yerleştirilmesi	174
Şekil 6.16 a) Yaşkuru toprağının hazırlanması, b) Yaşkurunun merteklerin üzerine serilmesi	200
Şekil 6.17 a) Yaşkurunun fitil seviyesine çıkarılması, b) Yaşkurunun dama serilip düzeltilmesi	200
Şekil 6.18 Kuru Karışımların Dam Modelleri İçerisinde Saklanması.....	201
Şekil 6.19 a) Gavcinli Katkılı ve Katkısız Toprakların Hazırlanması, b) Gavcinli Katkılı ve Katkısız Toprakların Yaşkuru Üzerine Serilmesi	202
Şekil 6.20 a,b) Dam Modelleri Üzerine Mustafa Malkoç Tarafından Rıhtım taşlarının Çakılması.....	202
Şekil 6.21 a,b) Kalan Boşlukların Tekrar Gavcin Toprağı İle Doldurulması.....	178
Şekil 6.22 a,b) Dam Modellerinin Sıkıştırılması, b) Sıkıştırılmış Dam Modelleri	179
Şekil 6.23 Tasarlanan Oluk Sisteminin Üçboyutlu Çizimi.....	180
Şekil 6.24 a,b) Dam Modellerinin Su Çıkışlarının Ölçülebilmesi İçin Geliştirilen Oluk Sistemi	180
Şekil 6.25 a,b,c) Dam Modellerinin Su Çıkışlarının Ölçülebilmesi İçin Geliştirilen Oluk Sistemi d,e) Değiştirilen Su Damacaları	181
Şekil 6.26 Toprak damların altında kalan ahşap tavan kaplamalarının direnç tipi rutubet ölçer ile su muhtevalarının ölçülmesi a) Direnç tipi rutubet ölçerin çekiç ile ahşap malzemeye çakılması, b) Rutubet ölçerin ahşap içerisine yerleştirilmesi, c) Ahşap cinsi ve sıcaklık ayarı yapılarak okuma alınması	182

Şekil 6.27 a) Damdan rıhtım taşları sökülerek toprak numunenin alınması, b) Alınan numunelerin tartılması ve paketlenmesi, c) Damlardan alınan toprak numuneleri	182
Şekil 6.28 a) Dam modelleri üzerinde toprak numunelerin alındıkları yerler – model dam plan krokisi b) dam modelleri üzerinde ahşap malzemelerde yapılan ölçümlerin yerleri – model dam tavan plan krokisi.....	183
Şekil 6.29 a,b) Su muhtevalarını hesaplamak için alandan getirilen numuneler.	184
Şekil 6.30 Dam Modellerinin Temmuz-2023 Tarihli Fotoğrafı	185
Şekil 6.31 Dam Modellerinin Temmuz-2023 Tarihli Fotoğrafı	185
Şekil 6.32 Dam Modellerinin Temmuz-2023 Tarihli Fotoğrafı	185
Şekil 6.33 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damlardan çıkan su miktarları	186
Şekil 6.34 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damlardan çıkan su miktarlarının mevsimlere dağılışı.....	187
Şekil 6.35 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damların iç mekân ve dış mekân sıcaklık verileri.....	188
Şekil 6.36 Bir yıllık ölçümlerde G1, G3 ve G7 kodlu model damların iç mekân ve dış mekân bağıl nem verileri	189
Şekil 6.37 Bir yıl sonunda ahşap ve toprak malzemedeki ölçülen su muhtevaları.	190
Şekil 6.38 G1 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)	190
Şekil 6.39 G3 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)	191
Şekil 6.40 G7 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)	191
Şekil 6.41 a,b,c) G1,G3 ve G7 kodlu damların 1 yıl sonunda iç mekan fotoğrafları (Temmuz-2023, Kemaliye)	192
Şekil 6.42 Model damların 1 yıl sonunda cephe fotoğrafları ve oluşan renk değişimleri a) G1, b) G3, c) G7 (Temmuz-2023, Kemaliye).....	193
Şekil Ek-A.1 Y2 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	212
Şekil Ek-A.2 G1 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	212
Şekil Ek-A.3 G2 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	213
Şekil Ek-A.4 G3 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	213
Şekil Ek-A.5 G4 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	213
Şekil Ek-A.6 G5 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	214
Şekil Ek-A.7 G6 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	214
Şekil Ek-A.8 G7 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği	214
Şekil Ek-B.1 G1 malzemesinin 28. gün $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	215
Şekil Ek-B.2 G1 malzemesinin 365. gün $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	215
Şekil Ek-B.3 G2 malzemesinin 28. gün $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği.....	216

Şekil Ek-B.4 G2 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	216
Şekil Ek-B.5 G3 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	216
Şekil Ek-B.6 G3 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	217
Şekil Ek-B.7 G4 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	217
Şekil Ek-B.8 G5 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	217
Şekil Ek-B.9 G6 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	218
Şekil Ek-B.10 G6 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	218
Şekil Ek-B.11 G7 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	218
Şekil Ek-B.12 G7 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği.....	219
Şekil Ek-B.13 G1%17 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	219
Şekil Ek-B.14 G1%22 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	219
Şekil Ek-B.15 G3%17 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	220
Şekil Ek-B.16 G3%22 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	220
Şekil Ek-B.17 G7%17 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	220
Şekil Ek-B.18 G7%22 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	221
Şekil Ek-B.19 G1%17-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	221
Şekil Ek-B.20 G1%22-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	221
Şekil Ek-B.21 G3%17-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	222
Şekil Ek-B.22 G3%22-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	222
Şekil Ek-B.23 G7%17-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	222
Şekil Ek-B.24 G7%22-dc Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	223
Şekil Ek-B.25 G3%17-dc2 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	223
Şekil Ek-B.26 G3%22-dc2 Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği	223

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dünyadaki düz toprak dam yapım tekniği örnekleri	42
Tablo 2.2 Anadolu'daki düz toprak dam yapım tekniği örnekleri	60
Tablo 2.3 Anadolu'daki düz toprak damların toprak katmanlarına göre sınıflandırılması [56]	62
Tablo 3.1 Kemaliye'nin kronolojik tarihi [5, 50, 51, 52]	68
Tablo 3.2 Yıllara göre Kemaliye ilçesi nüfus verileri [75]	36
Tablo 4.1 Toprağın içerisinde bulunan taneli malzemeler ve çap sınırları [77] ...	78
Tablo 4.2 Yapı toprağının iç yapı analizi için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]	80
Tablo 4.3 Yapı toprağının geoteknik özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]	81
Tablo 4.4 Yapı toprağının fiziksel malzeme özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]	86
Tablo 4.5 Yapı toprağının fiziksel malzeme özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]	92
Tablo 4.6 Toprak yapı standartlarına göre kullanılacak katkılar [83,84,85,86,87]	94
Tablo 4.7 Yapı toprağının suyun neden olabileceği hasarlara karşı iyileştirilebilmesi için kullanılan katkılar [30,32,35,36,37,40,41,42,43,44,45,46,47,51,52,90,100,101,102,103,104,105,106]	95
Tablo 5.1 Toz örneklerde bulunan minerallerin göreceli mineral bollukları	109
Tablo 5.2 Numunelerin XRF yöntemi ile elde edilen kimyasal özellikleri	109
Tablo 5.3 Kuru eleme yöntemi sonrası elek analizi sonuçları	113
Tablo 5.4 Özgün malzemelerin dane birim hacim ağırlık değerleri	114
Tablo 5.5 Özgün malzemelerin kıvam limitleri	114
Tablo 5.6 Taze haldeki deneylerde kullanılan özgün malzemelerin kodlanması	116
Tablo 5.7 Özgün malzemenin taze haldeki özellikleri	143
Tablo 5.8 Özgün malzemenin kıvam ölçümü	144
Tablo 5.9 Sertleşmiş haldeki deneylerde kullanılan özgün malzemelerin kodlanması	119
Tablo 5.10 Özgün malzemelerin sertleşmiş haldeki fiziksel özellikleri	122
Tablo 5.11 Özgün malzemelerin sertleşmiş haldeki mekanik özellikleri	123
Tablo 5.12 Uçucu kül (TS EN 196-1, 196-2, 451-1, 451-2, 1097-7, XRF)	126
Tablo 5.13 Söndürülmüş kalker kireci (CL 80 S) (TS EN 459-1)	127

Tablo 5.14 Hidrolik kireç (NHL-5).....	126
Tablo 5.15 Ayçiçek yağı	127
Tablo 5.16 Malzemeler, katkı oranları ve kodları.....	127
Tablo 5.17 Katkılı ve özgün numunelerin dane birim hacim ağırlık değerleri....	128
Tablo 5.18 Katkılı ve özgün numunelerin kıvam limitleri.....	128
Tablo 5.19 Katkılı ve özgün numunelerin taze haldeki özellikleri	130
Tablo 5.20 Üretilen kısa ve uzun vadeli numunelerin sertleşmiş haldeki özellikleri	136
Tablo 5.21 Farklı su muhtevalarındaki malzemeler, katkı oranları ve kodları ...	142
Tablo 5.22 Farklı su muhtevalarındaki numunelerin kıvam ölçümü	143
Tablo 5.23 Farklı su muhtevalarındaki numunelerin malzeme ve katkı oranları ile yerel ustanın uygulanabilir bulduğu su muhtevaları	144
Tablo 5.24 Üretilen numunelerin taze haldeki özellikleri.....	146
Tablo 5.25 Kemaliye’de yıllara göre donma-çözülme çevrim adetleri.....	175
Tablo 5.26 Kemaliye’de yıllara göre minimum sıcaklık değerleri ve gerçekleştiği aylar	149
Tablo 5.27 Kemaliye’de en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasındaki fark ΔT (°C)	149
Tablo 5.28 Donma-çözülme çevrimleri için uygulanan yöntem.....	150
Tablo 5.29 Özgün ve seçilen katkı topraklarla üretilen numunelerin fiziksel malzeme özellikleri	157
Tablo 6.1 Prototipin ve her bir model damın üretimi sırasında kullanılan malzemeler	164
Tablo 6.2 Bir yıl dış hava koşullarına maruz bırakılan dam modellerinden alınan toprak ve ahşap malzemelerin su muhtevaları	184
Tablo EK-C.1 Alanda üretilen modellerden ölçülen su çıkışları ve iç hava kalitesi.....	250

Kemaliye (Eğin) Evlerinin Toprak Düz Dam Yapım Sistemlerinin Korunması Ve Onarımına Yönelik Bir Model Önerisi

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI

Mimarlık Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

Tez kapsamında, Kemaliye evlerinin özgün düz toprak damlarının sürekli bakım ihtiyacını azaltmak amacıyla, çeşitli katkı malzemeleri ile damlarda kullanılan toprak malzemenin su geçirimsizlik özelliklerinin iyileştirilmesi ve getirilen önerinin özgün yapım tekniğine uygunluğunun test edilmesi hedeflenmiştir.

Giriş bölümünün ardından, ikinci bölümde farklı coğrafyalarda ve Anadolu’da uygulanan geleneksel düz toprak dam yapım teknikleri incelenmiş, koruma sorunları ile çağdaş koruma yöntemlerine değinilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde Kemaliye yerleşiminin özellikleri incelenmiş; literatür ve alan çalışmaları ile düz toprak dam yapım tekniği araştırılarak belgelenmiştir.

Dördüncü bölümde yapı toprağının malzeme özelliklerini belirlemek ve iyileştirebilmek için gerçekleştirilebilecek deneyler ve kullanılabilecek katkılar tanımlanmıştır.

Beşinci bölümünde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylere yer verilmiştir. Öncelikle Kemaliye evlerinde kullanılan özgün toprak ve taş

malzemelerin iç yapı özellikleri ile toprak malzemenin geoteknik ve fiziksel malzeme özellikleri incelenmiştir. Ardından katkılı numunelerin geoteknik özelliklerinin yanı sıra kısa ve uzun vadeli fiziksel malzeme özellikleri belirlenmiş, en iyi performansı sergileyen 2 katkı malzemesi seçilmiştir. Seçilen katkı malzemeleri ve özgün malzeme ile farklı su muhtevalarında numuneler tekrar üretilmiş, fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri incelenmiştir. Ardından donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri tekrar ölçülerek karşılaştırılmıştır.

Tezin altıncı bölümünde alan çalışması yer almaktadır. Özgün dam modeli ve önerilen katkılarla üretilen dam modelleri olmak üzere 3 model yerel yapı ustası ile Kemaliye’de inşa edilmiştir. Dam modelleri özgün yapım tekniği ile yapılan bir ahşap konstrüksiyonun üzerine yerleştirilmiş, böylelikle oluşturulan mekandaki iç hava koşulları da incelenebilmiştir. İnşa edilen modeller bir yıl boyunca dış hava koşullarına maruz bırakılmış, yapılan ölçümler ve gözlemlerle model damların performansı değerlendirilmiştir.

Yedinci sonuç bölümünde laboratuvar ve alan çalışmasından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Böylelikle, geliştirilen yeni dam sisteminin uygunluğu yerinde incelenebilmiş; farklı katkı malzemelerinin düz toprak damların yalıtım sorunlarına karşı etkileri değerlendirilerek, Kemaliye evlerinin toprak düz dam yapım sistemlerinin korunması ve onarımına yönelik bir model önerisi getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düz toprak dam, Kemaliye evleri, kırsalda koruma, yerel mimari, onarım

A Model Proposal For The Conservation And Renovation Of The Flat Earthen Roof Construction Systems Of Kemaliye (Egin) Houses

Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI

Department of Architecture

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

Within the scope of the thesis, the aim was to reduce the continuous maintenance need of the original flat earthen roofs of Kemaliye houses by improving the water permeability properties of the earth material used on the roofs with various additives and to test the compatibility of the proposed solution with the original construction technique.

After the introduction, in the second section, traditional flat earth roof construction techniques applied in different regions and in Anatolia were examined, and issues of preservation and contemporary preservation methods were discussed.

In the third section of the thesis, the characteristics of the Kemaliye settlement were examined; the flat earth roof construction technique was researched and documented through literature and field studies.

In the fourth section, experiments that can be carried out to determine and improve the material properties of the building earth and the additives that can be used were defined.

The fifth section presents the experiments conducted in the laboratory environment. First, the internal structural properties of the original earth and stone materials used in Kemaliye houses were examined, as well as the geotechnical and physical material properties of the earth material. Then, samples with additives were reproduced at different moisture contents, and their physical and mechanical material properties were examined. Subsequently, samples exposed to freeze-thaw cycles were re-measured for their physical and mechanical material properties and compared.

The sixth section of the thesis includes fieldwork. Three models were built in Kemaliye with the participation of local craftsmen: an original roof model and roof models produced with the proposed additives. The roof models were placed on a wooden construction made using the original construction technique, allowing the examination of the indoor air conditions in the created space. The constructed models were exposed to outdoor weather conditions for one year, and the performance of the model roofs was evaluated through measurements and observations.

In the seventh conclusion section, the data obtained from laboratory and field studies were compared. Thus, the suitability of the developed new roof system could be examined on-site; an model proposal for the protection and repair of Kemaliye houses' flat earth roof construction systems was made by evaluating the effects of different additives on the insulation problems of flat earth roofs.

Keywords: Flat earthen roof, Kemaliye houses, rural preservation, local architecture, restoration.

1.1 Literatür Özeti

Geleneksel kırsal mimaride var olan yapılar uzun bir süreç içerisinde deneyimlerle inşa edilmiş, bölgenin coğrafi konumu, iklimi, gelenekleri, üretim ve tüketim biçimleri gibi özellikleri ile şekillenmiş birer kültürel mirastır. ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü’de de belirtildiği gibi insanlık mirasına yakışan hem çağdaş yaşamın ilgi odağı hem de toplumun geçmişinin bir belgesi olan geleneksel yapıları yaşatmak için çaba göstermek olmalıdır [1].

Erzincan İl’inin Kemaliye ilçesi de özgün yapı karakteristiğine sahip düz toprak damlı geleneksel konut dokusunu günümüze kadar taşıyabilmiş yerleşimlerden biridir. Kemaliye 2005 yılında kentsel sit alanı olmuş, 2021 yılında ise UNESCO Dünya Mirası Geçici listesinde yer almıştır. Yerleşme ile ilgili Alper (1990) [2] tarafından yapılan “Kemaliye (Eğir) Yerleşme Dokusu ve Evleri Üzerine Bir Araştırma” başlıklı doktora tezi yerleşme dokusu ve mimarisi ile ilgili önemli bir çalışmadır. Ayrıca bölge ile ilgili Pektaş’ın (2006) [3] ve Torbaoğlu’nun (2010) [4] yıllarındaki çalışmaları yer almaktadır.

Anadolu’nun özgün yerleşimlerinden biri olan Kemaliye’nin özgün konutlarının sürekliliğinin sağlanabilmesi için 2012-2014 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından yürütülen ve YTÜ Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne desteklenen “Kemaliye (Eğir) Evlerinin Çatı ve Duvar Kuruluşlarının Tespiti ve Koruma Sorunlarına Yönelik Öneriler” başlıklı BAP projesi [5] yapılmış; proje kapsamında ise Atabeyli Çağlık’ın (2014) [7], Efeoğlu’nun (2014) [8] ve Yıldız’ın (2014) [9] yüksek lisans tezleri gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda konutların özgün düz damlarında yapım tekniği ve kullanılan malzemeler bakımından mimari özgünlüğünü bozan müdahaleler tespit edilmiştir.

2018–2023 yılları arasında ise Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından yürütülen ve Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi öğretim üyeleri ile İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Orman Fakültesi öğretim üyelerinin de yer aldığı ‘‘Kemaliye Evlerinin Özgün Düz Damlarının Korunmasına Yönelik Çözüm Önerileri’’ isimi TÜBİTAK 1001 projesi [6] gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK projesi kapsamında tarafımda çalışılan ‘‘Kemaliye (Eğin) Evlerinin Toprak Düz Dam Yapım Sistemlerinin Korunması ve Onarımına Yönelik Bir Model Önerisi’’ başlıklı doktora tezi ile beraber Taşkent’in (2021) ‘‘Erzincan, Kemaliye’deki Geleneksel Konutların Düz Dam Yapım Teknikleri ve Koruma Sorunları Üzerine Bir Araştırma’’ adlı yüksek lisans tezi [10], Koyutürk’ün (2019) ‘‘Kemaliye Evleri Özgün Düz Damlarında Kullanılan Sıkıştırılmış Zeminlerin Hidrolik İletkenliğine Mineral Katkıların Etkisi’’ başlıklı yüksek lisans tezi ve Aslan Fidan’ın ‘‘Kapiler Bariyer Drenaj Kapasitesinin Model Deney ve Sayısal Analizlerle İncelenmesi’’ adlı yayınlanmamış doktora tezi yer almaktadır.

Farklı disiplinlerden araştırmacıların yer aldığı TÜBİTAK projesi kapsamında Akdeniz Havzası’nda, Anadolu’da ve Kemaliye’de düz toprak dam yapım teknikleri araştırılmış ve sınıflandırmalar yapılmıştır. Kemaliye evlerinin düz toprak damlarında var olan toprak katmanlarda farklı biçimlenişler denenmiş ve özgün yapı karakteristiğini bozmadan gerçekleştirilebilecek müdahaleler laboratuvar ortamında araştırılmıştır. Getirilen çözüm önerisi Kemaliye’de bir yapı üzerinde uygulanmış ve yerinde analiz edilmiştir.

Kültürel mirasın korunması ve yaşatılması ancak yapıların özgünlüğünün devam ettirilmesi ile mümkündür. Bu nedenle geleneksel mimari yapıların yapım tekniğinin ve özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve korunması kültür varlıklarının gelecek nesillere aktarılabilmesi açısından önemlidir. Ancak geçmiş uzun yıllar öncesine dayanan bu yapıların zaman içerisinde gerçekleşen göçler, kültürel farklılıklar, iklim değişikliği gibi nedenlerle kullanımlarındaki sürekliliğin sağlanması, bakım onarımın yapılması ve korunması önemli bir sorun olmuştur.

Geleneksel kırsal konut mimarisinin başlıca bileşenlerinden olan düz toprak damlar, periyodik bakım gerektirmesi nedeniyle sürekliliği en zor sağlanan kültürel miras öğelerindendir. Özellikle düz toprak damlı yapılar malzeme özellikleri nedeniyle yağışlardan doğrudan etkilenmekte, yapıda hasar oluşmakta ve periyodik

bakımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu bakımların gerçekleştirilememesi özgün yapılarda hasar oluşumuna ve bozulmalara neden olmaktadır. Tuncer'in (1999) "Diyarbakır Evleri" [11] ve Dalkılıç ve Bekleyen'in 2011 yılındaki "Geçmişin Günümüze Yansıyan Fiziksel İzleri: Geleneksel Diyarbakır Evleri" [12] başlıklı eserlerinde toprak damlarda periyodik bakımların gerekliliği ve güçlüğü belirtilmektedir. Ayrıca Sayan ve Öztürk'ün (2001) "Bitlis Evleri" başlıklı Kültür Bakanlığı Yayını'nda [13] düz toprak damlı yapıda oluşan hasarların temel nedeninin periyodik bakımların yapılmaması olduğunun altı çizilmiştir. Eyüpgiller ve diğerlerinin (2016) "Darende'de Geleneksel Ev Mimarisi ve Korunması" başlıklı eserinde [14] ve İşcanı ve Eres'in 2016'da yayınlanan "Datça-Hızırşah Köyü Kırsal Sit Alanı ve Geleneksel Konut Mimarisinin İncelenmesi" başlıklı makalesinde [15] de düz toprak damlı yapıların periyodik bakım güçlükleri nedeniyle zamanla terk edildikleri ve bakım yapılmayan evlerin kullanılamayacak hale geldikleri belirtilmektedir.

Dünyada ve Anadolu'da uygulanan düz toprak dam yapım tekniklerini içeren ilgili literatür TÜBİTAK'ın 217M561 numaralı projesi kapsamında proje ekibi tarafından¹ incelenmiş; günümüzde ortaya çıkan problemler büyük ölçüde birbirleriyle aynı olsa da yapım sistemleri açısından ele alındıklarında bulundukları bölgeye, iklime, malzemeye, işlevine ve bölge halkının kültür ve geleneklerine bağlı olarak farklı düz toprak dam biçimlenişlerinin var olduğu görülmüştür. Boixareu'nun (1992) "Les Toitures en Terrasse en Zone de Montagne Dans La Corniche de la Mediterranee, Le Cas des Pyrenees Catalanes" adlı kitabında [16] İspanya'nın Akdeniz kıyısında dağlık bir bölgesi olan Katalonya Pireneleri'nin geleneksel yapım tekniği anlatılmaktadır. Bölgede iki çeşit iklim tipinin mevcut olduğu ve dört tip düz toprak dam olduğu belirtilmektedir. Önel'in (1975) "Ahşap ve Yurdumuzda Yöresel Uygulamaları" başlıklı yeterlilik çalışmasında [17] ise Anadolu'nun farklı bölgelerinde birbirlerinden farklı geleneksel düz toprak dam kesitlerine ulaşılabilmektedir. Rehabimed'in (2002) "Traditional Mediterranean Architecture" adlı kitabında [18] Akdeniz havzasındaki geleneksel yapım tekniğine değinilmiş, düz toprak dam yapım teknikleri özellikle Yunanistan özelinde

¹ Araştırmaları yapan proje ekibi: Doç. Dr. Aynur Çiftçi, Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Korkmaz, Enise Yasemin Gökyiğit Arpacı ve Begüm Taşkent.

detaylıca anlatılmıştır. Buna göre toprak örtülü ve harç örtülü olmak üzere Yunanistan'da iki çeşit düz toprak dam uygulaması tespit edilmiştir. Şenol'un (2007) "Anadolu Türk Konut Mimarisinde Divriği Evleri" [19], Seçkin ve diğerlerinin (2004) "Buldan (Denizli) Kırsal Mimarlık Envanteri" [20], Erdoğan'ın 2007 yılında yayınlanan "Van Yöresi Geleneksel Köy Mimarlığı" [21], Seeher'in (2008) "Hattuşa ve Kerpiç Kent Suru: Bir Rekonstrüksiyon Çalışması" [22] ve Çelebi'nin (2012) "Anadolu Kerpiç Mimarlığı" başlıklı eserlerinde [23] dünyada ve Anadolu'da uygulanan farklı geleneksel düz toprak dam yapım teknikleri anlatılmıştır.

Farklı biçimlenişlerde ancak benzer koruma sorunları ile karşılaşılan geleneksel düz toprak damlı yapıları korumak için dünyanın farklı bölgelerinde, malzeme teminine ve damın yapım tekniğine bağlı olarak çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Rehabimed'in (2004) "Architecture Traditionelle Libanaise" [24] ve (2015) "Handbook for Maintenance and Rehabilitation of Traditional Syrian Architecture" adlı el kitaplarında Lübnan ve Suriye'deki geleneksel yapıların onarımı anlatılmaktadır. Bölgede 20.yy'ın başından itibaren düz toprak dam yüzeyine reçine, kırıntı ve bir hidrofüj madde katkılı 3-4 cm kalınlığında beyaz çimento uygulaması yapıldığı belirtilmektedir. Ayrıca su yalıtımı sağlamak için su yalıtım membranları da serilmektedir. Rehabimed'in (2015) "Manual for the Renovation of Traditional Kairouan Architecture" başlıklı el kitabında [25], Tunus'taki düz toprak damlı geleneksel yapıların onarımları sırasında düz toprak damın üzerinin taş ile kaplandığı ve üzerine üç kat kireç harcı uygulaması yapıldığı belirtilmiştir. Rehabimed'in (2015) "Maintenance and Rehabilitation Manual for the Medina of Marrakech" adlı el kitabında [26], Fas'taki düz toprak damlı geleneksel yapıların onarımları sırasında en üst tabaka olarak fermente olmuş kireç kullanıldığı belirtilmektedir. Rehabimed'in (2015) "Brochure Construction Terre Ghardaia" başlıklı el kitabında [27], Cezayir'de yalıtımın kireç harcı ile sağlandığı belirtilmektedir. Rehabimed'in (2015) "Manual as Salt" adlı el kitabında [28], Ürdün'deki düz toprak damlı geleneksel yapılar anlatılmaktadır. Çağdaş uygulamalarda taş binaların düz toprak damlarında polietilen esaslı su yalıtım uygulaması yapıldığı, yalıtım tabakasının 4-5cm kalınlığında saman katılmış toprak

ile kapatıldığı belirtilmiştir. Sürekli kullanılan çatıların ise taş karo ile kaplanması önerilmiştir.

Günümüzde su yalıtım membranları ve naylon, muşamba örtülerle çatının kaplanması yanı sıra düz toprak damlarda çimento katkılı uygulamalarla da karşılaşmıştır. Bir diğer yöntem de düz toprak damların üzerinin bir başka çatı örtüsü ile kapatılmasıdır. Bu tarz uygulamalar düz toprak damların özgün yapı karakterine aykırı olmakla birlikte zaman içerisinde yapıda farklı hasarlara da neden olabilmektedirler. Rehabimed'in "Rehabilitation and social action in Marrakech, Morocco. Improving the traditional living environment" [26], "Renovation and Sustainable Tourism in Kairouan, Tunisia" [25] ve "Handbook for maintenance and rehabilitation of Traditional Syrian Architecture" [29] başlıklı yayınlarında görülmüştür ki Yunanistan, Türkiye, Fas, Tunus, Suriye, İtalya, İspanya, Cezayir gibi ülkelerde geleneksel düz toprak damlı konut yapılarının yalıtım konusunda benzer koruma sorunlarının yaşandığı ve çağdaş yöntemlerle özgün mimari dokuyu bozmadan yalıtım sorununa yönelik uzun vadeli bir çözüm geliştirilemediği belirtilmektedir.

Ayrıca düz toprak damlı geleneksel yapıların korunabilmesi için uygulanan bir diğer yöntem de dam içerisinde kullanılan toprak yapı malzemesine çeşitli katkı malzemeleri katılarak özelliklerinin geliştirilmesi olmuştur. Toprak yapı malzemesinin suya dayanımının artırılması için katılan katkıların bilinen ilk örneği Asurluların kullandığı bitüm katkıdır [30]. Homojen bir karışım elde etmenin güçlüğü nedeniyle bitüm katkı ters edilse de günümüzde de toprak yapı malzemesinin su ile ilgili özelliklerinin katkı malzemeleri katılarak iyileştirilebilmesi için farklı akademik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Vietports ve Marek'in 1983 "Protecting Earthen Buildings from Rains and Floods" adlı kitabında [31] toprak yapıların sudan korunması için uygulanabilecek yöntemler anlatılmaktadır. Bu yayında bitki özleri, portland çimentosu, kireç, asfalt ve bitüm, yağ ya da reçine bazlı boyalar gibi malzemelerin sıva içerisine karıştırılarak ya da üzerine sürülerek toprak duvarlarda su yalıtımının sağlanabildiğini belirtilmektedir. Yapı toprağına %5 oranına kadar Portland çimentosu eklendiğinde malzemenin sağlam bir yapıya ulaştığı ve suyun çözücü etkisine karşı önlem alınmış olduğu bilinmektedir [32]. Ancak, çimento katkı kullanıldığında toprak içerisindeki sülfatlı

suların ve organik maddelerin çimentoya verebileceği zararlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Taylor'un 1990 yılındaki "An Evaluation of the New Mexico State Monuments Adobe Test Walls at Fort Selden" başlıklı [33] ve Tabban ve diğ. 1986 yılındaki "Simple Rules for Adobe Block Making and Adobe Masonry Construction" başlıklı yayınlarında [34] toprak yapı malzemesine katılan kireç gibi bazı katkılarla suyun çözücü etkisine karşı önlem alınabildiği belirtilmektedir. Değirmenci'nin 2007 yılındaki "Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması" adlı yayınında [35] kirecin yanında volkanik tuf, uçucu kül gibi puzolanların da toprak karışımlarına eklenerek denendiği görülmüştür. Kireç ve puzolanların beraber kullanıldığı durumlarda malzemenin su emme ve şişme özelliklerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Stathopoulos ve diğ. 2021 yılındaki "Enhancement of water resistance of earthen mortars through stabilization" başlıklı yayınında [36] ise yapı toprağına hidrolik kireç ve fırın cürufu katkı olarak denenmiş, her iki katkının da malzemenin suya dayanımını arttırdığı ıslanma-kuruma deneyleri ile gösterilmiştir.

Losini ve diğ. yine 2021 yılındaki "Natural Additives and Biopolymers for Raw Earth Construction Stabilization – A Review" başlıklı yayınlarında [37] toprak yapı malzemesinin stabilizasyonu için doğal katkıların ve biyopolimerlerin kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Farklı kaynaklarda bentonit, sabun, kaktüs suyu, nişasta (bir çeşit biyopolimer), kâğıt hamuru, kazein tutkalı, vinil asetat, yosun, inek dışkısı, at idrarı, boğa kanı, süt ürünleri, keten ve kenevirin de toprak yapı malzemesi içerisinde katkı malzemesi olarak kullanıldığı bilgisine rastlansa da bu katkılarla ilgili deneysel bir veriyle karşılaşılmamıştır.

Toprak yapı malzemesine katılabilecek katılardan bir diğeri de kireç ve yağın beraber kullanımıdır. Kireç ve yağın bir arada kullanımı ilk olarak M.Ö. 1. Yüzyıl'da Vitruvius tarafından belirtilmiştir: "Daha sonra derzler sönmemiş kireç ve yağ karışımı ile kaplanmaktadır." 16.Yüzyıl'da, Azor Adalarında ve Brezilya'da "gala-gala" (aydınlatma için balina yağı) ile kireç karıştırılarak binaların sudan korunması amacıyla kullanılmıştır [38]. Teixeira ve Belem 1998 yılındaki "Building Dialogues: Traditional Techniques of Restoration" başlıklı yayınlarında [39] bu yöntemin Araplar tarafından taşındığını, kökenlerinin ise muhtemelen Çin veya Hindistan'dan geldiğini; Fas, Tunus ve Cezayir'de ise halen uygulandığını söylemektedirler.

Teixeira ve Belem, 1998; Heathcote, 2006; Margalha ve diğ., 2006; Minke, 2006,2007; Veiga, 2008; Cechova, 2009; Eires,2012; Eires ve diğ. 2016; yaptıkları araştırmalarında kireç ile katı ya da sıvı yağ kullanımının yapı malzemelerinde su geçirimsizliğinin azaltılmasına ve suya dayanımın artırılmasına katkıda bulunduğunu belirtmektedirler [38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46]. Lin ve diğ.'nin 2021 yılındaki "Stabilization Of An Earthen Material With Tung Oil: Compaction, Strength And Hydrophobic Enhancement" başlıklı yayınında tung yağının (çin yağı) toprak malzemenin sıkıştırılma, basınç dayanımı ve su geçirimsizlik özelliklerini arttırdığı ifade edilmektedir [47]. Cechova, 2009 yılında yayınlanan "The Effect of Linseed Oil on the Properties of Lime-based Restoration Mortars" başlıklı doktora tezinde bu durumu "Kirece topraklı veya topraksız sıvı veya katı yağlar eklendiğinde, yağların triasilgliserol içeriği hidratlanmakta böylece yağ asitlerinin kalsiyum tuzları çözünmez hale gelmektedir. Bu tuzlar hidrofobiktir ve kirecin kalsiyumu ile kuvvetli bağlar kurmaktadır. Sonuç olarak yağ katkıları toprak malzemenin suya dayanımını ve su geçirimsizliğini arttırmaktadır" şeklinde açıklamaktadır [44].

Bu tez çalışması kapsamında Kemaliye geleneksel evlerinin düz toprak damlı yapılarının korunabilmesi ve bakım sıklığının azaltılması için dam içerisinde kullanılan toprak yapı malzemesine çeşitli katkı malzemeleri katılarak özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla özgün malzemeye ek olarak; Yağ + Hava kireci, Yağ + Hidrolik kireç, Bentonit, Nişasta, Uçucu Kül + Hava kireci ve Uçucu Kül + Hidrolik kirecin katkı malzemeleri olarak seçilmesine ve bu katkılarla üretilen numunelerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve özgün malzeme özellikleri ile karşılaştırılmasına karar verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yüzyıllardır çeşitli uygarlıkların yaşam alanı olan Anadolu'da, bu uygarlıkların izlerini taşıyan yapıları ve geleneksel özelliklerini koruyan ev örneklerinin oluşturduğu tarihsel dokuyu içeren pek çok yerleşme bulunmaktadır. Erzincan İline bağlı Kemaliye (Eğin) ilçesi de Anadolu Konut Mimarisinin özgün örneklerini barındıran bir yerleşme karakterine sahiptir. Konutlar, Fırat Havzasında, nehrin Karasu koluna bakan eğimli bir arazi üzerine konumlanmaktadır. Genellikle 3-4 katlı olan konutlar, zemin katlarda ahşap hatıllı taş duvarlar üzerine, üst katlarda hımış tekniği ile yapılmıştır. Düşey ahşap kaplamalı dış cephe kurgusu ve en üst

katı oluşturan “Düz Dam / Yetme” örtü ögesi yöreye özgüdür ve özgün mimari unsurlar barındırır. Buna bağlı olarak, Kemaliye ilçe merkezi 11.10.2005 tarihinde kentsel sit alanı ilan edilmiş [5], 2021 yılında ise UNESCO Dünya Mirası Geçici Listesine girerek koruma altına alınmıştır.

Karasal iklimin hâkim olduğu Kemaliye’de, geleneksel yapım tekniği ile üretilen özgün konutların sürekliliğinin sağlanabilmesi için, yılda birkaç kez periyodik bakımlarının yapılması gerekmektedir. "Düz Dam / Yetme" olarak adlandırılan toprak dolgulu damların yılda birkaç kez "loğlama " denilen yöntemle sıkıştırılması, yapının sürekliliğinin sağlanabilmesi için yapılan periyodik bakımlar arasında en önemlileri arasında sayılabilmektedir.

Ancak Kemaliye ilçesinin zaman içerisinde yoğun göç vermesi nedeniyle geçmiş 19. yüzyılın sonlarına dayanan geleneksel konutların yağışa bağlı periyodik bakımları yapılamamış, duvar ve toprak dolgulu düz damlarda hasarlar oluşmuştur. Karasal iklim kaynaklı dış hava koşulları nedeniyle toprak derzlerin eriyerek boşalması sonucu duvarlarının taşıyıcılığının zayıflamış, düz damlardaki toprak katmanları loğlanmadığı için erimiş ve ahşap elemanlar bozulmaya uğramıştır [9].

Kar ve yağmur suyunun içeriye akması, kar yükünün yapıya getirdiği yük ve düz toprak damın bakımının zor olması nedeniyle kullanıcılar özgün düz damın üzerine ahşap taşıyıcılı sac kaplamalı çatılar oluşturmuşlardır. 1950’li yıllarda yapılmaya başlayan çatı kaplamaları günümüze kadar artarak devam etmiş ve Kemaliye İlçesine bağlı bazı yerleşim alanlarında düz toprak damı dışarıdan görülebilen tek bir yapı dahi kalmamıştır [5]. Bu müdahale biçimi konutları iklimsel etkenlerden kısmen korumasına karşın özgün doku karakterini ciddi anlamda zedeleyen görüntü kirliliğine neden olmaktadır.

Tezin amacı; özgün mimari özellikleri bozulmaya başlamış olan Kemaliye ve çevresinde bulunan geleneksel konutların, özgün yapı özelliklerini koruyarak, düz toprak damlarda yer alan toprak yapı malzemesi içerisine eklenecek farklı katkı malzemelerinin kullanımı ile, dış hava koşullarına dayanıklı, bakım-onarım maliyeti düşük, özgün malzeme ile uyumlu bir düz toprak dam modeli geliştirmektir. Bu amaç kapsamında öncelikle özgün düz dam yapım sistemleri

araştırılmış, YTÜ inşaat fakültesi yapı malzemesi ve geoteknik laboratuvarlarında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ortamında geliştirilen öneri modellerinin yerinde test edilebilmesi için Kemaliye Hacı Ali Akın Meslek Yüksek Okulu'nun bahçesinde 3 adet düz toprak model uygulaması yapılmıştır. Bu bağlamda; Kemaliye (Eğin) evlerinin toprak düz dam yapım sistemlerinin korunması ve onarımına yönelik bir model önerisi getirerek geleneksel ev kültürünün devamlılığına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Tez çalışması, Kemaliye geleneksel konutlarının özgün düz toprak damlarının korunmasını sağlamak için özgün mimariyi koruyarak, mevcut düz toprak dam kuruluşlarının sürekli bakım ihtiyacını azaltan çözüm tekniklerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, çeşitli katkı malzemeleri ile düz damlarda kullanılan toprak malzemenin su geçirimsizlik özelliklerinin iyileştirilmesi ve getirilen model önerisi içerisinde özgün yapım tekniğine uygunluğunun test edilmesi hedeflenmektedir. Üretilen çözüm önerilerinde ulusal ve uluslararası koruma ve onarım ilkeleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Yapılan araştırmanın sonucunda geleneksel yapım tekniği ve biçimlenişlerden uzaklaşmadan, Kemaliye Evlerinin özgün düz damlarında kullanılan toprak yapı malzemesinin çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak su geçirimsizliğinin azaltılacağı ve malzemenin suya dayanımının iyileştirileceği öngörülmektedir.

Tez çalışmasında, uygulanabilir ve ekonomik olan yeni bir model önerilmiş olması ile geleneksel çatı sisteminin korunmasına ve geleneksel kültürün devamlılığına doğrudan; Kemaliye kültür ve turizmine ise dolaylı olarak katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

GELENEKSEL DÜZ TOPRAK DAM YAPIM TEKNİKLERİ VE KORUMA SORUNLARI

Düz damlarda kullanılan en eski ve en yaygın yapı malzemelerinden biri olan toprak, dünyanın farklı bölgelerinde ve farklı kültürlerde kolay bulunabilirliği ve ekonomik olması nedeniyle binlerce yıldır kullanılmaktadır. Malzeme özellikleri bakımından enerji kullanımını düşürmesi ve biyoklimatik konfor koşullarına katkı sağlaması da toprak yapı malzemesinin olumlu özellikleri arasında sayılabilmektedir.

Geleneksel sivil mimari içerisinde kullanımı neolitik çağlara kadar dayanan düz toprak damların periyodik bakım güçlükleri, çeşitli devlet politikaları ve çağdaş yapı gereçlerinin yaygınlaşması gibi nedenlerle Endüstri Devrimi sonrasında kullanımları azalmıştır. Geleneksel konutlarda düz toprak dam uygulamalarının terk edilmesi ile geleneksel yöntemlerle üretilen düz toprak damlara ait teknik bilgiler ve yapı ustaları da sınırlı sayıda kalmıştır.

Günümüzde geleneksel toprak yapıların korunmasında karşılaşılan temel sorun, çeşitli nedenlerle periyodik bakım ihtiyacının karşılanamamasıdır. Bu bağlamda düz toprak çatılarda su geçirmezlik sağlamak için bitümlü membran gibi su yalıtım malzemeleri veya çimento gibi bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Düz toprak çatılarda çağdaş su yalıtım malzemesi olarak kullanılan bitüm veya plastik esaslı geçirimsiz membranlar çatı yükünü azaltır ve binanın depreme dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. Ancak güneşin ultraviyole ışınlarına dayanıklı değildirler. Ayrıca bu membranların geçirimsiz yapısı çatının kesitinde ve tabanında yoğunlaşmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle su sorununa karşı çözüm üretmek amacıyla kullanılan çağdaş yöntemlerin öngörülemeyen zararlara neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1 Dünyada Düz Toprak Dam Yapım Tekniği ve Koruma Sorunları

Dünyada Asya, Avrupa, Afrika ve Amerika olmak üzere toplam dört kıtada sekiz ülkede uygulanan özgün düz toprak dam yapım teknikleri, koruma sorunları ve koruma yöntemleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır²².

2.1.1 Asya Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Asya Kıtasında toprak dam yapım tekniğinin görüldüğü ülkeler arasında Suriye, Lübnan, Ürdün ve Filistin'deki toprak dam yapım tekniği incelenmiştir.

Suriye'de Şam bölgesinde ve Lazkiye civarında uygulanan düz toprak damlar, sazdan oluşturulan ve çamurla kaplanan çatılardır. Kavak, Meşe ve Servi ağacından elde edilen 25-30cm çapındaki tomruklar, uç kısımları duvarların üzerine gelecek şekilde yerleştirilerek döşeme konstrüksiyonunda kullanılmaktadır. Bunun üzerine 25-30cm aralıklarla, çapı 12-15cm arasında değişen ikincil kirişler yerleştirilmektedir. Ana ve ikincil kirişleri içeren sistemin üzerini kaplamak amacıyla; ağaç dalları, sazlıklar, kamış, saman ve ahşap suntalar kullanılmaktadır. Bu sistemde açıklık 6m.'ye ulaşabilmekte ve çatı en üst örtüsünü oluşturan toprak katmanının kalınlığı 15 ila 30cm arasında değişmektedir [29].

Düz toprak damlı yapılar Lübnan genelinde dağ tarafından Bekaa Ovası'na kadar olan alanda görülürler. Bu tür damlarda boyutları 4,5- 5,5 m arasında değişen taşıyıcı kirişler görülür. Bu kirişlerin çapı nadiren 20 cm'yi geçmektedir. Kirişlerde kullanılan ahşaplar genellikle çam, kavak veya sedir ağacından elde edilirler. Kiriş üzerindeki kaplama malzemesinin cinsine göre kiriş araları değişmekle birlikte genellikle 60cm civarındadır. Toprak katmanının kalınlığı ise 25-30 cm arasındadır. Ahşap katmanlarının böcek ve mantarların organik saldırılarından korunması için ahşap çatkılara çoğunlukla kireçle badana yapılmaktadır. Periyodik bakımlar için

²² Akdeniz Havzası'nı içeren literatür kaynaklarına 217M561 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Araştırmaları yapan proje ekibi: Doç. Dr. Aynur Çiftçi, Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Korkmaz, Enise Yasemin Gökyiğit Arpacı ve Begüm Taşkent. Fransızca çeviriler Doç. Dr. Aynur Çiftçi, İngilizce çeviriler Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Korkmaz ve Enise Yasemin Gökyiğit Arpacı tarafından gerçekleştirilmiştir.

yağmurdan önce killi toprak çatıya yığılmakta ve bir "madhale"³ aracılığıyla sıkıştırılmaktadır [23].



(a)

(b)

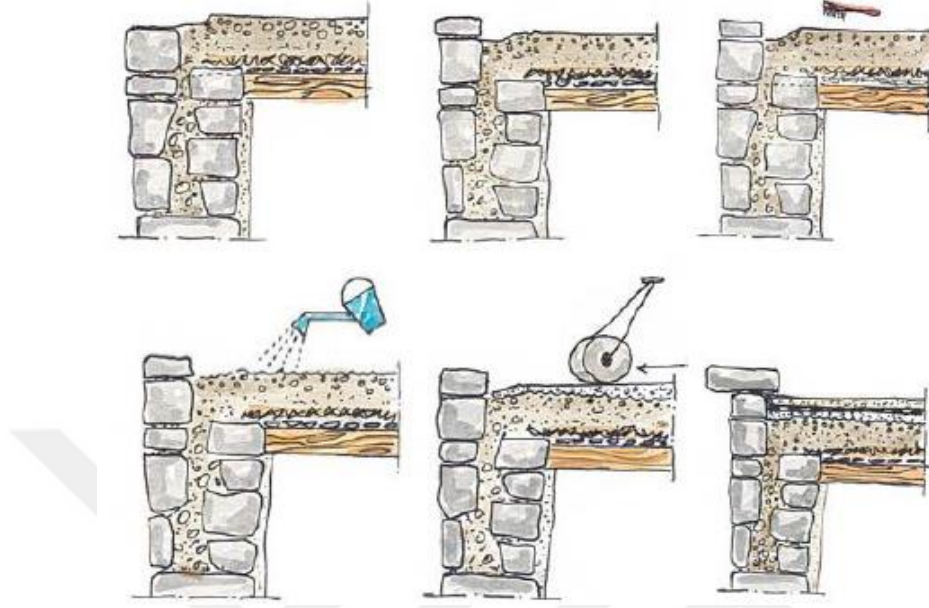
Şekil 2.1 a,b) Ahşap kirişli toprak dam ve damı sıkıştırmakta kullanılan silindirik taş, Suriye [29]

Lübnan ve Suriye'deki düz toprak çatılar, bazen içte özgü ahşap iç strüktürlerini koruyarak, 20. Yüzyılın başından beri betonarme döşemeli olarak değiştirilmişlerdir. Filistin'de de benzer uygulamalar yapıldığı Rehabimed tarafından belirtilmektedir [29]. Ekonomik bir seçenek olarak yüzeye 2 kat reçine, kıtık ve hidrafüj madde katkılı beyaz çimento uygulaması da yapılabilmektedir [29].

Günümüzde uygulanan bir diğer koruma yöntemi de düz toprak damların üzerine su yalıtım membranı serilerek üzeri tekrar toprak katmanıyla kapatılmasıdır. Bu uygulamada yeni eklenecek katmanları kurmak için öncelikle mevcut damdaki saçak ucuna bir sıra taş yerleştirilerek bordür yükseltilmektedir. Bir fırça ile tüm çatı yüzeyi temizlendikten ve ıslatıldıktan sonra yüzeye ince kilden bir tabaka yerleştirilip silindirik taşla sıkıştırılıp; çörtlenlere doğru %2-5 eğim verilmektedir. Tüm çatı yüzeyine bitümlü keçe tabakası ve polietilen tabakalar serilerek su yalıtımı

3 60cm uzunluğunda ve yaklaşık 28cm çapında silindirik taş- Loğ taşı

yapılmakta; bu yalıtımın üzerin saman katkılı (1m^3 toprak için 30kg) yaklaşık 5cm kalınlıkta toprak serilmekte ve rulo taş ile sıkıştırılmaktadır (Şekil 2.2). Çatının üzerinde geziliyorsa damın üzeri taş karo ile kaplanmaktadır [28,29].



Şekil 2.2 Düz, toprak dam üzerine membran sererek koruma uygulama adımları [29]

2.1.2 Avrupa Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Avrupa Kıtası'nda düz toprak dam yapım tekniğinin görüldüğü ülkeler arasında Yunanistan ve İspanya'daki düz toprak dam yapım tekniği araştırılmıştır.

Yunanistan'ın çok yağış almayan kentsel ve kırsal bölgelerinde geleneksel yapım tekniğinin bir parçası olan düz teras çatılar killi toprağın sıkıştırılmasıyla inşa edilirler (Şekil 2.3,2.4). Bu teknikte çivi ile birleştirilmiş ahşap paneller, daire veya kare kesitli servi, çam ya da köknar ağaçlarından kirişler üzerine serilmektedir. Toprak ise doğrudan ahşap bir zemin üzerine veya dal, yaprak, yosun veya kilden oluşan bir yatağın üzerine döşenmektedir.

Toprak çoğunlukla kireçle, bazen de organik maddelerle (bitki-hayvan) karıştırılmakta ve samanla güçlendirilmektedir. Yunanistan'da yeşil-gri renkli bir kil (Patelia) bazen volkanik Santorini adasındaki puzolanla karıştırılır. Rodos Adası'nda ise yüzeye bir tabaka siyah toprak uygulanmaktadır. Toplam örtü kalınlığı 20-40cm arasında değişmektedir. Kum ya da kireç harcından yapılan bir

yatak ya da sahil yakınlarında kurumuş yosunlar toprak katmanına destek olarak kullanılabilmektedir (Şekil 2.3 – 2.4).



(a)

(b)

Şekil 2.3 a,b) Rodos Adası, Yunanistan [18]



(a)

(b)

Şekil 2.4 Rodos Adası, dam detayı ve damın iç organizasyonu [18]

Bölgede kullanılan bir diğer teknikte ise damın üzerine kireç harcı yapılmaktadır. "Kourassani" denilen bu harç tekniğinde kireç macununa 3 farklı dane boyutuna sahip kiremit kırığı 5-6 gün boyunca katılmaktadır. Harç 2-7cm arasında bir kalınlıkta dökülmekte ve bir demir parçası ile dövülerek kalınlığı 1/3 boyutuna

kadar sıkıştırılmaktadır. Her 2-3 yılda bir kalın bir zeytinyağı tabakası uygulanarak ilave bir su yalıtım verniği elde edilmiş olur. Harç ile döşeme katmanını arasına toprak dolgu yapılabilirdiği gibi Yunanistan'da belli kentsel alanlarda, deniz kenarlarında ve düzlüklerde hava kireci ile oluşturulmuş bu harç doğrudan da döşeme üzerine serilebilmektedir. Bu durumda döşeme kalınlığı 3-8cm arasında kalmaktadır (Şekil 2.5).



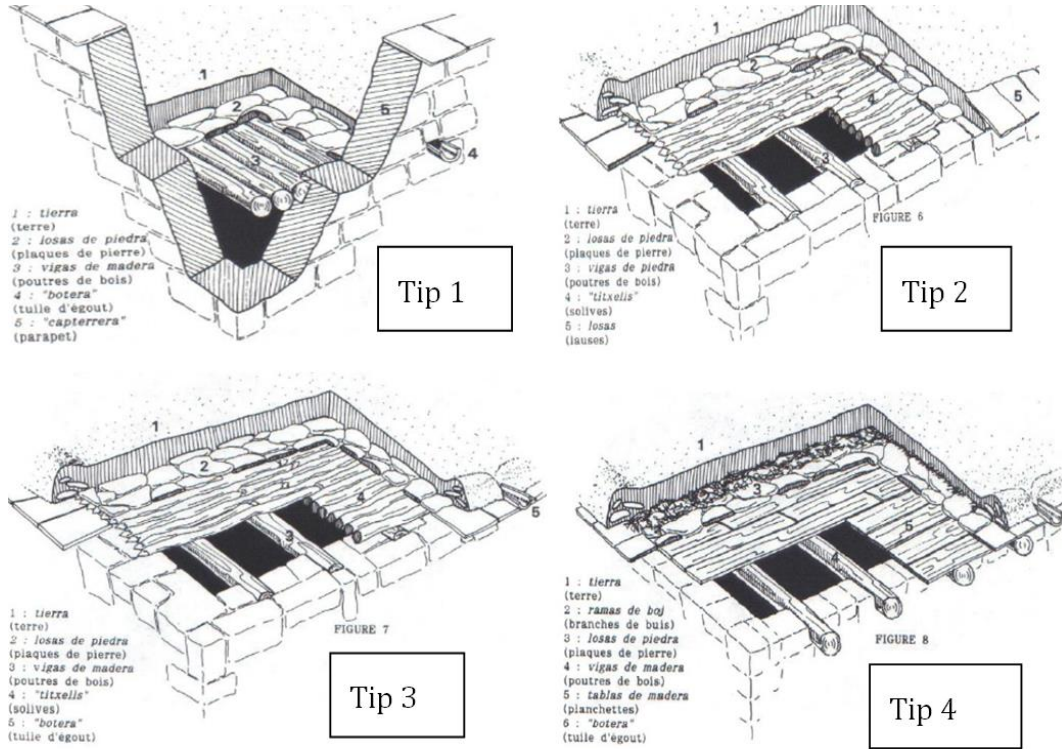
Şekil 2.5 Kourassani uygulaması ve detayı [18]

İspanya'nın Katalonya bölgesinde günümüzde düz çatılar yok olmuş olsa da 10. Yüzyıl'dan itibaren saman, ahşap ve toprak kullanılan çatıların varlığı bilinmektedir. Katalonya'da 4 tip toprak düz dam olduğu bilinmektedir (Şekil 2.6).

Tüm tiplerde toprak katmanlarının altında dam kesiti içerisinde taş plaklar kullanılmakta ve toprak uygulaması yapılmadan önce toprak elenerek suyla yoğurulmaktadır. Uygulama sırasında 15-20cm arası kalınlıkta dama serilen toprak, 40-80cm uzunluğunda silindirik taşla sıkıştırılmaktadır. Damların bakımı için her bir ya da iki senede bir kötü durumdaki ahşap kirişler yenilenmekte, tüm yüzeye 5cm kalınlıkta toprak ilave edilmektedir. Her yağmurdan sonra çatıya çıkıp sıkıştırmak, kar yağışından sonra ise karı küremek gerekmektedir [16].

Toprak damlı çatıların su geçirmezliğine katkıda bulunmak için belirli periyotta ıslatılarak sıkıştırılması gerekmektedir. Ancak Yunanistan ve İspanya'da günümüzde bakım sıklığını azaltmak için örtünün altında bir plastik film tabakası,

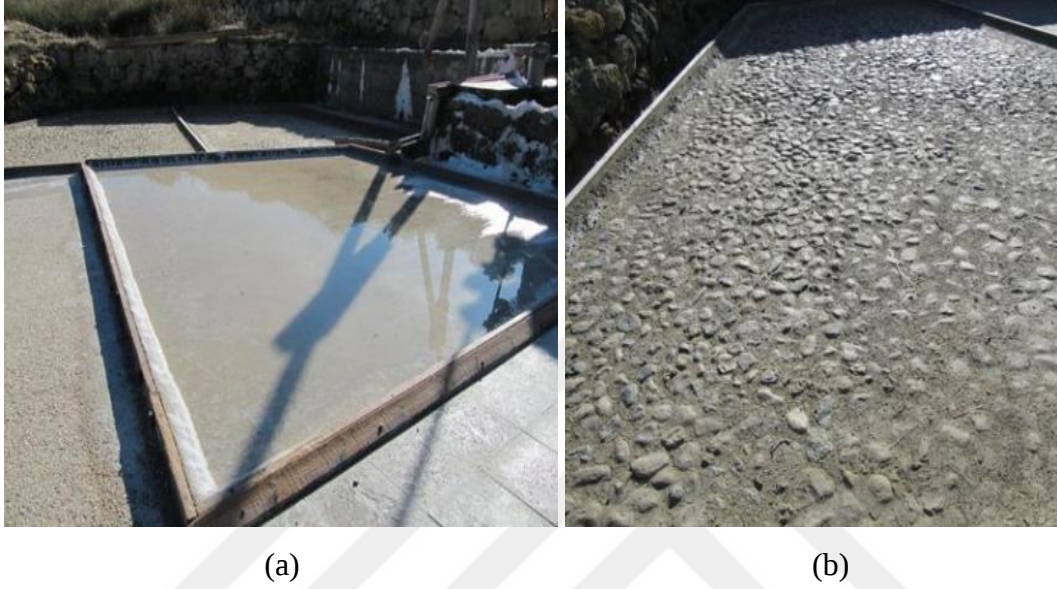
asfalt bezler ya da bitümlü malzeme kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde toprak damların yerini beton plaklar ya da su geçirimsiz çatılar, hatta bazen kiremit kaplı eğimli çatılar da almaktadır [16, 18].



Şekil 2.6 Tip 1: kirişli, parapetli çatılı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ağşap kirişler, 4-kiremit çörten, 5-parapet); Tip 2: kiriş üzerinde ağşap parçalar ve taş kaplama, saçak ucu eğimli taş kaplı (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ağşap kirişler, 4-ağşap parçalar, 5-eğimli taş plaklar); Tip 3: kiriş üzerinde ağşap parçalar ve taş kaplamalı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-taş plaklar, 3-ağşap kirişler, 4-ağşap parçalar, 5-kiremit çörten); Tip 4: kiriş üzerinde ağşap ve taş kaplamalı, şimşir dallı, kiremit çörtenli (1-toprak, 2-şimşir dalları, 3-taş plaklar, 4-ağşap kirişler, 5-tahtalar, 6-kiremit çörten) [16]

İspanya'nın Bask Bölgesi'nde yapı üst kabuğu dışında düz dam biçimlenişine farklı bir örnek olarak "Anana Tuz Vadisi" gösterilebilir. Yaklaşık 7000 yıldır tuz üretimi yapılan vadi, Alaya'daki Salinas de Anana yerleşiminde yer almaktadır. Tuz Vadisi'ndeki toprak damlar tuz çökelme havuzları olarak ağşap taşıyıcıları teraslar halinde inşa edilmiştir. Düşey ağşap taşıyıcıların üzerinde yatay yönde atılan ağşap kirişlemelerin üzerinde bir ağşap tabakası ve onun da üzerinde toprak

tabakası vardır. Zeminden gelen tuzlu suyun güneş etkisiyle buharlaşarak çökelediği aşamada tuzun toprağa karışmaması için toprak tabakasının üzerine yuvarlak şekilde taşlar döşendiği tespit edilmiştir. Çökelen ve suyu buharlaşan tuzların taşlar üzerinden toprağa karışmadan daha kolay toplanması amacıyla böyle bir sistem geliştirilmiştir (Şekil 2.7) [6].



Şekil 2.7 a) Anana Tuz Vadisi toprak kaplama, yeni uygulanan taş kaplama ve özgün taş kaplamanın beraber görünümü / b) Anana Tuz Vadisi özgün taş kaplama (Fotoğraf: A. Çiftçi, 2019)

2.1.3 Afrika Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Afrika Kıtası'nda toprak dam yapım tekniğinin görüldüğü ülkeler arasında Cezayir, Fas ve Tunus'taki toprak dam yapım tekniği araştırılmıştır:

Cezayir'in Ghardaia bölgesinde toprak ya da taş binaların çatıları aynı yöntemle 50cm kalınlığında inşa edilmektedir. Buna göre taşıyıcı kirişler palmiye ağacından elde edilmektedir. Palmiye yaprakları kirişlerin üzerine ters yönde düzenli bir sıra ile konulmakta, daha sonra kumdan bir tabaka yerleştirilmektedir. Kum tabakasının üzerine harç tabakası serilmekte, çatı en son kireçle kaplanmaktadır [27].

Tunus'ta geleneksel düz toprak damlar yapılırken önce çatı destekleri oluşturulmakta ve ardıc ağacından kirişler yerleştirilmektedir. Kirişlerin üzerine

kaplama tahtaları, onların üzerine de kırık taş parçaları yerleştirilmekte; üzerine ise su sızdırmaya karşı 2-3 kat kireç harcı uygulaması yapılmaktadır [25] (Şekil 2.8).



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 2.8 a,b,c,d)Tunus'ta geleneksel düz çatı uygulaması [25]

Fas, Marakeş'te yapılan geleneksel düz toprak dam uygulamasında, kirişler taşıyıcı duvarların üzerine oturtulmakta, kirişler üzerine sazlardan yatak yapılarak, toprak, kum ve biraz kireç karışımı ile eğimli bir yüzey oluşturulmaktadır. Bu karışımın üzerine 1/2 killi kum ve 1/2 kireç karışımından oluşan bir tabaka dökülmekte, en son tabakaya da su geçirimsizlik için kireç master yapılmaktadır [26] (Şekil 2.9).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.9 Fas, Marakeş'te geleneksel düz çatı uygulaması [26]

2.1.4 Amerika Kıtasında Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Kuzey Amerika Kıtası'nda toprak yapı malzemesinin kentsel dokunun önemli bir parçası olduğu Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico eyaletinin Santa Fe ve Taos şehirlerindeki toprak dam yapım tekniği tez kapsamında araştırılmıştır.

Buradaki geleneksel yapım tekniği Akdeniz mimarisi ile benzerlikler göstermektedir. Çatı konstrüksiyonu için duvardan duvara yerleştirilen ağaç kütükleriyle kirişler oluşturulmakta; bu kütüklerin üzeri de saz, kereste ve/veya

diğer küçük odun parçaları ile doldurulmaktadır. Üzerine ise kurumaya bırakılan kalın bir tabaka çamur serilmektedir. Su çörtenlere doğru eğim verilerek çatıdan uzaklaştırılmaktadır.

Su yalıtımı için bitümlü malzemeler ya da asfalt emülsiyonları toprağı ağırlığının %2-12'i kadar toprağı katılmaktadır. Toprağın stabilizasyonu için portland çimentosu ve kirecin yanı sıra taze kan, protein, vinil asetat⁴, talaş, kazein tutkalı⁵ ve vinsol reçinesi⁶ de kullanılmaktadır [48]. Özen'in 1990 yılında yazdığı "Residential Adobe Architecture Around Santa Fe and Taos from 1900 to the Present" başlıklı yüksek lisans tezinde toprağın içerisine katılan katkı malzemeleri ile tek başına yeterli stabilizasyonun sağlanamadığı söylenmektedir. Yüzeye sürülerek su geçirimsizlik sağlamak için ise genellikle yerinde polimerize edilen⁷ organik silikatlar⁸ veya organik monomerler kullanılmaktadır.

4 Vinil asetat, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH} = \text{CH}_2$ formülüne sahip organik bir bileşiktir. Vinil Asetat Monomer, kırılmaz cam üretiminde, benzin deposu imalatında, tekstil sektöründe apre uygulamalarında, lateks boya, kağıt kaplamalar ve yapıştırıcılar için kullanılmaktadır [49].

5 Kazein, sütün içindeki proteinlerden biridir. Kazein bazlı tutkallar, proteinin asit yardımıyla sütün geri kalanından ayrıştırılması ve bir bazla buluşturulması esasıyla üretmektedirler. Bu bağlamda 1 çay bardağı az yağlı ekşimsi inek sütü ısıtılır. 1 çay kaşığı sirke eklenir ve karıştırılır. Süt kesilip kezein dibe çöktükten sonra tülbentten süzülür ve sudan geçirilir içerisine 1/2 çay kaşığı toz kireç eklenir. Kazein tutkalı en çok yapı marangozluğunda ve doğramacılıkta kullanılmaktadır [50].

6 Beton içerisinde akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici ve donma-çözünme dayanıklılığını arttıran katkı olarak kullanılmaktadır [51].

7 Bu yöntemde ilk olarak nanokiller monomer veya monomer çözeltisi ile karıştırılmakta ve ardından polimerizasyon ısı, radyasyon veya başlatıcı etkisi ile başlatılmaktadır. Polimer eriğı veya polimer çözeltisine nazaran daha düşük viskoziteye sahip monomer çözeltisi içerisinde bulunan nanokil tabakalarının ultrasound veya yüksek kesme karıştırması (high shear mixing) etkisi ile dağıtılmasına olanak sağlamaktadır [52]

8 Silikat mineralleri, oksijen ve silisyum elementlerini içermektedirler. Sert kuvars, yumuşak talk, tabakamsı mika, lifsi asbest, yeşil olivin ve kan kırmızısı granat silikat mineralleri arasında sayılabilir [53].



Şekil 2.10 Taos Pueblo, Taos [54]



Şekil 2.11 Yapımı 1750'lere dayanan bölgedeki en eski yapı, Santa Fe [55]

Yapılan araştırma sonucu bölüm 2.1 altında açıklanan dünyadaki düz toprak dam tekniği örnekleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Dünyadaki düz toprak dam yapım tekniği örnekleri

Kıta	Ülke	Dam Yapım Tekniği	Katkı- Koruyucu Malzeme / Yöntem
AVRUPA	Yunanistan	Servi, Çam, Köknar ağacından döşeme kirişlerinin üzerine çivi ile birleştirilmiş ahşap paneller serilmektedir. Killi toprak doğrudan ahşap zemin üzerine veya dal, yaprak, yosun ve kilden bir yatağın üzerine döşenmektedir. Toplam örtü kalınlığı 20-40cm dir.	Toprak kireçle, organik maddelerle, samanla karıştırılır Yeşil-gri renkli bir kil (Patelia) volkanik Santorini adasındaki puzolanla karıştırılır Rodos Adası'nda ise yüzeye bir tabaka siyah toprak uygulanır <u>GÜNÜMÜZDE:</u> Örtünün altında bir plastik film tabakası, asfalt bezler yada bitümlü malzeme kullanılır.
		"Kourassani" denilen bu harç tekniğinde kireç macununa 3 farklı dane boyutuna sahip kiremit kırığı 5-6 gün boyunca katılmaktadır. Harç 2-7cm arasında bir kalınlıkta dökülmekte ve bir demir parçası ile dövülerek kalınlığı 1/3 boyutuna kadar sıkıştırılmaktadır. Harç ile döşeme katmanı arasına toprak dolgu yapılabildiği gibi harç doğrudan da döşeme üzerine serilebilmektedir.	Her 2-3 yılda bir kalın bir zayıntıyağı tabakası yüzeye uygulanır. <u>GÜNÜMÜZDE:</u> Örtünün altında bir plastik film tabakası, asfalt bezler yada bitümlü malzeme kullanılır.
	İspanya (Katalonya)	Ahşap kirişlerin üzerine ahşap parçalar, onun da üzerine taş plaklar dizilmekte; üzerine şimşir dalları konulmaktadır. Onun da üzerine 15-20cm kalınlığında elenmiş ve suyla yoğrulmuş toprak serilmektedir. Tuz Vadisinde ahşap strüktürlü terasların üzerine toprak serilip üzeri taş kaplanmaktadır.	Her bir ya da iki senede bir kötü durumdaki ahşap kirişler yenilenmekte, tüm yüzeye 5cm kalınlıkta toprak ilave edilmektedir. <u>GÜNÜMÜZDE:</u> Örtünün altında bir plastik film tabakası, asfalt bezler yada bitümlü malzeme kullanılır.
AMERİKA	ABD New Mexico - Santa Fe ve Taos)	Ahşap kirişlerin üzeri saz, kereste ve/veya diğer küçük odun parçaları ile doldurulmaktadır. Üzerine ise kurumaya bırakılan kalın bir tabaka çamur serilmektedir.	Bitümlü malzemeler ya da asfalt emülsiyonları toprağı ağırlığının %2-12'i kadar katılmaktadır. Toprağın stabilizasyonu için taze kan, protein, vinil asetat, talaş, kazein tutkalı ve vinsol reçinesi kullanılmaktadır. <u>GÜNÜMÜZDE:</u> Stabilizasyon için Portland çimentosu ve kireç de kullanılır.
AFRİKA	Cezayir (Ghardaia)	Palmiye ağacından döşeme kirişlerinin üzerine pamiye yaprakları, onun da üzerine kum tabaka yerleştirilir. Kumun üzerine harç serilir.	En son yüzey kireçle kaplanmaktadır.
	Tunus	Ardıç ağacından döşeme kirişlerinin üzerine kaplama tahtası yapılmakta, onların üzerine de kırık taş parçaları yerleştirilmektedir.	Yüzeye 2-3 kat kireç harcı uygulaması yapılır.
	Fas (Marakeş)	Kirişler üzerine sazlardan yatak yapılarak, toprak, kum ve biraz kireç karışımı ile birlikte eğimli bir yüzey oluşturulmaktadır. Bu karışımın üzerine 1/2 killi kum ve 1/2 kireç karışımından oluşan bir tabaka dökülmektedir.	Toprağı kireç karıştırılır ve yüzeye kireç harcı uygulaması yapılır.

Tablo 2.1 Dünyadaki düztoprak dam yapım tekniği örnekleri (devamı)

Kıta	Ülke	Dam Yapım Tekniği	Katkı – Koruyucu Malzeme / Yöntem
ASYA	Suriye (Şam, Lezkiye)	Kavak, Meşe, Servi ağacından 25-30cm çapındaki tomrukların üzerine 25-30cm aralıkla çapı 12-15cm olan döşeme kirişleri yerleştirilir. Onun üzerine kamış, saman, ağaç dalları konulur ve üzerine 15-30cm kalınlığında toprak serilir.	Yüzey kireçle kaplanmaktadır. GÜNÜMÜZDE: Yüzeye 2 kat reçine, kıtık ve hidrafüj madde katkılı beyaz çimento uygulanır. Ya da su yalıtım membranı serip üzerinin tekrar toprakla kapatılır.
	Lübnan (Dağ-Bekaa Ovası)	Çam, Kavak, Sedir ağacından en fazla 20cm çapında 60cm aralıklı döşeme kirişlerinin üzerine ahşap kaplama yağılıp üzerine 25-30cm kalınlığında toprak serilir.	Ahşap çatkıları böcek ve mantarlardan korumak için kireçle badana yapılır GÜNÜMÜZDE: Yüzeye 2 kat reçine, kıtık ve hidrafüj madde katkılı beyaz çimento uygulanır

2.2 Anadolu’da Düz Toprak Dam Yapım Tekniği ve Koruma

Sorunları

Binlerce yıldır geleneksel düz toprak çatılar, Anadolu’nun özellikle kırsal kesimlerinde sivil mimarinin önemli unsurları olmuştur. Bu çalışmada 6 Bölge’deki 16 ilin 20 farklı ilçesi literatür taramasıyla incelenmiştir⁹. İncelenen iller Diyarbakır, Van, Bitlis, Erzincan, Malatya, Sivas, Kayseri, Konya, Ankara, Eskişehir, Çorum, Isparta, Burdur, Afyon, Denizli ve Muğla’dır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Anadolu’da İncelenen Şehirler [56]

⁹ Anadolu’da düz toprak dam yapım tekniklerini içeren literatür kaynaklarına 217M561 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Araştırmaları yapan proje ekibi: Doç. Dr. Aynur Çiftçi, Enise Yasemin Gökyiğit Arpacı, Begüm Taşkent.

Genel olarak, Anadolu'daki geleneksel düz toprak damlar, çatı kirişleri, tavan kaplaması, bir veya iki kat toprak altı dolgusu, bir veya iki kat toprak katman (lar)ı ve çatı kaplamasından oluşmaktadır (Şekil 2.13) [56]

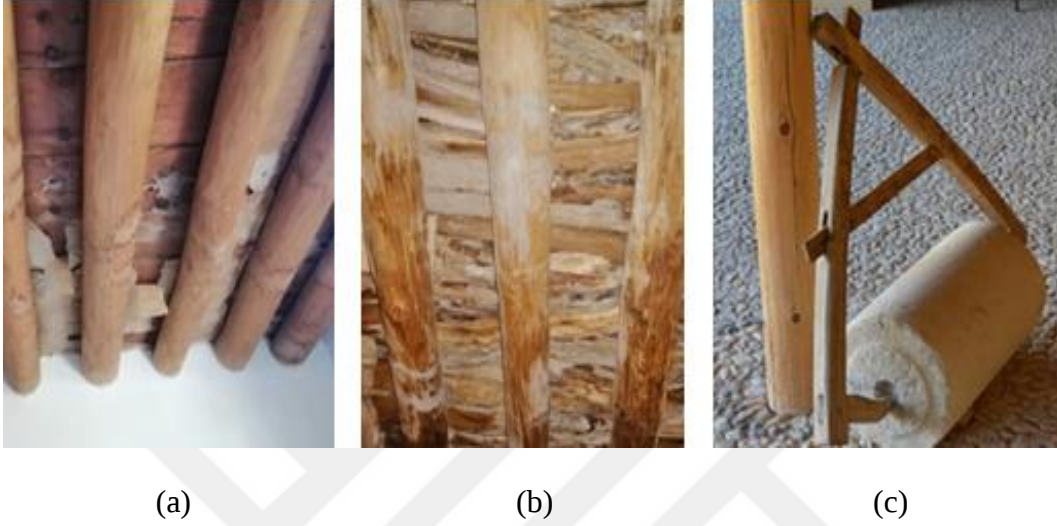


Şekil 2.13 Anadolu'daki Düz Toprak Dam Katmanları [56]

Anadolu'da geleneksel düz toprak çatıların inşası sırasında, duvar tavan yüksekliğine ulaştığında ahşap 'çatı kirişleri' yan yana yerleştirilmekte; ardından, çatı kirişlerinin üzerine veya altına bir 'tavan kaplaması' yapılmaktadır. Çatının inşa edildiği yerleşime bağlı olarak tavan kaplama tabakası genellikle ahşap çatı kirişlerinin üzerine kalas veya hasır döşenerek oluşturulmaktadır (Şekil 2.13). Ancak Anadolu'nun bazı köylerinde tavan kaplaması olmayan çatı örnekleri de bulunmaktadır (mal sahibinin mali durumuna bağlı olarak). Tavan kaplamasının üzerine, genellikle balta ile yarılmış ahşap parçaları 'toprak altı 1. dolgusu' olarak döşenmektedir (Şekil 2.13, Şekil 2.14). Daha sonra balta ile yarılmış ağaç parçalarının arasındaki boşlukları doldurmak için genellikle ağaç dalları "2. toprak altı dolgusu" olarak kullanılmaktadır.

Toprak altı dolgusu serildikten sonra su, toprak ve katkı maddeleri eklenerek (bölgede bulunan inşaat uygulamaları ve toprak türlerine göre) bir çamur tabakası hazırlanmaktadır. Belirli bir dereceye kadar kuruduktan sonra "1. Toprak Tabakası" olan bu çamur karışımı toprak altı dolgu katman (lar)ının üzerine serilmektedir. 1. Toprak tabakasının kalınlığı toprak türüne göre değişmektedir. Bazı bölgelerde katman yapımı bu aşamada bitmekte; ancak diğer bölgelerde "1. Toprak Tabakası" üzerinde Şekil 2.12'de "2. Toprak tabakası" olarak gösterilen farklı bir toprak

tabakası son katman olarak yerleştirilmektedir. Erzincan ili Kemaliye ilçesinde 2. Toprak tabakasının üzerine yöreye özgü bir uygulama yapılmakta ve rıhtım taşı çakılarak çatı kaplaması yapılmaktadır (Şekil 2.13-c). Bazı bölgelerde 2. Toprak tabakasını yapmak yerine çatı kaplaması oluşturmak için 1. Toprak tabakası üzerine çamur harcı uygulandığı bilinmektedir [56].



Şekil 2.14 a) Ahşap döşeme kirişleri ve ahşap taban kaplaması; b) Tavan kaplaması olmayan döşeme kirişleri, balta ile yarılmış ağaç parçaları görülmekte; c) Çatı kaplaması üzerinde loğ taşı

İnşası bittikten sonra tüm katmanlar bir arada silindirik 80-100kg ağırlığında bir taş yuvarlanarak sıkıştırılmaktadır. Bu taşın çapı 30-35 cm'dir ve yerel dilde 'loğ' veya 'yungu' olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.14-c).

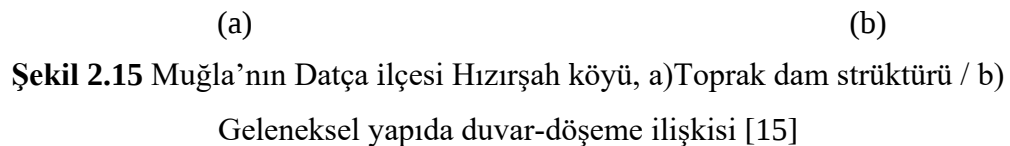
Bu çalışmada, Anadolu'daki geleneksel düz toprak damlar, katman sıralarına ve toprak katman (lar)ının malzeme özelliklerine göre tanımlanarak 6 farklı bölge özelinde incelenmiştir.

2.2.1 Ege Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Ege Bölgesinden Denizli, Muğla ve Afyon illeri incelenmiştir.

Afyon ilinde Denizli'nin Buldan ilçesinin kırsal kesimlerinde ve Muğla'nın Datça ilçesinde görülen örneklerde daire kesitli çatı kirişlerinin üzerine yayılan toprak altı dolgusunun üzerine 15-20 cm kalınlığında “geren” olarak adlandırılan killi toprak tabakasının serildiği ve ardından sıkıştırıldığı belirtilmektedir [16, 18, 21].

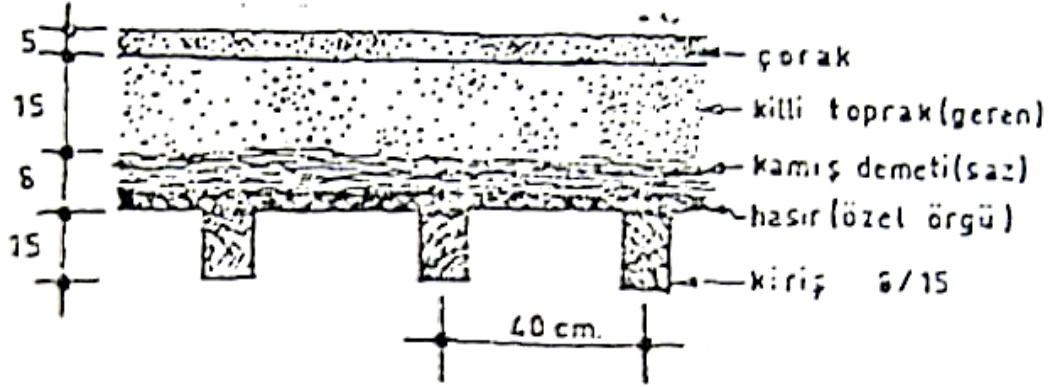
Ege Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.



Tez kapsamında Akdeniz Bölgesinden Isparta ve Burdur illeri incelenmiştir. Isparta ve Burdur illerinde bölüm 2.2.1 ‘de belirtilen Muğla (Bodrum) iliyle benzer özellik gösteren bir dam yapım tekniğiyle karşılaşılmıştır. Bu teknikte 8x15cm boyutlarında dikdörtgen kesitli çatı kirişleri 40cm ara ile yerleştirilmekte ve üzerlerine tavan kaplaması olarak hasır örgü yayılmaktadır. Hasır örgünün üzerine 8cm kadar ‘‘saz’’ adı verilen kamış demeti; onun da üzerine 15cm kadar ‘‘geren’’

adı verilen killi toprak serilmektedir. Tüm dam katmanlarının üzerine 5cm kadar çamur tabakası ile çatı kaplaması yapılmaktadır. Ardından tüm katmanlar sıkıştırılmaktadır.

Akdeniz Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.16 Isparta ve Burdur illerinde toprak dam kesiti [17]

2.2.3 Karadeniz Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

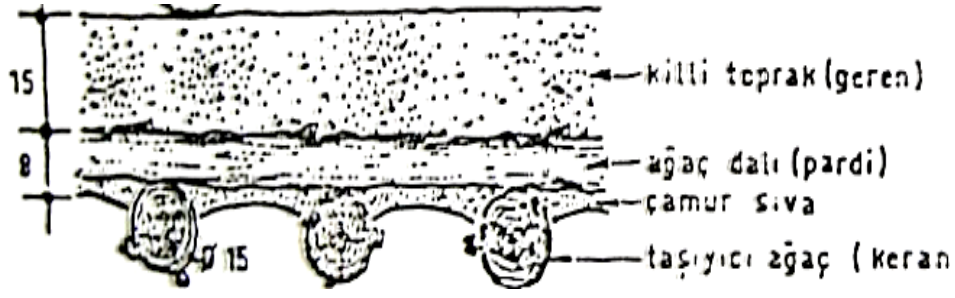
Karadeniz Bölgesinden Çorum ili incelenmiştir. Burada toprak damı oluşturmak için kavak ağacından daire kesitli çatı kirişlerinin üzerine kavak ağacından çubuklar, saplar ve dallarla toprak altı dolgusu yapıldıktan sonra 1 toprak tabakası olarak çamur, 2. toprak tabakası olarak 10-20 cm kalınlığında killi toprak serilmektedir [22].

Karadeniz Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.

2.2.4 İç Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

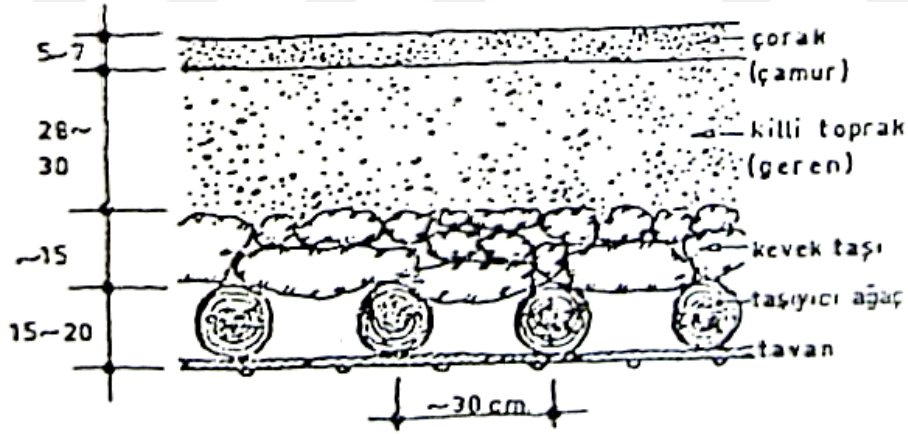
İç Anadolu Bölgesinden Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya ve Sivas illeri incelenmiştir.

Ankara ve Eskişehir’de 15cm çapında daire kesitli “keren” adı verilen çatı kirişleri 40 cm ara ile yerleştirilmektedir. Toprak altı dolgusu olarak 8 cm kalınlığında ağaç dalları yerleştirilip, dolgunun altı çamur sıva ile sıvanmaktadır. Ardından 15 cm kalınlığında “geren” adı verilen killi toprak serilmekte ve sıkıştırılmaktadır [17].



Şekil 2.17 Ankara ve Eskişehir’de e toprak dam kesiti [17]

Kayseri ilinde 15-20 cm çapında daire kesitli çatı kirişleri kullanılabildiği gibi, 8x14 cm dikdörtgen kesitli çatı kirişleri de kullanılabilmektedir. Tavan kaplaması olarak çatı kirişlerinin üzerinde hasır örgü yapılmakta ya da çatı kirişlerinin altından ahşap kaplama yapılabilmektedir. Toprak altı dolgusu olarak 8cm kalınlığında kamış demeti (saz) yerleştirilmektedir. Ancak Kayseri ilinin Ağırnas ilçesinde toprak altı dolgusu olarak 15 cm kalınlığında “kevek” adı verilen kayrak taşı da kullanıldığı kaynaklarda belirtilmektedir [17]¹⁰. Toprak katmanı olaraksa 15-30cm aralığında “geren” adı verilen killi toprak tabakası serilmektedir. Bu toprak tabakasının üzeri 5-7cm aralığında “çorak” adı verilen çamur harç ile sıvanmaktadır. Ardından tüm katmanlar loğ taşı ile sıkıştırılmaktadır.



Şekil 2.18 Kayseri’nin Ağırnas ilçesinde toprak dam kesiti [17]

Konya ve Sivas illerinde ise toprak altı dolgusunun ardından saman katkılı çamur tabakası 1. toprak katmanı olarak yerleştirilmektedir. Sivas ilinin Divriği ilçesinde

¹⁰ Topak damların altında taş dolgu uygulamasıyla bölüm 2.1.2 ve 2.1.3’te belirtildiği gibi İspanya ve Tunus’ta da karşılaşılmıştır. Bu bölgede de benzer bir uygulamanın olduğu görülmüştür.

bu katman ‘Bisürük’ olarak adlandırılmaktadır. Toprak yerleştirilip 1-2 gün beklendikten ve kıvam aldıktan sonra üzerine 10-20cm kalınlığında kil bakımından daha zengin 2. bir toprak katmanı serilmektedir. Ardından tüm katmanlar loğ taşı kullanılarak sıkıştırılmaktadır [19].



(a)



(b)

Şekil 2.19 a) Mazungil Evi, Loğ Taşı [19] b) Konya, Aydınkışla’da teras çatı loğ taşıyla loğlanıyor [18]

İç Anadolu Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.

2.2.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Tez kapsamında Güneydoğu Anadolu Bölgesinden Diyarbakır ili incelenmiştir.

Diyarbakır ilinde iki farklı tür toprak dam yapım tekniği ile karşılaşılmıştır. İlk toprak dam tipinde 30-50cm kalınlığında saman ve tuz katkılı çamur tabakası kullanılmaktadır ve çatı kaplamaları bulunmamaktadır. 15-25cm çapında daire kesitli çatı kirişleri 50cm aralıkla dama yerleştirildikten sonra üzerine ahşap bir kaplama yapılmakta ardından da üzeri talaş, hasır, kamyş gibi dolgu malzemeleri ile doldurulmaktadır. Son olarak dolgu katmanlarının üzerine 30-50cm kalınlığında saman ve tuz katkılı çamur tabakası serilmektedir. Tuz, çatıda toprağın çatlamasını ve bitki büyümesini; ayrıca suyun donma noktasını düşürerek tabakalarda genişlemeyi de engellemektedir [12]. Daha sonra çatı loğ taşı ile sıkıştırılmaktadır.

Diyarbakır ilindeki bir diğ er dam tipinde ise daire kesitli kavak ağacından çatı kirişleri yerleştirildikten sonra üzerlerine ince dallar ve sap-saman; ardından 40cm kalınlığında çamur tabakası serilmektedir. Bu uygulamada çamur tabakasının üzerine ‘ham’ adı verilen siyah toprak 5cm kalınlığında 2. toprak tabakası olarak yerleştirilmektedir [11].



şekil 2.20 Diyarbakır damları [57]

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.



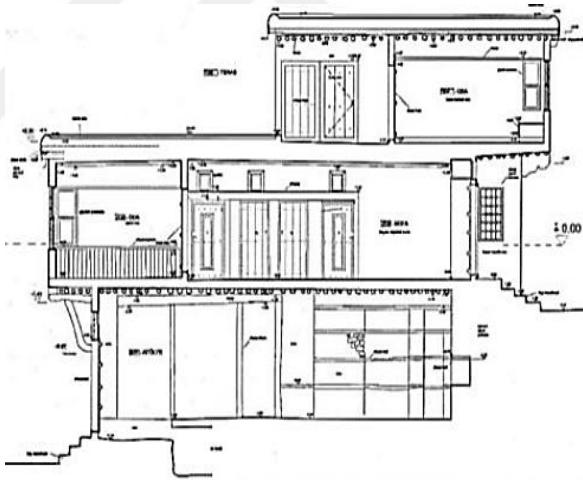
şekil 2.21 Diyarbakır dam örtüsü ve loğ taşı [12]

2.2.6 Doğu Anadolu Bölgesinde Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Doğu Anadolu Bölgesinden Malatya, Van, Erzincan ve Bitlis illeri incelenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesinin Malatya ilinin Arapgir ilçesinde iki farklı kalınlıkta toprak dam ile karşılaşılmıştır. Bunlardan ilkinde toprak tabakası olarak 50cm'ye kadar kalın bir toprak tabakası kullanılmaktadır. Toprak altı dolgu tabakasının inşası sırasında elenmiş toprağa su ilave edilerek bir tür çamur hazırlanmakta, daha sonra bu çamur karışımına genellikle saman eklenmektedir. Samanın malzemenin kuruma süresi boyunca oluşabilecek rötire çatlaklarını önlemek amacıyla ilave edildiği bilinmektedir. Ayrıca saman liflerinin toprağın basınç dayanımını bir ölçüde artırdığı da literatür araştırmaları sırasında görülmüştür [30]. Düz toprak çatının inşası için bu çamurdan 50 cm'ye kadar kalın bir tabaka, 1-2 gün kurutulduktan sonra, toprak altı dolgu tabakası üzerine serilmekte; daha sonra çatı loğ taşı ile sıkıştırılmaktadır [58, 59]



(a)



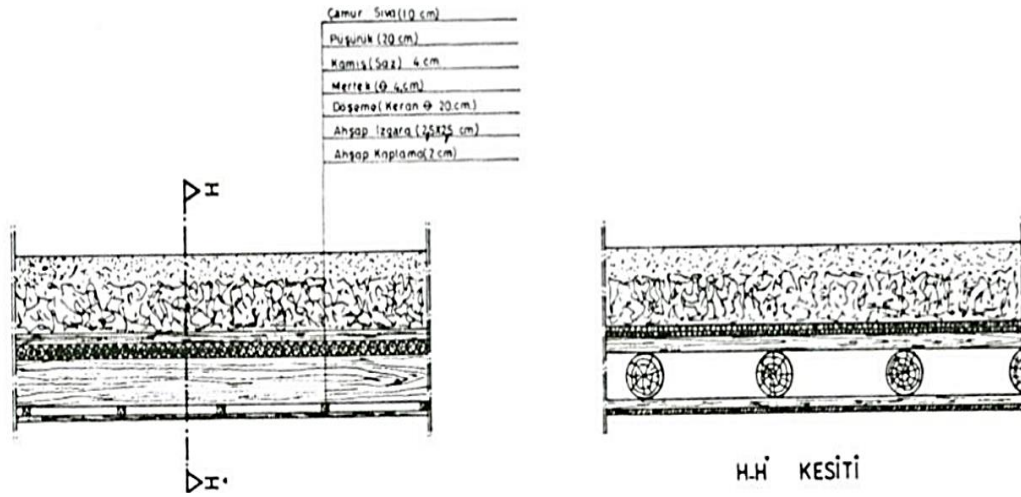
(b)

Şekil 2.22 a) Toprak dam üzerinde loğ taşı, Malatya [59], b) Bekir Tan Evi, kuzey-güney yönünde restitüsyon kesiti, Malatya [14]

Malatya ilinin Arapgir ve Darende ilçelerinde var olan ikinci toprak dam çeşidinde damın inşası sırasında toprak altı dolgu tabakası üzerine 15-25 cm kalınlığında düşük su geçirgenliğine sahip, killi bir toprak serilmektedir. Bu nedenle çatı kalınlığını 15-25 cm arasında tutmak mümkün olmaktadır. Bu tip bir çatı ancak ilgili bölgede özgün kohezyonlu zemin mevcutsa inşa edilebilmektedir. Örneğin,

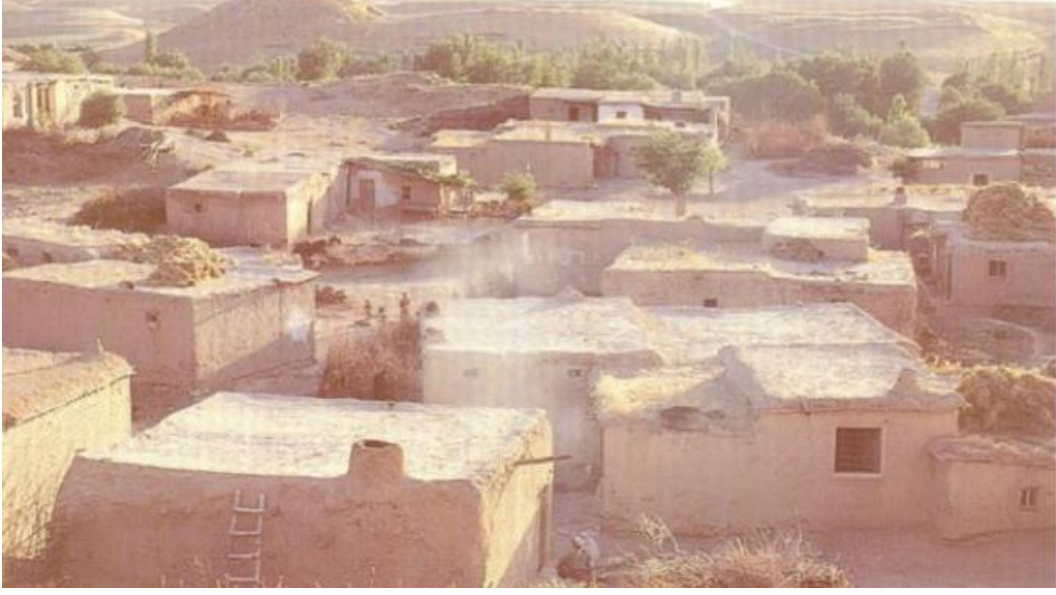
Malatya'nın Arapgir ilçesinde de düz toprak çatılarda özel bir tür mavi-gri toprağın kullanıldığı belirtilmektedir [59]. Tüm çatı katmanları inşa edildikten sonra çatı ıslatılmakta ve silindirik taşla sıkıştırılmaktadır.

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Van Şehrinde toprak altı dolgu tabakaları tamamlandıktan sonra çatıya 'pusuruk' adı verilen 20cm kalınlığında saman katkılı çamur toprak tabakası serilir. Çatıya çamur tabakası serildikten sonra çamur harcı hazırlanarak 10 cm kalınlığında çamur harcı ile çatı örtülür. Çatı üstüne çamur harcı tabakası uygulamasının temel amacı, taş kadar sert bir yüzey elde ederek su ve güneş ışınlarından dolayı oluşacak aşınmayı ve çatının çatlamasını önlemektir. Tüm çatı katmanları tamamlandıktan sonra çatı silindirik taşla sıkıştırılmaktadır [21,23]



Şekil 2.23 Düz dam örtü kesiti, Van [21]

Bitlis ilinin kırsal kesimlerinde ve Erzinan ilinin Kemaliye ilçesinde toprak altı dolgu tabakaları oluşturulduktan sonra elenmiş toprağa su ilave edilerek "yaş-kuru" veya "püsürük" adı verilen çamur tabakası hazırlanmakta; hazırlanan bu çamur 1-2 gün kurumaya bırakılmaktadır. Bu kuruma süresi, çamurun çatıya serilmeden önce kıvam almasını sağlamaktadır. Daha sonra bu çamur, çatı konstrüksiyonu üzerine 10-25cm kalınlığında serilir ve 1-2 gün daha kurumaya bırakılır. Bu kuruma süresinden sonra 1. Toprak tabakasının üzerine daha az su geçirimliliğine sahip killi topraktan (gavcin/sığ) 2. bir toprak tabakası serilmektedir. Daha sonra çatı silindirik taşla sıkıştırılmaktadır. Erzinan İlinin Kemaliye ilçesinde bu katmanların üzerine "rıhtım" adı verilen bir dere taşı çakılarak çatı kaplaması da yapılmaktadır [13, 60, 61, 62, 63, 64, 65].



Şekil 2.24 Kerpiç duvarlı köy evi, Van [21]



Şekil 2.25 Bitlis Müftüler Evi'nden görünüş [13]

Doğu Anadolu Bölgesindeki toprak damların yapım tekniği örnekleri ve katman sıralanışları tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Anadolu'daki Düz Toprak Dam Yapım Tekniği Örnekleri

Bölge	Şehir		Dam Yapım Tekniği	Katkı- Koruyucu Malzeme / Yöntem
DOĞU ANADOLU	Malatya	Arapgir	Kavak ağacından yapılmış daire kesitli 25-35cm aralıklı çatı kirişlerinin üzerine ahşap çubuklar (anda) ve 50cm saman katkılı çamur tabakası veya 20cm mavi-gri killi toprak serilir	Loğlamaya ek olarak kerpiç toprağı ile yıllık bakım yapılır. GÜNÜMÜZDE: Ahşap strüktürlü metal (çinko) örtülü sundurma çatılarla kaplanmaktadır.
		Darende	Daire kesitli ahşap çatı kirişlerinin üzerinden ahşap tavan kaplaması yapılır. Dallardan hasar örgü yapılıp üzerine killi toprak serilir	
	Van		20cm daire kesitli çatı kirişlerinin altından ahşap tavan kaplaması yapılır. Kirişleri üzerine 4cm ahşap çubuk (mertek), üzerine 4cm kemiş, üzerine 20cm çamur (püsürük), üzerine 10cm çamur harç serilir	Harç tabakası içerisine saman katılır. Loğlama yapılır.
	Bitlis		Karaağaç veya kavak ağacından daire kesitli 50cm aralıklı çatı kirişlerinin (keran) üzerine 4cm ahşap çubuklar (mertek/pendi), üzerine kemiş, hasır, ince ahşap levha, üzerine 20-25cm çamur (püsürük), üzerine toprak tabakası (sığ) serilir	Loğlama yapılır ya da ahşap tokmakla sıkıştırılır. Sıkıştırma öncesi dama tuz atılır.
	Erzincan (Kemaliye)		Dut yada çam ağacından 15-25cm daire kesitli 30-35cm aralıklı çatı kirişleri (döşeme) üzerine ahşap tavan kaplaması üzerine dut veya dikensiz ardıç ağacından çubuklar (mertek), üzerine ince ağaç dalları, üzerine 10-15cm çamur tabakası (yaşkuru), üzerine 10-15cm gri-mavi killi toprak (gavcin), üzerine 5-6 cm taş kaplama (rıhtım)	Loğlamaya ek olarak zamanla yüzeye gavcin toprağı eklenir. GÜNÜMÜZDE: Toprak katmanlarının altına su yalıtım örtüsü serilmekte ya da ahşap strüktürlü metal örtülü sundurma ve beşik çatılarla kaplanmaktadır.
	GÜNEYDOĞU ANADOLU	Diyarbakır	Diyarbakır	10-15cm daire kesitli çatı kirişlerinin üzerine ahşap kaplama yapılır. Üzerine talaş, hasır, kemiş; onun da üzerine 30-50cm çamur serilir
Karacalı			Daire kesitli kavak ağacı çatı kirişlerinin üzerine ince dallar, sap, saman ve 40cm kil serilir. Onun da üzerine 5cm siyah toprak (ham) serilir	Loğlama yapılır ayrıca yetersiz görülen yerlere toprak ilavesi yapılır.
AKDENİZ	Isparta	40cm aralıklı 8x15cm dikdörtgen kesitli ahşap çatı kirişlerinin üzerine hasır örgü, onun da üzerine 8cm kemiş demeti (saz) serilir. 15cm killi toprağın (geren) üzerine 5-7cm çamur harç (çorak) uygulaması yapılır.	Loğlama yapılır.	
	Burdur			
KARADENİZ	Çorum (Boğazkale)		Daire kesitli kavak ağacı çatı kirişlerinin üzerine kavak ağacından çubuklar, saplar ve dallar serilir. Üzerine çamur tabakası serilip iyice sıkışması için ayakla çiğnenir. çamur tabakasının da üzerine 10-20cm killi toprak tabakası yerleştirilir (çorak).	Loğlama yapılmaktadır.

Tablo 2.2 Anadolu’da Düz Toprak Dam Yapım Tekniği Örnekleri (devamı)

Bölge	Şehir	Dam Yapım Tekniği	Katkı- Koruyucu Malzeme / Yöntem
İÇ ANADOLU	Ankara	15cm çapında, 40cm boşluklu daire kesitli ahşap çatı kirişlerinin (keren) üzerine 8cm ağaç dalları (pardî) serilir. Ağaç dallarının altına 15cm çamur sıva yapılır. Üzerine de 15cm killi toprak (geren) serilir.	Loğlama yapılmaktadır. Yılda bir kez damların üzerine tuz dökülmektedir. Çamur harç uygulaması yapıldığında içesine tuz konulur. GÜNÜMÜZDE: Damlarda shingle, naylon gibi örtüler olabildiği gibi çimento şap dökülen örnekler de bulunmaktadır. Kimi damlarda toprak katmanlarının altına su yalıtım membranları da uygulanabilmektedir.
	Eskişehir		
	Kayseri	Kayseri	40cm aralıklı 8x15cm dikdörtgen kesitli ahşap çatı kirişlerinin üzerine hasır örgü, onun da üzerine 8cm kamış demeti (saz) serilir. 15cm killi toprağın (geren) üzerine 5-7cm çamur harç (çorak) uygulaması yapılır.
		Ağırnas	
	Konya	30cm aralıklı 15-20cm daire kesitli ahşap çatı kirişlerinin altına ahşap kaplama yapıp üzerine 15cm kayrak taşı (kevek) dizilir. Üzerine 28-30cm killi toprak (geren) serilir.	Ahşap çatı kirişlerinin üzerine hasır örgü (poyra) yapılır. 10-80 cm kamış demeti (saz) yada küçük ağaç dalları serildikten sonra çamur tabakası, üzerine de killi toprak serilir.
	Sivas (Divriği)	Ahşap çatı kirişlerin (aristak) üzerine ince ahşap çubuklar (mertek), küçük dallar ve talaş serilir. Üzerine çamur (bisürük) ve 18-20cm toprak serilir.	Çamur içerisine saman katılır. Loğlama yapılır. GÜNÜMÜZDE: Ahşap strüktürlü metal örtülü sundurma çatılarla kaplanmaktadır.
EGE	Afyon	30-40cm ahşap kirişlerin (aristak) üzerine ince ahşap çubuklar (mertek), küçük dallar ve talaş serilir. Üzerine çamur (bisürük) ve 18-20cm toprak serilir.	Loğlama yapılmaktadır. GÜNÜMÜZDE: Damlar shingle ya da naylonla örtülmektedir.
	Denizli (Buldan)	15cm çapında, 40cm boşluklu daire kesitli ahşap çatı kirişlerinin (keren) üzerine 8cm ağaç dalları (pardî) serilir. Ağaç dallarının altına 15cm çamur sıva yapılır. Üzerine de 15cm killi toprak (geren) serilir.	Loğlama yapılır.
	Muğla	Datça	Daire kesitli meşe ağacı çatı kirişlerinin üzerine meşe ağacından çubuklar (mertek) onun da üzerine meşe dalları serilir. Ardından üzerine toprak katmanı yerleştirilir.
		Bodrum	Çam ya da sandal ağacından daire kesitli çatı kirişlerinin üzerine kaplama tahtası ve hasır serilir. Kirişlerin üzerine ters yönde kirişler (çığ/kargı) yerleştirilir. Kirişlerin üzerine ağaç dalları, safran yaprakları ve çalı, onun da üzerine killi toprak (geren) serilir.
			Loğlama yapılır. GÜNÜMÜZDE: Ahşap strüktürlü kiremit kaplı beşik çatılarla kaplanmaktadır.
			Loğlama yapılır.

Anadolu’da var olan düz toprak damlar incelendiğinde bölgeler özelinde aynı tip dam yapım tekniğinin ve katman sıralamasının var olmadığı; bir bölgede birden çok dam tipi ile karşılaşılabilceği görülmüştür. Bu bağlamda çalışma kapsamında

toprak katmanlarının biçimlenişine göre Anadolu’da dört farklı çeşit toprak dam tipi belirlenmiştir [56] (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Anadolu’daki Düz Toprak Damların Toprak Katmanlarına Göre Sınıflandırılması [56]

ÇATI TİPLERİ	KATMANLAR	DAM KESİTİ	BÖLGELER- ŞEHİRLER
Çatı Tip 1 (Toprak)	- 1. Toprak tabakası - 1. Toprak altı dolgusu - Tavan kaplaması* - Çatı kirişleri		
Çatı Tip 2 (Killi Toprak)	- 1. Toprak tabakası - 2. Toprak altı dolgusu* - 1. Toprak altı dolgusu - Tavan kaplaması* - Çatı kirişleri		
Çatı Tip 3 (Çamur Harçla Kaplanmış Killi Toprak)	- Çatı kaplaması - 1. Toprak tabakası - 2. Toprak altı dolgusu* - 1. Toprak altı dolgusu - Tavan kaplaması - Çatı kirişleri		
Çatı Tip 4 (Killi Toprakla Kaplanmış Çamur Tabakası)	- Çatı kaplaması* - 2. Toprak katmanı - 1. Toprak katmanı - 2. Toprak altı dolgusu - 1. Toprak altı dolgusu - Tavan kaplaması* - Çatı kirişleri		

*Bazı yerleşim yerlerinde bulunan çatı katmanları

Yapılan literatür araştırmaları ve alan çalışmaları sonucunda günümüzde bu dört tip geleneksel toprak tipinin korunmasında da karşılaşılan temel sorunun aynı olduğu düşünülmektedir. Çeşitli nedenlerle toprak damların periyodik bakım ihtiyaçları karşılanamamaktadır. Kırsal kesimde yaşayan genç nüfusun geneli büyük şehirlere göç etmiş olduğu, yaşlı nüfusun da yeterli fiziksel gücü olmadığı için periyodik bakım faaliyetleri büyük ölçüde yapılamamaktadır. Düz toprak çatılı geleneksel yapıları su kaynaklı sorunlardan korumak için yöre halkı tarafından bölgenin özgün mimari dokusuna uymayan bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bazı örnekleri şunlardır:

- Özgün damı ek bir yeni çatı konstrüksiyonu ile kaplamak (Şekil 2.26-a)
- Düz toprak damı naylon veya shingle ile örtmek (Şekil 2.26-b, c)
- Damın üzerine çimento şap dökmek



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.26 a) Özgün damın ek bir yeni çatı konstrüksiyonu ile kaplanması, Kemaliye-Erzincan; b) Düz toprak damın naylon ile örtülmesi, Divriği-Sivas; c) Düz toprak damın shingle ile örtmek, Divriği-Sivas (Fotoğraf: A. Çiftçi)

3

KEMALİYE YERLEŞİMİNİN ÖZELLİKLERİ

Kemaliye, Doğu Anadolu Bölgesinde Erzincan İl'ine bağlı ve kentin güneybatısında yer alan, Fırat Nehri'nin kollarından biri olan Karasu'nun batı kıyısına konumlanmış bir yerleşim yeridir. İlçe, dik yamaçlara oturmuş iki-dört katlı evleri ve dar sokakları ile Anadolu'nun özgün yerleşim merkezlerinden biridir.

Kemaliye'nin 1926 yılından önceki adının "Eğın" olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sırasında Eğın adının kökeni hakkında farklı varsayımların var olduğu görülmüştür. Evliya Çelebi'ye göre şehri bir Kayser kızı kurmuştur ve prensesin "Egine" olan adı yerleşmeye verilmiştir. Avrupalı gezginler ve bazı Ermeni kaynakları ilçenin merkezinde bulunan su kaynağını göz önünde bulundurarak "Eğın" adının Ermenice kaynak anlamına gelen "akn/agn" kelimesinden türediğini belirtmektedirler. M.H. Gür'e göre ise "Eğın" Türkçe kökenli "sırt, arka" anlamında bir kelimedir [5].

3.1 Kemaliye Yerleşiminin Fiziki Konumu ve Sismolojik Özellikleri

Kemaliye (Eğın) ilçesi Doğu Anadolu Bölgesinde Erzincan İl'ine bağlıdır ve kentin güneybatısında yer alır. Ancak fiziki olarak Erzincan, Elâzığ, Malatya, Sivas ve Tunceli illerinin ortasında bulunmaktadır. Bu bağlamda, tarih içerisinde Malatya ve Elâzığ illerine bağlandığı dönemler de var olmaktadır. İlçenin kuzeyinde İliç (Erzincan), güneyinde Arapgir (Malatya) ve Ağın (Elâzığ), batısında Divriği (Sivas), doğusunda Çemişgezek ve Ovacık (Tunceli) ilçeleri yer almaktadır (Şekil 3.1). Kemaliye ulaşım mesafesi göz önünde bulundurulduğunda Erzincan şehir merkezine 161 km, Elazığ'a 146 km, Malatya'ya ise 175 km uzaklıkta konumlanmıştır [66].

Kemaliye'nin toplam 2345km²'lik yüzölçümü içinde 61 köyü vardır. İlçe merkezinin yükselti değeri 1000-1100 m, ilçenin kapladığı alan ise 1168 km²'dir.

bölgenin "odak noktası" olarak da tanımlanmaktadır [68]. Fırat nehrinin iki büyük kolundan biri olan Karasu yerleşmeyi boydan boya ikiye bölmektedir. Kemaliye yerleşmesi, Fırat'ın Karasu Kolu ve bir vadide konumlanmasının da etkisiyle çevresindeki çıplak ve kurak görünümlü dağların aksine yeşil bir vahayı andırmaktadır (Şekil 3.3).



(a)

(b)



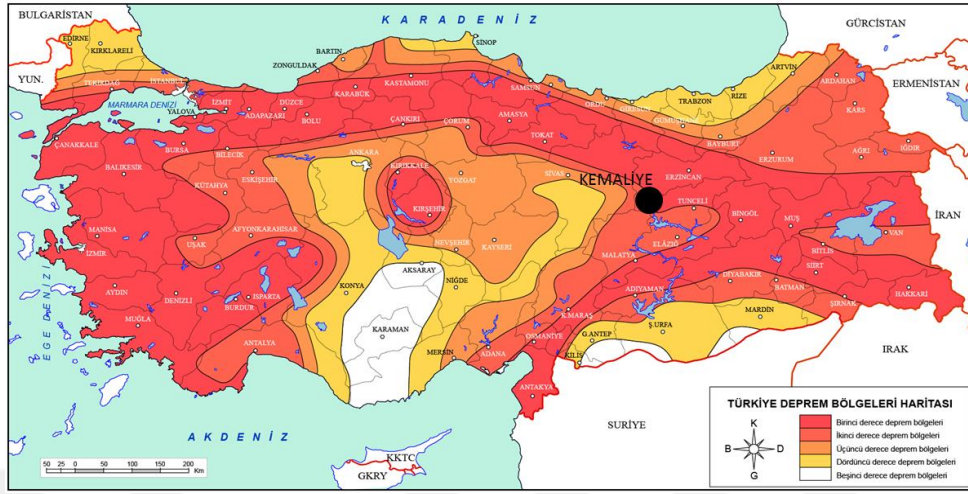
(c)

(d)

Şekil 3.3 a) Kemaliye yerleşimi, Karasu, Yama Dağı; b) Apçağa Köyü'nden Kemaliye yerleşimi; c) Kemaliye Ariki Mahallesi; d) Karasu-Karanlık Kanyon

Sismik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Kemaliye'nin birinci dereceden deprem bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Yerleşim, Kuzey Anadolu Fay Hattı ile Doğu Anadolu Fay Hattının kesişiminde bulunmaktadır ve bölgeden

2 adet aktif fay geçmektedir. Bu nedenle Kemaliye'nin sismik aktivitenin yoğun olduğu bir bölgede yer aldığı söylenebilmektedir.



Şekil 3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, inşaat mühendisleri odası)

3.2 Kemaliye Yerleşiminin Demografik ve Ekonomik Yapısı

Kemaliye Yerleşiminin bilinen en eski tarihi M.Ö. 2000 yılı başlarında Hititlere dayanmaktadır. Ancak bu tarihten önce bölgede Urartuların yaşadığını, bölgede yapılan kazılarda Urartulara ait pek çok eserin çıkarıldığını belirten kaynaklarla da karşılaşılmıştır [69]. Bölge M.Ö. 8. Yüzyılda Asurluların, M.Ö. 6. Yüzyılda ise Perslerin hakimiyetine girmiştir. M.Ö. 331 yılında bölgenin yönetimi Makedon Krallığı'na geçmiş, M.Ö. 301 yılında ise Anadolu'da bağımsız krallıklar kurulmaya başlanmış, bölge Ermeni Krallıkları yönetiminde "Armenia Minor" (Küçük Ermenistan) olarak adlandırılmıştır. Yerleşme, M.Ö. 67 yılında Roma İmparatorluğu'nun egemenliğine girmiş, M.S. 395 yılında İmparatorluğun bölünmesiyle, Doğu Roma (Bizans) İmparatorluğu'nun doğu sınırını oluşturmuştur [70].

Evliya Çelebi, Kemaliye (Eğin) yerleşmesinin 7. ve 9. Yüzyılda da var olduğunu söylemektedir. Ancak farklı kaynaklarda; 1021 yılında Vaspurakan Kralı'nın bölgeyi ele geçirmesi ve 11. Yüzyılda Bizans yönetiminin sınır politikalarının da etkisiyle Eğin'in (Agn) bölgeye yerleştirilen Ermeni aileleri tarafından kurulduğu da belirtilmektedir [70, 71].

Kemaliye, 1071 Malazgirt Savaşı ile Türk egemenliğine girmiştir. 400 yıl farklı devletlerin egemenliğinde bulunan yerleşim 1421 yılında Osmanlı idaresine geçmiştir [5] (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Kemaliye'nin kronolojik tarihi [5, 50, 51, 52]

KEMALİYE’NİN KRONOLOJİK TARİHİ	
...	Urartulara ait kalıntılar
M.Ö. 2000 – 800	Hititler Dönemi
M.Ö. 800 – 600	Asurlular Dönemi
M.Ö. 600 – 331	Persler Dönemi
M.Ö. 331 – 301	Makedon Krallığı
M.Ö. 301 – 67	Ermeni Krallıkları
M.Ö. 67 – M.S. 395	Roma İmparatorluğu
395- 1118	Bizans İmparatorluğu
7. Yüzyıl	Eğin yerleşmesinin kurulması *
1021	Vaspukan Kralı’nın ele geçirmesi, yerleşmenin kurulması **
1071	Malazgirt Savaşı ile bölgenin Türk egemenliğine girmesi
1118- 1228	Mengücekler Dönemi
1228- 1277	Selçuklular Dönemi
1277- 1317	Danışmendiler Dönemi
1317- 1343	İlhanlılar Dönemi
1343- 1413	Feodal Beyler Dönemi
1421- 1916	Osmanlı İmparatorluğu
1512-1520	Kafkasya’dan göç edenlerin Eğin’e yerleştirilmesi
1518	Arapkir kazasına bağlı bir köy
18. Yüzyıl	Derebeyi ailelerinin denetimine girmesi
1867	Mamuret-ül Aziz Sancağı’nın bir kazası
1895	Ermeni ayaklanması
1916- 1920	Fransa
1920	Kolordu Merkezine dahil olması
1923	El-Aziz Sancağı’nın bir kazası
1926	Malatya’ya bağlanarak Kemaliye adını alması
1938	Erzincan sınırlarına dahil edilmesi

* Evliya Çelebi’ye [70] göre

** Houshamadyan (2020) [71] ve Yerganyan (2012)’a [69] göre

11. Yüzyılda Kemaliye’ye yerleşen Ermeni grupların önce merkezin güneyindeki köylere yerleştiği, 16. Yüzyılda Yavuz Sultan Selim’in isteği ile Kafkasya’dan göç eden ailelerin ise bölgenin merkezine yerleştirilip kuzeye doğru yayıldıkları bilinmektedir. Yerleşme ile ilgili belgelere (tahrir defteri¹¹) dayanan ilk demografik bilgi 1518’de yerleşmenin 14’ü Müslüman, 199’u Ermeni’den oluşan 213 hanelik bir köy olduğudur. 1568 tarihinde alınan kayıtlara göre ise, Eğin’de biri Müslüman, 9’u Ermeni olmak üzere 10 mahalle, 447 hane sayısı bulunmaktadır. Aynı kayıtlara

11 Osmanlı maliyesinde vergiye esas olan insan ve mal varlığını tespit etmek için yapılan sayımların kaydedildiği defterlerin adıdır (ansiklopedi.tubitak.gov.tr)

göre yerleşimde iki adet kilisenin varlığından, buna bağlı olarak gayrimüslim bir etnik yapıya sahip olduğundan bahsedilebilmektedir [5]. Kemaliye'nin 17. Yüzyıldaki demografik bilgileri Evliya Çelebi tarafından tanımlanmıştır. Çelebi'ye göre Kemaliye (Eğin) 5000 nüfuslu, ticari faaliyetin hâkim olduğu bir kazadır [70].

18. Yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu'nda merkezi denetimin zayıflamasıyla, Eğin derebeyi ailelerinin ("Kemah Beyleri" olarak da adlandırılan Sağırzadeler) denetimine girmiştir. 18. yüzyılın sonunda "Malikâne Sistemine" katılan Eğin ticari gelirlerinin fazlalığı nedeniyle, voyvodalık mücadelelerine daha sonra da ayaklanmalara sahne olmuştur [5].

Moltke'ye göre, Halep ve Bağdat'la ticari ilişkilerin arttığı 19. Yüzyıl, Eğin'in ekonomik yapısının en güçlü olduğu dönemdir. 19. Yüzyılın ilk yarısında Eğin'de yaşayan ve yaklaşık nüfusun yarısını oluşturan Ermeni nüfusun yaptığı sarraflık ve ticaretin Eğin'in sosyal ve ekonomik yapısına önemli bir katkısı olduğu bilinmektedir [5]. İlçede ayrıca kunduracılık, halıcılık ve dokumacılık gibi üretim dallarının da var olduğu tespit edilmiştir. Kapı tokmakları yöreye özgüdür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 a) Eğin halısı, b)Eğin kundurası, c) Kapı tokmakları

Kemaliye, 19. Yüzyılın 2. yarısında 19000 nüfuslu bir yerleşmedir. Eğin kazasının tamamında ise nüfus 60919'dur [72]. 1874 tarihli ilk tapu kayıtlarına göre Kemaliye'de 48 mahalle yer almaktadır ve 1874-1907 tarihleri arasındaki Salnamelerde konut sayısının 2087 olduğu belirtilmektedir [70].

Kemaliye'den göç Yavuz Sultan Selim zamanında başlamıştır. Kasabalı ekecek tarla, hayvan otlatacak mera bulamayınca çareyi İstanbul'a gitmekte bulmuştur. Ancak o dönemde İstanbul'a gitmek için çalışma izni gerekmektedir. Bu nedenle Yavuz Sultan Selim İstanbul'un et kethüdalığını Kemaliye'liye devretmiştir. Sultan 4. Murat da su ile odun-kömür kethüdalığını vermiştir. İlçenin erkekleri gurbete çalışmaya gittiğinde geride kalan kadınların ürettiği maniler, Kemaliye kültüründe önemli bir yere sahip olmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Mani yolu ve Eğin manileri [73]

Son yüzyıl içerisinde ise Kemaliye'de ticari canlılık yitirilmiş, köylerinde arazinin dağınık ve tarıma elverişsiz olması nedeniyle birlikte geçim sıkıntıları artmıştır. Yöre halkının buğday arpa ve yulafı kimi zaman dışarıdan almak zorunda olduğu bilinmektedir [74]. Bunun sonucunda, öncelikle sadece ailedeki erkek bireylerin çalışmak için gurbete gittiği bölgede, 1950'li yıllardan sonra tren yolunun gelmesi, karayollarının gelişmesi ve zorlu kış koşullarında konutların bakımının zor olması nedeniyle aile göçleri başlamıştır. 1974 yılından sonra inşa edilen Keban Barajı ile de ilçenin çevresiyle ticari ilişkisi büyük ölçüde azalmış, baraj çevresindeki yerleşmelerin bir bölümü de ortadan kalkmıştır. 1874 tarihinde sayısı 48 olan mahalleler verilen göçlerle birleştirilmiş, 1928 yılında 11 adet mahalle belirlenmiştir. Taşdibi ve Sandıkbağı mahalleleri yalnızca Türk nüfusa sahip mahalleler, Köybaşı bölgesi de yalnızca Ermeni nüfusa sahip mahalle olarak tespit edilmiştir. Kadıgölü çevresinde ve merkezde olan mahallelerde ise Türk ve Ermeni

nüfusun bir arada yaşadığı bilinmektedir. 1907 yılında 2087 olan konut sayısı 1970 sayımlarında 576 ya, 1973 sayımlarında ise 570'e inmiştir [70].

2018 genel nüfus sayım verilerine göre Kemaliye'nin nüfusu 5555'tir. 1965-2018 yılları arasındaki genel nüfus sayımı verileri tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Yıllara göre Kemaliye ilçesi nüfus verileri [75]

YIL	İLÇE - MERKEZ	KÖY	TOPLAM
2018	2.256	3.299	5.555
2013	2.127	2.917	5.044
2007	2.236	2.995	5.231
2000	2.243	5.493	7.736
1990	2.044	6.981	9.025
1985	3.007	8.314	11.321
1980	2.614	9.535	12.149
1975	3.014	10.150	13.164
1970	2.510	10.739	13.249
1965	2.384	12.651	15.035

Kemaliye’de arazi yapısı nedeniyle tarım ile uğraşmak güçtür. Bölgede dut ve ceviz bulunmakta; dut ve cevizden lök denilen tatlı yapılmaktadır (Şekil 3.7).



(a)

(b)

Şekil 3.7 a) Lök hane; b) Damda dut kurutma

Bol su kaynağı olan bölgede eskiden şehir içinden akan ve Kadıgölü denilen bir şelaleden beslenen değirmen ile elektrik ihtiyacı karşılanırken, günümüzde enerji Keban Barajı’ndan gelmektedir. Ayrıca Bağıştaş 1 ve Bağıştaş 2 hidroelektrik santralleri de bölgede yer almaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 a) Kadıgölü; b) Bölgedeki barajlar

Dünyanın en büyük kanyonlarından biri olan Karanlık Kanyon Kemaliye ilçe sınırları içerisinde bulunmaktadır. 2008 yılından itibaren bu bölgede "Uluslararası Doğa Sporları Festivali" kapsamında farklı etkinlikler düzenlenmektedir. Bu etkinlikler sayesinde turizmin ilçe ekonomisine katkıda bulunması sağlanabilmektedir.

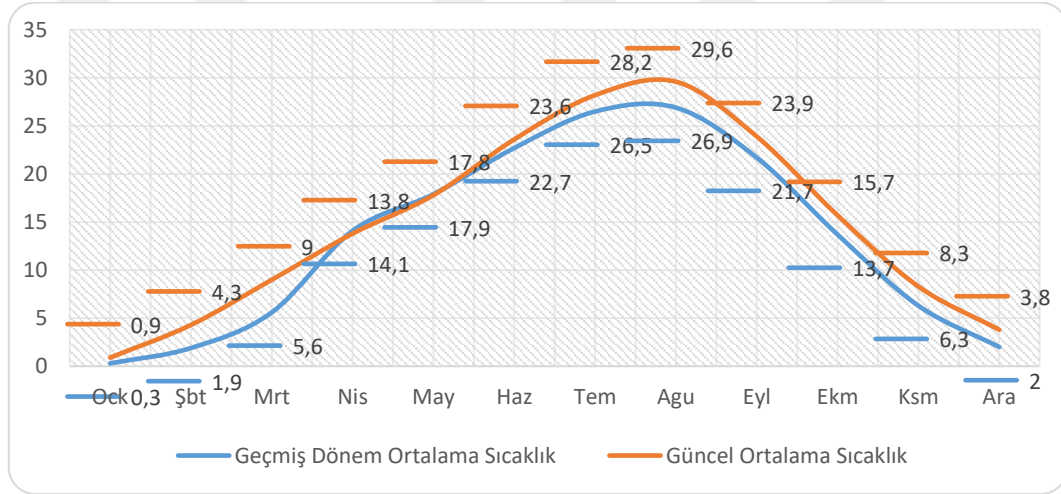
3.3 Kemaliye Yerleşiminin Meteorolojik Özellikleri

Erzincan'ın sert ve karasal iklimine karşın, yüksek dağların çevrelediği vadi içindeki Kemaliye yerleşiminde ılıman iklim etkileri görülür [66]. Kemaliye'nin korunaklı bir vadi içerisinde yer alması yıllık sıcaklık değerlerini de etkilemektedir. Normal şartlar altında civar yerleşimlerde güneyden kuzeye gidildikçe yükseklik artmakta, bu da yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Oysaki Kemaliye İlçesi korunaklı bir vadi içerisinde yer alması nedeniyle güneyinde bulunan ve yükseltisi daha az olan ilçelere göre daha yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir [67].

Kemaliye Evleri'nin maruz kaldığı yağış, nem, sıcaklık ve donma-çözülme etkilerinin analiz edilebilmesi için; bu çalışma kapsamında iklim verileri içerisinde sıcaklık, don, nem ve yağış miktarı parametrelerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, literatür taramalarından edinilen ve meteoroloji genel

müdürlüğünden alınabilen verilerle sıcaklık, don, nem ve yağış parametreleri geçmiş ve güncel veriler karşılaştırılarak incelenmiş; Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2011 yılında başlattığı ve toplamda 3 küresel model ve 2 senaryo kullanılarak ürettiği gelecek yıllar iklim projeksiyonları araştırılmış ve bölge özelinde değerlendirilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden edinilen güncel ve geçmiş ortalama sıcaklık verileri değerlendirildiğinde en sıcak ve en soğuk aylar ağustos ve ocak ayları olarak aynı kalmıştır. En sıcak ay olan ağustos ayında ortalama sıcaklık 26,9 °C'den 29,6 °C'ye, en soğuk ay olan ocak ayında ise 0,3 °C'den 0,9 °C'ye yükselmiş; sırasıyla 2,7 °C ve 0,6 °C'lik artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, nisan ve mayıs ayları dışında tüm aylarda ortalama sıcaklık değerleri yükselmiştir.

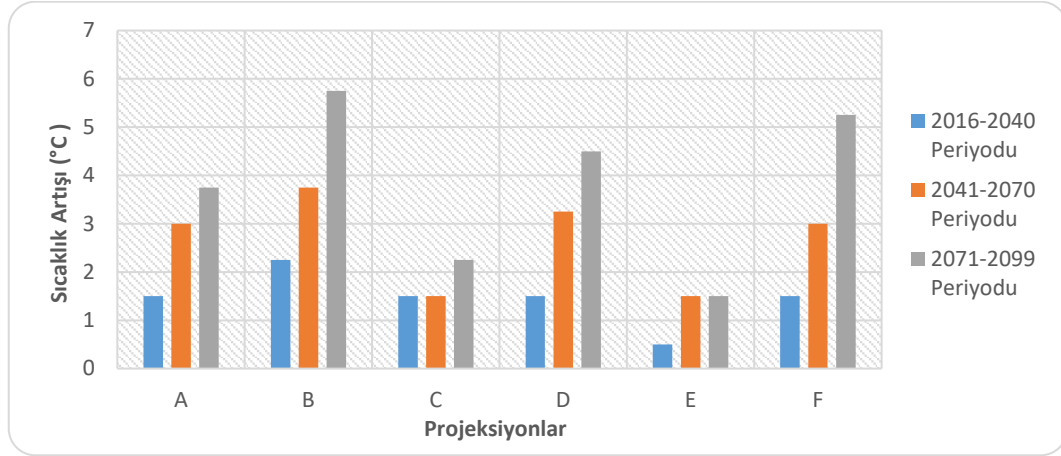


Şekil 3.9 Geçmiş ve güncel MGM verilerine göre Kemaliye'de ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi

Ortalama sıcaklık değerlerindeki en fazla artış 3,4 °C ile mart ayında gerçekleşmiştir. Geçmiş iklim verilerine göre, yıl içerisindeki en düşük sıcaklık değeri -18 °C ile şubat ayında görülürken; güncel iklim verileri göz önünde bulundurulduğunda, en düşük sıcaklık değeri -13,4 °C ile ocak ayında görülmüştür. Böylelikle Kemaliye'deki en düşük sıcaklık değerinin 4,6 °C artmış olduğu söylenebilmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1985-1990 yılları arasındaki sıcaklık verileri ile 2014-2018 yılları arasındaki yaklaşık 30 yıllık süreçte Kemaliye İlçesi'nde yıllık

ortalama sıcaklığın 13,3 °C den 14,9 °C ye yükselerek 1,6 °C'lik bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 3.10'da ise iklim projeksiyonlarına göre Fırat-Dicle Havzası'nda öngörülen yıllık ortalama sıcaklık artışları grafikleştirilmiştir. Tüm projeksiyonlar değerlendirildiğinde Kemaliye İlçesinde, gelecek yıllarda sıcaklık artışı olacağı söylenebilir. 2016- 2040 periyodunda 0 °C- 2,5 °C aralığında, 2041- 2070 periyodunda 1 °C- 4 °C aralığında, 2071-2099 periyodunda ise 1 °C- 6 °C aralığında sıcaklık artışı olacağı tahmin edilmektedir.

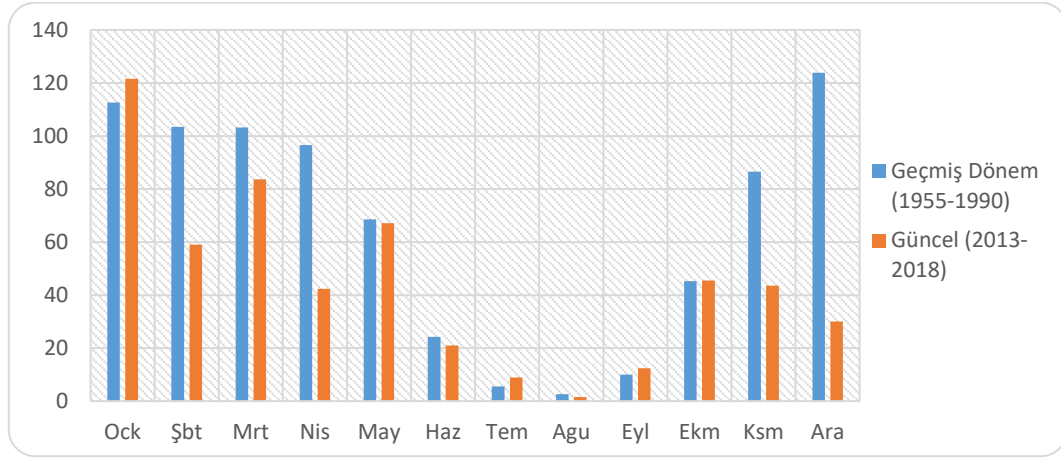


Şekil 3.10 İklim projeksiyonlarına göre Fırat-Dicle Havzasında öngörülen yıllık ortalama sıcaklık artışları

İncelenen bir diğer parametre de yağış miktarıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 1955- 1990 yılları arasındaki geçmiş dönem yağış verilerine ve 2013- 2018 yılları arasındaki güncel yağış verilerine ulaşılmıştır. Ayrıca gelecek yıllar iklim projeksiyonları değerlendirilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1955- 1990 yılları arasındaki verilerine göre Kemaliye'de yıllık ortalama yağış miktarı 782,7 mm'dir. 2013- 2018 yılları arasındaki verilere göre ise Kemaliye'de yıllık ortalama yağış miktarı 536,8 mm'dir. Kemaliye'de ortalama yıllık yağış miktarının aylara dağılışı Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Bu bağlamda son beş yılda Kemaliye'deki yıllık ortalama yağış miktarında büyük ölçüde düşüş olduğu söylenebilmektedir.

Yağışın aylara ve mevsimlere dağılışına bakıldığında, kış ve ilkbahar mevsiminde artış gösterdiği görülmektedir. Kemaliye'de yıllık yağışın büyük bir miktarının kış ve ilkbahar aylarına rastlaması ve yaz yağışlarının düşük olması bölgedeki yağış

rejiminin Akdeniz yağış rejimine benzer özellikte olduğunu düşündürmektedir [67].

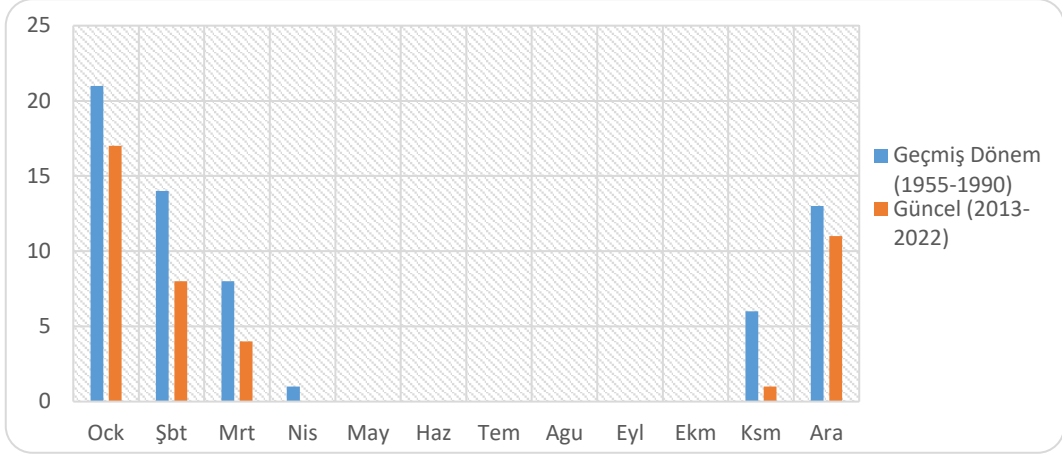


Şekil 3.11 Kemalîye’de ortalama, yıllık yağış miktarının aylara dağılışı

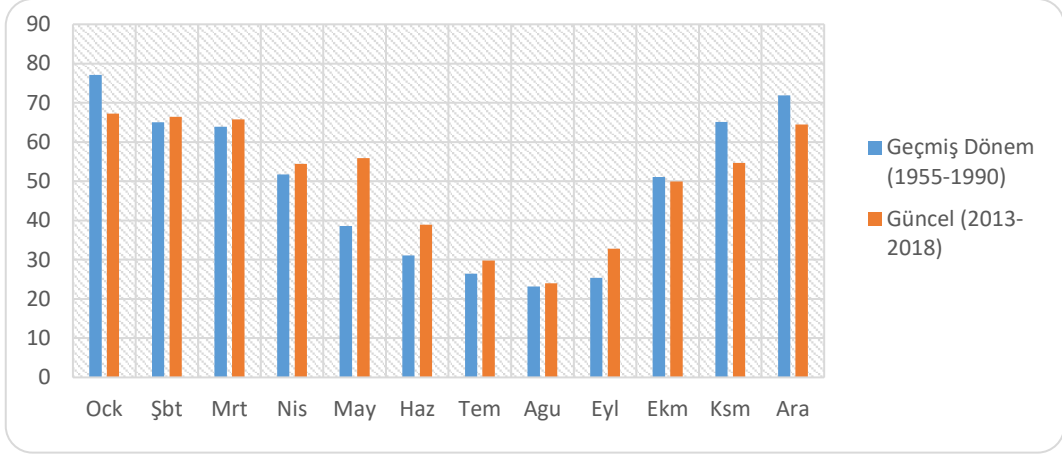
Tüm projeksiyonlar değerlendirildiğinde Kemalîye İlçesinde gelecek yıllarda yıllık ortalama yağış miktarında azalma olacağı söylenebilir. 2016- 2040 periyodunda %0- %10 aralığında, 2041- 2070 periyodunda %5- %25 aralığında, 2071- 2099 periyodunda ise %0- %25 aralığında azalma olacağı öngörülmektedir.

Kemalîye Yerleşiminin meteorolojik verilerinden don parametresi araştırılırken, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden 1964- 1990 yılları arasındaki geçmiş dönem don verileri ve 2013- 2019 yılları arasındaki güncel don verileri edinilebilmiştir. Şekil 3.12’de donlu günlerin aylara göre ortalama dağılışı verilmektedir. Tüm veriler karşılaştırıldığında Kemalîye’de yıllık ortalama donlu günler sayısında düşüş olduğu belirlenmiştir.

İncelenen son parametre nemdir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden 1985- 1989 yılları arasındaki geçmiş dönem ve 2013- 2018 yılları arasındaki güncel nem verilerine ulaşılabilmektedir. Şekil 3.13’te ise aylara göre geçmiş dönem ve güncel ortalama nispi nem oranları verilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Görülmüştür ki, yıllık ortalama değerler birbirlerine yakın kalırken, aylara göre dağılım değişime uğramıştır. Sonbahar ve kış aylarında nispi nem oranında düşüş görülürken, ilkbahar ve yaz aylarında nispi nem oranında artış saptanmıştır.



Şekil 3.12 Kemaliye’de donlu günlerin aylara göre dağılışı

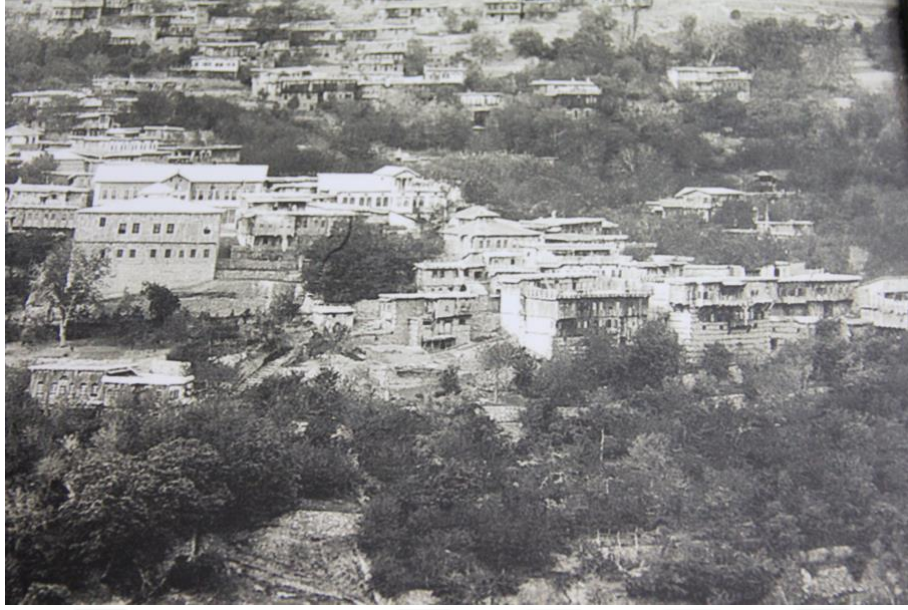


Şekil 3.13 Kemaliye’de ortalama nispi nem oranları

3.4 Kemaliye Yerleşiminin Mimari Özellikleri ve Koruma Sorunları

Kemaliye (Eğir) yerleşimi, Fırat Nehrinin kıyısında yüksek eğime sahip yamaçlarda 19.yy. sonlarından 20.yy. başlarına kadar tarihlenen Osmanlı dönemine ait geleneksel konut dokusu ile kendine özgü yerleşim karakteristiğine sahiptir (Şekil 3.14).

Kemaliye, Fırat Vadisi’nin yerleşmeye nispeten daha uygun olan batı kıyısında yer almaktadır. Yerleşmenin ortasından geçen ana yol (Cumhuriyet Caddesi) ile çarşı merkezini Fırat’a bağlayan vadiye dik basamaklı “Dapsalık Yolu” önemli akslarıdır [2,4].



Şekil 3.14 Kemaliye merkezdeki özgün düz damlı konutlar (Kemaliye Belediyesi arşivi, tarihsiz fotoğraf)

Kemaliye yerleşiminin kimliğini oluşturan, yerleşimin doğal yapısı ve bölgenin kültürel özellikleridir. Özgün bir yerleşme karakterine sahip ve yaşam biçimi doğayı temel alan Kemaliye'de topografya, su ve yapı malzemeleri mimari karakterin oluşumunda büyük etki sahibidir.

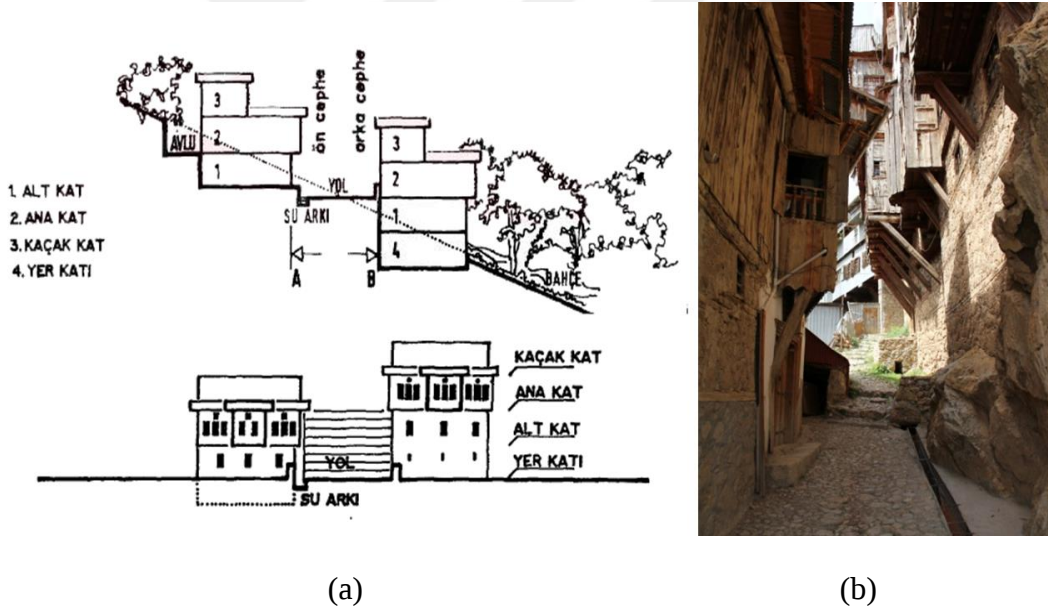
Fırat Nehri'nin Karasu kolu kenarında %30 ile %45 arasında eğime sahip bir arazi üzerine konumlanan Kemaliye yerleşimi incelendiğinde; yerleşim yerinin doğu-batı yönünde üç ana set üzerine oturduğu görülmektedir. Nehre yakın ilk sette düşük yoğunluklu bir yapılaşmayla birbirinden ayırık, geniş bahçeli "hinzan" olarak adlandırılan bağ evleri yer almaktadır (Şekil 3.15). İkinci set Kadıgölü su kaynağının çevresindedir ve yoğun yapılaşma alanları burada yer alır. Üçüncü sette ise arazi birden dikleştiği için buradan sonra yapılaşma güçleşmektedir. Doğu-batı yönündeki sınırlar nedeniyle Kemaliye yerleşimi kuzey-güney doğrultusunda genişleyen bir doku özelliği göstermektedir [2].

Topografya sayesinde eğime paralel ve eğime dik olmak üzere iki tip sokak oluşumu görülmektedir. Bu sayede konutlar farklı kotlarla ilişkilendirilmiştir. İki veya üç kottan evlere erişim mümkündür. Uygun arazinin yeterli miktarda olmaması ve var olan arazilerin de eğimli olması bölgedeki evlerin tasarımını

doğrudan etkilemiştir. Böylelikle farklı kotlardan girişlere sahip ve çok katlı (3-4 kat) plan tipleri ortaya çıkmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15 Nehre yakın ilk set üzerindeki düşük yoğunluklu yapılaşma [2]



Şekil 3.16 a) Eğime paralel ve dik yolların ev ile ilişkisi [2] b) Yakupağa Konağı
(Fotoğraf: T. Akbulut, 2012)

Kemaliye'de birçok konut kayaları temel alarak onların üzerine inşa edilmiştir ve topografyanın bir uzantısı olarak algılanmaktadır (Şekil 3.17).



(a)



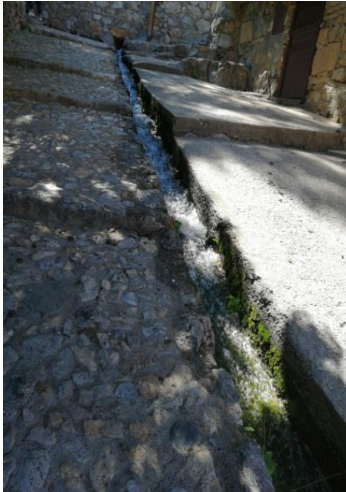
(b)

Şekil 3.17 a) Kayaların üzerine inşa edilmiş ev [4]; b) Apçağa Köyü kaya üzerindeki ev

Kemaliye’de su kaynakları ve derelerin yerleri fiziksel sınırlar oluşturarak yapılanma alanlarını belirlemiş, Kadıgölü su kaynağı ve çevresindeki yerleşime elverişli alan Osmanlı Dönemi’nde inşa edilen camilerle yerleşmenin merkezini oluşturmuştur. Kadıgölü tüm yerleşimi besleyerek sarp kayalıklar arasında yoğun bir yeşil dokunun varlığına neden olmuştur [2,4]. Kaynaktan akan sularla ayrıca bir ark sistemi kurularak sulama ağı oluşturulmuştur (Şekil 3.18). Böylelikle su, konutların içlerine kadar ulaşabilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.18 a) Kadıgölü, b,c) Su arkları

Konutların konumlanmasındaki temel ilke Fırat'a yönelme eğilimidir. Bu bağlamda su kentsel mekân kurgusunu ve mimariyi doğrudan etkilemiştir. Eğimli arazide set şeklindeki yapılanma, evlerin birbirinin manzarasını kapatmasını önlemektedir. Bölgede su kaynaklarının üzerine değirmenler kurulmuş, su aynı zamanda üretim mekanlarını da oluşturmuştur [2].

Kemaliye'de yöresel adı "torta"olan geçitler bulunmaktadır. Bu geçitler evlerin sokak üzerinde devam etmesi ile oluşmaktadır (3.19-a) [4]. Eğime dik yönde olan sokakların tipik özelliği geniş taş basamaklardan oluşmalarıdır (Şekil 3.18-c). Daralan basamaklı sokaklarda sokak dönüşlerini yumuşatmak içi yapıların köşelerinde pahlama yapıldığı da görülmektedir (3.19-b).



(a)

(b)

Şekil 3.19 a) Torta [4] b) Sokak köşesinde pahlama

Kemaliye ilçesi 2005 yılında kentsel sit alanı olarak tanımlanmış; 2021 yılında ise UNESCO Dünya Mirası Geçici Listesine girerek koruma altına alınmıştır. 10 mahalleden oluşan ilçe merkezinde 530 adet konut bulunmaktadır ve bu konutlardan 116 tanesi tescil edilmiştir [5].

Genellikle 3-4 katlı olan konutlar, zemin katlarda ahşap hatıllı taş duvarlar üzerine, üst katlarda hıms tekniği (kerpiç dolgulu) ile yapılmıştır (Şekil 3.20-a,b,c).

Düşey ahşap kaplamalı dış cephe kurgusu ve en üst katı oluşturan “Düz Dam / Yetme” örtü ögesi yöreye özgüdür ve özgün mimari unsurlar barındırmaktadır (Şekil 3.20-d, e).



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

Şekil 3.20 a,b,c) Kemaliye evleri; d) Yakupağa Konağının düz toprak damı; e) KEMAV evinin düz toprak damı

Yerleşmenin özgünlük değerinde taş malzemenin gerek duvar gerekse de döşeme kuruluşundaki teknikleri açısından önemli bir yeri vardır. Evlerin temellerinde kalınlığı 1.00 m.'yi geçen duvarlar, yukarıya doğru her iki yandan inceltilerek en üst kotta 70- 80 cm.'ye düşürülmektedir. Zeminden 1.00 m. yükselince taş duvarın kenarlarına iki paralel hatıl atılmakta ve bu hatıllar 50 cm. ara ile birbirine bağlanmaktadır. Dut ve erik ağacından seçilen bu bağlayıcılara "peşdivan" denmektedir. Taş duvar yüksekliği boyunca, hatıllar arası 1.00 m.'yi geçmemektedir (Şekil 3.21-a). Kimi yapılarda duvarların iç kısmı çamur sıva ile

sıvanırken, kimi yapılarda ise yöreye özgü "pur"¹² adı verilen bir sıva kullanılmaktadır.

Ekim yapılabilecek alanları çoğaltmak ve toprak kaymalarını önlemek için, Kemaliye ve birçok köyde, topografik yapı sekiler şeklinde teraslanmıştır. Bu terasların alt taraflarına belirli bir eğim ile toprağa yaslanmış, drenajı uygun şekilde verilmiş, taş duvarlar yapılmıştır (Şekil 3.21-b)



Şekil 3.21 a) Kemaliye evinin taş duvarı, b) Kemaliye evinin seki duvarı

Kemaliye evlerinde gözlemlenen döşeme kaplaması taş ve ahşaptır (Şekil 3.22). Yerleşmenin mimari karakteristiğinde ayırt edici önemli özelliklerden birisi, odaların tahta kaplı seki üstü alanı dışındaki tüm döşemelerin "Rıhtım" adı verilen taşla kaplanmasıdır. Rıhtımın, avlu ve giderek sokak kaplamasının devamı olması dış ve iç mekânın sürekliliğini sağlamış, dışarıdan eve giren kişinin ayakkabı ile nereye kadar ilerleyebileceği bu uygulama ile belirlenmiştir (Şekil 3.22).

Ayrıca en üst katı oluşturan "Düz dam /Yetme", örtü ögesi de "Rıhtım" taşı ile kaplıdır. Yapı içerisinde "Rıhtım" taşı ile oluşturulan döşemede ahşap konstrüksiyon üzerine inşaat sırasında çıkartılan toprak çamur haline getirilip yaş-kuru kıvamda dökülüp tokmaklanır. Daha sonra rıhtım taşı sivri kısımları alta gelecek şekilde döşemenin üzerine çakılır. Damlarda yapılan uygulamada ise iç

¹² Pur: Beyaz toprağın içerisine tuz katılarak pişirilmesi ve pişirilen toprağın suyla karıştırıldıktan sonra badana gibi sürülmesi, ardından da yüzeyin perdahlanmasıyla gerçekleştirilen yöreye özgü bir tür sıvadır [7].

mekanlarda da kullanılan yaş-kuru toprak katmanının üzerine "gavcin" denilen gri renkli killi bir toprak tabakası serilir. Su geçirimsizlik sağlayan bu tabakanın üzerine "Rıhtım" taşı çakıldıktan sonra tekrar toz halde gavcin serpilir ve loğ taşı ile sıkıştırılır.



(a)



(b)



(c)



(d)



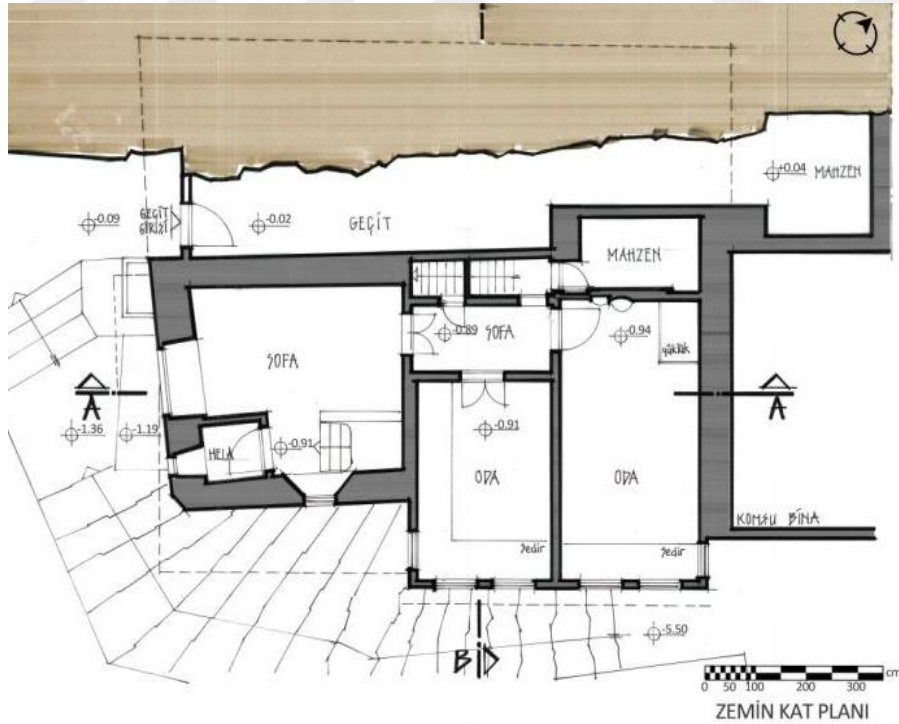
(e)

Şekil 3.22 a,b,c,d,e) Kemaliye evinin döşemeleri

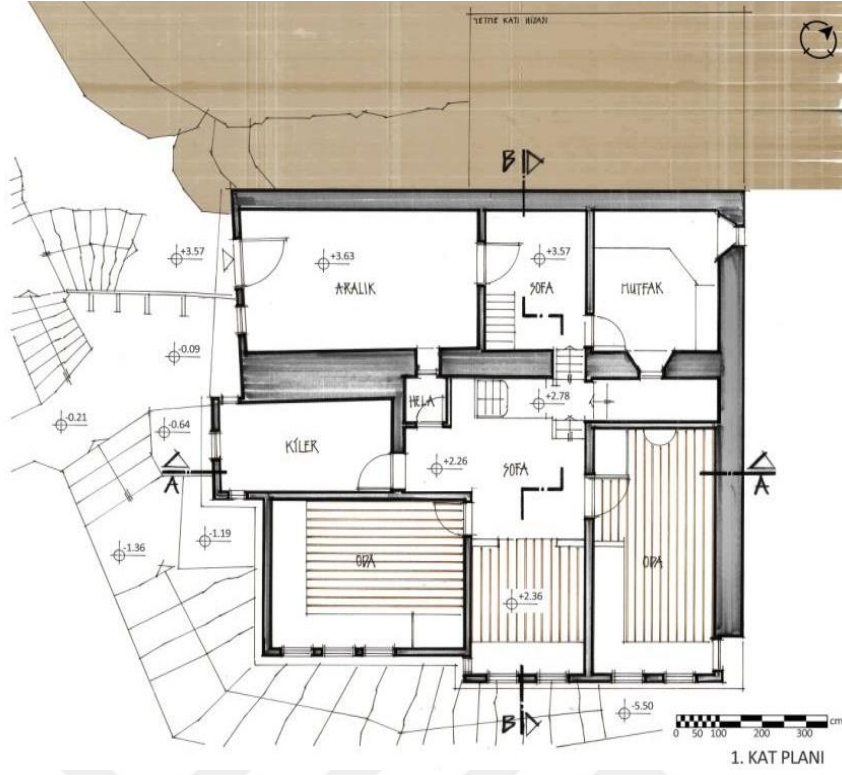
Yapı inşasında kullanılan taş ve toprak malzeme bölgeden edinilmekle birlikte, kullanılan ahşap malzemeyi edinebilecek ormanlık arazinin yerleşim civarında bulunmamaktadır. Geleneksel sivil mimarinin oluşumunda yerel malzemelerin kullanılması esasken, çevre yerleşimlerde bir örneği olmamasına rağmen Kemaliye'de ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılması tezat oluşturmaktadır.

Bölgeye en yakın ormanlar yerleşimin kuzeyinde Refahiye'de olup, yerleşimler arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Yapılan literatür araştırması ve alan çalışması sırasında Refahiye'den temin edilen tomrukların Fırat Nehri üzerinden "abat" denilen sistemle birbirlerine bağlanıp üzerine oturularak sırkla sal gibi taşındığı bilgisine ulaşılmıştır [4]. Bölgede su yoluyla Refaiye'den ağaç getirenlerin "kellekçi" diye adlandırıldığı yine yerel ustalar tarafından söylenmektedir.

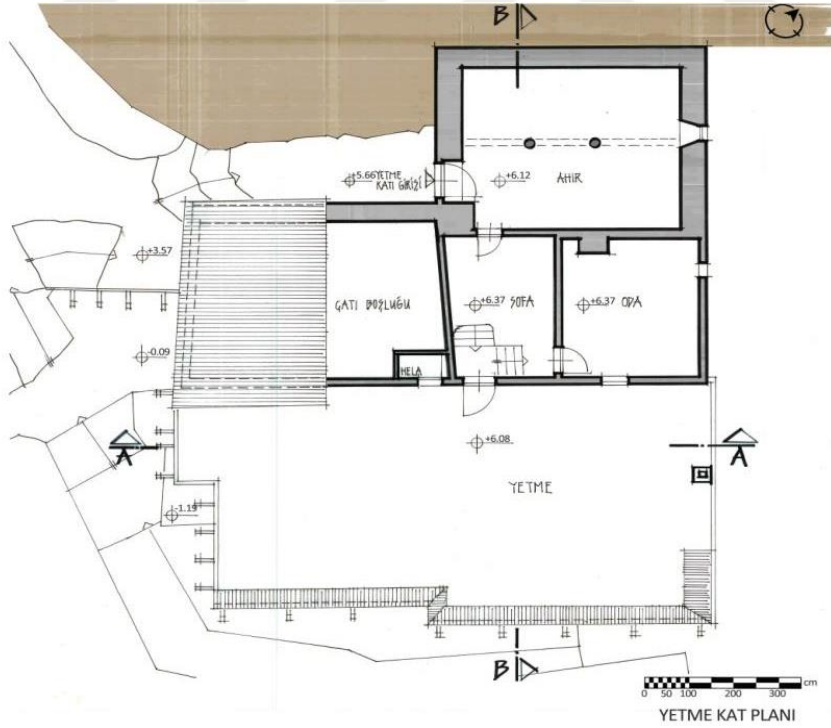
Konutların yapımında 3-3,5m lik "mağ" adı verilen bir birim modül kullanılmıştır. Birim modülün boyut aralığı, döşeme kuruluşunda kullanılan ahşap kirişleri oluşturan ağaçların ortalama boyutlarının 6-7m olmasına bağlıdır. Evlerin boyutsal niteliği, özellikle oturma birimlerinin konumlandığı ön/manzara cephesinde etkin olan modüler sisteme bağlı olarak tanımlanmaktadır (örneğin 2 mağ ev, 4 mağ ev gibi) [2]. Sert geçen kış mevsimi nedeniyle Kemaliye’de geleneksel Türk evinin plan tiplerinden iç sofalı plan tipine rastlanmaktadır. Ancak eğimli arazi nedeniyle evlerin planları yatayda değil düşeyde gelişmiştir. Her katta bir alttaki kata göre daha ileriye taşan cumbalar yer almaktadır. Konutlar sofa, divanhane, odalar ve servis mekanlarından oluşmaktadır (Şekil 3.23-3.27).



Şekil 3.23 Yakupağa Konağı, Zemin Kat Planı [76]



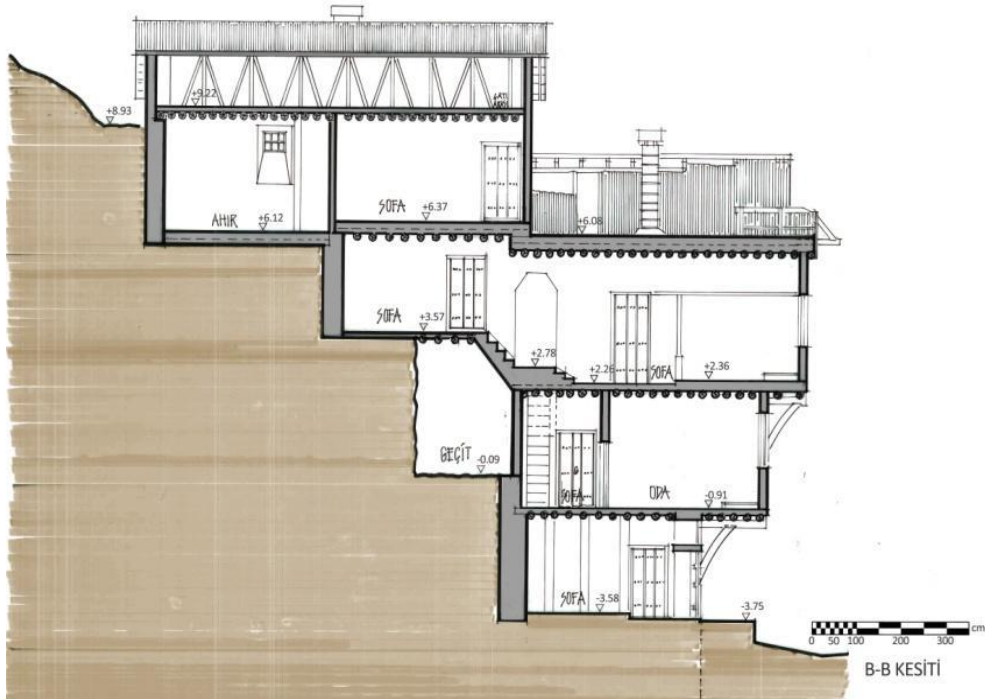
Şekil 3.24 Yakupağa Konağı, 1. Kat Planı [76]



Şekil 3.25 Yakupağa Konağı, Yetme Kat Planı [76]



Şekil 3.26 Yakupağa Konağı, A-A Kesiti [76]



Şekil 3.27 Yakupağa Konağı, B-B Kesiti [76]

Kemaliye konutlarının özgün öğelerinden biri de kapı tokmaklarıdır. Tokmakları üzerinde kültürün etkisi Türk-Şaman sembollerinde ve tokmakların fonksiyonel çözümlerinde dikkat çekmektedir. Örneğin kapıyı çalmak için konulmuş olan iki tokmaktan ince olanını kadınlar, kalın olanını erkekler çalmaktadır. Böylece ev sahipleri gelen misafirin cinsiyetini anlamakta ve kapıyı buna göre açmaktadırlar [5].

Kemaliye yerleşimindeki koruma sorunlarının başında göç ve iklim kaynaklı sorunlar yer almaktadır. Uzun yıllar verilen göçler nedeniyle periyodik bakımları yapılamayan Kemaliye evlerinin duvarlarındaki toprak derzlerin sert ve yağışlı iklim koşullarına dayanamayarak erimesi ile ahşap hatıllarda ve ahşap kaplamalardaki aşınmalar duvar konstrüksiyonlarında zayıflamalara neden olmaktadır. Loğlama yapılmadığı için düz toprak damlardaki toprak katmanlarının kepermesi, erimesi ve çatlaması sonucunda su sızıntılarının olması da konfor koşullarını zorlamakla birlikte yapısal hasarlara da neden olmaktadır. Göç sonucu terk edilmiş olan yapılarda bakımsızlıktan kaynaklanan malzeme kayıpları görülmektedir.

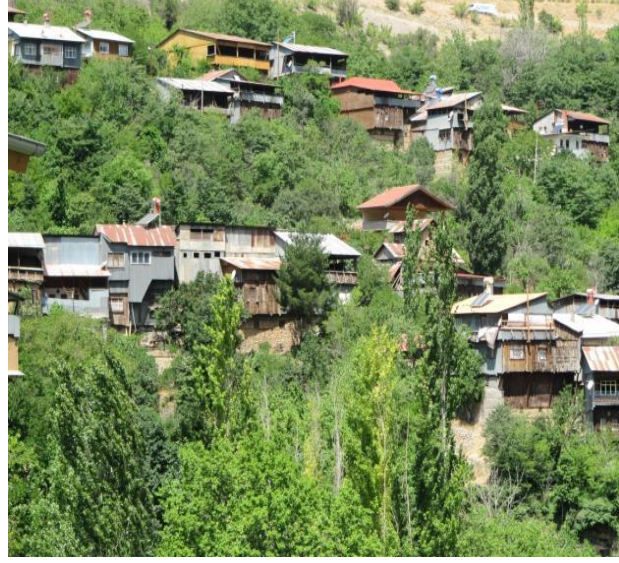
Bu durum yapıların hasar görmesini büyük ölçüde engellemesine karşın; özgün yapı karakteristiğini gizleyen bir görüntü kirliliğine neden olmaktadır.

Göç nedeniyle periyodik bakımları yapılamayan Kemaliye Evlerinin 1950'li yıllardan itibaren düşey ahşap kaplamalı dış duvarları ve düz toprak damları geçici örtülerle kaplanmıştır. Duvarlar sac levhalarla kaplanırken, düz damların üzerlerine ahşap beşik çatılar yapıp üzerleri yeniden sac levhalarla kaplanmıştır (Şekil 3.28).

Özgün Kemaliye evlerine yapılan nitelsiz eklentiler ve onarımlar da koruma sorunları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Yerel malzemeler ve özgün yapım tekniği gözetilmeden gerçekleştirilen bu eklentiler yerleşmenin özgün mimari dokusunu bozmakta; aynı zamanda yapı ölçeğinde sorunlara da neden olmaktadır. Çamur sıvalı dış duvarların çimento esaslı ya da kireç esaslı harçlarla sıvanması; yapıların özgün ahşap kapı pencere doğramalarının metal veya pvc doğramalarla değiştirilmesi; özgün ahşap kirişlerin çelik profillerle değiştirilmesi ve özgün rıhtım döşeme kaplamalarının kaldırılıp zeminlerin seramik kaplanması nitelsiz onarımlar arasında sayılabilir (Şekil 3.29-a, b).



(a)



(b)

Şekil 3.28 a) Kemaliye evinin sac levhalarla kaplanması; b) Kemaliye merkezde muhdes çatılı konut dokusu (Fotoğraf: D. Ekşi Akbulut, 2010)



(a)



(b)

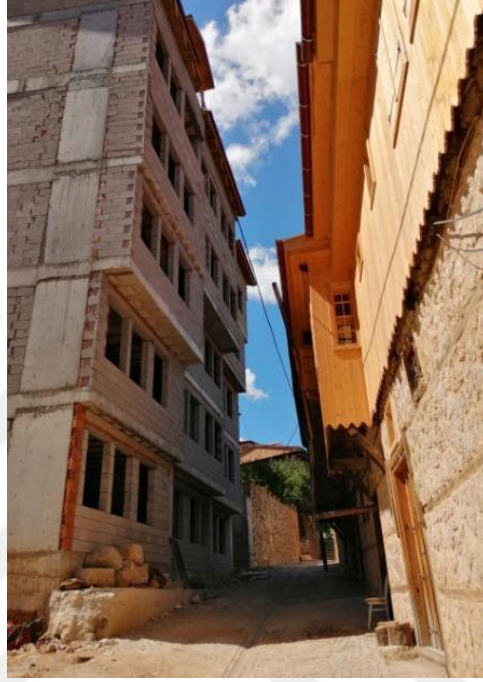
Şekil 3.29 a) Kemaliye evinin özgün duvarlarının çimento harcıyla onarılması, b) Özgün ahşap kirişlerin çelik I ve kutu profillerle desteklenmesi, özgün zemin ve duvarın seramik kaplanması

Bölgede yapılan alan çalışması sırasında çağdaş restorasyon çalışmalarında da özgün yapı karakteristiğine sadık kalınmadığı, kullanılan yeni ahşap malzemenin

renk ve doku olarak bölge ile uyum sağlamadığı; cephelerde ve çatı kuruluşlarında özgün yapım tekniğinden uzaklaştığı, koruma imar planında ise halen eğimli çatılara izin verildiği görülmüştür. Ancak hepsinden daha yaygın olan yaklaşım bölgedeki geleneksel konutların çok yakınında konumlandırılan günümüz çok katlı betonarme yapıları olmaktadır (Şekil 3-30).



(a)



(b)

Şekil 3.30 a) Çağdaş restorasyon çalışmaları sırasında özgün yapılara yapılan müdahaleler, b) Geleneksel konutların tam karşısına inşa edilen betonarme yapılar

3.5 Kemaliye’de Düz Toprak Dam Yapım Tekniği

Kemaliye’de var olan özgün damların yapım tekniğini araştırmak; böylelikle geleneksel/yöresel kültür alanında var olan bilgi birikiminin belgelendirilmesini sağlamak amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsünde ve Erzincan- Kemaliye’de bölgede büyümüş ve çalışan 7 yerel ustabaşı ile röportajlar gerçekleştirilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde Kâmil Gezici ile röportaj yapılırken Haziran-Temmuz 2019’da Kemaliye’de yapılan saha çalışmasında Mustafa Malkoç, Murat Gölbaş, Mustafa Topaloğlu, Mehmet Okçu, Mahmut Okçu ve Mustafa Olgunöz ile görüşmeler yapılmıştır (Şekil 3.31).



(a)



(b)

Şekil 3.31 a) Mustafa Malkoç ve Mustafa Olgunöz ile görüşme, Kemaliye-2019;
b) Mahmut Okçu ile görüşme, Kemaliye-2019

Bunun yanı sıra Şubat 2022’de Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yerel yapı ustası Mustafa Malkoç¹³ ile geleneksel bir dam prototipi inşa edilmiştir. Görüşmelerde ve uygulamada, özgün düz toprak çatıların katmanları, malzemeleri ve geleneksel yapım tekniği hakkında bilgi alınmıştır. Ayrıca 2019 yılında Kemaliye’de yapılan saha çalışmasında Kemaliye’de bulunan “KEMAV Evi” (Şekil 3.32) analiz edilmiş ve bölgede bulunan 6 açık düz dam kesiti incelenmiştir. Ölçüm ve gözlemlerden elde edilen veriler, görüşmelerde ve uygulamada elde edilen bilgilerle

¹³ Mustafa Malkoç 20.11.1960 tarihinde Erzincan ili Kemaliye İlçesi, Apçağa Köyünde doğmuştur. Ailesi Apçağa Köyü’nün en eski ailelerindendir. Büyük dedesi Malkoç Osman Efendi halen ibadet yapılan Apçağa camisini yaptırmıştır (1627). Malkoç’un eğitim durumu lise terktir. Mesleğe 17 yaşında başlamıştır ve ara vermeden devam etmektedir. Süleyman Dardağan, Mustafa Uslu, Muhittin Ataman gibi ustalarla çalışmıştır. Şerif Aydınlık ve Yalçın Sungur’u yetiştirmiştir. Apçağa’da Şaban Aktan, Mehmet Yurdakul, Mustafa Uğurlu, Bekir Gürdamar, Şinkonak’ta Eray Parlakkaya evlerini onarmış; Cemalettin Bilgin evini ise temelden inşa etmiştir. Kemaliye’de ve köylerde çok sayıda onarım yapmıştır. Hilmi Balioglu, Orhan Uyanık, Halil Akfırat, Ethem Kılıç evleri ve Kemaliye’de değirmen onarımı bunlara örnektir (‘‘Kemaliye (Eğin) Evlerinin Çatı ve Duvar Kuruluşlarının Tespiti ve Koruma Sorunlarına Yönelik Öneriler’’ başlıklı YTÜ BAP projesi sırasında gerçekleştirilen görüşmelerden derlenmiştir).

karşılaştırılarak, geleneksel Kemaliye düz toprak damlarının yapım reçetesi ve sistem kesiti çıkarılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.32 a) KEMAV Evi, Yetme kattan toprak dama bakış; b) Röleve çalışmaları (Fotoğraf: S. E. Yıldız, 2019)

Kemaliye Evleri geleneksel düz toprak çatılarının inşası sırasında ilk olarak ahşap karkas sistem içerisinde kerpiç dolgulu (hımış tekniği ile inşa edilen) üst kat duvarları tavan yüksekliğine ulaştığında, dairesel kesitli döşeme kirişleri "ok" olarak adlandırılan yapısal sistemin ana kirişlerinin üzerine aksi yönde yerleştirilir. KEMAV Evi'nin bina etüdü çalışması sırasında alınan ölçümlere göre bu dairesel döşeme kirişlerinin çaplarının 14- 22 cm aralığında değişmekte olduğu görülmüştür. (Şekil 3.33-a).

Üstte bulunan toprak katmanlarını tutacak bir yapı ve tavanda net bir bitiş oluşturmak amacıyla döşeme kirişlerine ters yönde 1,5- 2,5 cm kalınlığında, 20- 25 cm genişliğinde ahşap kaplamalar çivi ile çakılmaktadır (Şekil 3.33-a, b). Bu kaplamalar Kemaliyeli yerel ustalar tarafından "tavan tahtası" ya da "tura tahtası" olarak adlandırılmaktadırlar. Genel olarak bölgede bulunan çam ve kavak ağaçları bu amaçla kullanılsa da kullanıcının ekonomik durumuna ya da altındaki mekânın işlevsel kullanımına bağlı olarak bazı özgün yapılarda bu kaplamalara rastlanmamaktadır. Örneğin ahırların tavanlarında genellikle bu ahşap kaplamalar bulunmamaktadır (Şekil 3.34) [60].



(a)

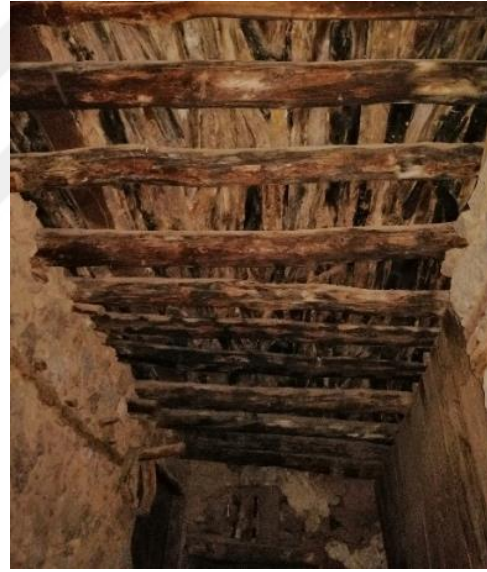


(b)

Şekil 3.33 Döşeme kirişleri ve tavan kaplaması, a) KEMAV evi; b) Apçağa Köyü



(a)



(b)

Şekil 3.34 a) Tavan kaplaması olmayan döşeme, KEMAV evi yetme kat, b) Sırakonak Köyü (Fotoğraf: S. E. Yıldız, 2019)

Açıklıkların 3- 3,5 metreden daha büyük olması durumunda, döşemenin sehim yaparak eğilmesini önlemek için ahşap kaplama üzerine taşıyıcı eleman olarak dairesel kesitli ahşap kirişler yerleştirilebilmektedir. Ayrıca ahşap kaplamaların

üzerine üst kotlardaki toprağın ahşap kaplamalardan alttaki boşluğa dökülmesini önlemek için sunta, ağaç yongası vb. malzemeler döşenmektedir [60, 61]

Sonraki aşamada 5-6 cm kalınlığında ve değişen uzunluklarda “mertek” veya “kapak tahtası” adı verilen ahşap çubuklar kaplama tahtalarının üzerine aynı yönde serilmektedir (Şekil 3.34, 3.35). Bu sayede üstteki nemli toprak tabakası ile ahşap kaplama tabakası arasında bir ara tabaka oluşturularak kaplama tahtalarının çatlama, çürüme gibi sorunlara karşı mukavemeti artırılmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 3.35 Toprak dam kesiti a) Naip Mahallesi; b) Yakup Ağa Konağı, Apçağa Köyü

Mertekler genellikle dut ağaçlarından elde edilmekle beraber dikenli dalların kullanılması fare, yılan gibi hayvanların çatıda yaşamasına engel olmaktadır [60, 61, 62]; Mustafa Malkoç yapılan görüşmede 1m² ye yaklaşık 10 kg “mertek” yerleştirildiğini belirtmektedir.

Ağaç işleri tamamlandıktan sonra “yaş-kuru” adı verilen ilk toprak tabakası “mertek” lerin üzerine serilmek üzere hazırlanır. “Yaş-kuru” su ve bazen içine saman ilave edildikten sonra 10- 15 cm kalınlığında (Şekil 3.35) serilir ve 1-2 gün kurumaya bırakılır [62, 63]. “Yaş-kuru” nun nemli bir şekilde uygulanması, toprağın açıklıklardan alttaki boşluğa sızmasını; uygun miktarda saman ilavesi de kuruma esnasında malzeme içinde oluşabilecek rötre çatlaklarını engellemektedir.

Düz toprak çatılarda kullanılan bu ilk toprak tabakası, gözenekli bir yapıya sahip olduğu için binada ısı yalıtım elemanı olarak da görev yapmaktadır. Gölbaş ve Topaloğlu, “Yas-Kuru” içerisine sunta ve talaşların da eklendiğini belirtmektedirler. Yapılan usta görüşmelerinden “yaş-kuru” amacıyla kullanılacak toprak için belirli bir toprak olmadığı, bu toprağın herhangi bir yerden alınabileceği, hatta genellikle yapının inşası sırasında ortaya çıkan hafriyat toprağının bu amaçla kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Temelden çıkan toprağın yapı içerisinde kullanımı, yapıdan çıkan atıkların tekrar ham madde olarak yapı içerisine dahil edilmesi, yapının ve malzemenin yaşam döngüsü açısından değerlendirildiğinde, bu durumun, malzemenin ve dolayısıyla yapının sürdürülebilirliğine olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilmektedir.

Yaş-Kuru" tabakası tamamlandıktan sonra, üzerine 10-15 cm kalınlığında kuru halde "gavcin" adı verilen ince elenmiş killi toprak serilmekte ve su ile ıslatılmaktadır. Yapılan usta röportajlarından Kemaliye yakın çevresinde “gavcin” toprağı bakımından zengin birkaç yer (“gavcinlik”) olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu bölgeler Sandıkbağı Mahallesiindeki mağara önü ve Toybelen (Gemürgap) Köyü ve Sırakonak (Peğir) köyünde Kiliğin Mağarası olarak belirtilmektedir [10].

Daha sonra “rıhtım” adı verilen taşlar düz yüzeyleri yukarı bakacak şekilde bir uçtan başlayarak sıraya dizilmekte ve tabaka kalınlığı 6-8 cm olacak şekilde bir tahta parçasıyla çakılmaktadır (Şekil 3.36). Yapılan araştırma sırasında Kemaliye dışında ne civar yerleşimlerde ne de farklı Coğrafyalarda bir yapı üzerine dam örtüsü yapılırken rıhtım taşına benzer bir taş kaplama uygulaması ile karşılaşılmamıştır. Bu uygulamanın yöreye özgü olduğu düşünülmektedir.¹⁴

Taşlar çakılırken düzgün bir dam oluşturabilmek için düz damın kenar kısımlarından ve oluk civarından başlanmalıdır. Mustafa Olgunöz bir ustanın günde 1,5-2 m² taş çaktığı bilgisini vermiştir. Kullanılacak taşları "rıhtım taşı" olarak seçerken, seçilen taşların güneş ışınlarına uzun süre maruz kalarak gevrekleşmemesine, yuvarlak şekilli ve benzer boyutlarda olmasına dikkat edilmektedir. Rıhtım taşlarının çatıdaki fonksiyonu, rüzgâr, yağmur vb. dış etkiler

¹⁴ Araştırma sırasında buna benzer tek uygulama bölüm 2.1.2’de anlatılan İspanya’nın Bask Bölgesinde tuz üretimi yapılan Anana Tuz Vadisi’ndeki terasların üzerinde görülmüştür. Ancak bu uygulamada teraslar tuz havuzlarını oluşturmaktadır ve bir yapının üzerini örtmemektedir.

nedeniyle çatıda oluşabilecek yüzey erozyonunu önlemektir. Ayrıca Prof. Dr. Ruhi Kafesçioğlu¹⁵ konu ile ilgili bilgilendirildiğinde açık renk taşların güneş ışığını yansıtması ve yüzey ısınmasını engellemesi nedeniyle seçilmiş olabileceği yorumunu yapmıştır [10]. Tüm damın taş çakma işlemi bittikten sonra dam, rıhtım taşının arasında kalan boşlukları doldurmak için bir süpürge ile süpürülmektedir. Bir gün sonra boşluklar tekrar kontrol edilip, herhangi bir boşluk kalması durumunda tekrar "gavcin" adı verilen ince elenmiş killi toprak ile doldurulmaktadır. Rıhtım taşları çakıldıktan sonra son aşamada tüm çatı "loğ taşı" adı verilen 30-35cm çapında silindirik ağır taş ile sıkıştırılarak düzleştirilmektedir (Şekil 3.36-a, 3.37). Bu şekilde toprağın tamamen sıkışması sağlanmaktadır [60, 62, 63, 64]



(a)

(b)

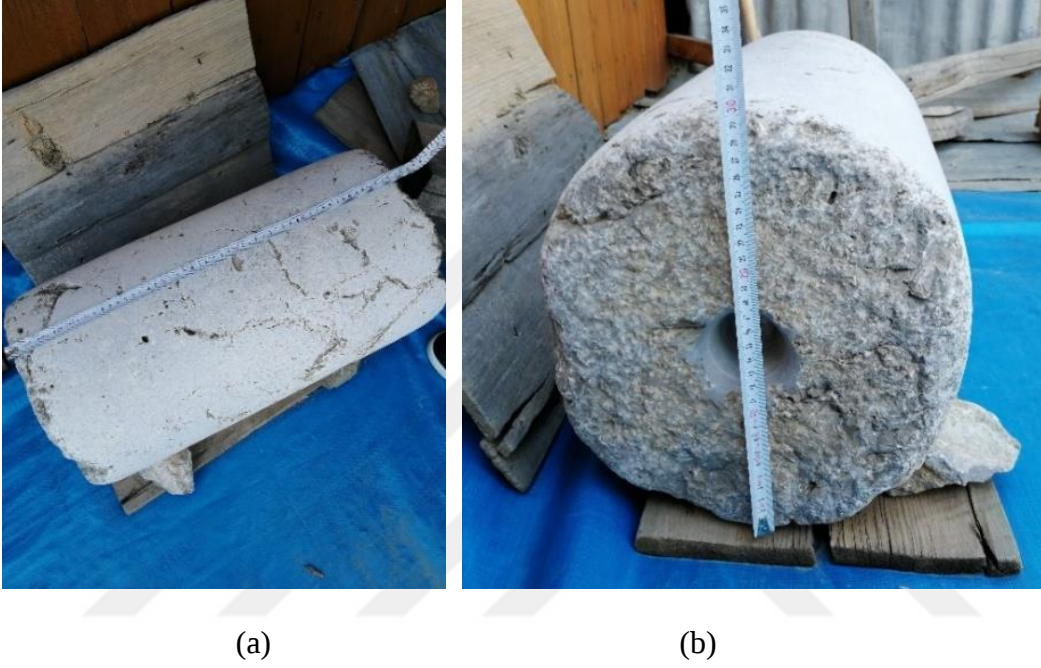
Şekil 3.36 a) Rıhtım ve Loğ Taşı, Hasan Köroğlu Evi; b) Rıhtım Taşı, KEMAV Evi

Bazı durumlarda "rıhtım" taşları çakıldıktan sonra taşların üzerine tuz (Kemah Tuzu) serpilebilmektedir. Yağmur yardımı ile yayılan tuz, alt tabakalarda toprağın yapısına nüfuz ederek geçirgenliğin azalmasına yardımcı olmakta ve çatıda bitki

¹⁵ İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Kürsüsünde Öğretim üyesi olan Prof. Dr. Ruhi Kafesçioğlu geleneksel kırsal yapılar, toprak yapıların iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gibi konularda önemli çalışmalara sahiptir. Prof. Dr. Ruhi Kafesçioğlu 2020 yılında vefat etmiştir.

büyümesini engellemektedir¹⁶ [60, 62, 63, 64]. Ancak tuz suda çözündüğü için yapılan uygulamanın periyodik olarak tekrarlanması gerekmektedir.

Loğ taşı ile sıkıştırma işlemi, yağmurların şiddetine göre periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Kar yağdığında ise önce kar kürenmekte; ardından Lodos çıkması ve havanın ılımanlaşmasıyla don ve buz eritmesi beklenmektedir. Daha sonra loğ taşı ile sıkıştırılmaktadır [61].



Şekil 3.37 a,b) Loğ taşı, Yakup Ağa Konağı Apçağa Köyü

Günümüz şartlarında “loğ taşı” ile sıkıştırma işleminin, özellikle kış aylarında evler kullanılmadığı ve loğlama sürecinin çok çaba gerektirmesi nedeniyle pratik ve uygulanabilir olmadığı söylenebilir. Bu bağlamda, günümüzde çatıların büyük çoğunluğu çeşitli çatı kaplamalarıyla örtülmüş durumdadır (Şekil 3.38).

Çatılardan suyun uzaklaştırılması için ise genellikle çatılar tek yönde yaklaşık %5 eğimli olarak yapılır. Daha büyük çatı alanları ve bitişik binalar olması durumunda, oluk açıklıkları ve eğimlerin sayısı artabilmektedir [62]. Malkoç ve Olgunöz, çatıların eğiminin, toprak katmanlarının kalınlıkları ile oynamaktan ziyade, yapının

¹⁶ Tuz (sodyum klorür) ve onun gibi elektrolitler (kalsiyum klorür, demir klorür, sodyum silikat vb.) toprağa karıştırıldığında kil tanelerinin yüzeylerine tutunmuş iyonlarla yer değiştirerek, kil tanelerinin birbirlerine yaklaşmasını, böylece kitlenin sıkışarak yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Böylelikle suyun bünyeye girmesi zorlaşmaktadır [30].

strüktür sistemindeki ahşap konstrüksiyonla elde edildiğini belirtmektedirler. Bu durum biraz da yapının terasının alanına da bağlıdır. Küçük çatılarda eğim toprak ile verilirken, büyük çatılarda eğim yapı yükünü arttırmamak için genellikle ahşap konstrüksiyon ile sağlanmaktadır [60, 65]



Şekil 3.38 1949 yılında Hüseyin Karadayı tarafından fotoğraflanmış Apçağa Köyü'nün genel görünümü

Toprak katmanları çatıya serilmeden önce döşeme kirişlerine bir ucu çatı konstrüksiyonunun dışında kalacak şekilde bir tahta parçası çakılır. Çörten olarak kullanılacak bu tahta parçasının ucu açık bırakılmakta veya ucu kâse şeklinde kapatılıp suyun tahliyesi için uç bölümün ortasına delik açılmaktadır. Çörtenin diğer ucu "rıhtım" kotuna kadar uzanmakta ve altından "peştevan" denilen bir ahşap parçası ile desteklenmektedir [63] (Şekil 3.39, 3.40).

Kemaliye Evleri'nin geleneksel düz toprak damlarının cepheye yansıyan mimari öğeleri yöreye özgü saçak-parapet biçimlenişleridir (Şekil 3.39). Yörede 4 tip "süvüng" adı verilen saçak ucu bitişleri bulunduğu literatür taraması, alan çalışmaları ve usta röportajları ile belirlenmiştir (Şekil 3.41) [10].



(a)



(b)

Şekil 3.39 Çörten detayı a) Efegil Konağı; b) Akçalı Köyü (Fotoğraf: A. Çiftçi, 2012)



(a)

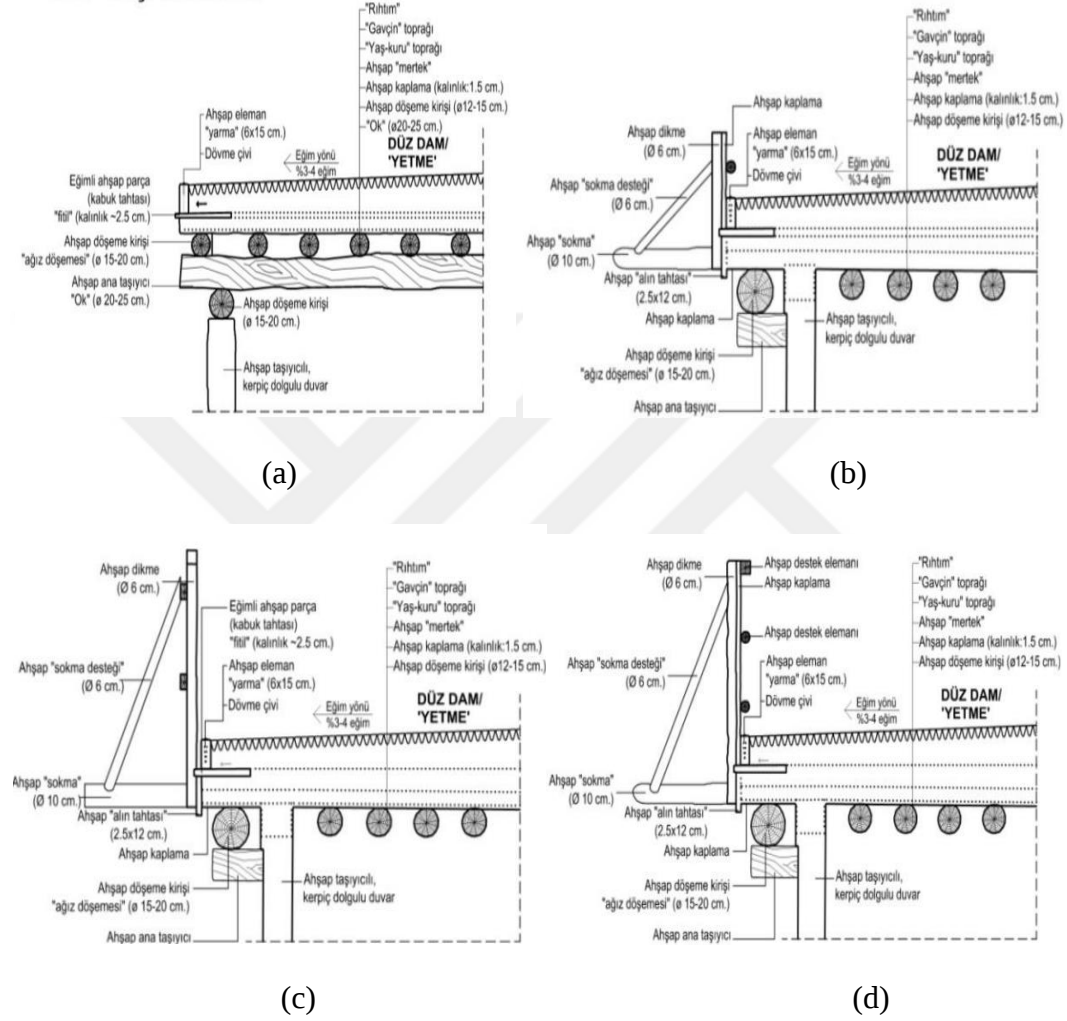


(b)

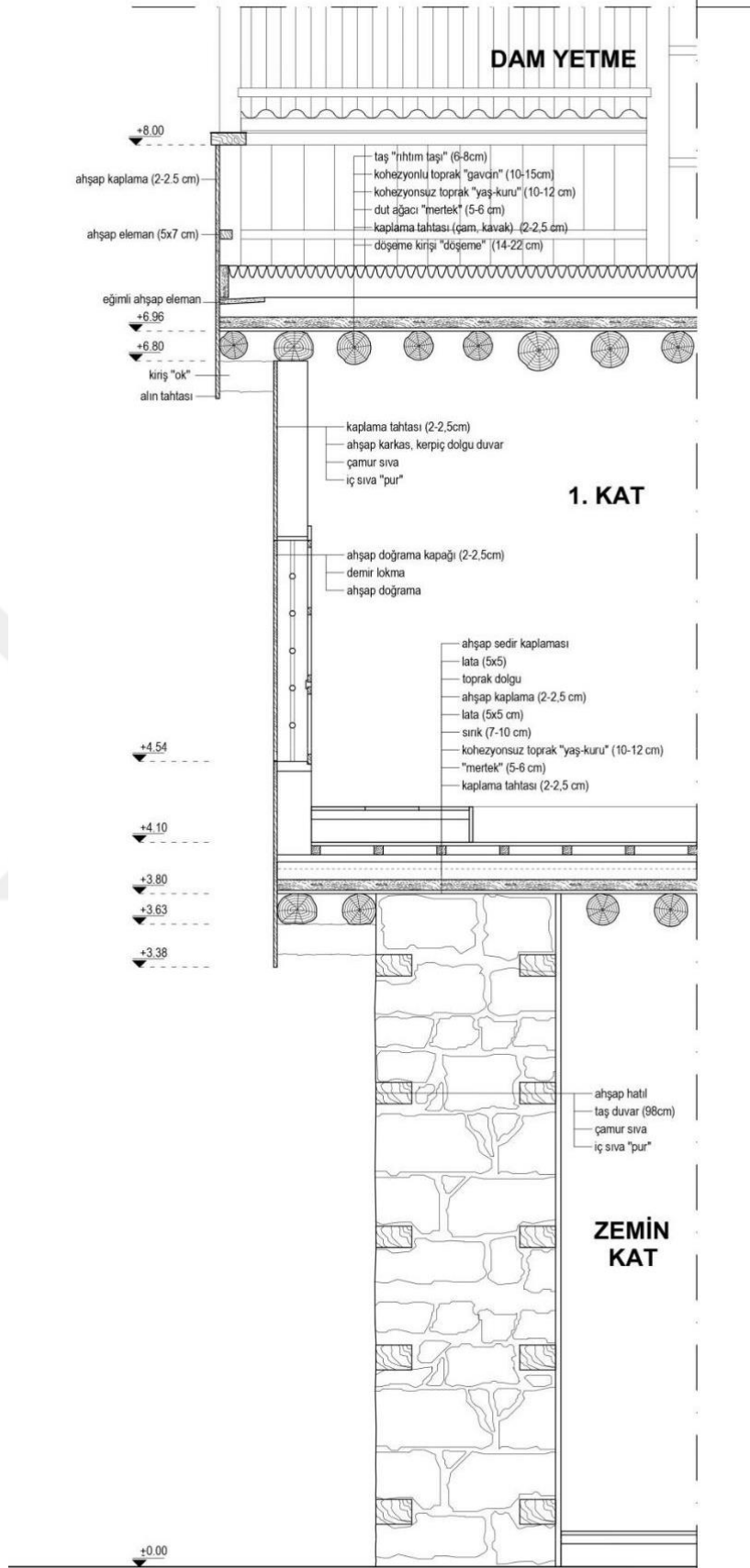
Şekil 3.40 Çörten detayı a) Efegil Konağı; b)Apçağa Köyü

Bölgeye ait 20. Yüzyılın başına ait fotoğraflarda düz ve parapetsiz, tek tip bir saçak biçimlenişi görülürken; ustalardan edinilen bilgiye göre çocukların damdan düşmesini engellemek üzere 1930'lerden sonra dikmeli bir parapet düzeni

geliştirilmiştir (Şekil 3.38-a). Çatının sınırları boyunca toprağın ve rıhtım taşlarının sınırlandırılması için yerleştirilen “süvüng”ler, köşegen ahşap destek elemanları ile “sokma” adı verilen dut veya ardıç ağacından yapılan, dairesel kesitli ahşapların altına bağlanmakta ve çatıyı bir korkuluk gibi çevrelemektedirler. (Şekil 3.40-3.41). [10,60, 61, 65]

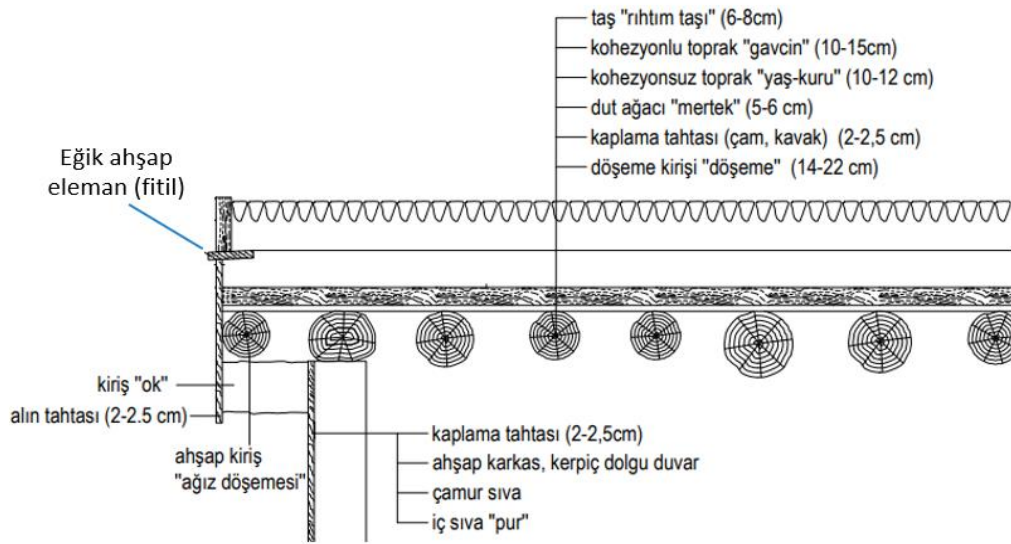


Şekil 3.41 a) 1. Tip özgün düz dam saçak kesiti, b) 2. Tip özgün düz dam saçak kesiti, c) 3. Tip saçak ‘‘cağ/yarma süvüng’’ kesiti, d) 4. Tip saçak ‘‘sanduka süvüng’’ detayı [10]



Şekil 3.42 KEMAV evi sistem kesiti

Kemaliye evlerinde çatıdan suyun uzaklaştırılmasında kullanılan birincil yöntem eğim aracılığıyla suyun dam yüzeyinde hareketini sağlayıp ahşap çörtenden drene etmektir. Yapılan alan gezisinde tespit edildiği ve usta röportajları ile teyit edildiği haliyle Kemaliye'de toprak katmanlarına sızabilecek suyun çatıdan uzaklaştırılması için birinci yönteme ek olarak ikinci bir yöntem geliştirildiği görülmektedir. Bu ikinci yöntemde kohezyonlu toprak (gavcin) ve çamur (yaş-kuru) tabakaları arasına tüm cepheyi dönen ve "fitil" olarak adlandırılan eğimli bir tahta parçası yerleştirilmektedir. Bu tahta parçası ikinci drenaj bölgesini oluşturmaktadır. Uygulama sırasında ya da yağışlardan sonra Islanan toprak katmanı kururken büzülme; böylece ahşap alın tahtası ile arasında bir derz oluşmaktadır. Oluşan derzden yapıya su sızmasını engellemek için eğimli ahşap eleman sayesinde su uzaklaştırılmaktadır (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 KEMAV evi özgün düz toprak dam yapım tekniği

Kemaliye evlerinin geleneksel toprak damlarında üst katmandaki toprak olarak yalnızca gavcin adı verilen killi (kohezyonlu) toprak kullanılmış ve üzerine rıhtım adı verilen kireç taşı çakılmıştır. Ancak çamur tabakası olarak kullanılan alt katmandaki toprak farklı özelliklerdeki topraklardan seçilebilmektedir. Tez kapsamında yapılan alan ve laboratuvar çalışmaları sırasında kohezyonlu ya da kohezyonsuz farklı toprak tipleri ile karşılaşılmıştır.

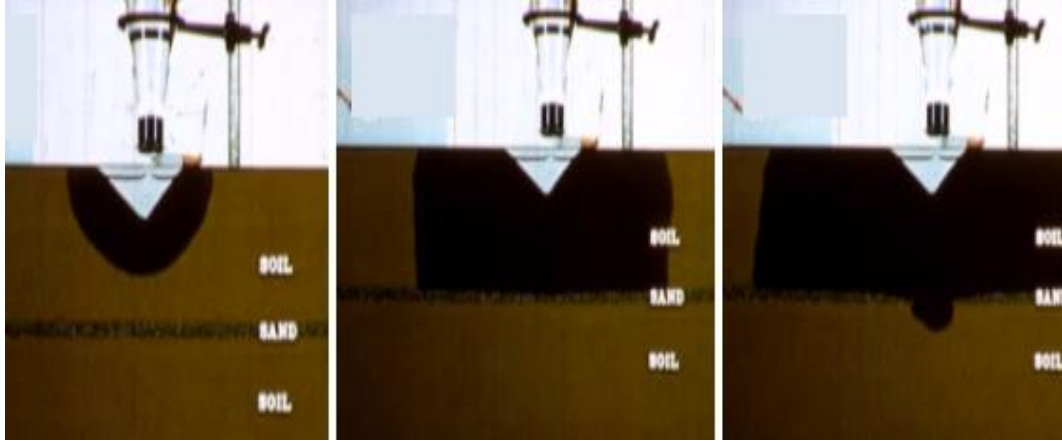
Sistem içerisinde kohezyonsuz toprak tabakası kullanıldığı durumlarda, ikincil drenaj bölgesi çözümünün derzlerden sızabilecek suyu uzaklaştırmak dışında başka bir fonksiyonunun da olabileceği düşünülmektedir. Kemaliye evlerinin özgün damlarının yapım tekniği göz önünde bulundurulduğunda çağdaş geoteknik drenaj sistemlerinden biri olan kapiler bariyer sistemi¹⁷ ile karşılaşılabilinmesi olasıdır.

Geleneksel Kemaliye evlerinin toprak damlarının yapım tekniği ile kapiler bariyer sistemi arasındaki olası ilişkinin anlaşılabilmesi için suyun toprak içerisindeki hareketi araştırılmalıdır. Suyun toprak içerisindeki hareketinde baskın kuvvet yerçekimi değildir; etkili olan suyun katı yüzey ile kurduğu etkileşimdir [77, 78]. Su üst yüzeyde olan ince daneli ve kohezyonlu toprak içerisinde, toprak tamamen suya doyana kadar yayılarak ilerlemektedir (Şekil 3.43). Ancak toprak tamamen suya doyduktan sonra yer çekimi doğrultusunda hareket etmeye başlamaktadır. Suyun bu hareketini sağlayan katı yüzey molekülleri ile kurduğu kohezyon ve kendi molekülleri arasında kurduğu adezyon bağlarıdır [77, 78].

Üstte kohezyonlu (killi) altta ise üsttekine göre daha az kohezyon özelliği gösteren (daha az killi) bir toprak tabakasının var olduğu toprak damlarda da su üst katmandaki killi, yani kohezyonlu toprak içerisinde yayılarak hareket etmektedir. Boşluklu ve kohezyonsuz/ daha az kohezyonlu bir toprak olan alt katmanda ise aynı durum söz konusu olmayacaktır. Kohezyonsuz/daha az kohezyonlu toprağa ulaşan su, boşluklar içerisinde yerçekimi doğrultusunda hareket edecektir. Suyun kohezyonsuz/ daha az kohezyonlu toprağa ulaşması ancak killi toprak moleküllerinin tamamen suya doymasından sonra gerçekleşir. Bu nedenle, kohezyonlu toprak molekülleri suya doymadan sıkıştırılmakta ve uygulanan kuvvet ile toprak molekülleri arasında bulunan suyun ve havanın dışarı atılması sağlanmaktadır (Şekil 3.44). Yine aynı nedenle Kemaliye’de alınan ikincil su yalıtım önleminde suyun kohezyonlu toprak içerisinde yatay doğrultuda ilerleyerek, toprak suya doymadan loğlanması ve iki toprak katmanı arasına eklenen eğimli tahta parçası (fitil) ile buradan drene edilmesi de olasıdır. Görülmektedir ki

¹⁷ Daha ince daneli bir toprağın daha geçirgen ve daha kaba bir dane üzerinde bulunduğu, doymamış koşullarda ortaya çıkan ve kılcal gerilim nedeniyle suyun aşağıya doğru sızmasını engelleyen bariyer sistemidir [79].

bu sistemde su yalıtımını sağlayan, suyun toprağın özelliklerine bağlı olarak malzeme içerisindeki hareketidir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.44 a,b,c) Suyun Kohezyonlu ve Küçük Daneli Toprak İçerisinde Toprak Suyu Tamamen Doyana Kadar Yayılarak İlerlemesi [78]

Günümüzde loğlama yapılmadığı için düz toprak damlardaki toprak katmanlarının kepermesi, erimesi ve çatlaması sonucunda su sızıntıları olmaktadır. Bu nedenle periyodik bakımları yapılamayan Kemaliye Evlerinin düz damlarının üzerlerine 1950'li yıllardan itibaren ahşap beşik çatılar yapılp üzerleri sac levhalarla kaplanmıştır. Bu durum yapıların hasar görmesini büyük ölçüde engellemesine karşın; özgün yapı karakteristiğini gizleyen bir görüntü kirliliğine neden olmaktadır.

Bölgede yapılan alan çalışması sırasında çağdaş restorasyon çalışmalarında da özgün yapı karakteristiğine sadık kalınmadığı, kullanılan yeni ahşap malzemenin renk ve doku olarak bölge ile uyum sağlamadığı; çatı kuruluşlarında özgün yapım tekniğinden uzaklaşıldığı, koruma imar planında ise halen eğimli çatılara izin verildiği görülmüştür.

4

YAPI TOPRAĞININ İNCELENMESİ VE KATKI MALZEMELERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Toprak tanelerinin kimyasal yapıları ve şekilleri göz ardı edilerek parça büyüklüklerine göre gruplandırılması “Toprak Fraksiyonu” olarak adlandırılmaktadır. Toprak taneleri aynı fraksiyon içerisinde yer aldıklarında fiziksel özellikleri de benzerlik göstermektedir [80]. Toprağın içerisinde bulunan taneli malzemelerin çap sınırları Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu tanelerin iriliklerine göre toprak kütlesi içerisindeki dağılışı ise toprak bünyesini oluşturmaktadır.

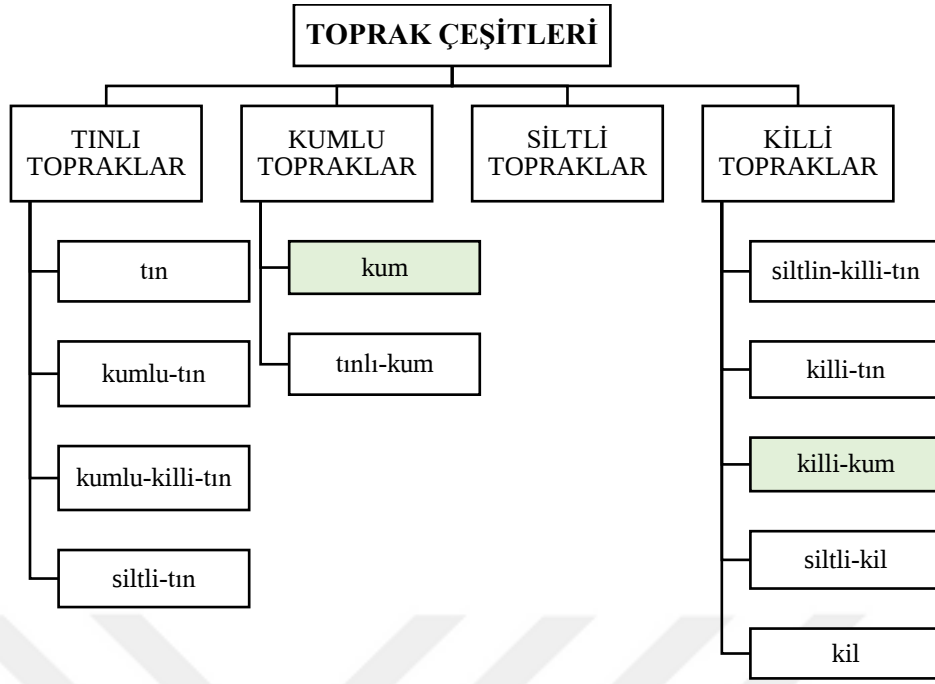
Tablo 4.1 Toprağın içerisinde bulunan taneli malzemeler ve çap sınırları [80]

Malzeme	Çap Sınırları (mm)
Çakıl	60,00 – 20,00
Kum	2,00 – 0,02
Silt	0,02 – 0,002
Kil	0,002’den küçük

İçerisinde bulunan malzemelerin oranlarına göre topraklar kumlu toprak, siltli toprak, killi toprak ve tınlı toprak olarak sınıflandırılmaktadır [80, 81]. Toprak çeşitlerinin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Yapı toprağı, "Çakıl, kum, silt ve kilden oluşan, doğadan alındıkları halleriyle ya da bir düzeltme işlemi uygulandıktan sonra yapıda kullanılabilen killi topraklar ile yeterli düzeyde ince tane içermeyen killi olmayan kumlu, marnlı, puzolanik topraklar ve bazı yörelerde rastlanılan özel nitelikli toprakların tümü" olarak tanımlanmaktadır [82]. Bu nedenle tüm toprak çeşitleri yapı toprağı olarak kullanılamamaktadır.

Toprak malzemenin yapı malzemesi olarak uygunluğunun ve malzeme özelliklerinin araştırılabilmesi için, laboratuvar ortamında incelemeler yapılabilmektedir.



Şekil 4.1 Toprak çeşitlerinin şematik gösterimi [80]¹⁸

4.1 Yapı Toprağının İncelenmesi

Her toprak yapı toprağı olarak kullanılamadığı gibi, her yapı toprağı da düz toprak damlar için uygun olmamaktadır. Düz toprak damlarda kullanılan topraklar diğer yapı topraklarından farklılaşmakta, su yalıtımı sağlamak için kullanılan topraklar genellikle ince bünyeli killi topraklar olmaktadır¹⁹. Su yalıtımının diğer çatı tiplerine oranla güçleştiği düz toprak damlarda, kullanılan toprağın su sızdırmazlık bakımından dane dağılımı, kil oranı ve kilin su ile ilişkisi de diğer yapı topraklarına göre daha çok önem kazanmaktadır. Yapı toprağının uygunluğunun malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi ve incelenebilmesi için laboratuvar ortamında bir dizi deney gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar iç yapı analizleri, geoteknik özelliklerin belirlenmesi, fiziksel malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik özelliklerin belirlenmesi başlıkları altında incelenebilmektedir.

¹⁸ Yapılan deneysel çalışmalar sırasında kullanılan toprak malzemelerin analizleri sonucunda gavin toprağı killi-kum, yaşkuru toprağı ise bir örnekte killi-kum bir diğer örnekte kum olarak sınıflandırılmıştır.

¹⁹ Eğer toprak çok killi olursa mukavemeti düşer, çamur kıvamında olur, bünyesinde çok su tutar. %10 kil varsa buna killi toprak denmektedir. %50 den fazla kil bulunan topraklar yapıda kullanılamamaktadır [30].

4.1.1 İç Yapı Analizleri

Yapı içerisinde kullanılacak malzemelerin, iç yapı özelliklerinin belirlenebilmesi için kimyasal ve mineralojik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Toprak yapı malzemesinin kimyasal ve mineralojik analizi olarak XRD (X-ray Diffraction) ve XRF (X-ray Fluorescence) incelemeleri yapılabilmektedir. Ayrıca taş malzemelerin petrografik analizleri ile kayacın mineral içeriği ve dokusal yapısı incelenebilmektedir. XRD yöntemi ile malzemelerin görece mineral bollukları ile mineralojik analizi, XRF yöntemi ile de majör element oksitleri (malzemenin oksit cinsinden bileşenleri) belirlenebilmektedir. Yapı toprağının iç yapı analizini belirlemek için laboratuvar ortamında yapılabilecek deneyler, deneyin uygulandığı ülke ve standartlar da gösterilerek Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Yapı toprağının iç yapı analizi için uygulanabilecek deneyler
[83,84,85,86,87]

Deney Adı	Kullanım Amacı	Deneyin Uygulandığı Ülke ve Standard			
		Yeni Zeland NZN 4297 NZN 4298	Amerika ASTM E2392 E2392M	İngiltere Toprak yapı kılavuzları	Türkiye TS 2514 TS 2515
Kimyasal ve Mineralojik Analiz (XRD, XRF, Petrografik)	Malzemenin mineralojik analizini ve oksit cinsinden bileşenlerini belirlemek	-	-	+	-

- Standartta yer almamaktadır

+ Standartta yer almaktadır

Tez kapsamında gerçekleştirilmiştir

4.1.2 Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesi

Geoteknik özellikleri açısından değerlendirildiğinde toprak malzemenin yapısı toprağın kohezyonlu ya da kohezyonsuz olmasına göre farklı tekniklerle araştırılmaktadır. Kil oranı fazla olan toprakların taneleri bağlayan çekme kuvveti fazladır ve kohezyonlu toprak olarak adlandırılırlar. Kum ve çakıl gibi malzemelerden oluşan toprak ise kohezyonsuz toprak olarak adlandırılmaktadır [30]. Toprak özelliklerini ise büyük oranda toprakta bulunan kilin türü ve oranı belirlemektedir.

Yapı toprağının geoteknik özelliklerini belirlemek için laboratuvar ortamında yapılabilecek deneyler, deneyin uygulandığı ülke ve standartlar da gösterilerek

Tablo 4.3'te verilmiştir. Toprak yapı malzemesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar ortamında granülometri ve hidrometre analizi, dane birim hacim ağırlık ve kıvam limitleri deneyleri yapılmaktadır.

Tablo 4.3 Yapı toprağının geoteknik özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]

Deney Adı	Kullanım Amacı	Deneyin Uygulandığı Ülke ve Standard			
		Yeni Zelanda NZS 4297 NZS 4298	Amerika ASTM E2392 E2392M	İngiltere Toprak yapı kılavuzları	Türkiye TS 2514 TS 2515
Granülometri ve Hidrometre Analizi	Zemin sınıfını tanımlamak	-	-	+	-
Dane Birim Hacim Ağırlık (Geoteknik)	Danelerin bağıl yoğunluğunu belirleyebilmek	-	-	-	-
Likit limit	Plastik ve likit kıvam arasındaki toprağın nem içeriğini belirlemek	-	-	+	-
Plastik limit	Zeminin, plastik kıvamda bulunduğu, en düşük su içeriğinin bulunması	-	-	+	-
Plastisite indisi	Zeminin plastik davranış sergilediği likit limit-plastik limit arasındaki bölgenin belirlemek	-	-	+	-
Rötre	Malzemelerde büzülme miktarlarının ve büzülme sonrası oluşan çatlakların belirlenmesi	+	-	+	-
Şişme	Zeminde şişme davranışı ve şişme parametrelerinin belirlenmesi	-	-	+	-
Sedimentasyon	Zeminlerde oluşan çökelmeyi ölçmek	-	-	+	-
Optimum Nem	Zeminde en iyi sıkıştırmanın sağlandığı su içeriğini belirlemek	-	-	-	-

- Standartta yer almamaktadır

+ Standartta yer almaktadır

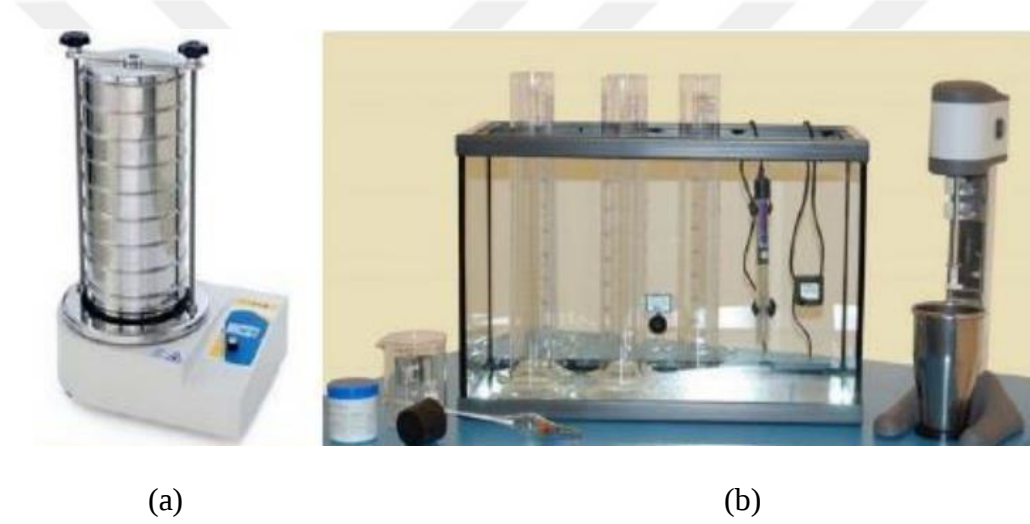
Tez kapsamında gerçekleştirilmiştir

4.1.2.1 Granülometri ve Hidrometre Analizi

Toprak yapı malzemesinin zemin sınıfını tanımlamak için TS 1900-1 standardına [88] uygun olarak granülometri ve hidrometre analizi yapılmaktadır. Bunun için ilk önce toprak numuneleri uygulama yapılacak boyutta belirlenen delik çapındaki elekten elenmektedir. Elenen numuneler etüve atılmakta ve değişmez ağırlığa

gelinceye kadar bekletilmektedir. Ardından etüvden alınan 500g ağırlığında numune 200 numaralı (75 μ m açıklıklı) elekten yıkanarak elenmektedir. Eleğin altına bir kap yerleştirilip, 200 numaralı eleğin altında kalanlar bir kaba, üzerinde kalanlar başka bir kaba alınıp içeriğindeki suyu kaybetmesi için tekrar değişmez ağırlığa gelinceye kadar 105 ± 5 °C'deki etüvde bekletilmektedir.

Ertesi gün etüvden çıkarılan numuneler desikatörde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmekte, ardından üstte kalan numuneler kuru eleme yöntemiyle elenerek altta kalanlarla hidrometre analizi yapılmaktadır. Kuru eleme yönteminde sırasıyla 19,1mm; 12,7mm; 4,75mm (4nolu); 2mm (8nolu); 0,85mm; 0,425mm (40 numaralı); 0,250mm (60 numaralı); 0,150mm (100 numaralı); 0,075mm (200 numaralı) eleklerden numune elenmektedir (Şekil 4.2-a).



Şekil 4.2 a) Elek seti b) Hidrometre [89]

Hidrometre analizi için ise 200 numaralı eleğin altında kalan numuneden 50g alınarak üzerine 125 ml hidrometre çözeltisi (hidrojen peroksit) dökülmekte ve birkaç dakika cam çubukla karıştırıldıktan sonra numune 24 saat çözelti içerisinde bekletilmektedir. Hazırlanmış olan ve 24 saat çözelti içerisinde bekleyen numune önce mikser içerisine dökülmekte ve üzerine su eklenerek karıştırılmaktadır. Ardından ölçüm kabına dökülen numunenin üzerindeki su 1lt ye tamamlanıp tersyüz edilmekte ve sırasıyla 15. ve 30. saniye ile 1., 2., 4., 8., 15. dakikalarda, 1., 2., 4., 6. ve 24. saatlerde okuma alınmaktadır (Şekil 4.2-b).

4.1.2.2 Dane Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Dane birim hacim ağırlık deneyinin amacı ince daneli zeminlerde danelerin bağlı yoğunluğunu belirleyebilmektir. Deneyin gerçekleştirilmesi için TS 1900-1 standardına [88] uygun olarak 40 numaralı elekten (0,425 mm elek açıklıklı) elenmiş malzeme 24 saat 105 ± 5 °C'deki etüvde bekletildikten sonra oda sıcaklığına gelmesi için soğutulmakta ve numuneden 10g ayrılmaktadır. Bu sırada piknometre (hacim şişesi) içerisine hiç boşluk kalmayacak şekilde su doldurularak 0,001g doğrulukta tartım yapan hassas terazide tartılmaktadır. Daha sonra içerisindeki suyu boşaltılan piknometreye ayrılan 10g numune, üzerine de numuneyi örtecek miktarda su eklenerek karıştırılmaktadır. Karıştırılan piknometre vakum pompasına bağlanmakta ve piknometreden hava çıkışı durana kadar (24 saat) vakum pompasında bekletilmektedir (Şekil 4.3).

24 saat sonunda vakum pompasından çıkarılan piknometrenin tamamı su ile doldurulmakta ve 0,001g doğrulukta tartım yapan hassas terazide tartılmaktadır.

Zemin danelerinin özgül ağırlığı aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmaktadır (4.1)

$$\gamma = W1/W1 + W2 - W3 \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (4.1)$$

Burada;

W1= Kuru Zemin Kütlesi, (g)

W2= Su ve Piknometre Kütlesi, (g)

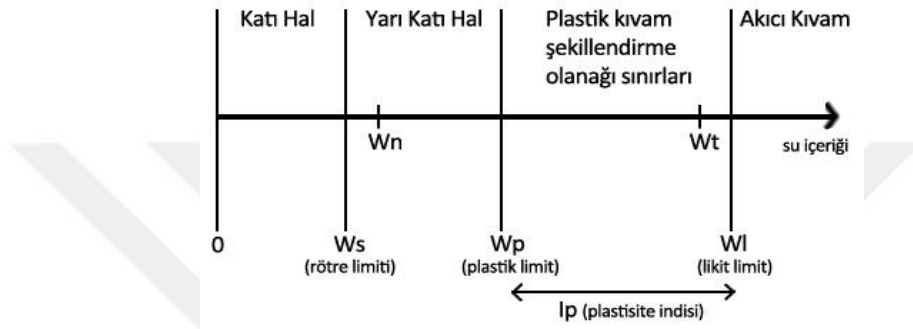
W3= Su, Piknometre ve Zeminin Kütlesi, (g)

γ = Özgül Ağırlık, (kN/m³)

4.1.2.3 Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

Kıvam, Kafesçioğlu, tarafından "Bünyesinde yaklaşık toplam %10'dan fazla kohezyon niteliğine sahip ince tane bulunan toprakların su ile değişik oranlarda karıştırıldıkları zaman aldıkları fiziki durum" olarak tanımlanmıştır [30]. Kuru toprağa su eklendiğinde, toprak katı halden yarı katı hale, oradan plastik hale, son olarak da likit hale geçmektedir. Yarı katı ve plastik kıvam arasındaki sınırdaki bulunan toprağın nem miktarına plastik limit (Wp); Plastik ve likit kıvam arasındaki

sınırdaki bulunan toprağın nem miktarına da likit limit (WL) denmektedir. Killi topraklar üretime hazırlanırken plastik ve likit limit arasında plastik limite yakın bir kıvam belirlenmektedir [30]. Likit limit ve plastik limit arasındaki su muhtevalarında zemin, kalıcı şekil değiştirmelere yol açan plastik davranışlar sergilemektedir. Zeminin plastik davranış sergilediği likit limit ve plastik limit arasındaki bölge ise Plastisite İndisi ile ifade edilmektedir. Plastisite indisi ne kadar yüksek ise malzeme o kadar geniş bir su muhtevası aralığında plastik davranış (kalıcı şekil değiştirme davranışı) sergilemektedir [90].



Şekil 4.3 Killi topraklarda kıvam limitleri [30]

Toprak yapı malzemesinin likit limit değerini belirlemek için TS 1900-1 standardına [88] uygun olarak numuneler 40'nolu elekten (0,425 mm elek açıklıklı) elenmekte; potaya yerleştirilerek azar azar su eklenmekte ve homojen bir hamur kıvamına gelinceye kadar palet bıçağı ile karıştırılmaktadır.

Hazırlanan toprak-su karışımından bir miktar alınarak casagrande ölçüm aletinin içine konulmakta, numunenin yüzeyi düzeltilmekte ve oluk açma bıçağı, menteşenin ortasından geçen hat boyunca hareket ettirilerek, numune ikiye ayrılmaktadır. Böylece numunenin ortasında bir oluk açılmaktadır (Şekil 4.4-a).

Krank kolu saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13 mm boyunca birbirine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülmektedir. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan düşüş sayısı kaydedilmektedir. Oluğun kapanmış olan kısmının civarından yaklaşık 30-40 g numune alınmakta; deney kabına konulmakta ve tartılarak kütlesi hesaplanmaktadır (Şekil 4.4-b).



(a)

(b)

Şekil 4.4 Casagrande cihazında a) Yarık açıldıktan sonraki durum, b) Yarık kapandıktan sonraki durum [89]

Plastik Limit Deneyinin amacı, zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu, en düşük su muhtevasının bulunmasıdır. Buna göre numuneler TS 1900-1 standardına [88] uygun olarak 40'nolu elekten (0,425 mm elek açıklıklı) elenmekte; homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plâstik olana kadar su ile iyice karıştırılarak yoğrulmaktadır. Küre halindeki numuneden alınan bir parça 3mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alana kadar el ayasında yuvarlanmaktadır. Numunenin çapı yaklaşık 3mm olduğu anda çatlama ve kopma belirmemişse zemin tekrar toprak haline getirilip yoğrulmakta; çap tam 3mm olduğunda zeminde çatlama ve dağılmaların görüldüğü kıvam yakalanana kadar bu işlem devam ettirilmektedir.

Silindir yapılan numuneler toplanarak numune kabına yerleştirilmekte ve ıslak halde tartılmaktadır. Daha sonra etüve yerleştirilip 24 saat beklenerek su içeriklerini kaybettikten sonra tekrar tartılmakta ardından su muhtevaları hesaplanmaktadır. Bu işlem 3 kez tekrarlandıktan sonra, bulunan su içeriklerinin ortalaması zeminin plastik limiti (W_p) olarak belirlenmektedir.

Zeminin plastisite indisini bulmak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmaktadır (4.2).

$$I_p = W_l - W_p \quad (4.2)$$

Burada;

I_p =Plastisite indisi

W_l =Likit limit

W_p =Plastik limit

4.1.3 Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Toprak yapı malzemesinin malzeme özelliklerini belirlemek için toprak ile harç üretimi yapılabilmekte ve üretilen numunelerin taze haldeki ve sertleşmiş haldeki fiziksel malzeme özellikleri incelenebilmektedir. Yapı toprağının fiziksel malzeme özelliklerini belirlemek için laboratuvar ortamında yapılabilecek deneyler, deneyin uygulandığı ülke ve standartlar da gösterilerek Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Yapı toprağının fiziksel malzeme özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]

Deney Adı	Kullanım Amacı	Deneyin Uygulandığı Ülke ve Standard			
		Yeni Zelanda NZS 4297 NZS 4298	Amerika ASTM E2392 /E2392M	İngiltere Toprak yapı kılavuzları	Türkiye TS 2514 TS 2515
Taze Kıvam	Malzemenin üretildiğindeki kıvamının belirlemek	-	-	-	-
Taze Birim Hacim Ağırlık	Malzemenin üretildiğindeki birim ağırlığını belirlemek	-	-	-	-
Birim Hacim Ağırlık	Malzemenin birim ağırlığını hesaplamak	-	-	-	-
Özgül Ağırlık	Malzemenin özgül ağırlığını hesaplamak	-	-	-	-
Kıvam ve Priz Süresi	Malzemenin üretildiğinde sahip olduğu kıvamı ve priz süresini belirlemek	-	-	-	-
Kompasite, Porozite	Malzemenin doluluk ve boşluk oranını belirlemek, iç yapı hakkında fikir edinmek	-	-	-	-
Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme	Malzemenin dışa açık boşluklarından emilen su miktarını ölçmek	-	-	-	-
Kılcal Su Emme - Kapilarite	Malzemenin kılcal boşluklarından yükselen su miktarını belirlemek	-	-	+	-
Suda Çözünme	Malzemenin suyun etkisiyle belirli bir süre içerisinde çözünüp çözünmediğini belirlemek	-	-	-	-
Donma-Çözülme	Donma-çözülme etkisiyle malzemede oluşan eskitmenin ölçülmesi	-	-	+	-

- Standartta yer almamaktadır

+ Standartta yer almaktadır

Tez kapsamında gerçekleştirilmiştir

4.1.3.1 Taze Haldeki Kıvamın Belirlenmesi

Taze haldeki numunelerin kıvamının belirlenmesi için TS EN 1015-3 standardına [91] uygun olarak; alt ve üst çapları sırasıyla 10 ve 7mm, yüksekliği 60mm olan kesik koni şeklindeki kalıp kullanılmaktadır. Numune üretimi yapıldıktan sonra sarsma tablası üzerine yerleştirilen kesik koni biçimindeki kabın içerisinde numune 2 tabaka halinde, her tabakaya tokmakla 10 kısa vuruş yapılarak yerleştirilmektedir (Şekil 4.5).

Kalıp içerisinde kalan numunenin üzeri düzeltilmekte ve 15 saniye beklendikten sonra kalıp kaldırılmaktadır. Böylece numune kütlesi sarsma tablası (dairesel plak) üzerinde kalmakta; tabla saniyede 1 kez olacak şekilde sabit sıklıkta 15 kez düşürülmekte ve numune plaka üzerine yayılmaktadır. Yayılan numunenin çapı birbirlerine dik iki doğrultuda ölçülerek ortalama yayılma çapları hesaplanmaktadır.



Şekil 4.5 Yatılma tablası deney düzeneği [92]

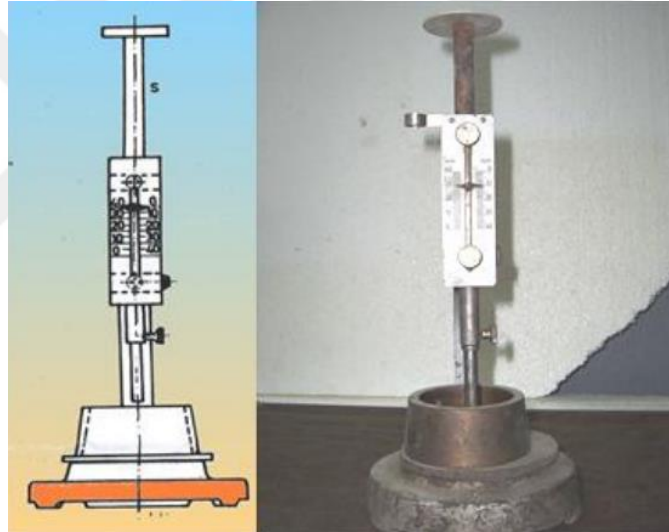
4.1.3.2 Taze Numunelerin Boşluklu Birim Ağırlığının Belirlenmesi

Numune üretiminin ardından yapılan taze haldeki deneylerden bir diğeri de taze harcın boşluklu birim ağırlığının belirlenmesidir. TS EN 1015-6 standardına [93] göre, üretilen numune hacmi belirli bir ölçü kabı (çapı 125mm olan 1 litre hacimli silindirik kap) içerisine boşluk kalmayacak şekilde birkaç aşamada yerleştirilmektedir. Her aşamadan sonra sarsılarak eksilen kısımlara malzeme ilave

edilmekte ve kap yüzeyi düzeltilmektedir. Önceden darası alınmış kap daha sonra içi malzemeye dolu olarak tekrar tartılmakta; ölçülen ağırlıkların belirlenen hacme bölünmesiyle boşluklu birim ağırlıklar hesaplanmaktadır.

4.1.3.3 Taze Numunelerin Kıvam ve Priz Süresinin Belirlenmesi

Taze haldeki numunelerin kıvam ve priz süresinin tayini için TS EN 196-3 [94] standardına uygun vicad cihazı kullanılmaktadır. Kıvam ölçümü alınmadan önce vicad cihazının tabanındaki camın ve numune yerleştirilen halkanın iç yüzeyi yağlanmaktadır. Ardından numune halka içerisine sıkıştırma yapılmadan yerleştirilmekte ve spatül ile üzeri düzeltilmektedir. Cihaza yerleştirilen 10 mm çapında sonda numune üzerinden bırakılmakta ve sonda 300 g kuvvet altında numunenin içerisine batmaktadır. Batma miktarı zaman aralıkları ile ölçülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Vicat aleti (sondalı) [95]

Priz süresinin tayini için ise daha önceden yağlanmış vicad halkasının içerisine numune yerleştirilmektedir. Sarsma yapmadan yerleştirilen numunenin üzeri bir spatula ile düzeltilmektedir. Vicad cihazının sonda kısmı çıkarılıp yerine vicad iğnesi yerleştirilmekte ve iğne serbest bırakılarak numunenin içerisine girmesi sağlanmaktadır. İğnenin numune içerisine tamamen girmediği an priz başlangıcı, hiç girmediği an ise priz süresi olarak belirlenmektedir.

4.1.3.4 Sertleşmiş Numunelerin Birim Hacim Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bir cismin kütlesinin (W,g); doğal haldeki hacmine (V,cm³) oranına o cismin birim-hacim ağırlığı (β ,gr/cm²) denmektedir (4.3). Numune düzgün şekilli olduğunda cismin boyutlarından (4.4) yararlanılarak hacmi hesaplanabilmektedir. Çalışma kapsamında, malzemenin birim hacim kütlesini belirlemek amacıyla TS EN 1015-10 standardından [96] yararlanılmaktadır.

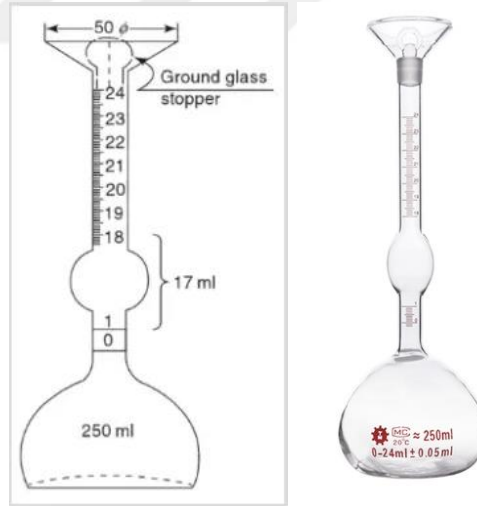
$$\beta=W/V(\text{g/cm}^3) \quad (4.3)$$

$$V=a \times b \times c(\text{cm}^3) \quad (4.4)$$

Deney uygulanmadan önce numuneler 24 saat süresince, serbest su miktarını buharlaştırmak için 105±5°C sıcaklıkta etüv içerisinde bekletilmektedir.

4.1.3.5 Sertleşmiş Numunelerin Özgül Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bir cismin içinde boşluklarının bulunmadığı haldeki birim-hacim ağırlığına o cismin özgül ağırlığı (γ ,g/cm³) denmektedir. Bir malzemenin özgül ağırlığı ile birim-hacim ağırlığı birbirine eşit olduğu durumda malzemenin boşluksuz olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.7 Le chetalier flask şişesi

Numunelerin özgül ağırlığını belirlemek için TS EN 196-3 [94] standardından yararlanılmaktadır. Deney için kullanılacak numuneleri hazırlamak için öncelikle sertleşmiş haldeki numuneler havanla dövülüp 0,125mm delik çaplı elekten elenmektedir.

Daha sonra Le Chetalier Flask şişesi (hacim ölçer) su ile doldurulmuş ve ilk hacim okuması yapılmaktadır (V_1, cm^3) (Şekil 4.7). Ardından 5g numune şişenin içerisine konularak 2. hacim okuması (V_2, cm^3) yapılmaktadır.

Aşağıdaki bağıntı ile (4.5) özgül ağırlık ($\gamma, \text{g/cm}^3$) değeri belirlenmektedir.

$$\gamma = W / (V_2 - V_1) \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4.5)$$

Deney uygulanmadan önce numuneler 24 saat süresince, serbest su miktarını buharlaştırmak için $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüv içerisinde bekletilmektedir.

4.1.3.6 Sertleşmiş Numunelerin Kompasite ve Porozite Değerlerinin Belirlenmesi

Kompasite ve porozite değerleri, malzemelerin doluluk ve boşluk oranları ve iç yapısı ile ilgili bilgi sahibi olmak amacıyla belirlenmektedir. Kompasite ($k, \%$), malzemenin doluluk oranını (içinde bulunan dolu kısmın hacminin tüm hacmine oranı), porozite ($p, \%$) ise malzemenin boşluk oranını (kılcal, dışa açık ve kapalı boşlukların tümünün tüm hacmine oranı) ifade etmektedir. Böylelikle bir cismin porozitesinin ve kompasitesinin toplamı tam hacmini vermekte; o da 1'e eşit olmaktadır. (4.6) ve (4.7) bağıntıları ile kompasite ($k, \%$), ve porozite ($p, \%$), değerleri hesaplanmaktadır.

$$k = \beta / \gamma \times 100 (\%) \quad (4.6)$$

$$p = (1 - \beta / \gamma) \times 100 (\%) \quad (4.7)$$

4.1.3.7 Sertleşmiş Numunelerin Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Değerlerinin Belirlenmesi

Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyinin amacı boşluklu bir malzemenin dışa açık boşluklarından emilen su miktarını belirlemektir. Cismin boşluklarından emdiği su miktarının ağırlığına oranı ağırlıkça su emme ($a_s, \%$) emdiği su miktarının hacmine oranı ise hacimce su emme ($h_s, \%$) olarak adlandırılmaktadır. W_s =Numunenin sudaki ağırlığı, W_0 =Numunenin etüv kurusu ağırlığı, W_{sh} =Suya doyurulmuş numunenin havadaki ağırlığı, W_{ss} =Suya doyurulmuş numunenin sudaki ağırlığı olmak üzere; ağırlıkça su emme ($a_s, \%$) ve hacimce su emme ($h_s, \%$) miktarları aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır (4.8 ve 4.9).

$$a_s=(W_{sh}-W_0)/W_0(\%) \quad (4.8)$$

$$h_s=(W_{sh}-W_0)/(W_{sh}-W_{ss})(\%) \quad (4.9)$$

4.1.3.8 Sertleşmiş Numunelerin Kılcal Su Emme (Kapilarite) Değerlerinin Belirlenmesi

Kılcal su emme deneyi malzemenin kılcal boşluklarından yer çekiminin tersi doğrultusunda yüzey gerilimi etkisiyle yükselen su miktarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Deney sırasında numune suya temas ettirilmekte, kapilarite yoluyla zamana bağlı olarak yükselen su miktarı ve kılcal su emme kat sayısı malzemenin ağırlık artışına göre belirlenmektedir. Deneyin gerçekleştirilmesi için TS EN 1015-18 [97] ve TS EN 15801 [98] standartlarına uyulmaktadır. Buna göre ilk olarak numunelerin kuru tartımları (W_0 , kg) alınmaktadır. Daha sonra numunelerin su ile temas edecek bölümünün boyutları belirlenmekte ve temas edecek alan (A , m²) hesaplanmaktadır. Ardından en az 5mm kalınlığında olan pamuk (pamuklu bez) ölçüm kabına yerleştirilmekte ve bu bez suya doymuş hale getirilmektedir (Şekil 4.8). Bundan sonra numuneler kap içerisine yerleştirilmekte ve numunenin pamuk tabaka ile temas ettiği an t_0 olarak kaydedilmektedir. 64., 144., 256., 576., 1024., 1600., 2500. ve 3600. Saniyede (t_i , s) ölçüm yapılarak, numunelerin ağırlıkları (W_i , kg) belirlenmekte ve emilen su miktarı (Q_i , kg/m²), (4.12) bağıntısı ile bulunmaktadır. Kılcallık katsayısını bulmak için $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği çizilmekte ve doğru eğiminden faydalanılmaktadır.

$$Q_i=(W_i-W_0)/A \quad (4.10)$$

Q_i =Emilen su miktarı (kg/m²)

W_i =Sudaki numunelerin belirli dakikalardaki ağırlıkları (kg)

W_0 =Numunelerin kuru tartımları

A =Su ile temas eden alan

4.1.3.9 Sertleşmiş Numunelerin Suda Çözünmesi

Toprak yapı malzemesinin suda çözünüp çözünmediğinin tespit edilmesi için har olarak üretilen ve sertleşen numuneler 24 saat boyunca su içerisinde bekletilmekte ve bu süreçte ilk anda, 1. saatte, 2. saatte ve 24. saatte gözlemlerde bulunmaktadır.

4.1.4 Mekanik Malzeme Özelliklerin Belirlenmesi

Toprak yapı malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvar ortamında yapılabilecek deneyler, deneyin uygulandığı ülke ve standartlar da gösterilerek Tablo 4.5'te verilmiştir. Buna göre basınç dayanımı, eğilme-çekme dayanımı, kayma gerilmesi, kesme direnci, elastisite modülü ve aşınma deneyleri toprak yapı malzemesi üzerine uygulanabilmektedir.

Tablo 4.5 Yapı toprağının mekanik malzeme özelliklerini belirlemek için uygulanabilecek deneyler [83,84,85,86,87]

Deney Adı	Kullanım Amacı	Deneyin Uygulandığı Ülke ve Standard			
		Yeni Zelanda NZS 4297 NZS 4298	Amerika ASTM E2392 /E2392M	İngiltere Toprak yapı kılavuzları	Türkiye TS 2514 TS 2515
Basınç Dayanımı	Malzemenin düşey yükler altında dayanımının belirlenmesi	+	-	+	+
Eğilme-Çekme Dayanımı	Malzemenin çekme dayanımının dolaylı olarak belirlenmesi	+	-	+	+
Kayma Gerilmesi	İri ve ince daneli zeminlerde kayma gerilmesini belirlemek	+	-	-	-
Kesme Direnci	İri ve ince daneli zeminlerde kesme direncini belirlemek	+	-	-	-
Elastisite Modülü	Malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçülmesi	+	-	-	-
Aşınma	Temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle oluşan malzeme kaybının ölçülmesi	+	-	+	-

- Standartta yer almamaktadır

+ Standartta yer almaktadır

 Tez kapsamında gerçekleştirilmiştir

4.1.4.1 Basınç Dayanımı

Yapı malzemesinin düşey yükler altında mukavemetinin (kırılma dayanımı) ölçülmesi için basınç dayanımı (f_b , MPa) deneyi yapılmaktadır. Düz yüzeyi olmayan amorf formdaki örneklerde ise aynı amaçla nokta yükleme deneyi yapılmaktadır. Basınç dayanımı için TS EN 1015-11 [99] standardına uygun olarak numuneler hazırlanmakta ve basınç aletinin içerisindeki çelik plakaların arasına

yerleştirilmekte, ardından düşey yüke maruz bırakılmakta ve bu yük altında numunelerin kırılmasını sağlayan en fazla yük belirlenmektedir.

Aşağıdaki formül ile (4.11) numunenin dayanımı hesaplanmaktadır.

$$f_b = \frac{P}{A} \text{ MPa} \quad (4.11)$$

4.1.4.2 Eğilme-Çekme Dayanımı

Eğilme-çekme dayanımı deneyi ile malzemenin çekme dayanımı dolaylı olarak belirlenmektedir. Bu deney için numuneler TS EN 1015-11 [99] standardına göre hazırlanmaktadır. Deney sırasında numunelerin orta noktasına kuvvet uygulanmakta, numunenin kırılmasına neden olan en yüksek yük değeri belirlenmektedir. Aşağıdaki formül ile (4.12) numunenin dayanımı hesaplanmaktadır.

$$f_e = \frac{1.5xPxL}{bxd^2} \text{ MPa} \quad (4.12)$$

4.2 Yapı Toprağının Katkı Malzemeleri Kullanılarak İyileştirilmesi

Yüzyıllardır, dam için uygun toprak malzeme elendikten sonra içerisine katılan saman, tuz, kül gibi bazı katkı maddeleriyle toprağın özelliklerinin iyileştirildiği bilinmektedir. Hatta yapılan arkeolojik kazılarda Asurlulardan kalan bazı yapı kalıntılarının içerisinde bitüm bulunduğu belirtilmektedir. Toprak dam içerisinde kullanılan katmanlar ve katkı malzemeleri ise yöreden yöreye değişiklik göstermektedir.

Toprak yapı malzemesi öğütülerek ya da ısıtılarak yeniden kullanılabilen ısı tutucu bir malzemedir. Ancak basınç dayanımı düşüktür ve rutubete dayanımı zayıftır. Bu nedenle; Çatalhöyük'te kullanılan saman katkı, Fas'ta kullanılan kireç katkı ve Asurluların bitüm katkısı gibi bazı katkı malzemeleri, toprak malzemenin özelliklerinin iyileştirilebilmesi için binlerce yıldır yapı toprağı içerisine katılmaktadır. Toprağın mekanik dayanımını ve stabilitesini arttırmak ya da malzemede su geçirimsizlik sağlamak amacıyla kohezyonlu topraklara eklenen bu malzemelerin bir kısmı toprağın su ile ilişkisini etkilemezken, bağlayıcı malzeme olarak kullanılanlar, toprağın suyun çözücülük özelliğinden etkilenmemesi ve

malzemede erozyona neden olmaması ile malzemede suyun yaratabileceği sorunların çözümüne de katkıda bulunmaktadır.

Farklı ülkelerin toprak yapı standartlarında var olan toprak yapı malzemesi içerisinde kullanılabilecek katkıları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Toprak yapı malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek üzerine yapılan çalışmaların geneli mukavemeti daha fazla ve zaman içerisinde oluşan erozyon değerleri düşürülmüş toprak esaslı bir malzeme geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Tez kapsamında temel amaç toprak malzemenin geçirimsizliğini azaltmak olsa da damlar üzerinde oluşabilecek suyun yarattığı aşınma ve yüzey erozyonunu engellemeye katkıda bulunulacağı düşünüldüğü için çimento, kireç, volkanik tüf ve uçucu kül gibi puzolanlar ile alçı katkıları da tez kapsamında incelenmiştir. Bu katkıları kohezyonlu topraklar üzerinde fiziksel olaylara ve kimyasal reaksiyonlara neden olarak, toprakların bünyesinde radikal değişimlere neden olabilmektedirler.

Tablo 4.6 Toprak yapı standartlarına göre kullanılabilecek katkıları
[83,84,85,86,87]

Ülke	Standard	Katkı Malzemesi
Yeni Zelanda	NZS 4297 NZS 4298	Saman, çimento, bitüm, sönmüş kireç
Amerika Birleşik Devletleri	ASTM E2392 /E2392M	Saman, kıl, kepek (chaff), çimento, asfalt, alçı, kaktüs suyu
İngiltere	Toprak Yapı Klavuzları	İnek dışkısı, boğa kanı, yosun, saman, keten, kenevir, talaş, bitüm, nişasta, reçine, süt, idrar, sabun
Türkiye	TS 2514 TS 2515	Saz, ot, kenevir, saman, çam iğneleri, ağaç dalları, talaş

Toprak dam malzemesi içerisinde suyun yapıya verebileceği zararları azaltmak için eklenebilecek katkıları Tablo 4.7’de bir araya getirilmiş, olası avantajları ve dezavantajları sıralanmıştır.

Tablo 4.7 Yapı toprağının suyun neden olabileceği hasarlara karşı iyileştirilebilmesi için kullanılan katkılar

[30,32,35,36,37,40,41,42,43,44,45,46,47,51,52,90,100,101,102,103,104,105,106]

Yöntem		Katkı Malzemesi	Avantajları	Dezavantajları
Sürülerek Uygulanır		SENTETİK REÇİNELER	Hidrofobik yüzey oluşumuna katkıda bulunur. Suyun yapıya girmesini engeller	Yüzey erozyonuna ve suda çözünmeye katkı sağlamaz
		BENTONİT		
Kohezyonlu Toprak Karışımına Katılan Malzemeler	Toprağın Suda Çözülmesini ve Erozyona Uğramasını Engeller	ÇİMENTO (%5 e kadar)	Sağlam bir yapıya ulaşır. Suyun çözücü etkisine ve yüzey erozyonuna karşı önlem alınmış olur.	Organik maddeler ve sülfatlı sulara dayanıksız
		KİREÇ (%5-%10 arası)	İyon değişimi ve karbonatlaşmayla kuru ve sağlam bir yapıya ulaşır. Suyun çözücü etkisine ve yüzey erozyonuna karşı önlem alınmış olur.	Tek başına su yalıtımı için yeterli olmamaktadır.
		KİREÇ + VOLKANİK TÜF	Toprağa geri dönüşümsüz, suda çözülmeyen bir nitelik kazandırır.	
		KİREÇ (%5-10) + UÇUCU KÜL (%10-20)	Malzemenin basınç dayanımında artış, su emme ve şişme özelliklerinde azalma sağlar.	
		KİREÇ + FIRIN CÜRUFU	Çevre kirletici atıkların yapı içerisinde tekrar kullanımı söz konusudur.	Yüksek oranda su emme görülür.
		KİREÇ + ALÇI (Alker)	Suda çözülmeyen bir ürün ortaya çıkar. Priz süresi kısaldığı için rötre çatlakları azalır.	
	Toprağın Geçirimsizliğini Azaltır	DOĞAL YA DA ENDÜSTRİ ATIĞI REÇİNELER	Kil tanelerinin yüzeyine tutunarak hidrofobik özellik kazandırır. Malzemenin su emmesi engellenir. Endüstri atıklarının yapı içerisinde tekrar kullanımı söz konusudur.	Araştırmaya açık alan
		BİTÜM	Bitüm malzeme içerisindeki kapiler boşlukları tıkar ve malzemenin bünyesine su girmesini engelleyebilir.	Homojen bir karışım elde etmek zordur.
		ELEKTROLİTLER (Kalsiyum klorür, sodyum silikat, potasyum silikat, vb.)	İyon değişimleri ile suyun bünyeye girmesini zorlaştırırlar. Su etkisiyle oluşan bozulmaların önüne geçilebilir. Toprağın boşluk ve su oranını düşürür, böylelikle mekanik dayanımını ve durabiliteyi de artırır.	Suda çözünen elektrolitler nedeniyle uygulamanın belirli periyotlarla tekrarlanması gerekebilir.
		KİREÇ (%5-%10) + YAĞ (%1-6)	Kireç yağın içindeki trigliseritleri bağlayarak hidrofobik bir yüzey oluşturur.	Araştırmaya açık alan
	Araştırmaya Açık Alan	SABUN	Araştırmaya açık alan	
		KAKTÜS SUYU		
		KAN		
		NİŞASTA		
		VİNİL ASETAT		
		KAZEİN TUTKALI		

4.2.1 Yapı Toprağına Katılan Portland Çimentosu

Portland çimentosu, uzun yıllardır Amerika ve Avrupa'da toprak malzeme içerisinde kullanılan katkılardan biridir. Kohezyonlu yapı toprağına %5 oranına kadar eklendiğinde malzemenin sağlam bir yapıya ulaştığı ve suyun çözücü etkisine karşı önlem alınmış olduğu görülmektedir [32]. Ancak, çimento katkı toprak içerisinde geçirimsiz bir su yalıtımı oluşturmak için tek başına yeterli değildir. Ayrıca, toprak içerisindeki sülfatlı suların ve organik maddelerin çimentoya verebileceği zararlar göz önünde bulundurulmalı ve bu konuda önlem alınmalıdır.

4.2.2 Yapı Toprağına Katılan Kireç Katkı

Günümüzde yaygın düşünce toprak yapı malzemesini korumanın en iyi yolunun kireç esaslı sıvalar olduğudur [107]. Yapı toprağına kireç eklendiğinde üç tür kimyasal reaksiyon oluşmaktadır. Bunlar iyon değişimi, kirecin karbonatlaşması ve puzolanik reaksiyonlardır. Kohezyonlu toprağına eklenen sönmüş kireç ile; kil tanelerinin yüzeyinde bulunan Na (sodyum) ve H (hidrojen) gibi bazı iyonlar kirecin Ca (kalsiyum) iyonları ile yer değiştirir ve bünyedeki su açığa çıkar. Açığa çıkan su, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsiyum hidroksit) tarafından tutulur. Toprak karışımının bünyesi kurur, karbonatlaşmayla zamanla güçlenir, sağlamlaşır. Suda çözülmeyen, geri dönüşümsüz bir niteliğe bürünür. Kilin türüne bağlı olarak %2,5 ile %10 arasında kireç katılmaktadır [100]. Toprak yapı malzemesine düşük oranlarda kireç ilavesinin basınç dayanımını düşürdüğü buna karşın suya karşı direnci arttırdığı bilinmektedir [33, 34, 36] Böylelikle suyun çözücü etkisine karşı önlem alınmış olunabilmektedir. Ancak, çimentoda olduğu gibi kireç de toprak içerisinde su yalıtımı oluşturmak için tek başına yeterli olamamaktadır.

4.2.2.1 Yapı Toprağına Katılan Puzolan ve Kireç Katkı

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda kireçle birlikte volkanik tüf gibi doğal ve uçucu kül gibi yapay puzolanların da toprak karışımlarına eklenerek denendiği görülmüştür. Kireçle beraber volkanik tüf toprak karışımına eklendiğinde ortaya çıkan bünye ise güçlü bir bağlayıcı niteliğe sahip, geri dönüşümsüz, suda çözülmeyen yeni bir yapıda olmaktadır. Kireçle beraber uçucu kül kullanıldığı durumlarda ortaya çıkan yapıda ise basınç dayanımında artış, su emme ve şişme özelliklerinde azalma görülmektedir [35]. Tek başlarına su yalıtımı sağlamak için

yeterli olmasalar da termik santraller çevresinde biriken ve çevre kirletici olarak bilinen uçucu küllerin toprak malzeme içerisinde kullanılması, malzemenin ekonomiye ve çevreye katkı sağlayan bir gerece dönüşmesini de sağlamış olacaktır.

Günümüzde birkaç puzolanın bir arada kullanıldığı ve kerpiç yapıların korunması için uygun puzolanik karışımlar elde etmeyi amaçlayan çalışmalar da yapılmaktadır. Toprağa uçucu kül ve tuğla-kiremit (pişmiş killi toprak) tozu katarak hazırlanan karışımların, yağmurlama deneyine dayandığı, belirtilmektedir [35]. Yapı toprağına hidrolik kireç ve fırın cürufu katıldığında ise malzemenin suya dayanımının arttığı deneysel çalışmalarla gösterilmiştir [36].

4.2.2.2 Yapı Toprağına Katılan Alçı ve Kireç Katkı

Kireç ile alçının bir arada kohezyonlu yapı toprağına eklendiği durumlarda (alker) ise suda çözülmeyen, nitelikleri gelişmiş bir ürün elde edildiği yapılan literatür çalışmalarında belirtilmektedir. Ayrıca alçı kullanılan karışımlarda alçı priz süresini azalttığı için, oluşabilecek rötre çatlaklarında da azalma görüldüğü anlaşılmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda katkısız toprak yüksek oranda deformasyona uğrarken, alçı ve kireç katkılı toprakta deformasyon görülmediği ancak %10 oranında alçı ve %5 oranında sönmüş kirecin kullanıldığı numunelerde katkısız bir kohezyonlu toprak numunesine göre daha hızlı ve fazla su emme görüldüğü belirtilmektedir [30]. Yapılan çalışma göz önünde bulundurulduğunda malzeme içerisinde kapilariteye neden olan ince sürekli bir ağ oluşmuş olduğu söylenebilir. Bu nedenle alker içerisine su emmesini azaltacak başka katkılar eklenmeden toprak damlarda su yalıtımı amacıyla kullanılabilen bir malzeme olamamaktadır.

4.2.2.3 Yapı Toprağına Katılan Yağ ve Kireç Katkı

Yapı malzemesi niteliğinde hazırlanmış kohezyonlu topraklara katılan bazı katkı maddeleri toprağın geçirimliliğini azaltarak suya karşı alınacak önlemler arasında sayılabilir. Doğal ya da endüstri atığı reçineler, yağlar, bitümlü katkılar, elektrolitler ve bazı kimyasallar kohezyonlu toprakların içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirler.

Sıvı ya da katı yağların kullanımı geleneksel yöntemde suyun etkilerinden korunmak için en yaygın çözüm olmuştur. Hatta genellikle hidrasyon

aşamasındaki sönmemiş kireç ile kullanıldıkları bilinmektedir [44, 45] Bunu uygulamak için iki farklı yöntem bulunmaktadır:

1. Sıvı veya katı yağları yeterli miktarda su ekleyerek kireç ile karıştırmak ve sonra bu karışımı toprağa eklemek [44, 45]
2. Sıvı veya katı yağ, toprak, yeterli miktarda su ve kirecin aynı anda karıştırılması [40, 41]

Kireç ve yağın bir arada kullanımı ilk olarak M.Ö. 1. Yüzyıl'da Vitruvius tarafından belirtilmiştir: "Daha sonra derzler sönmemiş kireç ve yağ karışımı ile kaplanmaktadır." [46]. 16.Yüzyıl'da, Azor Adalarında ve Brezilya'da "gala-gala" (aydınlatma için kullanılan balina yağı) ile kireç karıştırılarak binaların sudan korunması amacıyla kullanılmıştır [38, 39]. Teixeira ve Belem 1998 yılındaki yayınlarında bu yöntemin Araplar tarafından taşındığını, kökenlerinin ise muhtemelen Çin veya Hindistan'dan geldiğini; Fas, Tunus ve Cezayir'de ise halen uygulandığını söylemektedirler [39]. Ayrıca, literatür araştırmaları sırasında Lizbon-Portekiz'deki geleneksel yöntemle yapılan sıkıştırılmış toprak yapıların duvarlarını stabilize etmek için de sıvı veya katı yağlarla karıştırılmış sönmemiş kirecin sıcak hidratasyonu kullanıldığı görülmüştür [101].

Yağ katkının sıkıştırılmış toprak, çamur harç ve kireç harcının stabilizasyonunu sağlamak için kullanıldığı çalışmalar araştırıldığında ilk olarak 2002 ve 2005 yıllarında Sa'nın yaptığı çalışmalarla karşılaşılmıştır. Bu çalışmalarda taş duvarlar için üretilen kireç harcının içerisine filtrenmemiş zeytinyağı eklenmiş; su geçirimsizliğin ve kılcallığın azaldığı görülmüştür [102, 103]. Minke'in 2006 ve 2007 yılındaki çalışmalarında iki kere kaynatılmış keten tohumu yağı, hayvan tutkalı, az yağlı beyaz peynir-limon, parafin, parafin-petrol ve zemin cilası katkı olarak kullanılmıştır. Yüzey erozyonuna ve su geçirimsizliğine karşı en iyi sonucu keten tohumu yağının (%6) sağladığı ancak yapının buhar geçirimsizliğini büyük ölçüde azalttığı belirtilmektedir [42, 43]. Daha sonra farklı araştırmalarda da keten tohumu yağı katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kireç harçlarında kireç ağırlığının %1 i kadar keten tohumu yağı kullanıldığında su emiliminde azalma ve mekanik mukavemette hafif bir artış gözlemlenmiştir. %5 keten tohumu yağı içeren kireç harçlarının kılcal yolla su emmesi ise neredeyse sıfırdır [44]. Nunes ve Slizkova'nın

2014 ve 2016 yıllarındaki çalışmalarında ise [104, 108], keten tohumunun kireç harçlarının donma-çözülme dayanımını arttırdığı belirtilmektedir. Eires ve diğerlerinin 2016 yılındaki yayınında ise sodyum hidroksit (NaOH), çimento, sönmüş kireç, hidrolik kireç ve kullanılmış soya fasulyesi yağı katkı malzemesi olarak seçilmiştir [46]. Hidrolik kireç ve çimento katkısında kılcal su emmede artış görülürken, sönmüş kireç ve sodyum hidroksit su emmede azalmaya neden olmuştur. Ancak kullanılmış soya fasulyesi yağı kullanıldığında kılcal su emme değeri neredeyse sıfırdır. Sodyum hidroksit ve yapın birarada kullanımının da sıfıra yakın bir değer sağladığı belirtilmektedir. Lin ve diğ.'nin 2021 yılındaki yayınında tung yağının (Çin yağı) toprak malzemenin sıkıştırılma, basınç dayanımı ve su geçirimsizlik özelliklerini arttırdığı ifade edilmektedir [47]. Kirece topraklı veya topraksız sıvı veya katı yağlar eklendiğinde, yağların triasilgliserol içeriği hidratlanmakta böylece yağ asitlerinin kalsiyum tuzları çözünmez hale gelmektedir. Bu tuzlar hidrofobiktir ve kirecin kalsiyumu ile kuvvetli bağlar kurmaktadır. Dolayısıyla sonuç olarak yağ katkıları toprak malzemenin suya dayanımını ve su geçirimsizliğini arttırmaktadır [44].

4.2.3 Yapı Toprağına Katılan Bitüm Katkı

Bitüm katkı ile stabilizasyon sağlama yönteminin ise ilk olarak Asurlular tarafından uygulandığı bilinmektedir. Kullanımı günümüzde çok sınırlı olmakla beraber konu ile ilgili bazı çalışmalarda araştırıldıkları görülmektedir. Bitüm katkıları, ince ve iri taneleri ile toprağın iç bağlantılarını güçlendirir, kapiler borucukları tıkar, boşlukları doldururlar. Bu sayede malzemenin bünyesine su girmesi engellenebilir. Ancak bitüm kullanıldığında homojen bir karışım elde etmek zordur. Yapılan çalışmalarda karıştırmayı kolaylaştırmak için az miktarda kireç, çimento vb. katkıları eklendiği görülmektedir [30].

4.2.4 Yapı Toprağına Katılan Elektrolitler

Kalsiyum klorür, sodyum klorür, demir klorür, sodyum silikat gibi elektrolitler de toprağa katıldıklarında kil tanelerinin yüzeylerine tutunmuş iyonlarla yer değiştirerek kil tanelerinin birbirine yaklaşmasını, sıkışmasını, kitlenin yoğunlaşmasını sağlarlar. Bu sayede suyun bünyeye girmesini zorlaştırırlar. Böylece, su etkisiyle oluşan bozulmaların önüne geçilebilir. Ancak elektrolitler

genellikle suda çözünürler. Bu nedenle yapılan uygulamanın belirli periyotlarla tekrarlanması gerekebilmektedir.

Toprak malzemelerde suyun uzaklaştırılabilmesi ve geçirimsiz bir yüzey oluşturulabilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de hidrofobik özelliği olan malzemelerin yapı tamamlandıktan sonra yüzeye uygulanmasıdır. Hidrofobik maddeler cisimler suyla temas ettiklerinde ıslanmalarını engellerler. Bu yöntem sayesinde suyun bünyeye girmeden yüzeyde kayması sağlanabilmektedir. Sentetik reçineler bu amaçla kullanılmaktadırlar. Yapılan araştırmalarda hidrofobik yüzey oluşturmak için yapılan karışımlarda bentonitlerin de kullanılabileceğini göstermektedir [30].



DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

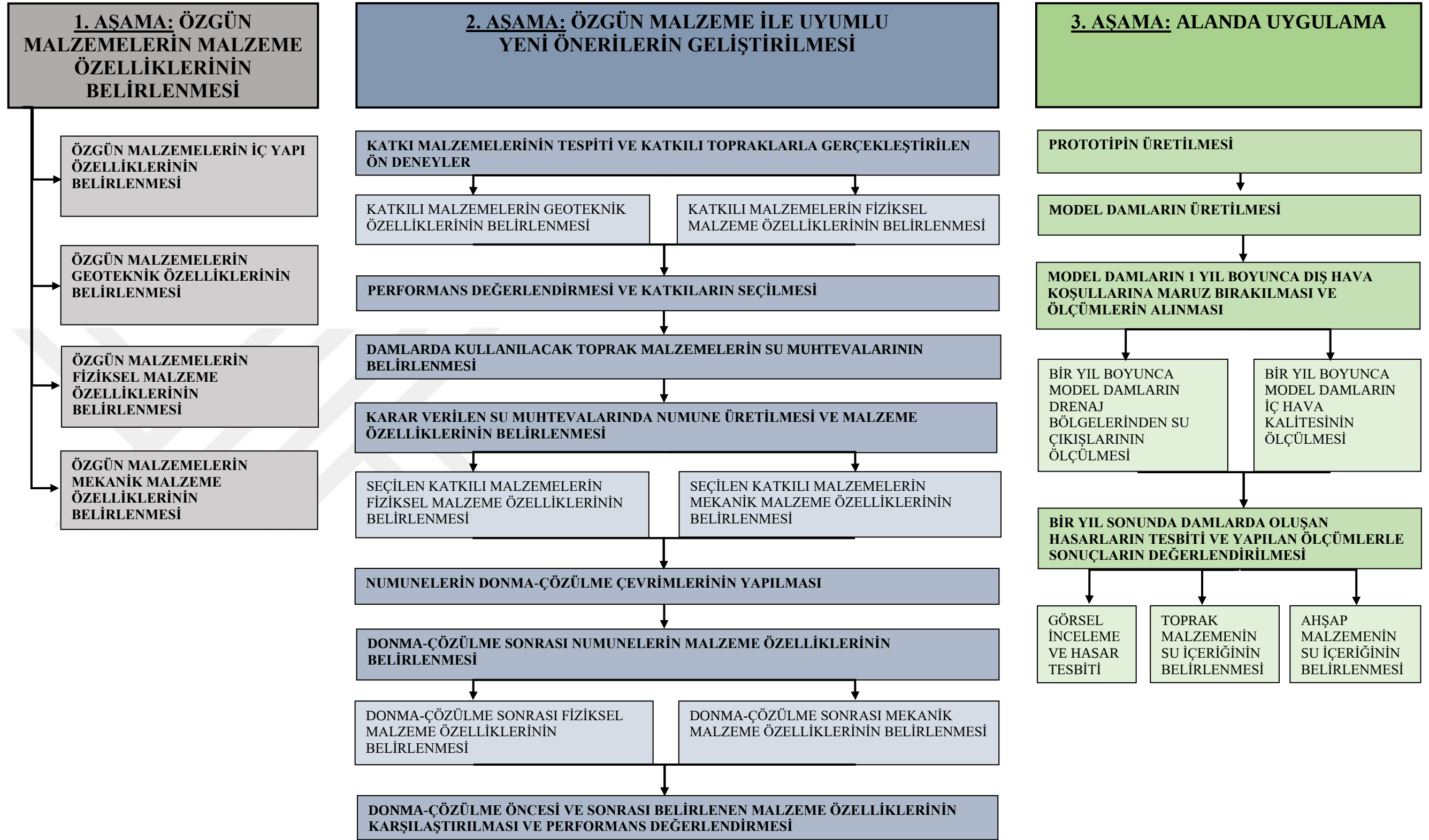
Ulusal ve uluslararası koruma ve onarım ilkeleri göz önünde bulundurularak Kemaliye geleneksel konutlarının özgün düz toprak damlarının korunmasını amacıyla bakım-onarım ihtiyacını azaltan çözüm tekniklerinin geliştirilmesi için laboratuvar ortamında ve alanda deneysel çalışmalar ve model uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında Erzincan ili Kemaliye ilçesinde bulunan özgün düz toprak damların su geçirimsizliğinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Deneysel çalışma özgün malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi, özgün malzeme ile uyumlu, özgün mimari görünümü ve tekniği koruyan yeni önerilerin geliştirilmesi ve alanda uygulama olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1- Şekil 5.4)

Araştırmanın ilk aşamasında özgün damların içerdiği yaškuru toprağı, gıcvin toprağı ve rıhtım taşı tez kapsamında araştırılmış, malzeme özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen malzeme özellikleri iç yapı özellikleri, geoteknik özellikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri başlıkları altında incelenmiştir (Şekil 5.2).

Araştırmanın ikinci aşaması laboratuvar ortamında gerçekleştirilen özgün malzeme ile uyumlu yeni önerilerin geliştirilmesini içermektedir (Şekil 5.3). Tez kapsamında kullanılacak katkı malzemeleri literatür araştırmaları ile belirlenmiş, katkılı malzemelerle numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin geoteknik özellikleri ile taze, kısa ve uzun vadeli (28. ve 365. günde) fiziksel malzeme özellikleri incelenmiş; deneysel verilere bağılı kalınarak en iyi performansı gösteren iki katkı malzemesi seçilmiştir.

Ardından dam üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve katkı malzemelerinin uygulanabilir olması için damlarda kullanılabilecek toprak malzemelerin içermeleri gereken su muhtevaları belirlenmiştir.



Şekil 5.1 Çalışma Adımları

1. AŞAMA: ÖZGÜN MALZEMELERİN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZGÜN MALZEMELERİN İÇ YAPI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

- XRF (X Işınları Floresans Spektrometresi)
- XRD (X Işını Difraktometresi)
- Petrografik Analiz

ÖZGÜN MALZEMELERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

- Granülometri ve Hidrometre Analizi (TS 1900-1)
- Dane Birim Hacim Ağırlık (TS 1900-1)
- Kıvam Limitleri (TS 1900-1)

ÖZGÜN MALZEMELERİN FİZİKSEL MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

- Numune Üretilmesi (TS EN 1015-2 ve Yerel Yapı Ustası Mustafa Malkoç)
- Taze Haldeki Kıvam ve Boşluklu Birim Ağırlık (TS EN 1015-3, TS EN 1015-6, TS EN 196-3)
- Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık (TS EN 1015-10 ve TS EN 196-3)
- Komposite- Porozite ve Ağırlıkça- Hacimce Su Emme
- Kılcal Su Emme (Kapilarite) (TS EN 1015-18 ve TS EN 15801)
- Suda Çözünme (Tez Kapsamında Tasarlanmıştır)

ÖZGÜN MALZEMELERİN MEKANİK MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

- Basınç Dayanımı (TS EN 1015-11)
- Eğilme- Çekme Dayanımı (TS EN 1015-11)

Şekil 5.2 Çalışma Adımları (1. Aşama)

2. AŞAMA: ÖZGÜN MALZEME İLE UYUMLU YENİ ÖNERİLERİN GELİŞTİRİLMESİ

KATKILI MALZEMELERİN TESPİTİ VE KATKILI TOPRAKLARLA GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖN DENEYLER

1. KATKILI MALZEMELERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Granülometri ve Hidrometre Analizi (TS 1900-1)
 - Dane Birim Hacim Ağırlık (TS 1900-1)
 - Kıvam Limitleri (TS 1900-1)
2. KATKILI MALZEMELERİN FİZİKSEL MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Numune Üretilmesi (TS EN 1015-2)
 - Taze Haldeki Kıvam ve Boşluklu Birim Ağırlık (TS EN 1015-3, TS EN 1015-6)
 - Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık (TS EN 1015-10 ve TS EN 196-3)
 - Kompasite- Porozite ve Ağırlıkça- Hacimce Su Emme
 - Kılcal Su Emme (Kapilarite) (TS EN 1015-18 ve TS EN 15801)
 - Suda Çözünme (Deney Düzenegi Tez Kapsamında Tasarlanmıştır)

PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE KATKILARIN SEÇİLMESİ

DAMLARDA KULLANILACAK TOPRAK MALZEMELERİN SU MUHTEVALARININ BELİRLENMESİ

- Vicat Kıvam Deneyi (Yerel Yapı Ustası Mustafa Malkoç ve TS EN 196-3)

KARAR VERİLEN SU MUHTEVALARINDA NUMUNE ÜRETİLMESİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

1. KATKILI MALZEMELERİN FİZİKSEL MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Numune Üretilmesi (TS EN 1015-2 ve Yerel Yapı Ustası Mustafa Malkoç)
 - Taze Haldeki Kıvam ve Boşluklu Birim Ağırlık (TS EN 1015-3, TS EN 1015-6, TS EN 196-3)
 - Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık (TS EN 1015-10 ve TS EN 196-3)
 - Kompasite- Porozite ve Ağırlıkça- Hacimce Su Emme
 - Kılcal Su Emme (Kapilarite) (TS EN 1015-18 ve TS EN 15801)
 - Suda Çözünme (Deney Düzenegi Tez Kapsamında Tasarlanmıştır)
2. KATKILI MALZEMELERİN MEKANİK MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Basınç Dayanımı (TS EN 1015-11)
 - Eğilme- Çekme Dayanımı (TS EN 1015-11)

NUMUNELERİN DONMA-ÇÖZÜLME ÇEVİRİMLERİNİN YAPILMASI

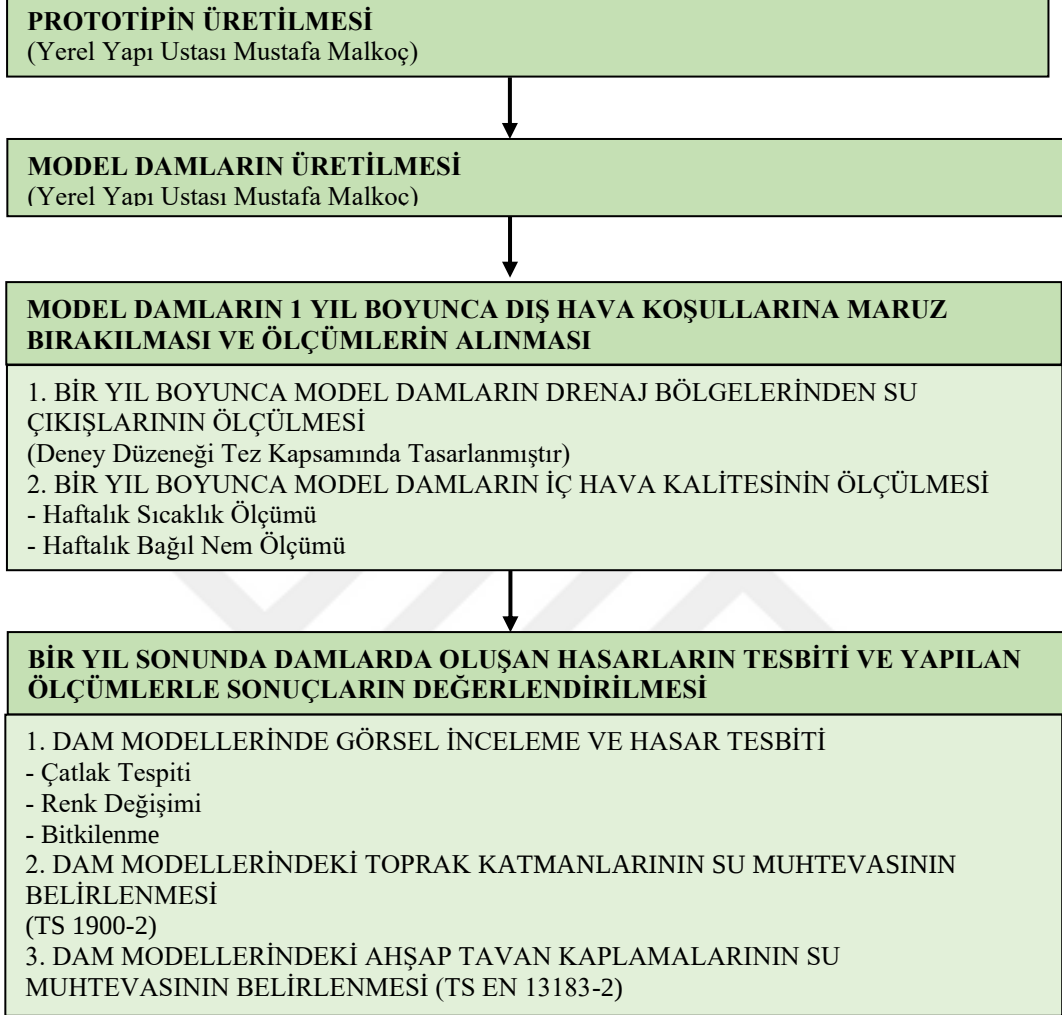
DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI NUMUNELERİN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

1. DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI FİZİKSEL MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık (TS EN 1015-10 ve TS EN 196-3)
 - Kompasite- Porozite ve Ağırlıkça- Hacimce Su Emme
 - Kılcal Su Emme (Kapilarite) (TS EN 1015-18 ve TS EN 15801)
 - Suda Çözünme (Deney Düzenegi Tez Kapsamında Tasarlanmıştır)
2. DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI MEKANİK MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
 - Basınç Dayanımı (TS EN 1015-11)
 - Eğilme- Çekme Dayanımı (TS EN 1015-11)

DONMA-ÇÖZÜLME ÖNCESİ VE SONRASI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Şekil 5.3 Çalışma Adımları (2. Aşama)

3. AŞAMA: ALANDA UYGULAMA



Şekil 5.4 Çalışma Adımları (3. Aşama)

Damlarda kullanılabilecek katkılı ve katkısız toprak malzemelerin içermeleri gereken su muhtevaları belirlendikten sonra, karar verilen su muhtevalarında özgün ve seçilen katkı malzemeleri ile laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere yeni numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin taze ve 28. günde fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri belirlenmiştir.

Daha sonra numuneler önce neme doyurularak, ardından suya doyurularak donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmışlardır. Sırasıyla neme doyurulmuş

numunelerin ardından da neme ve suya doyurulmuş numunelerin donma-çözülme sonrası fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri belirlenmiş, donma-çözülme öncesi verilerle karşılaştırılmış; sonuçlar değerlendirilmiştir.

Araştırmanın üçüncü aşaması ise prototipin ve dam modellerinin üretilmesi, model damların 1 yıl boyunca dış hava koşullarına maruz bırakılması ve iç hava koşulları ile drenaj bölgelerinden su çıkışlarının ölçülmesi ile 1 yıl sonunda toprak ve ahşap malzemelerin su muhtevalarının belirlenmesi ve model damlarda oluşan hasarların tespitini içermektedir (Şekil 5.4).

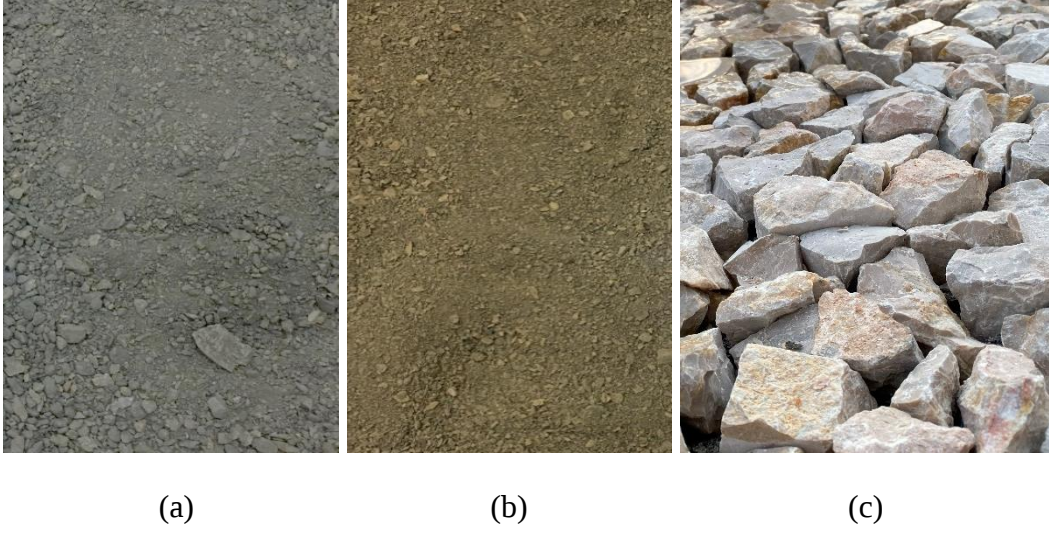
Son olarak tüm veriler değerlendirilip, Kemaliye evlerinin özgün düz toprak damlarının bakım sıklığını azaltmak için geliştirilmiş yeni bir katkılı düz toprak dam katman önerisi getirilmektedir.

Tezin beşinci bölümü birinci ve ikinci aşamalar olan laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyleri kapsamaktadır.

5.1 Özgün Malzemelerin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez kapsamında Erzincan ili Kemaliye ilçesinde bulunan özgün düz toprak damların su geçirimsizliğinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Özgün damların içerdiği yaškuru toprağı, gavcin toprağı ve rıhtım taşı tez kapsamında araştırılmış, malzeme özellikleri belirlenmiştir (Şekil 5.5). Belirlenen malzeme özellikleri iç yapı özellikleri, geoteknik özellikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri başlıkları altında incelenmiştir.

Gavcin toprağı genellikle belirli yerlerden (Sandıkbağı Mahallesiindeki mağara önü, Toybelen Köyü, Sırakonak köyünde Kiliğın Mağarası, vb.) edinilmekte ve toprak türü olarak çeşitlilik göstermemekte ancak yaškuru toprağı için farklı toprak çeşitleri kullanılabilir. Tez kapsamında kullanılan gavcin toprağı Şekil 5.6’da gösterildiğı gibi Prof. Dr. Ali Demirsoy Doğa Tarihi Müzesi’nin Fırat’a göre karşı tarafında Yaka Köyü yolu üzerinde gerçekleştirilen tünel inşaatından temin edilmiştir.



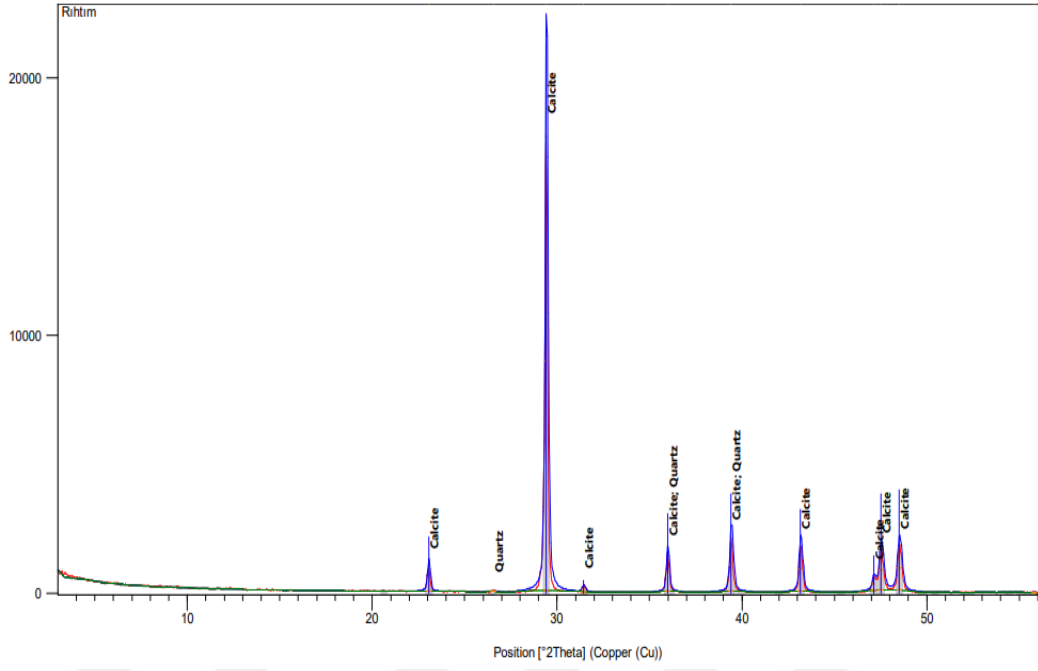
Şekil 5.5 a) Gavcin toprağı, b) Yaşkuru toprağı, c) Rıhtım taşı



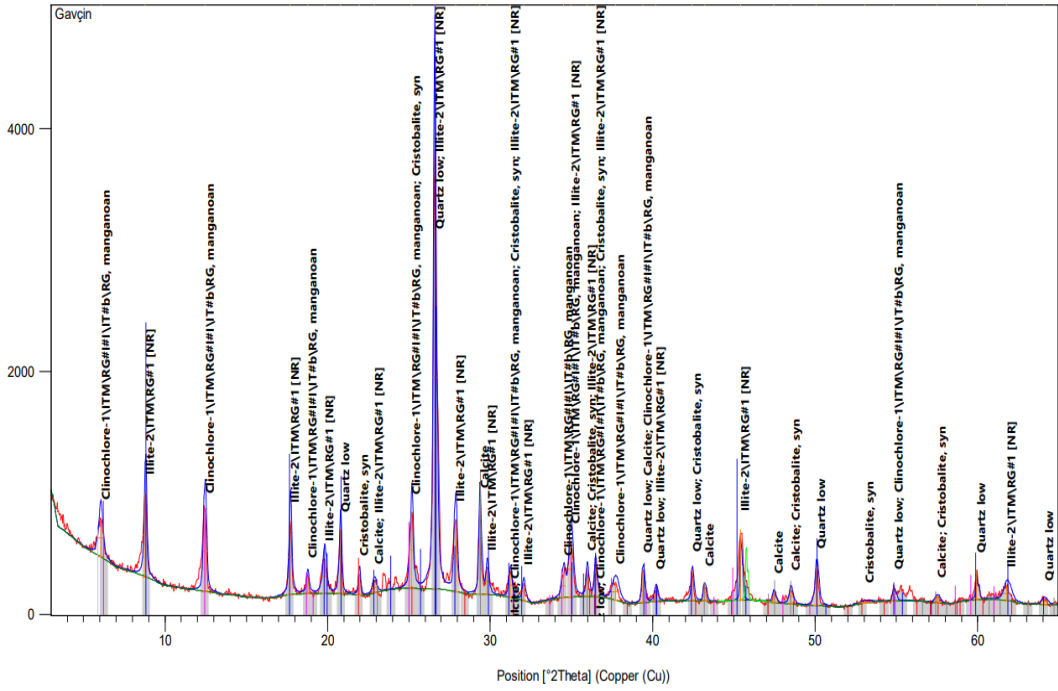
Şekil 5.6 Tez kapsamında kullanılan gavcin toprağının çıkarıldığı yerin konumu

5.1.1 Özgün Malzemelerin İç Yapı Özelliklerinin Belirlenmesi

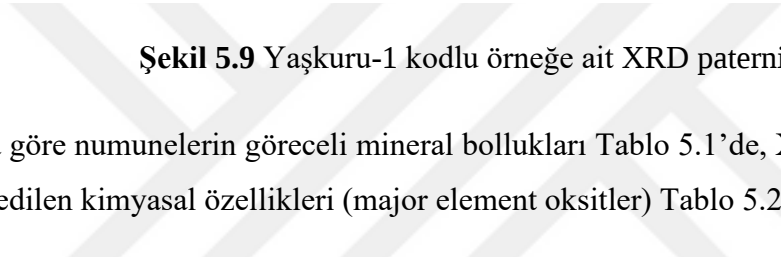
Eylül 2019'da İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesinde; gavcin, yaşkuru ve rıhtım taşı örneklerinin kimyasal, mineralojik (XRF ve XRD) ve petrografik analizi gerçekleştirilmiştir. Rıhtım, gavcin ve yaşkuru-1 kodlu örneklerin XRD paternleri sırasıyla Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.7 Rıhtım kodlu örneğe ait XRD paterni



Şekil 5.8 Gavcin kodlu örneğe ait XRD paterni



Şekil 5.9 Yaşkuru-1 kodlu örneğe ait XRD paterni

Buna göre numunelerin göreceli mineral bollukları Tablo 5.1’de, XRF yöntemi ile elde edilen kimyasal özellikleri (major element oksitler) Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Toz örneklerde bulunan minerallerin göreceli mineral bollukları

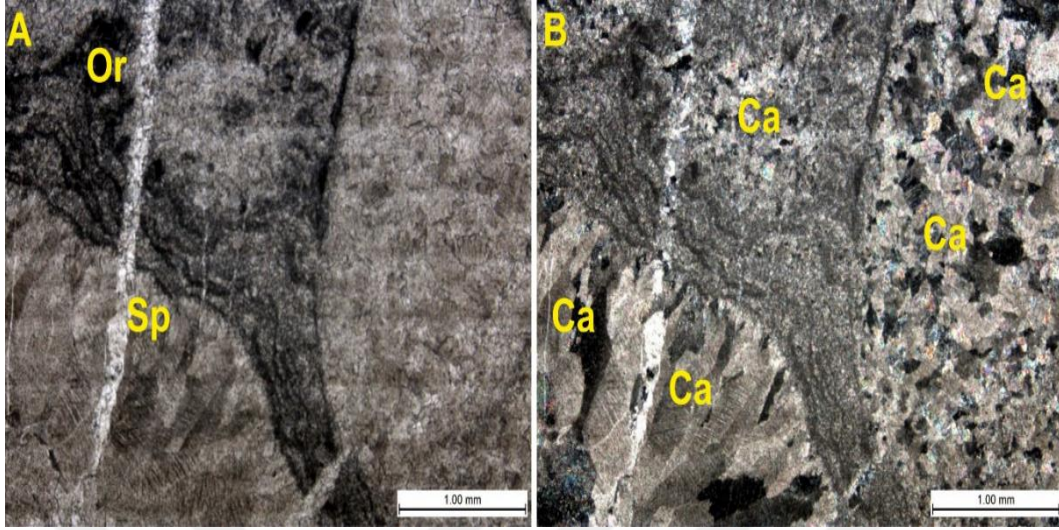
Örnek Kodu	Göreceli Mineral Bolluğu (çoktan aza doğru)
Gavcin	Kalsit, ilit, klorit, kuvars
Yaşkuru	Montmorillonit, kalsit, ilit, kaolinit, kuvars
Rıhıtm	Kalsit, kuvars

Tablo 5.2 Numunelerin XRF yöntemi ile elde edilen kimyasal özellikleri

Element Oksit	Örnek Kodu		
	Gavcin	Yaşkuru	Rıhtım
SiO2	48,34	45,6	0,97
TiO2	1,03	1,04	0,00
Al2O3	23,02	14,36	0,59
Fe2O3	2,09	6,77	0,08
MgO	2,55	2,19	0,34
MnO	0,04	0,08	0,00
CaO	7,02	13,53	54,23
Na2O	0,98	0,14	0,00
K2O	5,02	3,67	0,04
P2O5	0,15	0,12	0,04
SO3	0,04	0,03	0,03
LOI*	9,59	12,33	43,64
TOPLAM	99,87	99,86	99,96

*LOI: Loss on ignition – Ateşte kızdırma kaybı

Rıhtım kodlu örnekten hazırlanan ince kesit ile de bu örneğe ait petrografik özellikler belirlenmiştir. Örneğe ait ince kesit görüntüsü Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 Rıhtım kodlu örneğe ait petrografik ince kesit görüntüsü

Elde edilen verilere göre Rıhtım kodlu örneğin nadiren kuvarslı kum taneleri ve çok az kil içeren bir kireçtaşı olduğu belirtilmektedir. Gavcin örneğinde çoklukla kalsit görülmüş; beraberinde illit ve klorit gibi levha silikat ve kil minerallerinin de dikkat çekici olduğu belirtilmiştir. Yaşkuru örneğinde ise genellikle kil mineralleri ve daha az olarak kalsit ve kuvars bulunduğu belirtilmektedir.

5.1.2 Özgün Malzemelerin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi

Özgün malzemelerin (gavcin ve yaşkuru toprakları) geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle gronülo metre ve hidrometre analizi yapılarak zemin sınıfı tanımlanmış, ardından kıvam limitleri (likit limit, plastik limit ve plastisite indisi) ve dane birim hacim ağırlıkları Yıldız Teknik Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü geoteknik laboratuvarında belirlenmiştir.

5.1.2.1 Özgün Malzemelerin Granülo metri ve Hidrometre Analizi

Öncelikle özgün damlarda uygulaması yapıldığı gibi 8mm delik çapındaki elekten elenen numunelerin TS 1900-1 standardına uygun olarak granülo metri ve hidrometre analizi yapılmış; toprak malzemelerin zemin sınıfları tanımlanmıştır. Çalışmada tek tip gavcin toprağı kullanılırken, yaşkuru için alandan temin edilen 2 tip toprak kullanılmıştır (Şekil 5.11).



(a)



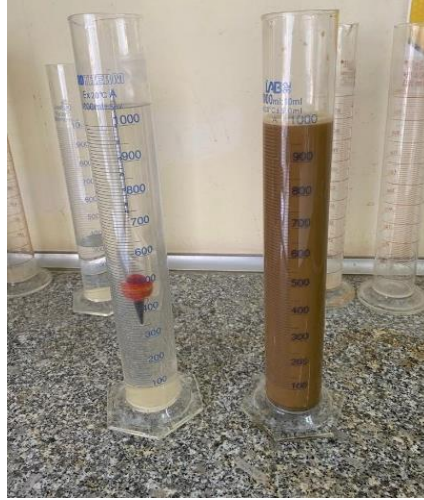
(b)



(c)

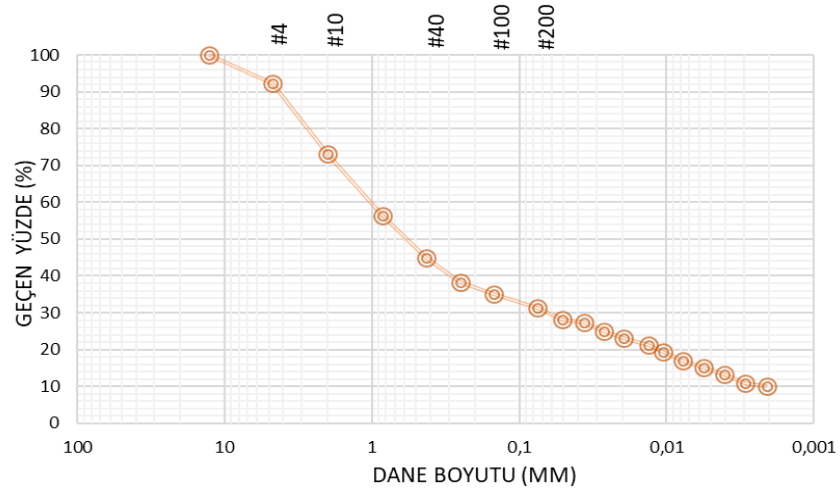


(d)

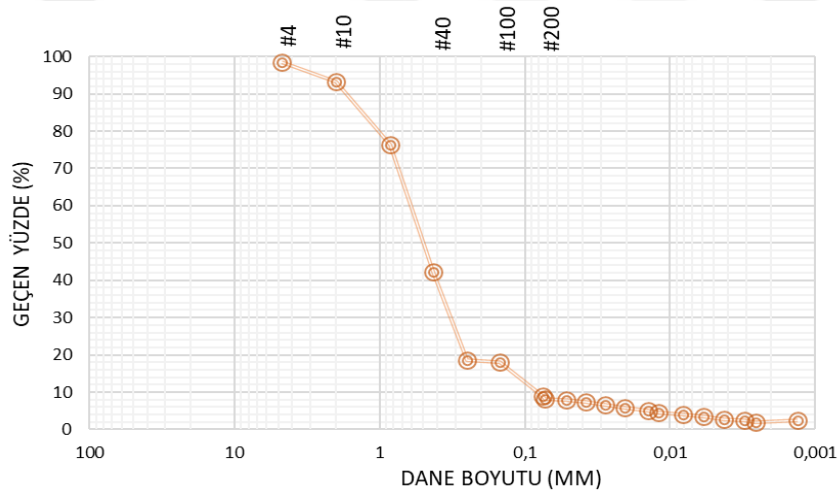


(e)

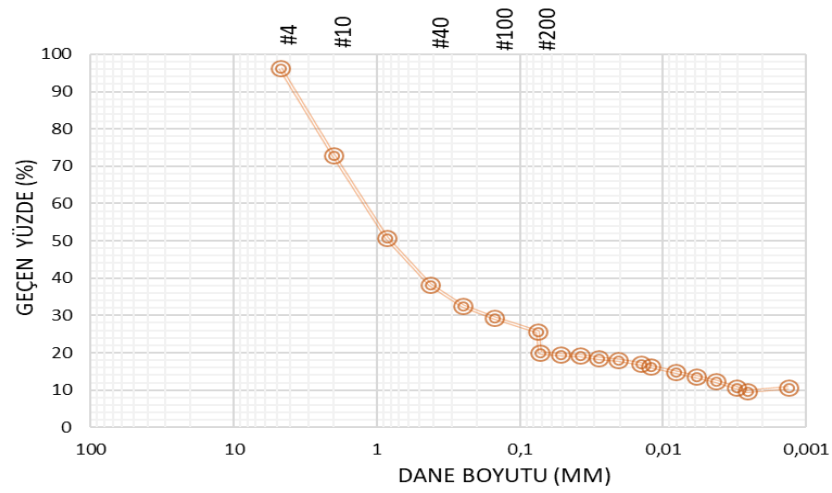
Şekil 5.11 a) Toprağın yıkanarak elenmesi b) 50 g numune c) 200 numaralı elekten geçen ve etüvden çıkan numune d) Numunenin mikserde karıştırılması, e) Ölçüm kabındaki numune



Şekil 5.12 Gavcin toprağının dane çapı dağılımı



Şekil 5.13 Yaşkuru-1 toprağının dane çapı dağılımı



Şekil 5.14 Yaşkuru-2 toprağının dane çapı dağılımı

Kuru eleme yöntemi sonrası elek analizi değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Kuru eleme yöntemi sonrası elek analizi sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEK NO	Yaşkuru-1		Yaşkuru-2		Gavcin	
		EG(g)	EG(%)	EG(g)	EG(%)	EG(g)	EG(%)
8,000		403,6	100,000	400,2	100,000	500	100,000
4,750	4	397	98,365	381,45	95,315	461,8	92,360
2,000	10	376,2	93,211	264,7	66,141	366,2	73,240
0,850	20	307,8	76,264	154,88	38,701	281,8	56,360
0,425	40	171	42,369	91,82	22,944	224,2	44,840
0,250	60	75	18,583	62,61	15,645	191,8	38,360
0,150	100	73	18,087	46,95	11,732	175,8	35,160
0,075	200	36	8,920	28,95	7,234	156,2	31,240

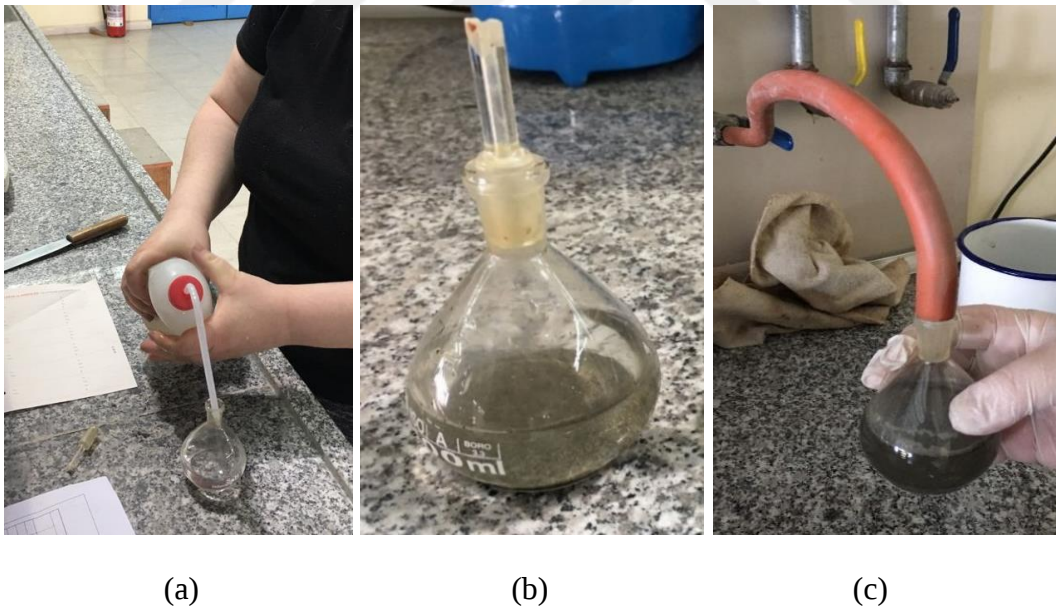
EG(g): Elek analizi sonrasında elekten geçen malzeme miktarı

EG(%): Elek analizi sonrasında elekten geçen malzeme yüzdesi

5.1.2.2 Özgün Malzemelerin Dane Birim Hacim Ağırlıkları

Özgün malzemelerin dane birim hacim ağırlıklarının belirlenebilmesi için ince daneli zeminlerde uygulanan dane birim hacim ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.15).

Buna göre özgün malzemenin dane birim hacim ağırlıkları tablo 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.15 a) Piknometreye su doldurulması b) Piknometreye eklenmiş numune ve su, c) Numunenin vakum pompasına bağlanması (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı, 2021)

Tablo 5.4 Özgün malzemelerin dane birim hacim ağırlık değerleri

Numune Kodu	Yaşkuru-1	Yaşkuru-2	Gavcin
Dane Birim Hacim Ağırlık γ (kN/m ³)	26,8	27	27,5

5.1.2.3 Özgün Malzemelerin Kıvam Limitleri

Özgün malzemelerin kıvam limitlerini belirlemek için likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri belirlenmiştir. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri casagrande cihazı kullanılarak; TS 1900-1 standardına [88] uygun olarak bulunmuştur (Şekil 5.16, 5.17)..

Özgün malzemeler için hesaplanan kıvam limit değerleri Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Özgün malzemelerin kıvam limitleri

Numune Kodu	Yaşkuru-1	Yaşkuru-2	Gavcin
Likit Limit (WL) %	-	29,6	26,6
Plastik Limit (Wp) %	-	22,6	20,9
Plastisite İndisi (Ip) %	-	7	5,7

- Ölçüm alınamamıştır

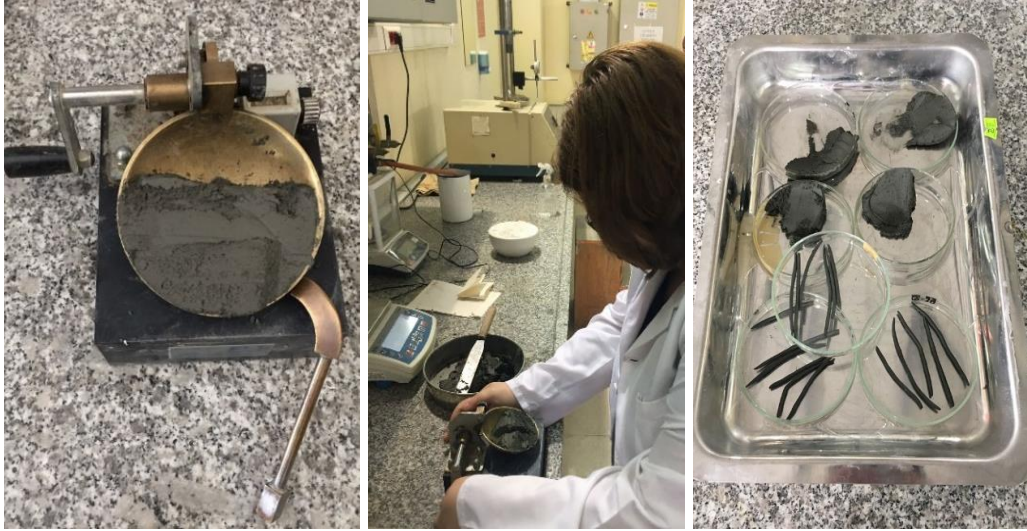


(a)

(b)

(c)

Şekil 5.16 a) Numunenin 40 nolu elekten elenmesi, b) Elenmiş zemin ve katkı malzemeleri, c) Palet bıçağı ile karıştırılan numune (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı,2021)



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.17 a) Casagrande cihazına yerleştirilmiş numune ve oluk açma bıçağı
b) Krank kolunun çevrilmesi c) Likit limit ve plastik limit ölçümleri için etüve girmek üzere hazırlanan numuneler (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı, 2021)

Tüm malzemelerle gerçekleştirilen kıvam limit deneyleri için çizilen grafikler EK-A'da verilmiştir.

5.1.3 Özgün Malzemelerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında özgün malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için taze haldeki kıvamı, taze haldeki boşluklu birim hacim ağırlığı, vicad cihazı ile kıvam ve priz süreleri tayini, sertleşmiş haldeki özgül ağırlıkları, birim hacim ağırlıkları, komposite-porozite özellikleri, ağırlıkça ve hacimce su emme özellikleri, kılcal su emme (kapilarite) özellikleri, suda çözünme ve donma-çözülme etkileri incelenmiştir. Tez kapsamında dam kesitinde iyileştirmesinin yalnızca en üst toprak katmanı ile sınırlandırılması nedeniyle özgün malzeme olarak bu aşamadan sonra yalnızca gavcin toprağı kullanılmıştır.

5.1.3.1 Özgün Malzemeyle Numune Üretilmesi ve Yapılan Taze Haldeki Deneyler

Özgün toprak malzeme (gavcin) ile üretilen numunelerin üretiminde kullanılacak su miktarını belirlemek için bir standard bulunmadığından TS EN 1015-2'de [109] yer alan kriterler göz önüne alınmış; buna göre üretilen numunelerin TS EN 1015-

6 [93] ve TS EN 1015-2'ye [109] göre belirlenen boşluklu birim ağırlığının 1200 kg/m³ 'ten büyük olduğu ve hedef yayılma çapının 175±10 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Özgün malzeme ile üretilen numunede TS EN 1015-2 [109] standardına uygun yayılma miktarı (175±10 mm) göz önünde bulundurularak su muhtevası %29 olarak belirlenmiştir.

Tez kapsamında, TS-EN 1015-2 [109] standardına ek olarak belirlenen su muhtevasının yanı sıra Kemaliye Evleri'nin özgün damlarında toprakların serilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve üzerlerine rıhtım taşlarının çakılabilmesi için uygun olan su muhtevası da göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile damların üretilmesi için uygun su muhtevaları belirlenmiştir (Bakınız bölüm 5.3.1). Buna göre %17 ve %22 su muhtevalarında da özgün numuneler üretilmiştir. Numuneler su muhtevaları göz önünde bulundurularak Tablo 5.6'daki gibi kodlandırılmıştır.

Tablo 5.6 Taze Haldeki Deneylerde Kullanılan Özgün Malzemelerin Kodlanması

Numune Kodu	Açıklama
G1%29	%29 su muhtevalı gavcin toprağı
G1%22	%22 su muhtevalı gavcin toprağı
G1%17	%17 su muhtevalı gavcin toprağı



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.18 a) Üretimde kullanılan karıştırıcı, b) İlk tabakanın kalıplara yerleştirilmesi, c) İkinci tabakanın sarsma tablası üzerinde kalıplara yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

Numunelerin karıştırılması sırasında ise, 8mm delik çapında elekten elenmiş bağlayıcı (gavcin toprağı) ve su 60 saniye düşük hızda (62 r.p.m.) karıştırılmış; ardından 30 saniye yüksek hızda (125 r.p.m.) karıştırılarak numuneler üretilmiştir (Şekil 5.18-a).

Üretilen numuneler, 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara, her tabakada sarsma tablasında sarsılarak 2 tabaka halinde yerleştirilmiştir (5.18-b,c). Buna göre sertleşmiş haldeki deneyler için 18 adet %29 su muhtevasında, 18 adet %22 su muhtevasında, 18 adet de %17 su muhtevasında olmak üzere 54 adet özgün numune üretilmiştir.

Tez kapsamında özgün malzemeyle TS EN 1015-3 [91] ve TS EN 1015-6 standartlarına [93] uygun olarak taze haldeki kıvam ve boşluklu birim ağırlık deneyleri yapılmıştır (Şekil 5.19). Buna göre özgün malzemenin taze haldeki fiziksel özellikleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Özgün Malzemenin Taze Haldeki Özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Yayılma Çapı (mm)	Boşluklu Birim Ağırlık (kg/m ³)
G1%29	175	2114
G1%22	150	2150
G1%17	125	2234



(a)



(b)

Şekil 5.19 a) Yayılma deneyi – numunenin tokmaklanması, b) Yayılma deneyi – yayılma miktarının ölçülmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı,2021)

Araştırma kapsamında ayrıca özgül malzemenin vicat cihazında kıvam tayini gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.20).



(a)

(b)

Şekil 5.20 a,b) Vicat kıvam ve priz süresi tayin cihazı (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

Kıvam tayini için yerel yapı ustası ile belirlenen %17 ve %22 su muhtevalarındaki özgül numunelerin kıvam değerleri sırasıyla 1. saat, 2. saat, 1. gün, 2. gün, 3. gün ve 4. gün yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Farklı su muhtevalarındaki özgül numunelerin kıvam ölçümü Tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.8 Özgül malzemenin kıvam ölçümü

Numune Kodu	Kıvam ölçümü (mm)					
	Üretim Anında	1. Saat	2. Saat	1. Gün	2. Gün	3. Gün
G1%22	9	15	20	30	38	40
G1%17	30	32	36	38	40	-

 Kıvam aldığı an

5.1.3.2 Özgül Malzemenin Kür Koşulları ve Yapılan Sertleşmiş Haldeki Deneyler

Sertleşmiş haldeki özgül malzemeyle birim hacim ağırlık (β , gr/cm³) özgül ağırlık (γ , g/cm³) (Şekil 5.15), komposite (k, %) - porozite (p, %), ağırlıkça (as, %) – hacimce (hs, %) su emme, kılcal su emme (kapilarite) (Q_i , kg/m²) ve suda çözünme gibi fiziksel deneyler yapılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 5.21 a) Özgöl ağırlık deneyi – numunenin öğütülüp elenmesi, b) Özgöl ağırlık deneyi – Le chetalier şişesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

Tablo 5.6’da gösterildiği üzere özgün malzemeyle %17, %22 ve %29 olmak üzere 3 farklı su muhtevasında üretim yapılmıştır. Bu numuneler kısa ve uzun vadeli fiziksel deneyleri yapılmak üzere küre yerleştirilmiştir. Numuneler 7. gün kalıptan çıkarılmış; 25 ± 5 °C ve 60 ± 5 bağıl nemde kısa vadeli ilk ölçümler için 28 gün; uzun vadeli ikinci ölçümler için ise 365 gün bekletilmiştir.

%17, %22 ve %29 su muhtevalarına sahip numunelerin tümünde 28. gündeki sertleşmiş haldeki fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca %29 su muhtevasına sahip numunelerin 365. gündeki uzun vadeli fiziksel özellikleri de test edilmiştir. %17 ve %22 su muhtevasına sahip numuneler donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış ardından donma-çözünme sonrası fiziksel malzeme özellikleri belirlenmiştir. Tablo 5.9’da numune kodları verilmiştir.

Tablo 5.9 Sertleşmiş Haldeki Deneylerde Kullanılan Özgün Malzemelerin Kodlanması

Numune Kodu	Açıklama
G1%29	%29 su muhtevalı gavcin toprağı 28. gün deneyleri için
G1%29-u	%29 su muhtevalı gavcin toprağı 365. gün deneyleri için
G1%22	%22 su muhtevalı gavcin toprağı 28. gün deneyleri için
G1%22-dc	%22 su muhtevalı gavcin toprağı donma-çözülme sonrası deneyleri için
G1%17	%17 su muhtevalı gavcin toprağı 28. gün deneyleri için
G1%17-dc	%17 su muhtevalı gavcin toprağı donma-çözülme sonrası deneyleri için

Her numune tipinden 3'er tane olmak üzere farklı su muhtevalarında 18 adet özgün numune üretilmiş ve 4x4x16 cm boyutlarında kalıplara yerleştirilmiştir. Numuneler 7. gün kalıptan çıkarılmış 25 ± 5 °C ve $\%60 \pm 5$ bağıl nemde kısa vadeli ilk ölçümler için 28 gün; uzun vadeli ikinci ölçümler için ise 365 gün bekletilmiştir.

Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyinde deney numuneleri öncelikle suya doyurulmaktadır. Ancak özgün malzeme suda çözülmüş, bu nedenle deney numuneleri 20 ± 5 °C ve $\%90 \pm 5$ bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar tutulmuş ve deney neme doyurulmuş numuneler ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.22).



(a)

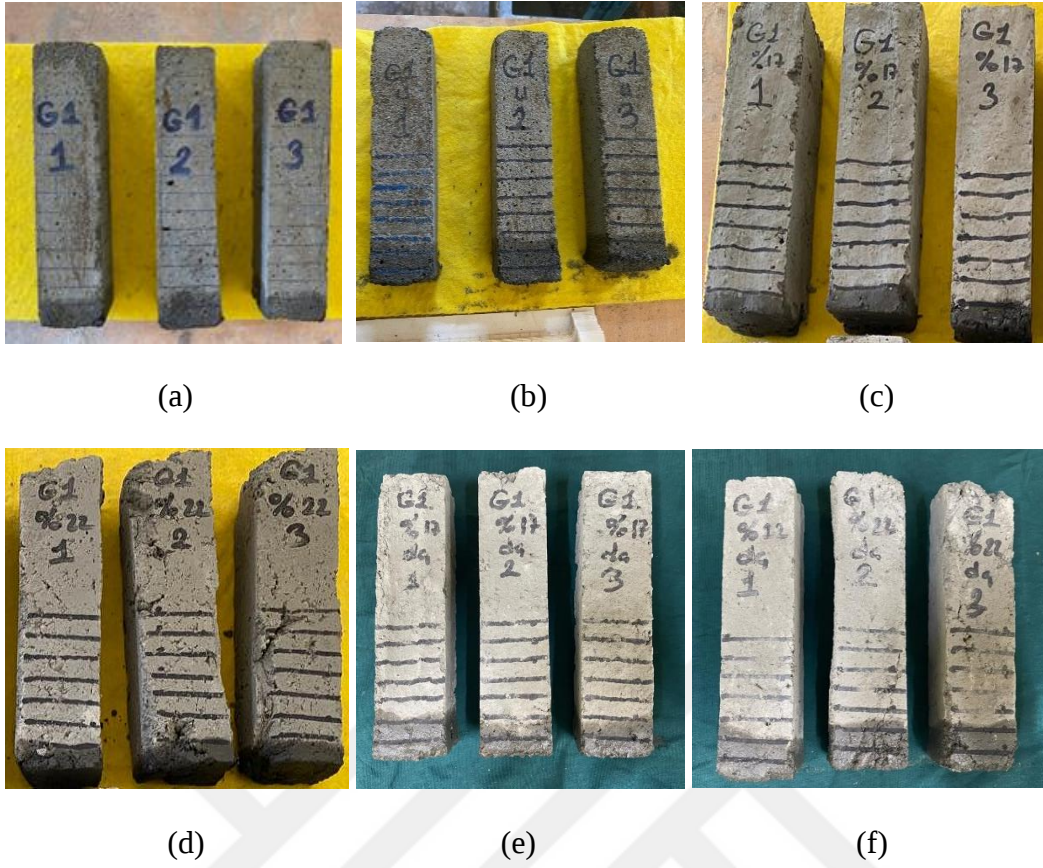
(b)

Şekil 5.22 a) İklimlendirme kabini içerisinde neme doyurulan numuneler, b) İklimlendirme kabini kontrol paneli (YTÜ Geoteknik Laboratuvarı, 2021)

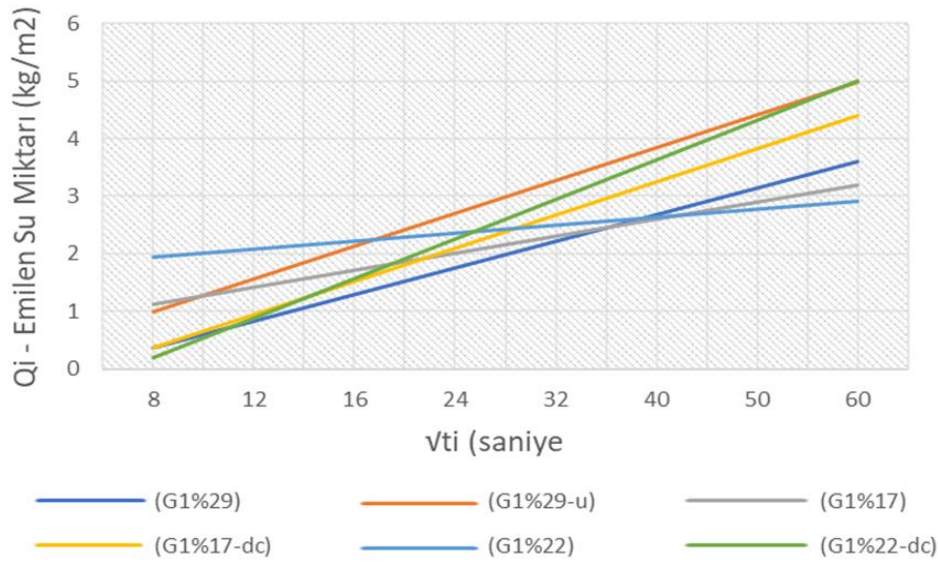
Kılcal su emme deneyi sırasında numuneler üzerine 1 cm ara ile çizgiler çizilerek deney sonucunda suyun yükselme miktarı ölçülmüştür (Şekil 5.23).

Kılcal su emme deneyinin sonucunda kılcallık katsayısını bulmak için $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği çizilerek doğru eğiminden faydalanılmıştır (Şekil 5.24)

Tüm numunelerle gerçekleştirilen kılcal su emme deney verileri ve grafikleri Ek-B'de verilmiştir.



Şekil 5.23 a) Kılcal su emme (kapilarite) deneyi sonucu özgül numunelerde suyun yükselişi a) G1%29, b) G1%29-u, c) G1%17, d) G1%22, e) G1%17-dc, f) G1%22-dc



Şekil 5.24 Kılcal su emme (kapilarite) deneyi sonucu özgül numunelerin $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği

Suda çözünme deneyinde özgül malzeme ile üretilen G1 numunelerinin tüm su muhtevalarında ilk 1 saat içerisinde suda çözündüğü görülmüştür. Özgül malzeme ile farklı su muhtevalarında farklı zamanlarda gerçekleştirilen sertleşmiş haldeki deney sonuçları tablo 5.10’da verilmiştir.

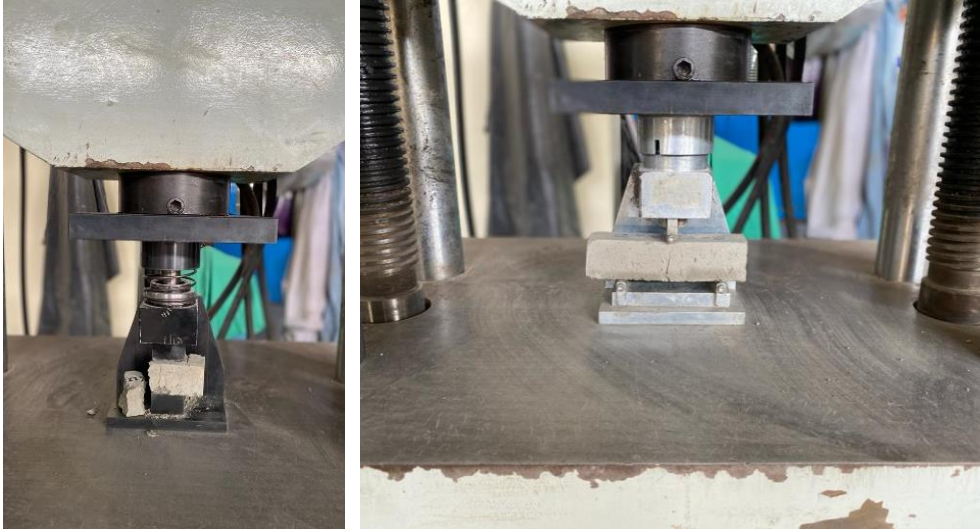
Tablo 5.10 Özgül malzemelerin sertleşmiş haldeki fiziksel özellikleri

Numune Kodu	G1% 29	G1% 29-u	G1% 22	G1% 17	G1% 22-dc	G1% 17-dc
Birim hacim ağırlık (β ,g/cm ³)	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
Özgül ağırlık (γ ,g/cm ³)	2,7	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5
Kompasite (k, %)	72	76	79	76	78	81
Porozite (p, %)	28	24	21	24	22	19
Hacimce su emme (%)	4,84	2,63	5,54	6,12	4,12	3,38
Ağırlıkça su emme (%)	2,5	1,38	2,88	3,07	2,11	1,66
Kılcallık katsayısı (kk,kg/m ² √s)	0,46	0,57	0,29	0,30	0,66	0,58
Kılcal yükselme (cm)	1,5	2,5	1	1	2,5	2,25
Suda çözünme (saat)	1	1	1	1	1	1

Donma çözülme çevrimleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Kemaliye ilçesine ait son 5 yılın (2017 Haziran – 2022 Haziran) günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri incelenmiştir (Bakınız bölüm 5.3.3) Laboratuvar deneyleri sırasında yıllık maksimum donma çözünme çevrim adedi, farklı zamanlara ait minimum sıcaklık değerleri ve Kemaliye’de en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasındaki farklar göz önünde bulundurulmuştur. Numuneler, iklimlendirme kabininde $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ de 24 saat bekletilerek dondurulmuştur. Ardından yine aynı kabinde $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ve $\%60\pm 5$ bağıl nemde 24 saat bekletilerek çözdürülmüştür. Böylece 48 saatte bir donma-çözünme çevrimi gerçekleştirilmiştir. Toplamda 50 kez donma çözünme çevrimi tekrarlanmıştır. Ardından çevrimlerin şiddetini arttırmak için numuneleri suya doyurarak donma-çözülme çevrimlerinin gerçekleştirilmesi planlanmış, ancak özgül malzeme ile üretilen numuneler suda çözündüğü için donma-çözülme çevrimlerinde suya doyurulan 2. tur özgül malzeme ile üretilen numunelerde gerçekleştirilememiştir.

5.1.4 Özgül Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Özgül malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için donma-çözünme öncesi ve sonrasında basınç dayanımı ile eğilme-çekme dayanımı testleri yapılmıştır (Şekil 5.25). Buna göre test sonuçları Tablo 5.11’de verilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5.25 a) Basınç dayanımı deney düzeneği b) Eğilme-çekme dayanımı deney düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

Tablo 5.11 Özgün malzemelerin sertleşmiş haldeki mekanik özellikleri

Numune Kodu	G1%22 28.gün	G1%17 28.gün	G1%22 180.gün	G1%17 180.gün	G1% 22-dc	G1% 17-dc
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2,1	2,7	3,6	3,7	3,1	3,3
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	0,8	1	1,1	1,2	0,9	0,9

5.1.5 Özgün Malzemelerle Gerçekleştirilen Deneylerin Değerlendirilmesi

Özgün damların içerdiği yaşkuru toprağı, gıcın toprağı ve rıhtım taşı tez kapsamında araştırılmış, malzeme özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen malzeme özellikleri iç yapı özellikleri, geoteknik özellikleri, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri başlıkları altında incelenmiştir.

Özgün malzemelerin iç yapı özellikleri İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesinde gerçekleştirilen XRD, XRF ve petrografik analiz ile belirlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde rıhtım taşının nadiren kuvarslı kum taneleri ve çok az kil içeren bir kireçtaşı olduğu; gıcın toprağının çoklukla kalsit içeren, beraberinde illit ve klorit gibi levha silikat ve kil minerallerinin de dikkat çekici olduğu bir killi kum olduğu. Yaşkuru-2 örneğinin ise genellikle kil mineralleri ve daha az olarak kalsit ve kuvars bulunan bir killi kum olduğunun belirtildiği görülmektedir.

Özgün malzemelerle gerçekleştirilen granülometri ve hidrometre analizi sonucunda gavcin toprağı killi kum, yaškuru-1 toprağı kum, yaškuru-2 toprağı da killi kum olarak tanımlanmıştır. Tablo 5.4'teki dane birim hacim ağırlık deneyinin sonucunda yaškuru topraklarının birim hacim ağırlığının gavcin toprağından daha düşük olduğı görölmektedir. Tablo 5.5'te verilen kıvam limitleri incelendiğinde plastisite indisinin düşük olması nedeniyle gavcin toprağıının yaškuru-2 toprağıına göre su kaynaklı yapısal sorunlarının daha düşük olacağı öngörölebilmektedir. Kum oranının çok yüksek olması nedeniyle yaškuru-1 toprağıının kıvam limitleri belirlenememiştir.

Tez kapsamında özgün gavcin toprağı ile farklı su muhtevalarında harç numuneleri üretilmiş ve taze haldeki malzeme özellikleri de incelenmiştir. Buna göre su muhtevası en yüksek olan özgün malzemede yayılma çapı en fazla, boşluklu birim ağırlık ise en yüksek olmuştur (Tablo 5.7). Özgün malzemelerin kıvamları incelendiğinde (Tablo 5.8), %22 su muhtevasına sahip özgün numunenin 3. gün kıvam aldığı, %17 su muhtevasına sahip özgün numunenin ise 2. gün kıvam aldığı görölmüştür.

Özgün malzemelerle 28. günde gerçekleştirilen birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık deneyleri göz önünde bulundurulduğunda en yüksek birim hacim ağırlık değerinin 2,0 ile %17 su muhtevasına sahip numunede, en düşük değerin ise 1,8 ile %29 su muhtevasına sahip numunede olduğı; en yüksek özgül ağırlık değerin 2,7 ile %29 su muhtevasına sahip numunede olurken, en düşük değerin 2,6 ile %17 ve %22 su muhtevalarına sahip numunelerde olduğı görölmüştür. Bu durumda su muhtevası azaldıkça numunelerdeki boşluk oranının da azaldığı söylenebilmektedir. Komposite ve porozite ölçümleri incelendiğinde de su muhtevasında düşüş olduğunda boşluk oranında azalma olduğı görölmüştür. Ancak %17 su muhtevasına sahip numunedeki boşluk oranı %22 su muhtevasından daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durum %17 su muhtevasındaki numunenin homojen bir karışım elde edebilmek için yeterli su muhtevasına sahip olmadığı düşüncesini doğurmaktadır. 28. günde yapılan diğer ölçümlerde su muhtevası arttıkça ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde düşüş olduğı ancak kılcal su emme miktarında artış olduğı görölmüştür.

28. günde ve 365. günde gerçekleştirilen deneyler göz önünde bulundurulduğunda uzun vadeli ölçümlerde malzeme içerisindeki boşluk oranının azaldığı da tespit edilmiştir. Hatta kompasite ve porozite ölçümlerinin sonucu da uzun vadede malzemelerde boşluk oranında azalma olduğunu desteklemektedir. Yine uzun vadede hacimce ve ağırlıkça su emme miktarlar azalmış ancak kılcal su emme miktarında artış belirlenmiştir.

Tüm numuneler, su içerisine yerleştirildiğinde ilk 1 saat içerisinde çözünmüşlerdir.

Özgün malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için 28.gün ve 180.gün eğilme ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Buna göre en yüksek eğilme ve basınç dayanımı %17 su muhtevasına sahip numunede 180. gün görülmüştür.

Özgün malzemeler neme doyurularak donma-çözülme çevrimleri gerçekleştirilmiştir. 50 kez gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimlerinin sonunda tüm numuneler kılcal çatlaklar dışında gözle görülür hasar almamış, tüm çevrimleri tamamlayabilmişlerdir. Ancak suya doyurma işlemi tüm numuneler su içerisinde çözüldükleri için gerçekleştirilememiş, suya doyurularak gerçekleştirilen 2. donma-çözülme turu tamamlanamamıştır. 1. Donma-çözülme turu sonrası tüm numunelerin fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri tekrar belirlenmiştir. Tablo 5.10'da görüldüğü gibi tüm numunelerde birim hacim ağırlık değerleri aynı kalırken özgül ağırlık değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Kompasite ve porozite değerlerinde büyük bir değişim gözlemlenmezken, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri azalmış ancak kılcal su emme değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Malzemelerin mekanik dayanımının ise donma-çözülme çevrimlerinden sonra artış gösterdiği görülmüştür (Tablo 5.11). Bu durumun uzun vadede malzemelerin boşluk oranlarında azalma ve mekanik dayanımlarında artış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2 Katkılı Topraklarla Gerçekleştirilen Ön Deneyler

Kemaliye evlerinin özgün damlarının periyodik bakımlarını azaltmak için özgün dam toprağına (gavcin) katılabilecek katkı malzemelerinin belirlenebilmesi için; literatür taramaları göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında ayçiçek yağı ve hidrolik kireç (NHL5); ayçiçek yağı ve hava kireci (CL-80); bentonit, nişasta; uçucu kül ve hidrolik kireç (NHL5); uçucu kül ve hava kireci (CL-80) olmak üzere

altı farklı katkı malzemesinin uygunluğu ön deneylerle denenmiştir. Deneylerde kullanılan katkı malzemelerinin edinildikleri firmalardan alınan malzeme özellikleri Tablo 5.12-5.15 verilmiştir.

Tablo 5.12 Uçucu kül [110, 111, 112, 113, 114]

Analiz Değerleri	% Değer	TS EN 196-1, 196-2, 451-1, 451-2, 1097-7
Kızdırma Kaybı	2,87	< 5
İncelik (ıslak eleme ile)	20,87	< 40
Aktivite indeksi (28 gün/90 gün)	77,6/90,4	>75 / >85
Serbest Kalsiyum Oksit	0,57	< 1,5
Toplam SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	85,39	>70
Toplam Alkali Muhtevası	3,13	< 5
Sülfirik Anhidrit	0,57	< 3
Klorür	0,08	< 10
Toplam Kalsiyum Oksit	3,5	< 3
Tanecik Yoğunluğu kg/m ³	2,29	2,04 < Değer < 2,44

Tablo 5.13 Söndürülmüş kalker kireci (CL 80 S) [115]

	Analiz Değerleri	% Değer	TS EN 459-1
Kimyasal	Ca(OH) ₂	> 80	
	Toplam CaO + MgO	> 88	> 80
	MgO	< 3	< 5
	Kızdırma kaybı	< 7	< 7
	SO ₃	< 2	< 2
	Serbest Su	< 2	< 2
Fiziksel	200 µ (elek üstü)	< 1	< 2
	90 µ (elek üstü)	< 5	< 7
	Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	< 0,5	< 0,6

Tablo 5.14 Hidrolik kireç (NHL-5)

	Analiz Değerleri	%Değer
Kimyasal	SiO ₂	9.8
	Al ₂ O ₃	2.3
	Fe ₂ O ₃	1.9
	MgO	2.5
	CaO	56.7
	Na ₂ O	0.1
	K ₂ O	0.7
	TiO ₂	0.2
	P ₂ O ₅	< 0.1
	MnO	< 0.1
	SO ₃	0.9
	Akkor kaybı	24.8
Fiziksel	Yoğunluk (g/cm ³)	2.74
	d90 µm (%)	119.27
	d50 µm (%)	48.14
	Özgül yüzey alanı (m ² /g)	0.53

Tablo 5.15 Ayçiçek Yağı

Enerji ve Besin Öğeleri	100g için	100g için RA*
Enerji (kJ / kcal)	3700/900	%45
Yağ (g)	100	%143
Doymuş Yağ (g)	11	%55
Karbonhidrat (g)	0	%0
Şekerler (g)	0	%0
Lif (g)	0	%0
Protein (g)	0	%0
Tuz (g)	0	%0

*Değerler ortalama bir yetişkinin referans alım düzeyini belirtir (8400kJ / 2000 kcal)

Kullanılan katkı oranları literatür taramaları göz önünde bulundurularak her bir katkı için toplam kuru ağırlığının %5'i olarak belirlenmiş; sadece uçucu kül yine literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak toplam kuru ağırlığının %10'u oranında kullanılmıştır. Özgün malzeme ve katkılı numuneler kodlanmıştır. Numuneler ve verilen kodlar tablo 5.16'da gösterilmektedir.

Tablo 5.16 Malzemeler, katkı oranları ve kodları

ÜRÜN KODU			
TAZE	28. GÜN	365. GÜN	MALZEME VE KATKI ORANI
Y1	-	-	Yaşkuru Toprağı (1. Numune)
Y2	-	-	Yaşkuru Toprağı (2. Numune)
G1	G1	G1-u	Gavcin Toprağı (Şahit Numune)
G2	G2	G2-u	Gavcin + %5 NHL-5 + %5 Yağ
G3	G3	G3-u	Gavcin + %5 CL-80 + %5 Yağ
G4	G4	G4-u	Gavcin + %5 Bentonit
G5	G5	G5-u	Gavcin + %5 Nişasta
G6	G6	G6-u	Gavcin + %5 NHL-5 + %10 Uçucu Kül
G7	G7	G7-u	Gavcin + %5 CL-80 + %10 Uçucu Kül

Belirlenen katkı malzemeleri ile oluşturulan numunelerin önce geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Ardından harç üretimi yapılmış üretilen numunelerin taze haldeki özellikleri test edilmiştir. Daha sonra kısa ve uzun vadeli fiziksel özellikleri incelenerek özgün malzeme özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

5.2.1 Katkılı Toprakların Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında 8mm açıklıklı elekten elenmiş özgün malzemelerin ve katkılı malzemelerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle özgün malzemelerin (gavcin ve yaşkuru) granülometri ve hidrometre analizi yapılmış, zemin sınıfı tanımlanmış, ardından özgün ve katkılı malzemelerin kıvam limitleri (likit limit, plastik limit ve plastisite indisi) ve dane birim hacim ağırlıkları Yıldız

Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü geoteknik laboratuvarında belirlenmiş; özgün malzeme özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

5.2.1.1 Katkılı Toprakların Dane Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Katkılı malzemelerin dane birim hacim ağırlıklarının belirlenebilmesi için ince daneli zeminlerde uygulanan dane birim hacim ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir. Buna göre özgün ve katkılı malzemenin dane birim hacim ağırlıkları tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17 Katkılı ve özgün numunelerin dane birim hacim ağırlık değerleri

Numune Kodu	Y1	Y2	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Dane Birim Hacim Ağırlık γ (kN/m ³)	26,8	27	27,5	23,6	25,0	26,6	27,0	28,1	28,3

5.2.1.2 Katkılı Toprakların Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

Özgün malzeme ve katkılı malzemeler için hesaplanan kıvam limitleri Tablo 5.18’de verilmiştir. Tüm malzemelerle gerçekleştirilen kıvam limit deneyleri için çizilen grafikler EK-A’da verilmiştir.

Tablo 5.18 Katkılı ve özgün numunelerin kıvam limitleri

Numune Kodu	Y1	Y2	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Likit Limit (WL) %	-	29,6	26,6	26,5	29,3	26,4	27,6	29,1	31,3
Plastik Limit (Wp) %	-	22,6	20,9	26,0	27,9	20,7	23,1	24,5	27,4
Plastisite İndisi (Ip) %	-	7	5,7	0,5	1,4	5,7	4,5	4,6	3,9

- Ölçüm alınamamıştır.

5.2.2 Katkılı Toprakların Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Literatür araştırması ile belirlenmiş olan katkı malzemelerini eleyebilmek için tez kapsamında özgün ve Tablo 5.16’da verilen katkılı topraklarla numune üretimi yapılmış, numunelerin taze haldeki malzeme özellikleri belirlendikten sonra kısa ve uzun vadeli ölçümler için sırasıyla 28 ve 365 gün bekletilmişlerdir. Sertleşmiş haldeki numuneler üzerinde kılcal su emme, kompasite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmış; malzemelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrıca numuneler 28. ve 365. günlerde 24 saat boyunca suda bekletilmiş ve suda çözünüp çözünmedikleri tespit edilmiştir.

5.2.2.1 Katkılı Topraklarla Numune Üretilmesi ve Taze Haldeki Deneyler

Harç üretimi sırasında katkı malzemelerinin yüzde değerleri toplam kuru malzeme ağırlığının yüzdesi olarak alınmıştır. Toprak numunelerin üretiminde kullanılacak su miktarını belirlemek için bir Standard bulunmadığı için TS EN 1015-2'de [109] yer alan kriterler göz önüne alınmış; buna göre yapılan ön deneyler sonucunda üretilen numunelerin TS EN 1015-6 [93] ve TS EN 1015-2'ye göre [109] belirlenen boşluklu birim ağırlığının 1200 kg/m^3 'ten büyük olduğu ve hedef yayılma çapının $175 \pm 10 \text{ mm}$ olması gerektiği belirlenmiştir. Özgün malzeme ile üretilen numunede TS EN 1015-2 [109] standardına uygun yayılma miktarı ($175 \pm 10 \text{ mm}$) göz önünde bulundurularak su/toplam kuru malzeme oranı %29 olarak belirlenmiş; bundan sonra tüm numuneler birbirleri ile karşılaştırma yapılabilmesi için aynı su/toplam kuru oranı göz önünde bulundurularak üretilmiştir.

Literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak uçucu kül katkılı numuneler hariç diğer numunelerde katkı oranları toplam kuru ağırlığın %5'i; 1'den fazla katkı bulunduğunda ise her bir katkı için toplam kuru ağırlığın %5'i olarak belirlenmiştir. Yalnızca uçucu kül içeren numunelerde uçucu kül miktarı literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak toplam kuru ağırlığın %10'u olarak alınmıştır. Şekil 5.26'da numune üretimi öncesi malzemelerin hazırlanması gösterilmiştir.



(a)



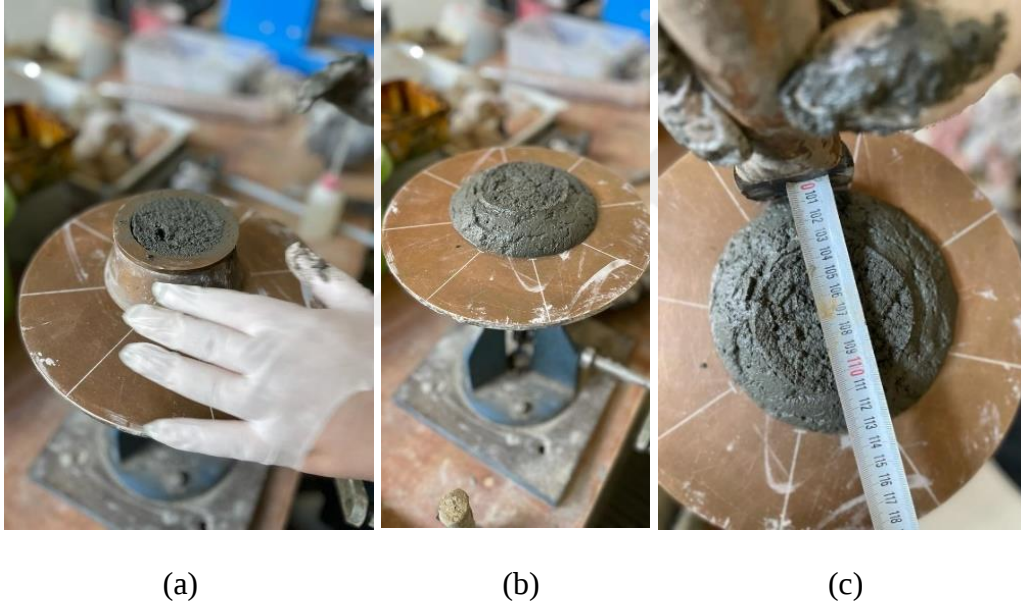
(b)

Şekil 5.26 a,b) Numune üretimi öncesi malzemelerin hazırlanması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

İlk olarak gavcin toprağı özğün damlarda da uygulandığı gibi 8 mm açıklıklı elekten elenmiştir. Karıştırma sırasında önce tüm kuru malzemeler 30 saniye düşük hızda (62 r.p.m.) karıştırılmış; ardından su ve diğer katkıları eklenerek önce 30 saniye düşük hızda (62 r.p.m.) daha sonra 30 saniye yüksek hızda (125 r.p.m.) karıştırılarak numuneler üretilmiştir.

Üretilen numuneler 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara, her tabakada sarsma tablasında sarsılarak 2 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Buna göre sertleşmiş haldeki deneyler için özğün ve katkıları olarak 7 farklı numune tipi için her birinden 18 adet olmak üzere 126 adet numune üretilmiştir.

Taze numunelerin TS EN 1015-3 standardına [91] göre kıvamları, TS EN 1015-6 [93] standardına göre de boşluklu birim ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 a,b,c) Numunelerin kıvamının belirlenmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

Deney sonuçları Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5.19 Katkılı ve özğün numunelerin taze haldeki özellikleri

Numune Kodu	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Ortalama Yayılma Çapı (mm)	175	140	130	140	190	165	140
Boşluklu Birim Ağırlık (kg/m ³)	2114	1787	1780	1852	1851	1897	1819

5.2.2.2 Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Kür Koşulları ve Sertleşmiş Haldeki Deneyler

Tez kapsamında katkılı topraklar ve özgün malzeme ile üretilen ve 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilen numunelerden, her bir 7 tipten 18 adet olmak üzere toplamda 126 adet üretilmiştir.

Bu numuneler kısa ve uzun vadeli kılcal su emme, kompasite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmak üzere küre yerleştirilmiştir. Numuneler 7. gün kalıptan çıkarılmış; 25 ± 5 °C ve $\%60 \pm 5$ bağıl nemde kısa vadeli ilk ölçümler için 28 gün; uzun vadeli ikinci ölçümler için ise 365 gün bekletilmiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 a,b) Kürde bekleyen numuneler (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

Tez kapsamında numunelerin birim hacim kütlelerini belirlemek amacıyla TS EN 1015-10 [96] standardından, özgül ağırlığını belirlemek için TS EN 196-3 [94] standardından yararlanılmıştır. Deneyleri uygulanmadan önce numuneler 24 saat süresince, serbest su miktarını buharlaştırmak amacıyla 105 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Her malzeme tipinden 3'er numunede 28. günde; 3'er numunede 365. günde olmak üzere 6'şar numunede; toplam 42'şer numunede deneyler gerçekleştirilmiştir.

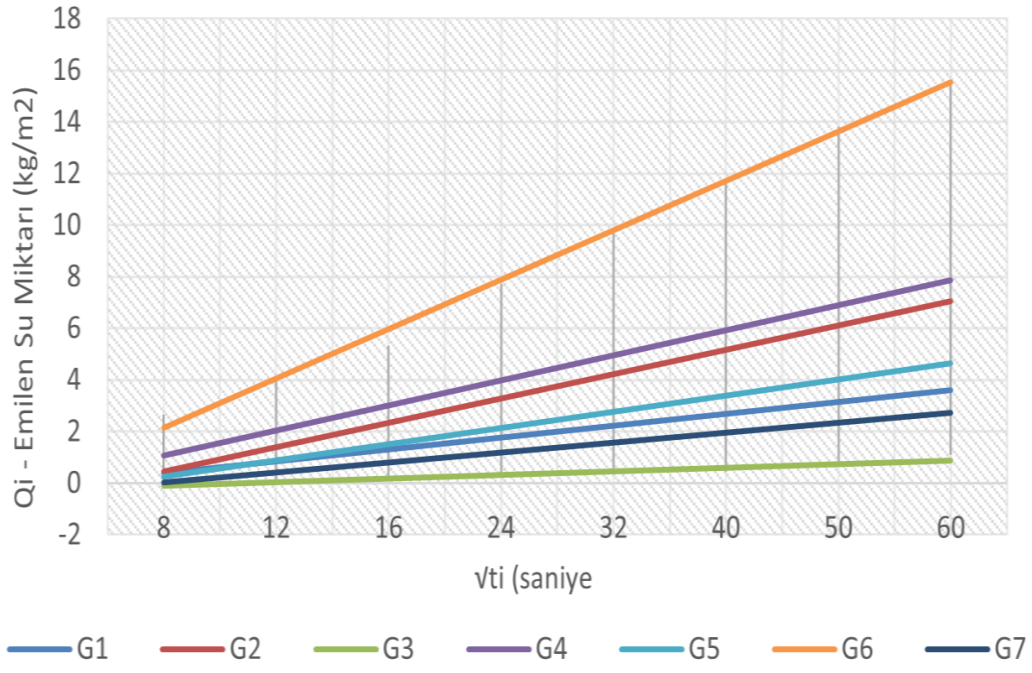
Ağırlıkça ve hacimce su emme deneylerinde deney numuneleri öncelikle suya doyurulmaktadır. Ancak 28.günde yapılan deneyler sırasında toprak malzeme ile üretilen 7 çeşit numuneden 4 tanesi suda çözündüğü için deney bu numunelerle yapılamamıştır. Bu nedenle tüm malzeme tipleri $20\pm5^{\circ}\text{C}$ ve $\%90\pm5$ bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar tutulmuş ve deney neme doyurulmuş numuneler ile de gerçekleştirilmiştir. Neme doyurularak yapılan deney, her malzeme tipinden 3'er numunede 28. günde; 3'er numunede 365. Günde olmak üzere 6'şar numunede; toplam 42 numunede gerçekleştirilmiştir. Suyu doyurularak yapılan deney ise, 3 malzeme tipinden 3'er numunede 28. günde; 3'er numunede 365. günde olmak üzere 6'şar numunede; toplam 18 numunede gerçekleştirilmiştir.

Kılcal su emme deneyi TS EN 1015-18 [97] ve TS EN 15801 [98] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kılcallık katsayısını bulmak için $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği çizilerek doğru eğiminden faydalanılmıştır (Şekil 5.29-5.30).

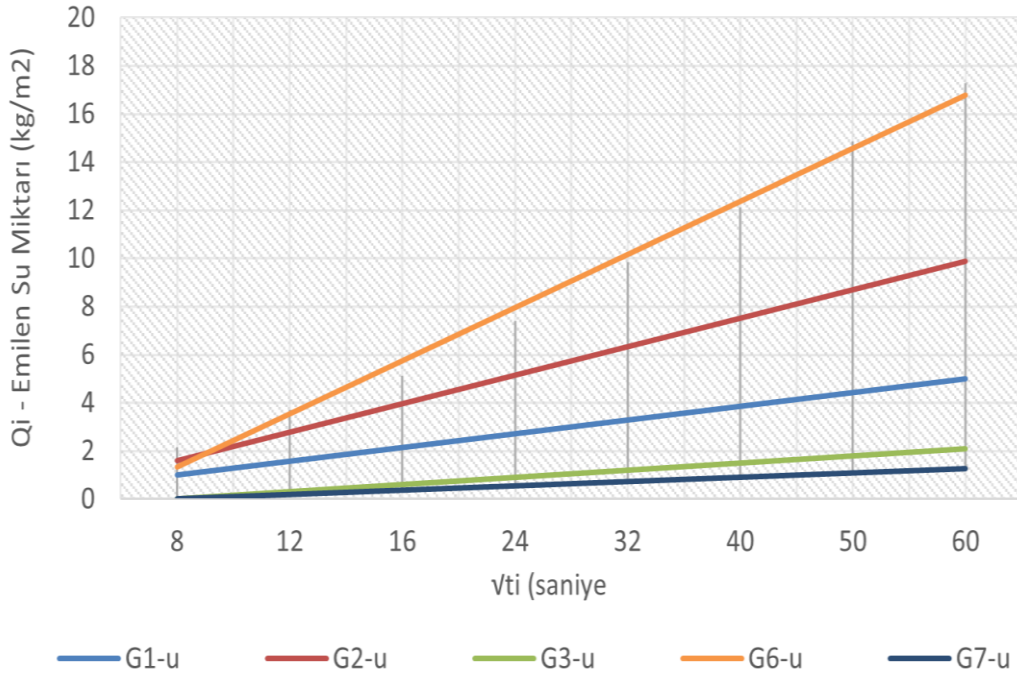
Tüm numunelerle gerçekleştirilen kılcal su emme deney grafikleri Ek-B'de verilmiştir. Her bir numune tipi 3 adet kısa vadeli 3 adet uzun vadeli olmak üzere toplam 6 adet numune ile test edilmiştir. Ayrıca numuneler üzerine 1cm ara ile çizgiler çizilerek deney sonucunda suyun yükselme miktarı ölçülmüştür (Şekil 5.31-5.32).

Tez kapsamında ayrıca 28. ve 365. Günlerde yapılan deneysel çalışmalar sırasında numuneler 24 saat süresince su içerisine bırakılarak suda çözünüp çözünmedikleri gözlenmiştir. Bu süreçte ilk anda, 1. saatte, 2. saatte ve 24. saatte gözlemlerde bulunulmuştur (Şekil 5.33).

Katkılı malzemelerle üretilen numunelerin uzun ve kısa vadeli (28. ve 365. gün) sertleşmiş haldeki özellikleri Tablo 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.29 Kılcal su emme deneyi sonucu numunelerin 28. gün Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



Şekil 5.30 Kılcal su emme deneyi sonucu numunelerin 365. gün Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

Şekil 5.31 28. günde kılcal su emme deneyi sonucu katkılı numunelerde suyun yükselişi a) $G2=3\text{cm}$, b) $G3<0.25\text{cm}$, c) $G4=1\text{cm}$, d) $G5=1,5\text{cm}$, e) $G6=5\text{cm}$, f) $G7=0,5\text{cm}$ (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

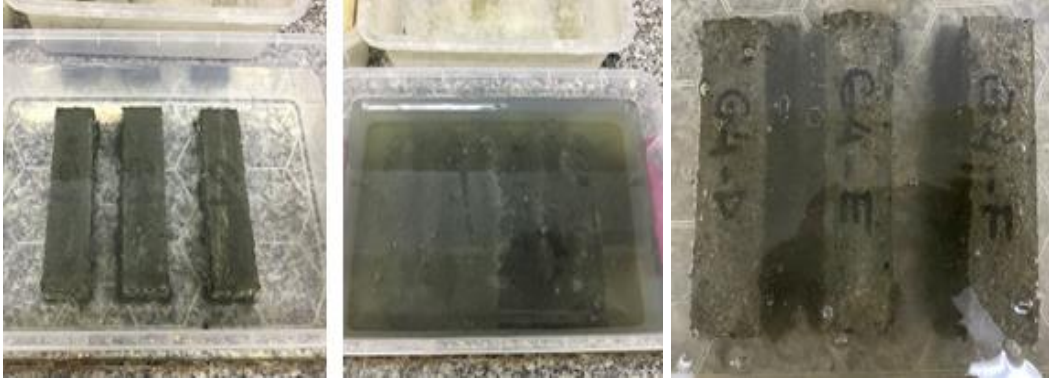


(a)

(b)

(c)

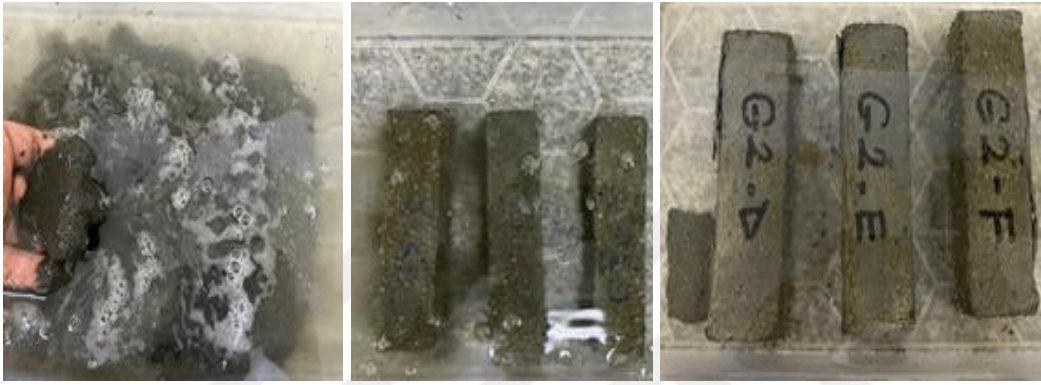
Şekil 5.32 365. günde kılcal su emme deneyi sonucu katkılı numunelerde suyun yükselişi a) $G2-u=4,5\text{cm}$, b) $G3-u=1\text{cm}$, c) $G6-u=5,5\text{cm}$ (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)



(g)

(h)

(i)

Şekil 5.33 28. günde suda çözünme deneyi a) Birkaç dakika sonra G1, b) 1 saat sonra G1, c) Birkaç dakika sonra G4, d) 1 saat sonra G4, e) Birkaç dakika sonra G5, f) 1 saat sonra G2, g) 24 saat sonra G2, h) 24 saat sonra G3, i) 24 saat sonra G6 ve G7 (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2021)

Tablo 5.20 Üretilen kısa ve uzun vadeli numunelerin sertleşmiş haldeki özellikleri

Numune kodu	G1	G1-II	G2	G2-II	G3	G3-II	G4	G4-II	G5	G5-II	G6	G6-II	G7	G7-II
Birim hacim ağırlık (β , g/cm ²)	1,8	1,9	1,5	1,6	1,5	1,6	1,8	1,9	1,7	1,9	1,5	1,6	1,6	1,7
Özgül ağırlık (γ , g/cm ³)	2,7	2,5	2,6	2,4	2,6	2,3	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3
Kompasite (k, %)	72	76	62	66	63	72	73	79	77	78	64	70	69	73
Porozite (p, %)	28	24	38	34	37	28	27	21	23	22	36	30	31	27
Hacimce su emme (suya doyurma)(%)	-	-	-	-	15	24	-	-	-	-	36	-	36	37
Hacimce su emme (neme doyurma)(%)	4,8	2,6	2,8	1,4	3,7	1,7	6,1	3,4	6,0	3,1	2,4	1,8	3,0	2,2
Ağırlıkça su emme (suya doyurma)(%)	-	-	-	-	10	15	-	-	-	-	23	-	22	23
Ağırlıkça su emme (neme doyurma)(%)	2,5	1,4	1,8	0,9	2,3	1,0	3,2	1,8	3,3	1,7	2,4	1,1	3,1	1,3
Kılcallık katsayısı (Kk, kg/m ² √s)	0,5	0,6	0,9	1,2	0,1	0,3	1,0	-	0,6	-	1,9	2,2	0,3	0,2
Kılcal yükselme miktarı (cm)	1,5	2,5	3	4,5	0,2	1	1	-	1,5	-	5	5,5	0,5	1
Suda çözünme (saat)	1	1	24	24	X	X	1	1	1	1	X	24	X	X

- Ölçüm alınamamıştır.

X 24 saat sonunda suda çözünmemiştir.

5.2.3 Katkılı Topraklarla Yapılan Ön Deneylerin Değerlendirilmesi ve Katkıların Seçilmesi

Tez kapsamında özgün ve katkılı topraklarla üretilen numuneler üzerinde, numunelerin geoteknik özelliklerini, taze haldeki ve sertleşmiş haldeki fiziksel malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla 28. ve 365. günlerde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, özgün gavcin toprağının su geçirimsizliğini ve suya dayanımını iyileştirebilmek ve gavicini bu bağlamda stabilize etmek için katkı maddesi olarak yağ, hava kireci, hidrolik kireç, bentonit, nişasta ve uçucu kül kullanılmıştır. Özgün ve katkılı malzemelerin geoteknik özellikleri Tablo 5.17 ve Tablo 5.18’de verilmiştir. Buna göre G6 ve G7 numunelerinin dane birim hacim ağırlıklarının özgün numuneden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda

hava kireci ve uçucu kül ile hidrolik kireç ve uçucu kül ilavelerinin özgül malzemedeki (G1) boşluk oranında azalma sağladığı düşünülmektedir. Daha büyük danelere sahip zeminlere daha ince danelerin dahil edilmesi, daha küçük daneler daha büyük danelerin aralarındaki boşlukları doldurduğu için boşluk hacminde bir azalmaya neden olmaktadır. Ancak %5 yağ içeren karışımlarda (G2 ve G3), yağın düşük birim ağırlığı ($9,1 \text{ kN/m}^3$) nedeniyle katkılı malzemelerin birim hacim ağırlığının özgül malzemeye göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Özgül malzeme olarak kullanılan yerel toprak gavcinin (G1) likit limiti (WL) ve plastik limiti (WP) sırasıyla 26,6 (%) ve 20,9'dur (%). G3, G5, G6 ve G7 numunelerinin likit limiti 27 ile 31 (%) arasında değişmekte olup, G1 numunesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca toprağa bentonit ilavesinin (G4) likit limit üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. G2, G3 ve G7 numunelerinin plastik limitleri özgül numunelere göre oldukça yüksek olan 26, 28 ve 27 (%) olarak ölçülmüştür. Kireç + uçucu kül ve kireç + yağ stabilizasyonu (yani G2, G3, G6 ve G7) ile plastik limitin arttığı ve plastisite indeksinin belirgin şekilde düştüğü gözlenmiştir. Karışımlarda nişasta kullanımında da benzer bir etki meydana gelmiştir. Katkılı malzemelerin kıvam limitlerinin mineralojik yapıları ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Gavcin'deki katkı miktarının artması, mikroskobik boşluklardan dolayı kilin daha düşük bir yüzey aktivitesine sahip olmasına neden olmaktadır. Karışımda kil yüzeyinin orantılı olarak azalmasına neden olan bu işlemin, plastisitenin azalmasına yol açtığına çeşitli kaynaklarda değinilmiştir [116, 117].

Elde edilen deneysel sonuçlar üzerinde karışım oranlarının da önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Literatür araştırmaları sırasında toprak stabilizasyonu için gereken optimum kireç ilavesinin toprak ağırlığının %1 ila %8'i arasında olduğu, daha yüksek kireç içeriklerinin eklenmesinin, plastik limit değerinde bir değişiklik yaratmayacağı görülmüştür [118, 119]. Bu çalışmada kireç %5 olarak ilave edilmiştir.

Özgül ve katkılı malzemelerle üretilen harçların taze haldeki özellikleri değerlendirildiğinde G5 (nişasta + gavcin) dışında kalan numunelerin tamamında yayılma çapı ve tüm numunelerde boşluklu birim ağırlıkların özgül malzeme ile üretilen numuneden düşük olduğu görülmüştür.

Malzemelerin 28. Gündeki ve 365. gündeki sertleşmiş haldeki özellikleri değerlendirildiğinde tüm katkılı numunelerde birim hacim ağırlık (β) değerlerinin özgün malzeme ile eşit ya da daha düşük olduğu görülmüştür. Kısa ve uzun vadeli numunelerin tamamı değerlendirildiğinde ise tüm numunelerde uzun vadede birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Yine aynı ölçümde en yüksek birim hacim ağırlık değeri 1,9 g/cm³ ile 365. Gündeki G1 kodlu özgün malzeme ile üretilen numunelerde ve 365. günde G4 ve G5 kodlu numunelerde görülmüştür. En düşük birim hacim ağırlık değeri ise 28. günde G2, G3 ve G6 numunelerinde 1,5g/cm³ olarak saptanmıştır.

Malzemelerin 28. Gündeki ve 365. gündeki sertleşmiş haldeki özellikleri değerlendirildiğinde tüm katkılı numunelerde özgül ağırlık (γ) değerlerinin özgün malzemeden daha düşük olduğu görülmüştür. G5 ve G7 numuneleri dışında özgül ağırlık değerlerinde uzun vadeli numunelerde düşüş gözlemlenmiştir. Yine aynı ölçümde kısa ve uzun vadeli numunelerin tamamı göz önünde bulundurulduğunda en yüksek özgül ağırlık değeri 2,7 g/cm³ ile G1 kodlu 28. günde özgün malzeme ile üretilen numunelerde görülmüştür. En düşük birim hacim ağırlık değeri ise 365. günde test edilen G3 ve 28. günde test edilen G7 numunelerinde 2,3 g/cm³ olarak saptanmıştır.

28. Günde de 365. Günde de G2, G3, G6 ve G7 numunelerinde özgün malzemeye kıyasla porozite değerinin daha yüksek olmasına karşın hacimce ve ağırlıkça su emme değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. G4 ve G5 numunelerinde ise diğerlerinin aksine porozite değerleri özgün malzemeden düşük ancak hacimce ve ağırlıkça su emme değerleri özgün malzemeden daha yüksektir. Tüm kısa ve uzun vadeli numuneler değerlendirildiğinde dışa açık ve kapalı tüm boşluk oranlarında (porozite) uzun vadede düşüş olduğu belirlenmiştir. Tüm numunelerde 365. günde birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık arasındaki farkın da azaldığı görülmüştür. Bu nedenle zaman içerisinde tüm malzemelerin içerisindeki boşluk oranında azalma olduğu söylenebilmektedir. Tüm numunelerde en düşük porozite %21 ile 365. günde test edilen G4 numunesinde; en yüksek porozite ise %38 ile 28. günde test edilen G2 numunesinde görülmüştür.

Hacimce ve ağırlıkça su emme deneylerinde tüm numuneler suya doyurulamamış; deney yalnızca 28. günde test edilen G3, G6 ve G7 numuneleriyle ve 365. günde

test edilen G3 ve G7 numuneleriyle gerçekleştirilebilmiştir. Bu numuneler arasında hacimce ve ağırlıkça en az su emme değeri 28. günde test edilen G3 numunesinde görülmüştür.

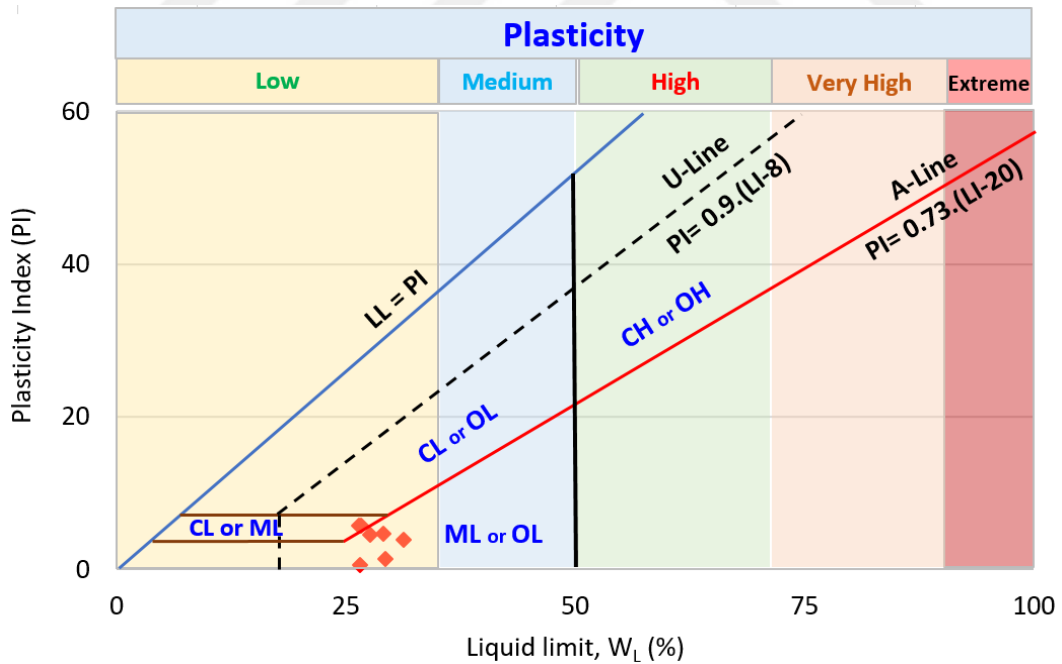
Tüm numuneler suya doyurulamadığı için neme doyurulmuş; ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri bu numunelerle gerçekleştirilmiştir. Buna göre neme doyurulan tüm numunelerde uzun vadede ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek hacimce su emme değeri %6,06 ile 28. günde test edilen G4 numunesinde; en düşük hacimce su emme değeri ise %1,41 ile 365. günde test edilen G2 numunesinde görülmüştür. En yüksek ağırlıkça su emme değeri %3,25 ile 28. günde test edilen G4 numunesinde; en düşük ağırlıkça su emme değeri ise %0,9 ile 365. günde test edilen G2 numunesinde görülmüştür.

28. ve 365. günde yapılan deneylerin tümünde kılcal su emme değerleri G2 numunesinde özgün malzemeden yüksek çıkarken, G3 ve G7 numunelerinde kılcal su emme değerleri çok düşük kalmıştır. 365. günde G5 ve G6 numuneleri suda dağıldıkları için kılcal su emme deneyi gerçekleştirilememiştir. Bu numunelerin 28. gün deneylerinde kılcal su emme değerleri de özgün malzemeden yüksek çıkmıştır. Gerçekleştirilen kılcal su emme deneyi sonucunda tüm numunelerde uzun vadede kılcallık kat sayılarında artış görülmüştür. Kılcallık kat sayısının $2,2 \text{ kg/m}^2 \sqrt{s}$ ile en yüksek 365. günde test edilen G6 numunesinde, en düşük $0,1 \text{ kg/m}^2 \sqrt{s}$ ile 28. günde test edilen G7 numunesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sırasında 28. günde özgün toprak malzeme ile üretilen G1 harcının 1 saat içerisinde suda çözündüğü tespit edilmiştir. Daha sonra tüm harç tiplerine ait numuneler 24 saat su içerisinde bırakılmak üzere su dolu kaplara yerleştirilmişlerdir. G4 (Gavcin + Bentonit) ve G5 (Gavcin + Nişasta) harçlarına ait numuneler de şahit numune gibi ilk 1 saat içerisinde çözünmüşlerdir. G2 numunesi (Gavcin + NHL-5 + Yağ) ilk 1 saatte parça atmaya başlasa da çözünmemiş ancak 24 saati tamamlayamamıştır. 28. günde yapılan ölçümlerde tüm numuneler arasında sadece G3 (Gavcin + CL-80 + Yağ), G6 (Gavcin + NHL-5 + Uçucu Kül) ve G7 (Gavcin + CL-80 + Uçucu Kül) 24 saat sonunda suda çözünmeden kalmıştır.

365. Günde yapılan suda çözünme deneyinde ise 28. Günde olduğu gibi G1 (yalnızca gavcin toprağı), G4 (Gavcin + Bentonit), G5 (Gavcin + Nişasta) numuneleri ilk 1 saat içinde çözünmüş; G2 numunesi (Gavcin + NHL-5 + Yağ) ilk 1 saatte parça atmaya başlasa da çözünmemiş ancak 24 saati tamamlayamamış; G3 (Gavcin + CL-80 + Yağ) ve G7 (Gavcin + CL-80 + Uçucu Kül) 24 saat sonunda suda çözünmeden kalmayı başarmışlardır. Ancak G6 numunesi (Gavcin + NHL-5 + Uçucu Kül) 28. günden farklı olarak 24 saati tamamlayamadan suda çözünmüştür.

Laboratuvar çalışmaları, plastik limitin yüksek ve plastisite indeksinin düşük olması, kılcal su emme değerinin düşük olması ve 24 saatte suda çözünmemesi nedeniyle en tatmin edici deneysel sonuçların G3 ve G7 numuneleri tarafından elde edildiğini göstermiştir. Casagrande plastisite kartına göre, incelenen numunelerin sergilediği plastik davranış açısından, düşük plastisiteli killeri (CL veya ML) ve düşük plastisiteli siltler ve organik zeminler (ML veya OL) sınıflarında kaldıkları görülmektedir. Bu da malzemelerde suya maruz kalma durumunda oluşacak kalıcı deformasyonların sınırlı seviyelerde olacağını göstermektedir. Yani su kaynaklı yapısal eksiklikler de sınırlanmış olacaktır (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 Casagrande sınıflandırma ve plastisite kartı

Yapılan ön deneylerin sonucunda G3 (Ayçiçek yağı ve CL-80 hava kireci katkılı) ve G7 (uçucu kül ve CL-80 hava kireci katkılı) numunelerinin en iyi performansı

sergileyen numuneler olduğu kararına varılarak bu aşamadan sonra G1 şahit numunesiyle beraber G3 ve G7 numuneleri ile deneysel çalışma sınırlandırılmıştır.

5.3 Seçilen Katkılı Toprakların Donma-Çözölme Öncesi ve Sonrası Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez çalışmasının son aşamasında yer alan dam modellerinin üretimine geçilmeden önce modellerde kullanılacak toprak malzemenin su muhtevasına karar verebilmek için Kemaliyeli yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile farklı su muhtevalarında uygun kıvam yakalanmaya çalışılmıştır. Özgün numunede (G1) yapı ustasının belirttiğı uygulanabilirlik kıvamı referans alınmış; buna göre ön deneylerle seçilmiş olan G3 ve G7 katkılı numuneleri kıvamları sabit tutularak farklı su muhtevalarında üretilmiştir. Buna göre G1 özgün numunenin su muhtevası %17 seçilirken; G3 ve G7 katkılı numunelerinde su muhtevası %22 olarak belirlenmiştir. Ancak su muhtevaları eşit olduğındaki değlerlerin karşılaştırılabilmesi için her numune için %17 ve %22 olmak üzere 2 şer farklı su muhtevasında üretim yapılmıştır.

Üretimi yapılan numunelerin taze haldeki malzeme özellikleri belirlendikten sonra ölçümler için 28 gün bekletilmişlerdir. Sertleşmiş haldeki numuneler üzerinde eğilme, basınç, kılcal su emme, komposite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmış; malzemelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrıca numuneler 28. günde 24 saat boyunca suda bekletilmiş ve suda çözünüp çözünmedikleri tespit edilmiştir.

Daha sonra nem kabininde neme doyurulan numuneler donma-çözölme çevrimlerine maruz bırakılmışlardır. Donma-çözölme çevrimlerinin ardından sertleşmiş haldeki mekanik ve fiziksel deneyler tekrarlanmış; malzemeler üzerindeki deformasyonlar tespit edilmiştir. Ardından numuneler suya doyurularak donma-çözölme çevrimlerine bir kez daha maruz bırakılmış; ikinci tur donma-çözölme çevrimlerinden sonra sertleşmiş haldeki mekanik ve fiziksel deneyler bir kez daha tekrarlanmış; malzemeler üzerindeki deformasyonlar belirlenmiş, donma-çözölme öncesi ve sonrası tüm veriler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Farklı su muhtevalarındaki özgün ve katkılı numuneler donma-çözölme öncesi, neme doyurularak gerçekleştirilen donma-çözölme çevrimleri sonrası ve suya

doğurularak gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimleri sonrası kodlanmıştır. Numuneler ve verilen kodlar tablo 5.21’de gösterilmektedir.

Tablo 5.21 Farklı su muhtevalarındaki malzemeler, katkı oranları ve kodları

NUMUNE KODLARI			MALZEME-KATKI ORANI
Çevrim öncesi	Neme doygun çevrimler sonrası	Suya doygun çevrimler sonrası	
G1%17	G1%17-dc	G1%17-dc2	Gavcin Toprağı
G1%22	G1%22-dc	G1%22-dc2	Gavcin Toprağı
G3%17	G3%17-dc	G3%17-dc2	Gavcin + %5 CL-80 + %5 Yağ
G3%22	G3%22-dc	G3%22-dc2	Gavcin + %5 CL-80 + %5 Yağ
G7%17	G7%17-dc	G7%17-dc2	Gavcin + %5 CL-80 + %10 Uçucu Kül
G7%22	G7%22-dc	G7%22-dc2	Gavcin + %5 CL-80 + %10 Uçucu Kül

5.3.1 Seçilen Katkılı Toprakların Su Muhtevalarının Belirlenmesi

Toprak damların üretiminin ardından ve periyodik bakımları sırasında sıkıştırma işlemi uygulanmaktadır. Sıkıştırma işlemi, kuru kilde yeterli sıkıştırmanın elde edilmesi çok zor olduğundan, toprak nemliken yapılmaktadır. Bunun nedeni kuru kilde iç bağların çok güçlü olması ve taneler arasındaki kayma direncinin çok büyük olmasıdır. Öte yandan yapıdaki aşırı su da sıkıştırma işlemi için zararlı olabilmektedir. Yapıda aşırı su varsa sıkıştırma sırasında çatı yüzeyinden su çıkabilmekte ve kil partiküllerini sürükleyerek erozyona neden olabilmektedir. Sonuç olarak, toprağın granülometrik düzeni bozulmakta; toprakta kil içeriği azalınca malzeme de zayıflayabilmektedir [30]. Bu nedenle sıkıştırma sırasında toprak tabakasının nem içeriğine önem verilmelidir.

Özgün ve katkılı topraklarla alan çalışması sırasında Kemaliyeli yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile üretilecek dam modellerinde kullanılacak toprakların su muhtevaları belirlenmiştir. Belirlenen kıvamların tespiti için çimento kıvam ve priz süresi tayininde kullanılan TS EN 196-3 [94] standardına uygun vicat test cihazı kullanılmıştır.

Alanda yapılan çalışma sırasında yerel yapı ustası Mustafa Malkoç’un uygun bulunduğu uygulanabilirlik kıvamı üretimin hemen ardından vicat cihazında 300g kuvvet altında 10mm çapında sondanın 13±3 mm batacağı aralıkta belirlenmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35 Su muhtevelarının belirlenmesi için alanda vicat kıvam deneyi yapılması (Erzincan, Kemaliye – Alan çalışması, 2022)

Ardından laboratuvar ortamında %17 ve %22 su muhtevelarındaki numunelerin aynı cihaz ile kıvam değerleri sırasıyla 1. saat, 2. saat, 1. gün, 2. gün, 3. gün ve 4. gün yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Buna göre farklı su muhtevelarındaki numunelerin kıvam ölçümü Tablo 5.21’de verilmektedir.

Tablo 5.22 Farklı su muhtevelarındaki numunelerin kıvam ölçümü

Numune Kodu	Kıvam ölçümü (mm)					
	Üretim Anında	1. Saat	2. Saat	1. Gün	2. Gün	3. Gün
G1%22	9	15	20	30	38	40
G1%17	30	32	36	38	40	-
G3%22	28	28	35	38	40	-
G3%17	35	38	40	-	-	-
G7%22	26	32	35	40	-	-
G7%17	35	40	-	-	-	-

Kıvam aldığı an

5.3.2 Seçilen Katkılı Topraklarla Numune Üretilmesi ve Taze Haldeki Deneyler

Numune üretimi sırasında katkı malzemelerinin yüzde değerleri toplam kuru malzeme ağırlığının yüzdesi olarak alınmıştır ve daha önceki numune üretimleriyle eşit tutulmuştur. Malzemenin dam üzerinde uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak su muhteveları da %17 ve %22 ile sınırlandırılmıştır. Tablo 5.23’te

numunelerin su muhtevaları ve katkı oranları verilmiş, yerel yapı ustası Mustafa Malkoç'a göre uygulama yapılabilmesi için uygun kıvamda olup olmadıkları belirtilmiştir.

Tablo 5.23 Farklı su muhtevalarındaki numunelerin malzeme ve katkı oranları ile yerel ustanın uygulanabilir bulduğu su muhtevaları

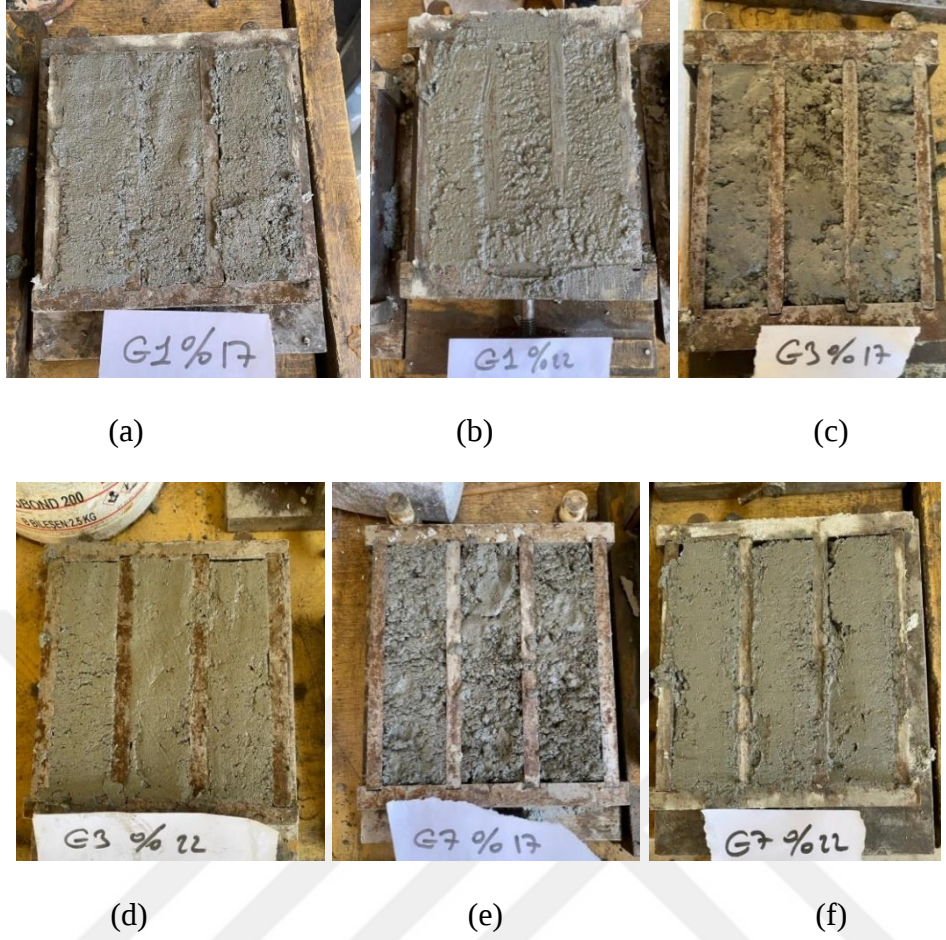
NUMUNE ADI-SU MUHTEVASI	MALZEME VE KATKI ORANI	YEREL USTANIN UYGUN BULDUĞU KIVAM
G1%22	Gavcin (Şahit Numune)	Uygun değil
G1%17	Gavcin (Şahit Numune)	Uygun Kıvam
G3%22	Gavcin + %5 CL-80 + %5 Yağ	Uygun Kıvam
G3%17	Gavcin + %5 CL-80 + %5 Yağ	Uygun değil
G7%22	Gavcin + %5 CL-80 + %10 Uçucu Kül	Uygun Kıvam
G7%17	Gavcin + %5 CL-80 + %10 Uçucu Kül	Uygun değil

G3 kodlu ve yağ ve kireç katkılı numunelerde literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak katkı oranları her bir katkı için toplam kuru ağırlığın %5'i olarak belirlenmiştir. G7 kodlu uçucu kül ve kireç içeren numunelerde uçucu kül miktarı yine literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak toplam kuru ağırlığın %10'u, kireç miktarı ise toplam kuru ağırlığın %5'i olarak alınmıştır.

Karıştırma sırasında ise önce tüm kuru malzemeler (gavcin toprağı ve varsa kireç ve uçucu kül) 30 saniye düşük hızda (62 r.p.m.) karıştırılmış; ardından su ve varsa yağ eklenerek önce 30 saniye düşük hızda (62 r.p.m.) daha sonra 30 saniye yüksek hızda (125 r.p.m.) karıştırılarak numuneler üretilmiştir.

Üretilen numuneler 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara, her tabakada sarsma tablasında sarsılarak 2 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Buna göre sertleşmiş haldeki deneyler için 6 farklı malzeme tipi için her birinden 18 adet olmak üzere 108 adet numune üretilmiştir (Şekil 5.36).

G1%17, G1%22, G3%22 ve G7%22 numuneleri sorunsuz üretilirken, su muhtevaları görece daha az olduğu için G3%17 ve G7%17 numunelerinin üretiminde kalıba boşluksuz yerleştirebilmek için yeterli kıvam sağlanamamıştır. Ancak yine de üretim yapılmış, deney sonuçları değerlendirilirken bu durum göz önünde bulundurulmuştur. (Şekil 5.36-c, e)



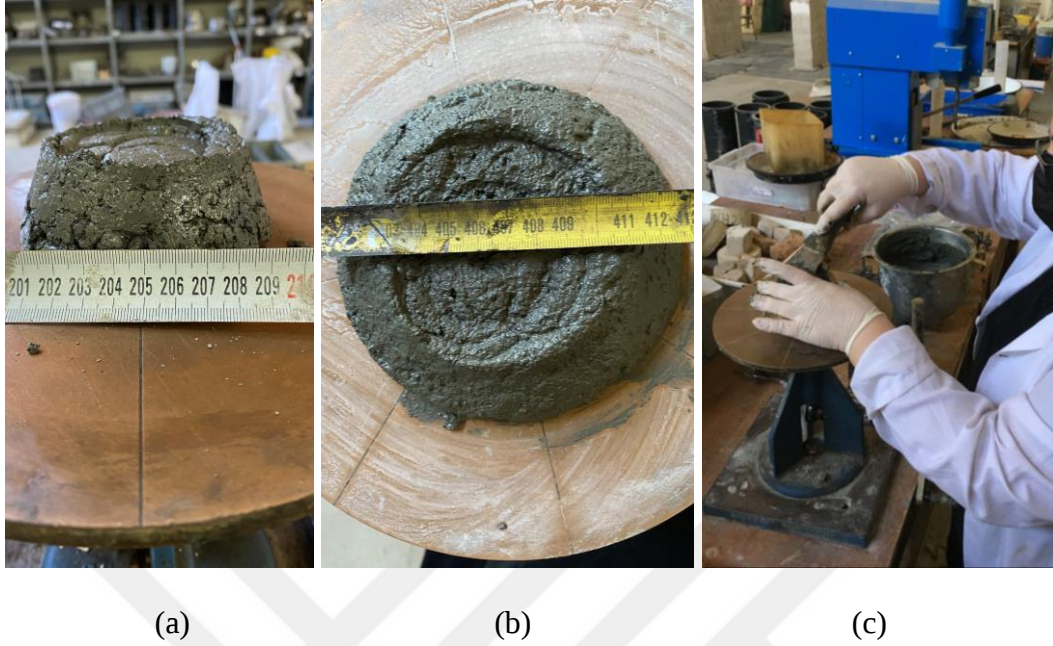
Şekil 5.36 Taze haldeki kalıplanmış numuneler a)G1%17, b)G1%22, c)G3%17, d)G3%22, e)G7%17, f) G7%22 (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

5.3.2.1 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Kıvamının Belirlenmesi

Taze harçların kıvamının belirlenmesi için TS EN 1015-3 standardına [91] uygun olarak; bölüm 4.1.3'teki aynı prosedür gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.37'de taze numune kıvamının belirlenmesi için yapılan yayılma deney düzeneği ve yayılmış numune ölçümleri gösterilmektedir. Tablo 5.22'de hesaplanan yayılma çapları verilmiştir.

Buna göre, su muhtevası %17 olan G7 numunesinde yayılma çapı 9cm ve su muhtevası %17 olan G3 numunesinde yayılma çapı 11cm de kalırken; Su muhtevası %22 olan G1 numunesinde yayılma çapı 15cm'yi bulmuştur. Yerel yapı ustası Mustafa Malkoç'un uygun bulduğu kıvamlardaki %17 su muhtevalı G1

numunesinde, %22 su muhtevalı G3 numunesinde ve %22 su muhtevalı G7 numunesinde yayılma çapı $13 \pm 0,5\text{cm}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.37 Yayılma deneyi düzeneği a,b) Ölçüm alınması, c) Numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

5.3.2.2 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Boşluklu Birim Ağırlığının Belirlenmesi

Taze numunelerin boşluklu birim ağırlığının belirlenmesi için; bölüm 4.1.3'teki prosedürün aynısı TS EN 1015-6 standardına [93] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boşluklu birim ağırlıkları Tablo 5.24'te verilmiştir.

Tablo 5.24 Üretilen numunelerin taze haldeki özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Yayılma Çapı (mm)	Boşluklu Birim Ağırlık (kg/m^3)
G1%22	150	2160
G1%17	125	2234
G3%22	135	1930
G3%17	110	ölçüm alınamadı
G7%22	135	1949
G7%17	90	ölçüm alınamadı

Buna göre, boşluklu birim ağırlığı en yüksek olan numune %17 su muhtevasına sahip G1 numunesi olmuş; diğer numunelerin boşluklu birim ağırlığı büyükten küçüğe doğru G7%22, G3%22 ve G1%22 olarak sıralanmıştır. %17 su muhtevasına sahip G3 ve G7 numuneleri ölçüm kabına homojen olarak yerleştirilemediği için bu numunelerde ölçüm alınamamıştır.

5.3.3 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Kür Koşulları ve Donma-Çözülme Çevrimlerinin Belirlenmesi

Soğuk iklim koşullarının hâkim olduğu bölgelerdeki toprak damlar, yılda birkaç kez donma-çözölmeye maruz kalmaktadır. Toprak yapı malzemeleri donma-çözölme etkisi altında yapısal olarak değışime uğradıkları için, fiziksel ve mekanik özelliklerinde de değışimler meydana gelmektedir. Donma sırasında toprak daneleri arasındaki suyun donması ile hacminde yaklaşık %9 luk bir artış olmaktadır. Bu hacim artışı sonucunda toprak daneleri arasındaki boşluklar artmakta, daneler birbirinden uzaklaşmaktadır. Böylece toprak malzeme donma-çözölme öncesi durumuna göre daha boşluklu ve sıklığı daha az bir malzeme haline gelmektedir. Bu durum malzemenin su geçirimsizliğinde önemli değışimlere neden olmaktadır. Donma sırasında toprak malzeme içerisinde buz mercekleri oluşmakta, bu mercekler çözölme sonrasında malzeme içerisinde kılcal çatlaklar oluşturmaktadır. Bu bağlamda, suyun toprak içerinden geçişi donma-çözölme öncesine göre artmaktadır [120].

Tez kapsamında katkılı topraklar ve özgün malzeme ile üretilen ve 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilen numunelerden, her bir 6 numune tipinden 18 adet olmak üzere toplamda 108 adet üretilmiştir.

Bu numuneler eğilme-basınç, kılcal su emme, kompasite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmak üzere küre yerleştirilmiştir. Numuneler 7. gün kalıptan çıkarılmış; 25±5 °C ve %60±5 bağıl nemde donma çözölme öncesi ilk ölçümler için 28 gün bekletilmiştir.

28. günde ilk ölçümler yapıldıktan sonra, numuneler Kemaliye'deki meteorolojik veriler göz önünde bulundurularak donma çözölme çevrimine maruz bırakılmıştır. Bunun için ASTM D560 [121] standardına uygun olarak numuneler önceden suya doyurulmak istendiğinde G1%17 ve G1%22 kodlu özgün numunelerin su içerisinde

çözündüğü görülmüş; bu nedenle numuneler suya doyurulmadan donma-çözülme çevrimleri gerçekleştirilmiştir.

Ardından tüm numuneler suya doyurulmuş, suda çözünmeyen numunelerle donma çözülme çevrimleri tekrarlanmıştır. Suyu doyurulmuş numuneler ile gerçekleştirilen çevrimler parçalanmayan son numune kalıncaya kadar devam ettirilmiştir (Şekil 5.38).



Şekil 5.38 Numunelerin donma-çözülme çevrimleri için iklimlendirme kabinine yerleştirilmesi (YTÜ, Geoteknik Laboratuvarı, 2023)

Donma-çözülme çevrimleri için Kemaliye'deki son 5 yılın (2017 Haziran – 2022 Haziran) günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri incelenmiş, 0 °C nin altında sıcaklığa sahip günler donlu günler olarak kabul edilmiştir. Donlu günün ardından 0 °C nin üzerine çıkan ölçümler ise çözülme değeri olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.25'te yıllara göre donma-çözülme çevrim adetleri verilmiştir. Son 5 yılda Kemaliye'de 1 yılda gerçekleşen donma-çözülme çevrimi en az Haziran 2020 ile Haziran 2021 arasında 9 kez; en fazla Haziran 2021 ile Haziran 2022 arasında 42 kez gerçekleşmiştir. Son 5 yıl içerisinde gerçekleşen donma çözülme çevrimleri göz önünde bulundurulduğunda yılda ortalama 22 donma çözülme çevrimi gerçekleştiği görülmüştür. Laboratuvar deneyleri sırasında yıllık maksimum donma çözülme

çevrim adedi göz önünde bulundurulmuş ve hızlandırılmış yorulma sonuçları elde edebilmek için 50 çevrim gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.25 Kemaliye’de yıllara göre donma-çözülme çevrim adetleri

Zaman Aralığı	Donma – Çözülme Çevrimi
Haziran 2017 – Haziran 2018	12 adet
Haziran 2015 – Haziran 2019	22 adet
Haziran 2019 – Haziran 2020	27 adet
Haziran 2020 – Haziran 2021	9 adet
Haziran 2021 – Haziran 2022	42 adet

* 2017-2022 yılları arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri kullanılmıştır.

Donma olayının gerçekleştirileceği sıcaklığın belirlenmesi için ise yine Kemaliye’deki farklı zamanlara ait minimum sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulmuş (Tablo 5.26); buna göre donma sıcaklığı minimum sıcaklık değeri olan -18,9°C nin altında kalarak -20°C olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.26 Kemaliye’de yıllara göre minimum sıcaklık değerleri ve gerçekleştiği aylar

Zaman Aralığı	Gerçekleştiği Ay	Minimum Sıcaklık (°C)
2017 – 2022	Ocak	-11,9
2014 – 2017	Ocak	-13,4
1985 – 1990	Şubat	-18,9

* 1985-1990 ve 2014-2022 yılları arası MGM verileri kullanılmıştır.

Çözdürme sıcaklığı için ise Kemaliye’de en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasındaki farklar göz önünde bulundurulmuştur ve Kemaliye’de en yüksek sıcaklık farkının 39,8 derece ile mart ayında gerçekleştiği görülmüştür (Tablo 5.27).

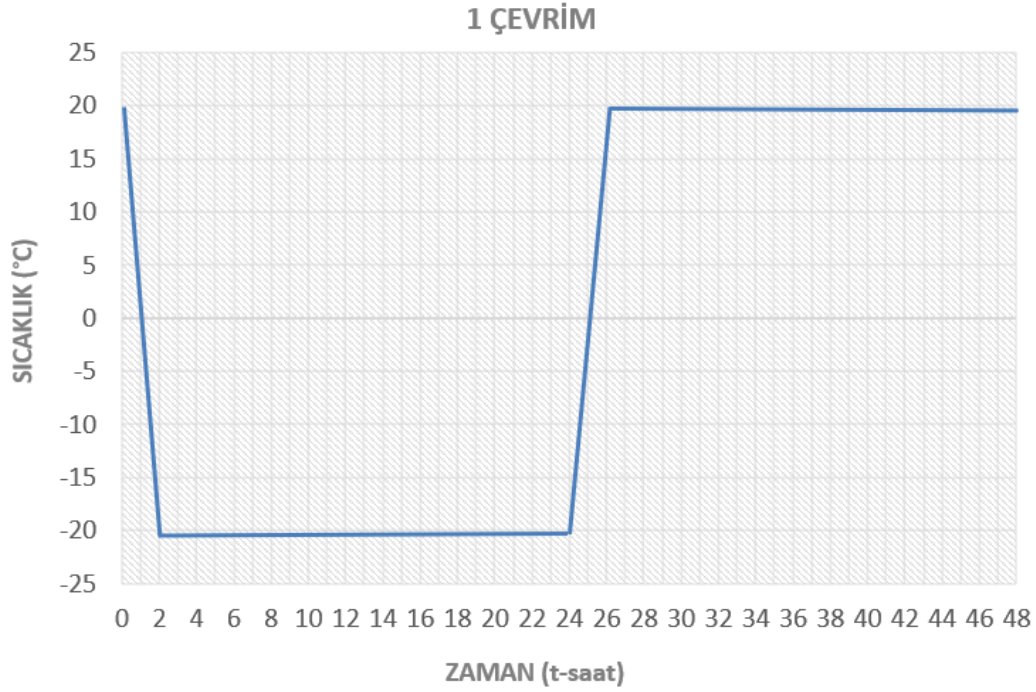
Tablo 5.27 Kemaliye’de en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasındaki fark ΔT (°C)

Ay	Oca	Sub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
ΔT (°C)	25,3	33,3	39,8	30,1	25,5	25,6	24	25,1	28,8	27,2	27,2	26,1

* 1985-1990 ve 2014-2018 yılları arası MGM verileri kullanılmıştır.

Neme doyurulan numuneler, iklimlendirme kabininde $-20 \pm 1^\circ\text{C}$ de 24 saat bekletilerek dondurulmuştur. Ardından yine aynı kabinde $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ve $\%60 \pm 5$ bağıl nemde 24 saat bekletilerek çözdürülmüştür. Böylece 48 saatte bir donma-çözülme çevrimi gerçekleştirilmiştir. 50 kez tekrarlanan donma çözülme çevrimlerinin ardından numuneler suya doyurulmuş ve tekrar donma çözülme çevrimlerine maruz

bırakılmışlardır. Son sağlam numune kalıncaya kadar çevrimler devam ettirilmiştir. Donma-çözülme çevrimleri için uygulanan yöntem Tablo 5.28 ve Şekil 5.39’te verilmiştir.



Şekil 5.39 Donma-çözülme çevrimleri için uygulanan yöntem

Tablo 5.28 Donma-çözülme çevrimleri için uygulanan yöntem

İşlem	İşlem Sırasında		Bağıl Nem (%)	Maruz Bırakma Süresi (Saat)	Çevrim Adeti	
	İlk Sıcaklık (°C)	Son Sıcaklık (°C)			Neme Doyurulmuş Numunelerle	Suya Doyurulmuş Numunelerle
Donma	+20±2	-20±2	-*	24±2	50	22**
Çözülme	-20±2	+20±2	60±5	24±2	50	22**

* Donma işlemi sırasında bağıl nem değeri belirlenememektedir.

** Suya doyurulmuş numunelerle gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimleri son sağlam numune kalıncaya kadar devam ettirilmiştir.

Kılcal su emme, kompasite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri ve eğilme-basınç deneyleri donma çözülme çevrimlerinden önce ve sonra tekrarlanmış birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

5.3.4 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Fiziksel Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Seçilen katkılı toprakların donma-çözülme öncesi ve sonrası fiziksel malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile belirlenen su muhtevalarında laboratuvar ortamında yeni numuneler üretilmiş ve numunelerin taze halde ve 28. Günde malzeme özellikleri belirlenmiştir. Ardından T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden edinilen veriler ışığında son 5 yılda Kemaliye’de gerçekleşen donma-çözülme çevrimleri hesaplanmıştır. Farklı su muhtevalarında seçilmiş katkı malzemeleri ile üretilen neme doyurulmuş numuneler bu verilere bağlı kalınarak donma-çözünme çevrimlerine maruz bırakılmış ve fiziksel malzeme özellikleri 50. çevrim sonrasında tekrar belirlenmiştir. Ardından suya doyurulan numuneler son sağlam numune kalana kadar tekrar donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış, çevrim sonunda fiziksel malzeme özellikleri yeniden belirlenmiş, oluşan malzeme hasarları tespit edilmiştir.

5.3.4.1 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Daha önce 4.1.3 başlığı altında anlatıldığı üzere TS EN 1015-10 [96] standardına uygun olarak özgün ve katkılı topraklarla üretilen farklı su muhtevalarındaki sertleşmiş numunelerin birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Deney uygulanmadan önce numuneler 24 saat süresince, serbest su miktarını buharlaştırmak amacıyla $105\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. G1, G3 ve G7 numunelerinin her biri %17 ve %22 su muhtevalarında olmak üzere 6 numuneden 3 er numunede donma çözüme öncesi 28. Günde; 3 er numunede neme doyurulmuş donma-çözüme çevrimleri sonrasında, 6 numunede de suya doyurulmuş donma çözülme çevrimleri sonrasında olmak üzere toplamda 42 numunede deney

gerçekleştirilmiştir. Buna göre malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri Tablo 5.28’de verilmiştir.

5.3.4.2 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Özgül Ağırlığının Belirlenmesi

Özgül ağırlık deneyi bölüm 4.1.3’te anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Deney uygulanmadan önce numuneler 24 saat boyunca, serbest su miktarını buharlaştırmak amacıyla $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüv içerisinde bekletilmiştir.

G1, G3 ve G7 numunelerinin her biri %17 ve %22 su muhtevalarında olmak üzere 6 numuneden 3 er numunede donma çözüme öncesi 28. Günde; 3 er numunede neme doyurulmuş donma-çözüme çevrimleri sonrasında, 6 numunede de suya doyurulmuş donma çözülme çevrimleri sonrasında olmak üzere toplamda 42 numunede deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri Tablo 5.28’de verilmiştir.

5.3.4.3 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Kompasite ve Porozite Değerlerinin Hesaplanması

Deneyisel çalışmalar sırasında bulunan birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak kompasite (k, %), ve porozite (p, %), değerleri bölüm 4.1.3’te anlatıldığı şekliyle hesaplanmıştır. Buna göre malzemelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kompasite ve porozite değerleri Tablo 5.28’de verilmiştir.

5.3.4.4 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Değerlerinin Belirlenmesi

Ağırlıkça ve hacimce su emme deneylerinde bölüm 4.1.3’te anlatıldığı gibi deney numunelerinin öncelikle suya doyurulması gerekmektedir. Ancak donma-çözünme öncesi yapılan deneyler sırasında toprak malzeme ile üretilen numunelerden bir kısmı suda çözüldüğü için deney bu numunelerle yapılamamıştır. Bu nedenle tüm malzeme tipleri $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ve $\%90\pm 5$ bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar tutulmuş ve deney neme doyurulmuş numuneler ile de gerçekleştirilmiştir.

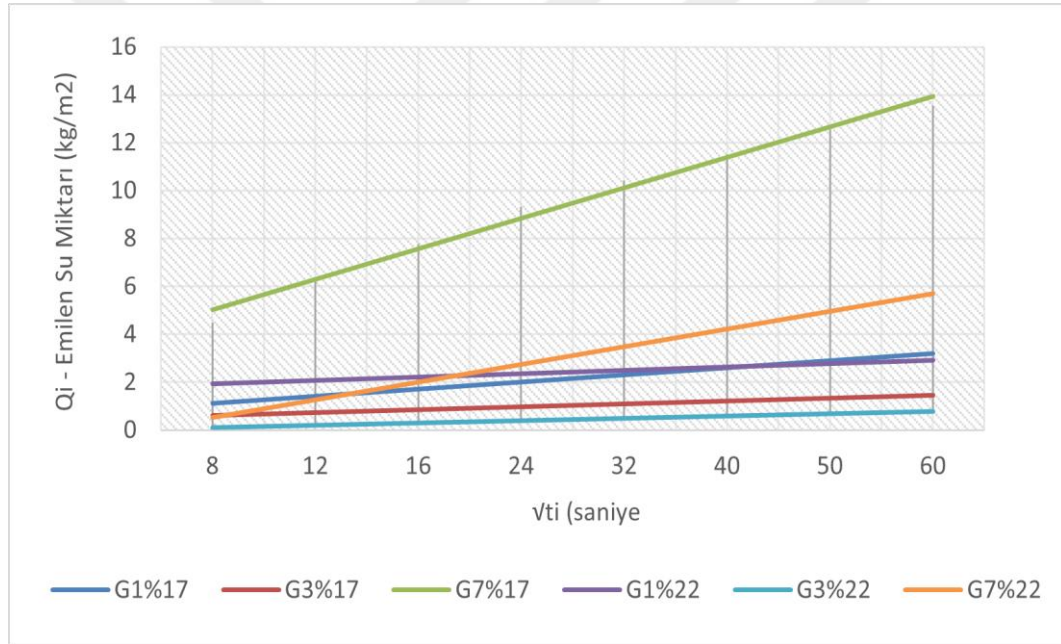
Bu bağlamda ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri için her numune tipinden 6 şar adet ve donma çözülme öncesi ve sonrası olmak üzere toplamda 84 numunede

deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre malzemelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri Tablo 5.28’de verilmiştir.

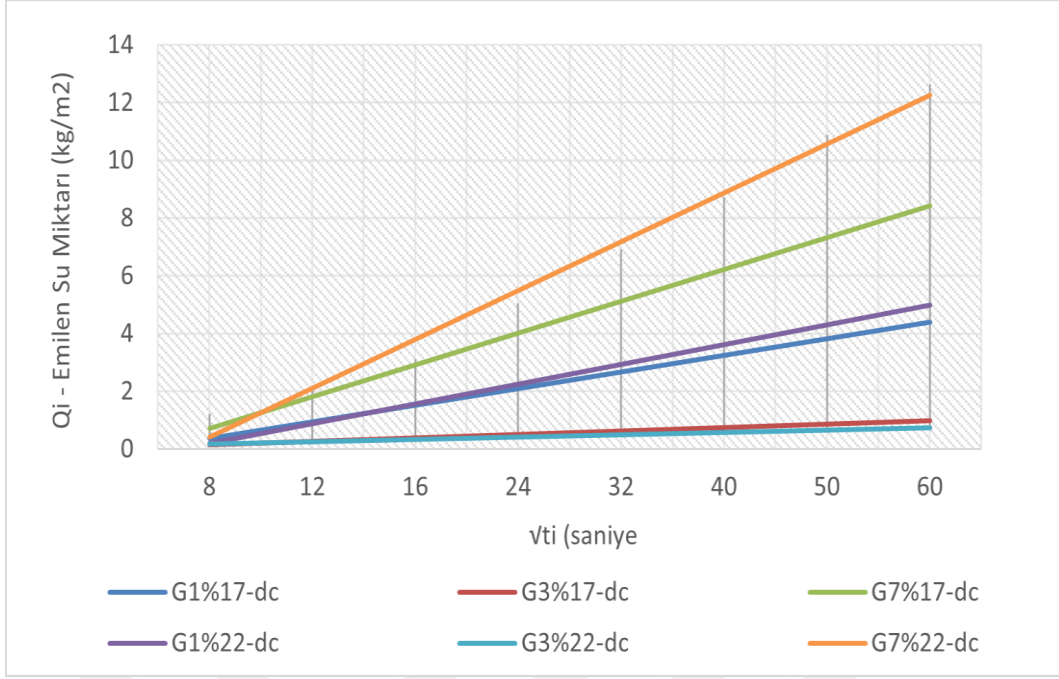
5.3.4.5 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Kılcal Su Emme (Kapilarite) Değerlerinin Belirlenmesi

Kılcal su emme deneyinde TS EN 1015-18 [97] ve TS EN 15801 [98] standartlarına uyulmuş; bölüm 4.1.3’te anlatıldığı gibi kılcal yolla emilen su miktarı (Q_i , kg/m²) hesaplanmıştır. Numuneler üzerine 1cm ara ile çizgiler çizilerek deney sonucunda suyun yükselme miktarı ölçülmüştür. Ardından Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği çizilmiş ve doğru eğiminden faydalanılarak kılcallık kat sayısı bulunmuştur (Şekil 5.40- Şekil 5.42).

Şekil 5.40’ta donma-çözülme öncesi, Şekil 5.41’de neme doyurulmuş numunelerin donma çözülme sonrası Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği verilmiştir.



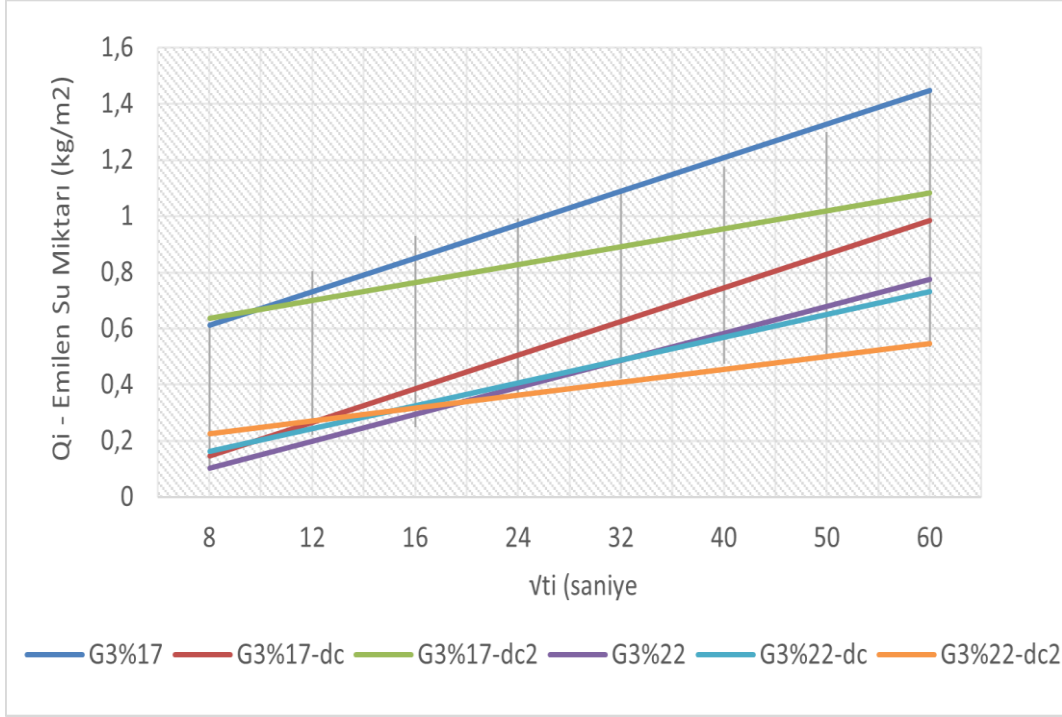
Şekil 5.40 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkı topraklarla üretilen numunelerin donma-çözülme öncesi Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



Şekil 5.41 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkı topraklarla üretilen neme doyurulmuş numunelerin donma-çözülme sonrası $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği

Şekil 5.42’de ise suya doyurulmuş numunelerden donma çözülme sonrası ölçüm alınabilen G3%17 ve G3%22 numunelerinin donma-çözülme öncesi, neme doyurulmuş donma-çözülme sonrası ve suya doyurulmuş donma-çözülme sonrası $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği çizilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

G1, G3 ve G7 numunelerinin her biri %17 ve %22 su muhtevalarında olmak üzere 6 numuneden 3 er numunede donma çözüme öncesi 28. Günde; 3 er numunede neme doyurulmuş donma-çözüme çevrimleri sonrasında, 6 numunede de suya doyurulmuş donma çözülme çevrimleri sonrasında olmak üzere toplamda 42 numunede deney gerçekleştirilmiştir. Üretilen harçların kapilarite özellikleri Tablo 5.29’da verilmiştir. Tüm numunelerle gerçekleştirilen kılcal su emme deney verileri ve grafikleri Ek-B’de verilmiştir.



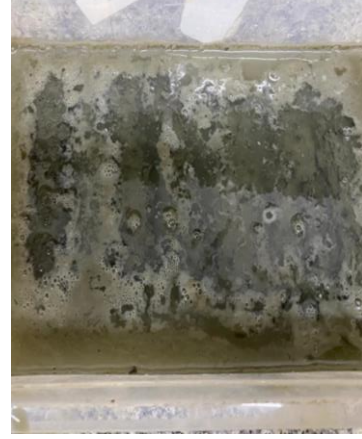
Şekil 5.42 Kılcal su emme deneyi sonucu özgün ve seçilmiş katkılı topraklarla üretilen G3%17 ve G3%22 numunelerinin neme doyurularak ve suya doyurularak gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrası $Q_i-\sqrt{t_i}$ grafiği

5.3.4.6 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Suda Çözünmesinin İncelenmesi

G1, G3 ve G7 numunelerinin her biri %17 ve %22 su muhtevalarında olmak üzere 6 numuneden 3'er numunede donma çözümü öncesi 28. Günde; 3'er numunede neme doyurulmuş donma-çözümüne çevrimleri sonrasında, 6 numunede de suya doyurulmuş donma çözülme çevrimleri sonrasında olmak üzere toplamda 42 numunede suda çözünme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.430). Üretilen harçların suda çözünme ile ilgili özellikleri Tablo 5.29'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.43 Numunelerin Suda Çözülmesi a) donma-çözülme öncesi G3%22 ve G7%22; b) donma-çözülme öncesi G1%17

5.3.5 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Mekanik Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Özgün malzemelerin ve seçilmiş katkı malzemelerin mekanik malzeme özelliklerinin belirlenmesi için donma-çözülme öncesi ve sonrasında basınç dayanımı ile eğilme-çekme dayanımı testleri yapılmıştır (Şekil 5.44, 5.45). Buna göre test sonuçları tablo 5.29’da verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.44 a,b) Basınç dayanımı test düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı)

Tablo 5.29 Özgün ve Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Fiziksel Malzeme Özellikleri

Numune Kodu	G1%17	G1%17-dc	G1%22	G1%22-dc	G3%17	G3%17-dc	G3%17-dc2	G3%22	G3%22-dc	G3%22-dc2	G7%17	G7%17-dc	G7%22	G7%22-dc
Birim hacim ağırlık (β ,g/cm ³)	2,0	2,0	1,9	2,0	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,7	2,0	1,9	1,8	1,8
Özgül ağırlık (γ ,g/cm ³)	2,6	2,5	2,6	2,5	2,2	2,3	2,3	2,2	2,0	2,0	2,5	2,1	2,5	2,2
Kompasite (k, %)	76	81	79	78	71	74	80	79	88	87	52	53	72	84
Porozite (p, %)	24	19	21	22	29	26	20	21	18	13	48	47	28	16
Hacimce su emme-% (su)	-	-	-	-	8	8	10	8	9	10	29	28	31	30
Hacimce su emme-% (nem)	6,1	3,4	5,5	4,1	5,2	3,4	-	3,7	3,3	-	5,8	1,8	3,6	1,8
Ağırlıkça su emme-% (su)	-	-	-	-	5	5	5	5	5	6	7	15	17	30
Ağırlıkça su emme-% (nem)	3,1	1,9	2,9	2,1	2,8	1,9	-	2,2	1,9	-	2,7	1,7	2,0	1,8
Kılcallık katsayısı(Kk, kg/m ² √s)	0,3	0,6	0,3	0,7	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	1,3	1,1	0,7	1,7
Kılcal yükselme miktarı(cm)	2	2,5	2	2,5	1	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	4	3	2	5
Suda çözünme (saat)	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Eğilme (N/mm ²)	1,2	0,9	1,1	0,9	0,5	0,4	0,3	0,6	0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,4
Basınç (N/mm ²)	3,7	3,3	3,6	3,1	3,2	2,2	2,1	1,6	1,3	1,3	1,0	2,2	1,3	1,4

- Ölçüm alınamamıştır.

X 24 saat sonunda suda çözünmemiştir.

(su) Suya doyurulmuş numuneler

(nem) Neme doyurulmuş numuneler



Şekil 5.45 Eğilme-çekme dayanımı test düzeneği (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı)

5.3.6 Seçilen Katkılı Topraklarla Üretilen Numunelerin Donma-Çözülme Öncesi ve Sonrası Malzeme Deneylerinin Değerlendirilmesi

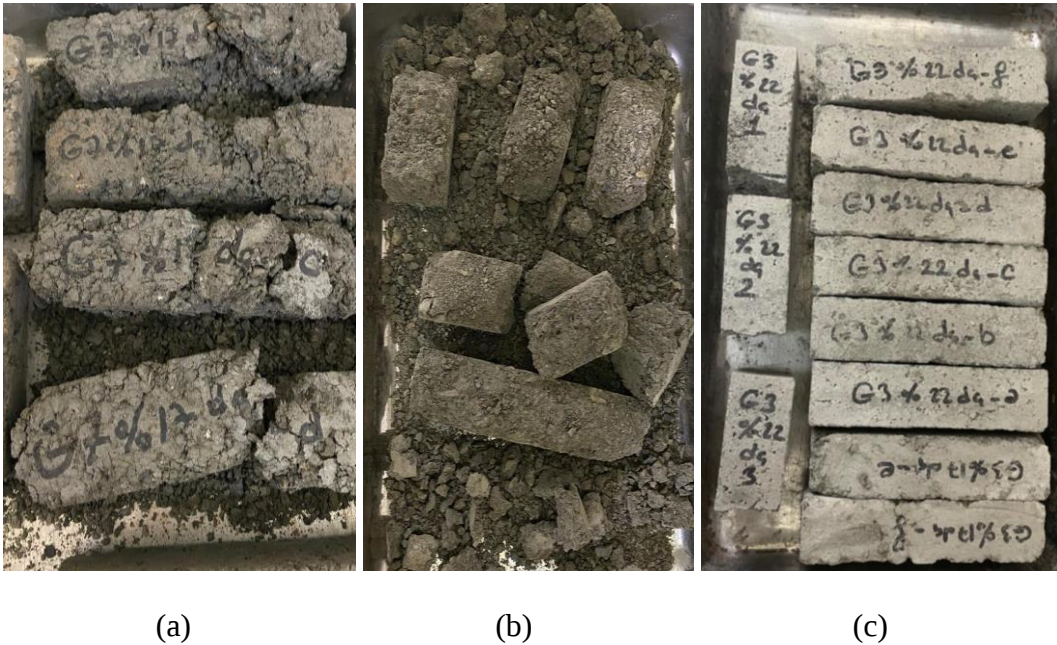
Gerçekleştirilen deneysel çalışmada donma-çözülme öncesi ve sonrası malzeme özellikleri belirlenmeden önce alan çalışması düzenlenmiş ve yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile G1, G3 ve G7 numunelerinin uygulanabileceği su muhtevaları belirlenmiştir. Buna göre G1 numunesi için %17 su muhtevası, G3 ve G7 numuneleri için ise %22 su muhtevası uygun bulunmuştur²⁰. Ardından laboratuvar ortamında tüm numunelerin %17 ve %22 su muhtevalarındaki kıvam değerleri ve priz süreleri sırasıyla 1. saat, 2. saat, 1. gün, 2. gün, 3. gün ve 4. gün yapılan ölçümlerle belirlenmiştir.

Buna göre G7%17 numunesi ilk 1 saat içerisinde; G3%17 numunesi ise ilk 2 saat içerisinde kıvam almıştır. G7%22 numunesi 1. gün kıvam alırken, G3%22 numunesi ve G1%17 numuneleri 2. gün kıvam almışlardır. G1%22 numunesinin kıvam alması ise 3. günü bulmuştur. Bu bağlamda numunelerin kıvam alma sürelerinin su muhtevalarına ve katkı malzemelerine göre değişmekte olduğu görülmüştür. Alanda yapılan model dam uygulamaları sırasında da damların

²⁰ Üretim sırasında yaškuru toprağının da serilmeden önceki su muhtevasının %24 olduğu tespit edilmiştir.

sıkıştırılma zamanının toprak malzemenin kıvam alma sürelerine göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Bakınız bölüm 6.2).

Su muhtevaları belirlendikten sonra seçilen katkıli topraklarla harç numuneleri üretilmiş ve 28. günde fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri belirlenmiştir. Üretilen numuneler neme doyurularak donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış, 50 kez tekrarlanan donma çözülme çevrimlerinin ardından numuneler suya doyurulmuş ve tekrar donma çözülme çevrimlerine maruz bırakılmışlardır. Son sağlam numune kalıncaya kadar çevrimler devam ettirilmiştir. Kılcal su emme, kompasite ve porozite ile ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri ve eğilme-basınç deneyleri donma çözülme çevrimlerinden önce ve sonra tekrarlanmış birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Neme doyurularak gerçekleştirilen ilk donma çözülme çevrimlerinden tüm numuneler (G1%17-dc, G1%22-dc, G3%17-dc, G3%22-dc, G7%17-dc, G7%22-dc) 50. çevrim sonunda sağlam çıkmış, fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri tüm numunelerde çevrim sonrası ölçülebilmektedir. Suya doyurularak gerçekleştirilen ikinci çevrimlerde ise özgün numuneler (G1%17-dc2 ve G1%22-dc2) suda çözündüğü için deneye dahil edilememiştir. Mekanik ve fiziksel deneyler yalnızca çevrimlerden sağlam çıkan kireç ve yağ katkıli (G3%17-dc2 ve G3%22-dc2) numunelerle gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.46).



Şekil 5.46 Donma-çözülme çevrimlerinden sonra numuneler a) G7%17, b) G7%22, c) G3%17 ve G3%22 (YTÜ, Geoteknik Laboratuvarı, 2023)

Özgün ve seçilen katkılı topraklarla üretilen sertleşmiş haldeki numunelerin 28. Günde donma çözünme öncesi malzeme özellikleri incelendiğinde en yüksek birim hacim ağırlık değeri $2,0 \text{ g/cm}^3$ ile G1%17 ve G7%17 numunesinde, en düşük değeri ise $1,7 \text{ g/cm}^3$ ile G3%22 numunesinde görülmüştür. Donma-çözülme çevrimleri sonrasında da durum değişmemiş, G1%17-dc, G1%22-dc numunelerinde en yüksek birim hacim ağırlık değeri görülürken G3%22-dc2 numunesinde $1,7 \text{ g/cm}^3$ ile en düşük değer görülmüştür. Genel olarak katkılı malzemelerin birim hacim ağırlıklarının özgün malzemedan daha düşük olduğu söylenebilmektedir.

Özgül ağırlık deneyinde ise en yüksek değer $2,6 \text{ g/cm}^3$ ile G1%17 ve G1%22 numunelerinde görülürken, en düşük değerle $2,0 \text{ g/cm}^3$ ile G3%22-dc ve G3%22-dc2 numunelerinde karşılaşılmıştır. Özgül ağırlık değerinin de katkılı malzemelerde özgün malzemedan daha düşük olduğu görülmüştür.

Numunelerin kompasite ve porozite değerleri incelendiğinde porozite oranı en yüksek numune %48 ile G7%17, en düşük numune %21 ile G1%22 ve G3%22 numuneleri olmuştur. G7%22 numunesindeki değer göz önünde bulundurulduğunda, G7%17 numunesi üretilirken yeterli su muhtevası olmadığı için numunede homojen bir karışım elde edilemediği ve değer bu nedenle %48 gibi çok yüksek bir seviyede olduğu düşünülmektedir. Tüm numunelerde donma-çözülme çevrimleri sonrasında porozite değerlerinde azalma görülmüştür. Genellikle donma-çözülme çevrimlerinin ardından malzemenin boşluk oranında artış beklense de tablo 5.20 ve bölüm 5.2.3'te belirtildiği üzere daha önce gerçekleştirilen kısa ve uzun vadeli ön deneylerde tüm numunelerin porozite değerlerinde zaman içerisinde düşüş gerçekleşmiştir. Bu bağlamda donma-çözülme çevrimlerinin ardından gerçekleşen porozite düşüşlerinin zamana bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

Hacimce ve ağırlıkça su emme deneyleri gerçekleştirilirken tüm numuneler suya doyurulamamış; deney yalnızca G3%22 ve G7%22 numuneleri ile gerçekleştirilebilmiştir. Bu numuneler arasında hacimce en az su emme değeri %8 ile G3%17, G3%17-dc ve G3%22 numunelerinde görülmüştür. Ağırlıkça en az su emme değerleri ise %5 ile G3%17, G3%17-dc, G3%17-dc2, G3%22 ve G3%22-dc numunelerinde görülmüştür. Bu bağlamda yağ ve kireç katkılı numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin uçucu kül ve kireç katkı

numunelerinkinden donma-çözülme öncesinde de sonrasında da daha düşük olduğu söylenebilmektedir.

Yalnızca özgün malzeme ile üretilen numuneler suya doyurulamadığı için neme doyurulmuş; ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri bu numunelerle gerçekleştirilmiştir. Buna göre neme doyurulan numunelerde donma-çözülme öncesi en yüksek hacimce su emme değeri %6,1 ile G1%17 numunesinde; en düşük hacimce su emme değeri ise %3,6 ile G7%22 numunesinde görülmüştür. En yüksek ağırlıkça su emme değeri %3,07 ile G1%17 numunesinde; en düşük ağırlıkça su emme değeri ise %1,99 ile G7%22 numunesinde görülmüştür. Yine aynı numunelerde donma-çözülme çevrimleri sonrasında en yüksek hacimce su emme değeri %4,1 ile G1%22-dc numunesinde; en düşük hacimce su emme değeri ise %1,8 ile G7%22-dc ve G7%17-dc numunelerinde görülmüştür. En yüksek ağırlıkça su emme değeri %2,1 ile G1%22-dc numunesinde; en düşük ağırlıkça su emme değeri ise %1,7 ile G7%17-dc numunesinde görülmüştür. Tüm numunelerde donma-çözülme sonrası ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde gerçekleşen düşüşün zamana bağlı gerçekleştiği düşünülmektedir (Tablo 5.20 ve Bölüm 5.2.3).

Donma-çözülme çevrimleri öncesi malzemelerin üretiminin ardından 28. gününde gerçekleştirilen kılcal su emme deneyi sonucunda kılcallık kat sayısı $1,3 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$ ile en yüksek G7%17 numunesinde, en düşük $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$ ile G3%22 numunesinde görülmüştür. Donma-çözülme çevrimlerinin ardından gerçekleştirilen kılcal su emme deneylerinin sonucunda ise kılcallık kat sayısı $1,7 \text{ kg/m}^2\sqrt{s}$ ile en yüksek G7%22-dc numunesinde görülmüş; G3%17-dc2 ve G3%22-dc2 numunelerinde ise kılcallık kat sayısı neredeyse 0,0 olarak bulunmuştur. Donma çözülme sonrası numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde düşüş gerçekleşse de kılcal su emme değerlerinde genellikle artış gözlemlenmiştir. Yalnızca su ve yağ katkılı numunelerin kılcal su emme değerleri donma-çözülme çevrimlerinden sonra olumsuz yönde etkilenmemiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında özgün toprak malzeme (yalnızca gavin toprağı) ile üretilen G1%17 ve G1%22 numunelerinin 1 saat içerisinde suda çözüldüğü tespit edilmiştir. Daha sonra diğer numune tipleri (G3%17, G3%22, G7%17 ve G7%22) 24 saat su içerisinde bırakılmak üzere su dolu kaplara yerleştirilmişlerdir. Özgün numune dışındaki tüm numuneler 24 saatin sonunda

çözünmeden kalmışlardır (Şekil 5.35). Neme doyurulmuş numunelerle gerçekleştirilen donma-çözülme çevrimlerinin ardından sonuç değişmemiş özgün numuneler (G1%17-dc ve G1%22-dc) dışındaki numuneler 24 saati çözünmeden tamamlamışlardır. Suyu doyurulmuş numunelerle donma çözülme çevrimleri gerçekleştirilmeden önce G1%17-dc2 ve G1%22-dc2 numuneleri suya doyurulamamış, G7%17-dc2 ve G7%22-dc2 numuneleri de çevrimleri tamamlayamamışlardır. G3%17-dc2 ve G3%22-dc2 numuneleri 24 saatin sonunda suda çözünmeden kalmışlardır. Kullanılan katkı malzemelerinin donma-çözülme öncesinde de sonrasında da özgün malzemenin suda çözülmesini engellediği görülmüştür.

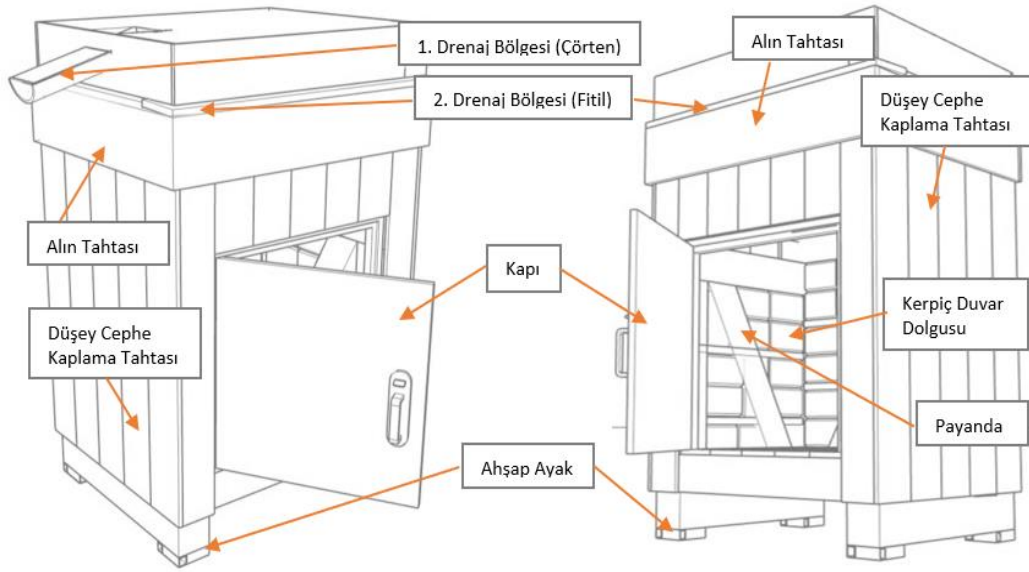
Özgün malzemelerin ve seçilmiş katkılı malzemelerin mekanik malzeme özelliklerinin belirlenmesi için donma-çözülme öncesi ve sonrasında basınç dayanımı ile eğilme-çekme dayanımı testleri yapılmıştır. Donma-çözülme öncesinde gerçekleştirilen basınç ve eğilme-çekme dayanımı testlerinin sonucunda en yüksek değer $3,7 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımı ve $1,2 \text{ N/mm}^2$ eğilme-çekme dayanımı ile özgün G1%17 numunesinde, en düşük değer ise $1,0 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımı ve $0,2 \text{ N/mm}^2$ eğilme-çekme dayanımı ile G7%17 numunesinde ardından $1,3 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımı ve $0,4 \text{ N/mm}^2$ eğilme-çekme dayanımı ile G7%22 numunesinde görülmüştür. G7%17 numunesinde üretim sırasında homojen bir karışım elde edilemediği düşünülürse en düşük değer için G7%22 numunesi kabul edilebilir. Donma-çözülme sonrasında gerçekleştirilen basınç ve eğilme-çekme dayanımı testlerinin sonucunda en yüksek değer $3,3 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımı ve $0,9 \text{ N/mm}^2$ eğilme-çekme dayanımı ile yine özgün G1%17 numunesinde, en düşük basınç dayanımı $1,3 \text{ N/mm}^2$ ile G3%22-dc ve G3%22dc-2 numunelerinde, en düşük eğilme-çekme dayanımı ise $0,3 \text{ N/mm}^2$ ile G3%17dc-2 numunesinde görülmüştür. Tüm veriler karşılaştırıldığında, donma-çözülme öncesinde de sonrasında da katkılı numunelerin mekanik dayanımlarının özgün numuneden daha düşük olduğu söylenebilmektedir.

Literatür araştırmaları ve laboratuvar ortamında ön deneylerle belirlenerek malzeme özellikleri test edilen düz toprak damların su geçirimsizlik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılabilecek katkı malzemeleri ile Kemaliye’de özgün düz toprak dam modeli (G1 kodlu katkısız-şahit model) ve öneri katkılı toprak dam modelleri (G3 ve G7 kodlu sırasıyla ayçiçek yağı + hava kireci ve uçucu kül + hava kireci içeren) üretilmiştir. Dam modelleri 1 yıl boyunca dış hava koşullarına maruz bırakılmış, 7 ± 1 günde bir damların drenaj bölgelerinden (çörten-oluk ve eğik ahşap eleman-fitil) su çıkışları ve iç hava koşulları ölçülmüştür. Bir yıl sonunda toprak ve ahşap malzemelerin su muhtevaları hesaplanmış, damlarda oluşan bozulmalar tespit edilmiş ve modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak düz toprak damlar için önerilen katkı malzemelerinin uygunluğu test edilmiş; özgün düz toprak dam yapım sistemlerinin korunması ve onarımına yönelik model önerisi getirilmiştir.

Tez kapsamında, Kemaliye’de dam modelleri üretilmeden önce YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Kemaliyeli yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile dam modelleri için 1/1 ölçekli, özgün malzeme ve biçimlenişte prototip üretilmiştir. Böylece dam modelleri üretilirken oluşabilecek olası sorunların önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

6.1 Model Dam Deneyleri Öncesi Prototipin Üretilmesi

Tez çalışması kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Yapı Malzemeleri Laboratuvarında 28.02.2022 – 29.02.2022 tarihleri arasında, Kemaliyeli yerel yapı ustalarından Mustafa Malkoç ile birlikte olası sorunları gidermek için yerinde uygulaması yapılacak dam modellerinin bir prototipi üretilmiştir. Dam prototipinin ve Kemaliye’de yerinde uygulanacak model damların üçboyutlu çizimi Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Dam prototipinin ve modellerinin üçboyutlu çizimi

Dam prototipinin üretimi için ilk olarak ahşap ürünlerin ve ahşap çivilerinin temini sağlanmıştır. Ahşap strüktürün ve kaplamaların üretimi için kullanılan ve uygulama öncesi marangozdan temin edilen ahşap malzemelerin boyutları, adetleri, cinsleri ve şekilleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Prototipin ve her bir model damın üretimi sırasında kullanılan malzemeler

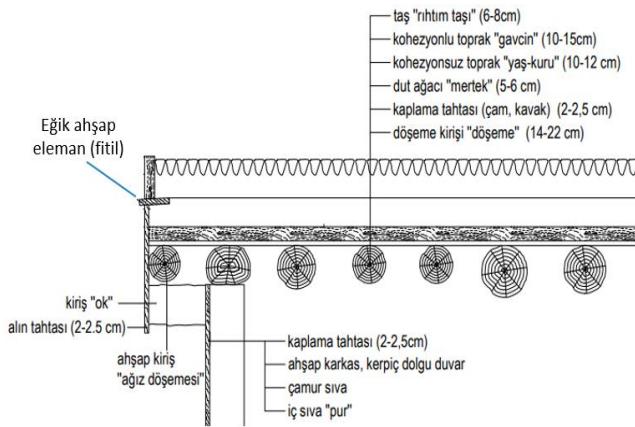
CİNSİ	ŞEKLİ	ADEDİ	BOYUTLARI (cm)
Ahşap (Yerli Çam Ağacı)	Dikdörtgen Kesitli	4	10x10x100
		4	10x10x80
		2	10x10x120
		3	5x10x100
		20	20x1x100
		6	20x1,5x120
		4	12x2,5x120
		4	10x2x125
		3	5x10x120
		3	6x4x80
		3	10x3x100
		4	20x4x125
		1	10x10x40
		5	10x10x120
	Daire Kesitli	5	10x10x120

01.02.2022 tarihinde temin edilen ürünler üretim tarihine kadar Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında muhafaza edilmiştir (Şekil 6.2)



Şekil 6.2 a) YTÜ inşaat fakültesi yapı malzemeleri laboratuvarında muhafaza edilen ahşap ürünler (YTÜ, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, Şubat-2022)

Prototipin ve daha sonra dam modellerinin uygulaması sırasında tercih edilen saçak bitişi Bölüm 3.5 ve Şekil 3.41’de açıklanan 4 farklı saçak bitişi tipleri arasından geçmişte kullanımı nedeniyle Tip-1 olarak seçilmiştir (Şekil 6.3).



(a)



(b)

Şekil 6.3 a) 1. Tip özgün düz dam sistem kesiti, **b)** Apçağa Köyü’nün Hüseyin Karadayı tarafından çekilmiş 1949 tarihli genel görünümü

Dam prototipinin üretimi 1/1 ölçeğinde, özgün yapım tekniği ve malzemeler kullanılarak oluşturulan kabinlerin üzerini örtecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece modellerde özgün konutlardaki iç ortam koşulları da sağlanmış olacaktır.

Ahşap prototipin zemin ile temas eden dikmeleri 10x10x10cm ahşap ayakların üzerine oturtularak, su kaynaklı hasarların önüne geçmek için zemin ile ilişkisi kesilmiştir (Şekil 6.4-a, b).



(a)

(b)

(c)

Şekil 6.4 a) Taban kirişlerinin çakılması, b) Okların (kirişlerin) yerleştirilmesi, c) Kirişlerin kesilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

Özgün yapım tekniğine uygun olarak 4 adet ahşap dikme çakılmış; dikmeler tek yönde ‘‘ok’’ adı verilen taşıyıcı kirişlerle birleştirilmiştir (Şekil 6.4-b, c).

Dikme ve kirişlerden oluşan çatkının arası 3 cephede payandalarla desteklenerek duvar konstrüksiyonu oluşturulmuştur (Şekil 6.5-b). Dördüncü cephe ise kapı yerleştirilmesi için boş bırakılmıştır. Kemaliye’de gerçekleştirilecek modellerde duvar dolgusu oluşturulurken ahşap konstrüksiyonun içerisine özgün hımış yapım tekniğine uygun olarak kerpiç dolgu yapılmasına karar verilmiştir. Duvar strüktürü oluşturulduktan sonra duvarların dış kısmı 2,5cm kalınlığında 20 cm genişliğinde düşey ahşap cephe kaplamaları ile kapatılmıştır (Şekil 6.5-b).



(a)

(b)

(c)

Şekil 6.5 a,b) Konstrüksiyon içerisindeki payandalar ve cephe kaplamasının çıkılması, c) Döşeme kirişlerinin yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

Tabanda 2cm kalınlığında ve 20 cm genişliğinde ahşap döşeme kaplamaları kirişlerin üzerine oturtularak zemin döşemesi tamamlanmıştır (Şekil 6.4-b, 6.5-a,c).Tavanda ise ‘‘ok’’ adı verilen ana kirişlerin üzerine aksi yönde 4 adet döşeme kirişi yerleştirilmiş; döşeme kirişlerinin üzerine tavan kaplaması çakılmıştır (Şekil 6.5-c, 6.6-a,b). Ardından döşeme kirişlerinin ağızlarının olduğu taraf alın tahtası ile kapatılmıştır (Şekil 6.6-a,b).

Alın tahtası kapatıldıktan sonra, üzerine modelin dört cephesini dönecek şekilde ‘‘fitil’’ denilen eğik ahşap eleman yerleştirilmiştir. ‘‘Fitil’’ dam etrafında ‘‘çörten’’ (oluk) e ek olarak ikinci bir drenaj sağlamaktadır. Fitilin montajından sonra diğer drenaj sistemi olan ‘‘çörten’’ de oyularak yerine oturtulmuştur (Şekil 6.7-a,c).

Daha sonra ‘‘fitil’’ in üzerine ise ikinci bir alın tahtası yerleştirilerek toprak katmanları için bir havuz oluşturulmuştur (Şekil 6.7-b,c). Bu alın tahtasının ‘‘çörten’’ tarafında olanı su çıkışını sağlayacak şekilde uygun biçimde kesilerek (çörtenin ağzının alın tahtası içerisine yerleşeceği şekilde) yerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.7-c).



(a)



(b)

Şekil 6.6 a) Döşeme-Tavan Kaplamasının Çakılması, c) Alın Tahtasının Yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)



(a)



(b)



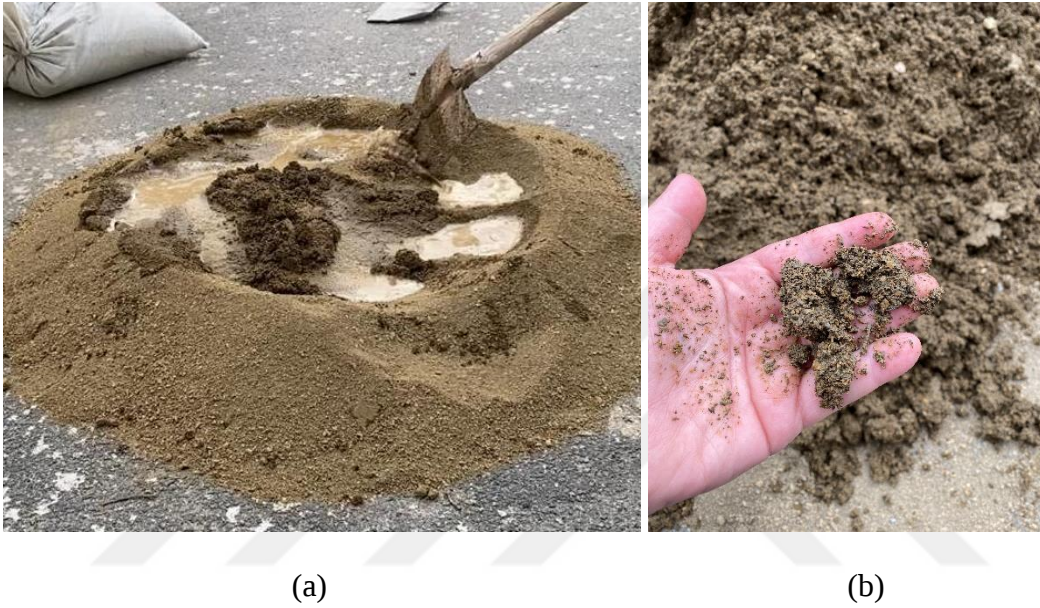
(c)

Şekil 6.7 a) Fitol (eğik ahşap eleman) b) Alın tahtası birleşim detayı, c) Çörten cephesinden alın tahtasının yerleştirilmesi (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

Özgün damlarda tavan kaplamasının üzerine serilen ve ‘‘mertek’’ adı verilen ahşap kalas ve ağaç dalları prototipin üzerine serilmemiş, onun yerine yaškuru toprağı ile doldurulmuştur. Ancak Kemaliye’de uygulanacak model damlarda özgün yapım

teknğinde olduğu gibi mertek uygulaması yapıldıktan sonra yaškuru toprağının serilmesine karar verilmiştir.

Damların ve damların altında kalacak olan strüktürün ahşap işleri tamamlandıktan sonra toprak yapı malzemelerinin serilmesi sırası gelmiştir. Toprak işleri sırasında ilk olarak yaškuru toprağı su ile karıştırılmış ve dama serilmek üzere hazırlanmıştır. Belirli bir kıvama gelerek²¹ hazırlanan toprak ardından yerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 a) Yaškuru toprağının hazırlanması, b) Yaškuru toprağının kıvamı (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

“Yaškuru” toprağı serildikten sonra üzerine kuru halde “Gavcin” toprağı serilerek masterla düzeltilmiştir (Şekil 6.8-a).

Dam katmanları yerleştirildikten sonra, yüzey erozyonunu engellemek için üzerine çakılan rıhtım taşları uygun boyuta getirilmek için kırılmıştır (Şekil 6.8-b).

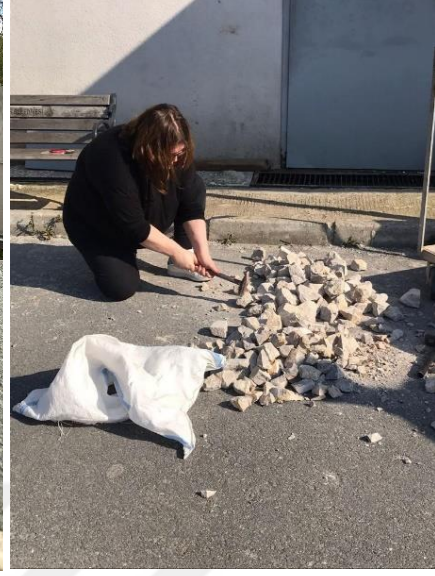
Ardından gavcin toprağı maşrapa ile ıslatılarak üzerine oluk ağzından başlayacak şekilde kırılan rıhtım taşları çakılmıştır (Şekil 6.10-a,b, 6.11-a). Ertesi gün ise taşların arasında kalan boşluklar gavcin toprağı ile doldurulmuştur (Şekil 6.11-b).

²¹ Kemaliye’de gerçekleştirilen alan çalışması sırasında toprak yapı malzemelerinin su muhtevaları belirlenmiş; yaškuru toprağının su muhtevası %24 olarak hesaplanmıştır.

Kemaliye’de model damlar üretilirken yerinde yapılacak uygulamada damın bu işlemin ardından uygun zamanda sıkıştırılması planlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 6.9 a) Gavcin toprağının serilmesi, b) Rıhtım taşlarının kırılması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)



(a)



(b)

Şekil 6.10 a) Oluktan başlayarak rıhtım taşlarının çakılması, b) Rıhtım taşlarının çakılması (YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)



(a)

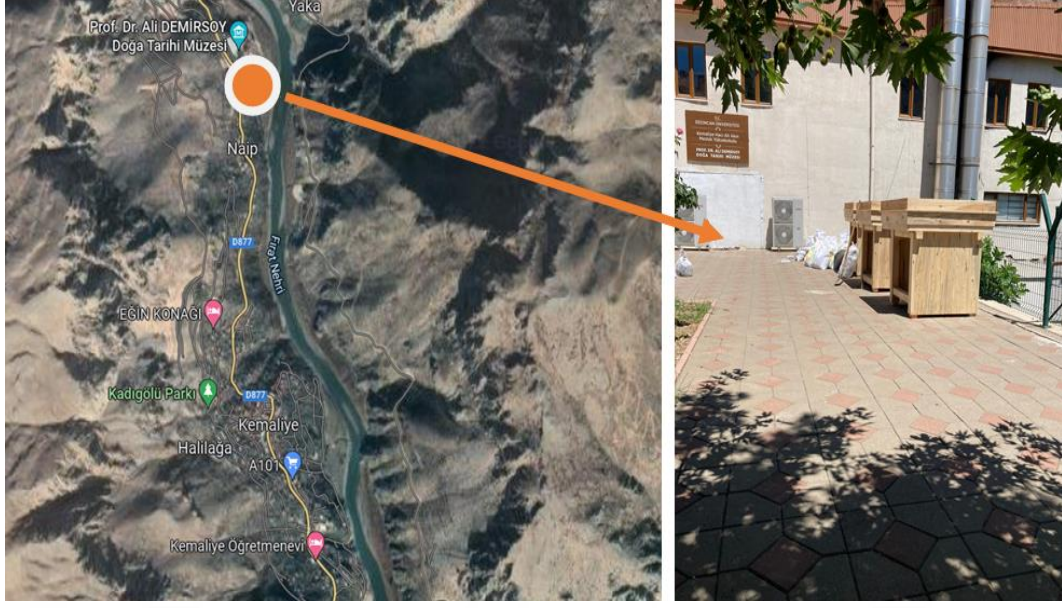
(b)

Şekil 6.11 a) Rıhtım taşlarının çakılması, b) Gavcin toprağı ile doldurulmuş dam
(YTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı, 2022)

6.2 Kemaliye’de Model Damların Üretilmesi

Model damların üretilmesi için 24-28 Haziran 2022 tarihleri arasında Kemaliye’de alan çalışması düzenlenmiştir. 24 Haziran 2022 tarihinde model damlarda kullanılacak su muhtevaları belirlendikten sonra damların yerleştirileceği alan incelenmiş, modellerin altında olan 28.02.2022 – 29.02.2022 tarihleri arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde üretilen prototipe uygun olarak yerel yapı ustası Mustafa Malkoç tarafından inşa edilen ahşap strüktürler yerlerine yerleştirilmiştir. Dam modellerinin yerleştirileceği alan Erzincan Üniversitesi Hacı Ali Akın Meslek Yüksek Okulu’nun yerleşke alanı içerisinde Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Rektörlüğü tarafından belirlenmiş; modeller Prof. Dr. Ali Demirsoy Doğa Tarihi Müzesi’nin giriş avlusuna yerleştirilmiştir (Şekil 6.12).

Laboratuvar çalışmaları ile belirlenen G3 (Ayçiçek yağı ve kireç katkılı) ve G7 (uçucu kül ve kireç katkılı) kodlu katkılı damlar ile G1 kodlu özgün dam olmak üzere toplamda üç adet dam modeli inşa edilmiştir. Dam modellerinin ve modellerin altında kullanılan ahşap strüktürün inşası sırasında her bir model dam için Tablo 6.1’de belirtildiği kadar ahşap malzeme kullanılmıştır. Ahşaplar Mustafa Malkoç tarafından Malatya’dan temin edilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 6.12 a) Dam modellerinin konumu (Google,2022) b) Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Prof. Dr. Ali Demirsoy Doğa Tarihi Müzesi giriş avlusu, Kemaliye

Modeller 1/1 ölçeğinde, özgün konutlardaki iç ortam koşullarını da sağlamak için özgün yapım tekniği ve malzemeler kullanılarak oluşturulan ahşap strüktürün üzerini örtecek şekilde tasarlanmıştır. Ahşap strüktür bölüm 6.1’de anlatılan prototipe bağlı kalınarak üretilmiş; daha sonra bu ahşap konstrüksiyonun içerisi özgün hıms tekniğine uygun olarak 10x10x20 cm boyutlarında kerpiç bloklar ile örülerek doldurulmuştur (Şekil 6.13-a, b). Dördüncü cephe ise kapı yerleştirilmesi için boş bırakılmıştır. Yerleştirilen kapı da yine Kemaliye evlerinde görülen teknikle ahşap olarak yerel yapı ustası tarafından yapılmıştır (Şekil 6.13-c). Duvar strüktürü oluşturulduktan sonra duvarların dış kısmı prototipte uygulandığı gibi 2,5 cm kalınlığında 20 cm genişliğinde düşey ahşap cephe kaplamaları ile kapatılmıştır. Duvarların iç kısmı ise özgün yapım tekniğine uygun olarak çamur sıva ile sıvanmıştır²².

²² Özgün Kemaliye Evlerinin yapım tekniğinde duvar elemanının iç yüzeyi kullanılan mekâna bağlı olarak pur sıva (Bölüm 3.4) ya da çamur sıva ile sıvanmaktadır. Uygulama kolaylığı nedeniyle bu çalışma kapsamında çamur sıva tercih edilmiştir.



Şekil 6.13 a) Dam modellerinin zemin döşemesi, b) Dam modellerinin duvar dolgusu, c) Dam modellerinin kapısı



Şekil 6.14 a,b,c) Dam modellerinin ahşap konstrüksiyonu ve merteklerin yerleştirilmesi

Üretilen ahşap strüktürün üzeri prototipte de uygulandığı gibi ahşap döşeme kirişleri ve aksi yönde yerleştirilen tavan kaplaması ile kapatılmıştır. Yaşkuru toprağını da içine alacak kalınlıkta üretilen alın tahtaları döşeme kirişlerinin ağzını kapayacak şekilde yerleştirilmiş ve damın etrafını kaplamıştır. Kirişlerin üzerine

‘‘Fital’’ adı verilen eğik ahşap eleman damlarda drenajı sağlayacak ve iki toprak katmanının arasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Ardından fitilin üzerine 12cm kalınlığında ikinci alın tahtası çakılarak dam topraklarının yerleştirilebilmesi için konstrüksiyon oluşturulmuştur (Şekil 6.14).

25-Haziran-2022 tarihinde dam üretimine başlanmıştır. Bunun için ahşap döşeme kaplamasının üzerine mertek adı verilen ahşap parçaları Erzincan İli Kemaliye İlçesi Taşdıbi Mahallesi Yağmurdere Sokak’ta bulunan Tahta Camii’nin karşısındaki ağaçlık alandan toplanmış ve modellerin üzerine serilmiştir (Şekil 6.14,6.15).



(a)

(b)

Şekil 6.15 a,b,c) Dam modellerinin ahşap konstrüksiyonu ve merteklerin yerleştirilmesi

Ardından %24 su muhtevasına sahip olacak şekilde ilk toprak katmanı olan yaşkuru toprağı hazırlanmış ve merteklerin üzerine 10 cm kalınlığında fitil seviyesine kadar serilmiştir (Şekil 6.16, 6.17).

Yaşkuru toprağı serildikten sonra 24 saat kadar dam üzerinde bekletilmiş, bu sırada ertesi gün serilmek üzere gıcın toprağının kuru karışımları tartılarak hazırlanmıştır. Tüm numuneler için 8mm göz açıklıklı elekten elenmiş gıcın toprağı kullanılmıştır. Her dam için 9 adet 20 kg ağırlığa sahip kuru karışım

hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar ertesi güne kadar dam modellerinin içerisinde çuvallarda muhafaza edilmişlerdir (Şekil 6.18).



Şekil 6.16 a) Yaşkuru toprağının hazırlanması, b) Yaşkurunun merteklerin üzerine serilmesi



Şekil 6.17 a) Yaşkurunun fitil seviyesine çıkarılması, b) Yaşkurunun dama serilip düzeltilmesi



Şekil 6.18 Kuru Karışımların Dam Modelleri İçerisinde Saklanması

26-Haziran-2022 tarihinde G1 kodlu özgün dam ile G3 ve G7 kodlu katkılı damlar için elenerek hazırlanan her bir dam için 20 kg ağırlığa sahip 9 çuval ayrı ayrı su ile karıştırılarak dama serilmiştir.

- G1 kodlu özgün dam için %17 su muhtevasında yalnızca 8mm delik çapına sahip elekten elenmiş gıcın toprağı karıştırılmıştır.
- G3 kodlu katkılı dam için %22 su muhtevasında %5 ayçiçek yağı ve %5 CL-80 hava kireci katkılı 8mm delik çapına sahip elekten elenmiş gıcın toprağı karıştırılmıştır.
- G7 kodlu katkılı dam için ise %22 su muhtevasında %10 uçucu kül ve %5 CL-80 hava kireci katkılı 8mm delik çapına sahip elekten elenmiş gıcın toprağı karıştırılmıştır.

Gıcın toprağı ile oluşturulan karışımlar tüm damlara 10cm kalınlığında serilmiştir (Şekil 6.19).



(a)



(b)

Şekil 6.19 a) Gavcinli katkılı ve katkısız toprakların hazırlanması, b) Gavcinli katkılı ve katkısız toprakların yaşkuru üzerine serilmesi

Ardından kırılarak bir uçları sivriltilen rıhtım taşları dam üzerine çörtenden başlayarak çakılmışlardır (Şekil 6.20).



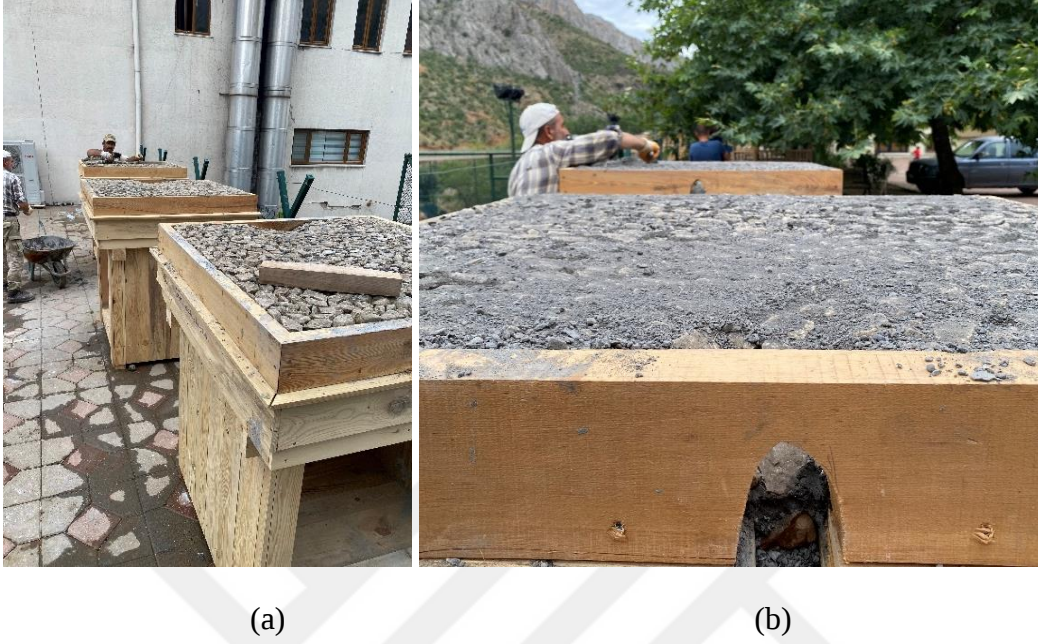
(a)



(b)

Şekil 6.20 a,b) Dam modelleri üzerine Mustafa Malkoç tarafından rıhtım taşlarının çakılması

27-Haziran-2022 tarihinde (rıhtım taşlarının çekildiği günün ertesi günü) model damlar tekrar kontrol edilmiş rıhtım taşlarının arasında kalan boşluklar gavcin toprağı ile doldurulmuştur (6.21).



Şekil 6.21 a,b) Kalan boşlukların tekrar gavcin toprağı ile doldurulması

Dam modellerinin yüzey alanı 1m² olduğu için loğlama yapacak yeterli alan olmadığından, Mustafa Malkoç ustanın yeterli bulduğu sıklığa kadar damlar 9x40cm yüzey alanına sahip bir ahşap parçasına çekiçle vurularak sıkıştırılmıştır. Her bir dam için 210±10 vuruş yapılmıştır. Mustafa Usta yaklaşık 20kg lık bir kuvvetle çekice vurduğunu belirtmektedir. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra damlar 1cm kadar sıkışmıştır (Şekil 6.22).

Ancak sıkıştırma işlemi tüm modellere aynı anda yapılamamıştır. Mustafa Ustaya göre sıkıştırma için uygun kıvam G7 kodlu model için 1. gün (27-Haziran-2022) yakalanırken, G1 ve G3 kodlu numuneler için 2. gün (28-Haziran-2022) yakalanmıştır. Mustafa Malkoç Usta'nın belirlediği kıvamlar laboratuvar ortamındaki deneysel çalışma ile de örtüşmektedir. Bölüm 5.3.1 ve Tablo 5.21'de görüldüğü üzere, Mustafa Ustanın belirttiği sıkıştırma yapılabilecek kıvamlar, numunelerin kıvam aldığı, priz almaya başladığı ancak prizini tamamlamadığı kıvamlar olarak belirlenmiştir.



(a)

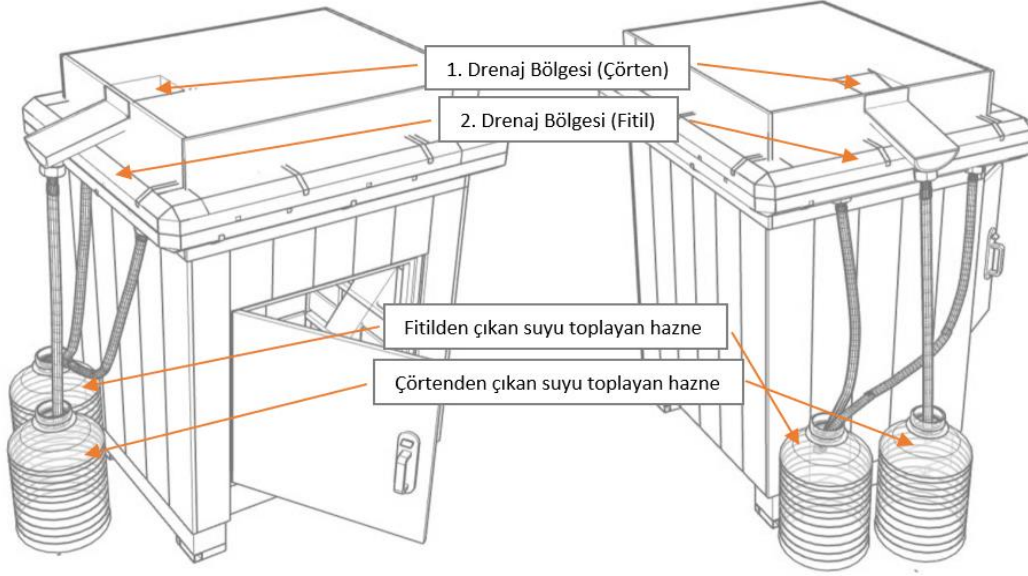
(b)

Şekil 6.22 a,b) Dam modellerinin sıkıştırılması, b) Sıkıştırılmış dam modelleri

6.3 Model Damların Deney Düzeneği ve Ölçümlerin Alınması

Tez kapsamında kurulan dam modellerinin haftalık olarak iç hava koşullarının incelenmesi ve drenaj bölgelerinden su çıkışlarının ölçülmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda damlardaki drenaj bölgelerinden (çörten ve fitil) çıkan suları toplayabilmek için sac levhalardan ve plastik borulardan bir oluk sistemi tasarlanmıştır. Dışarıdan su girişini engellemek için sac levhaların üzeri tamamen kapatılmıştır. Şekil 6.23'te tasarlanan oluk sisteminin üçboyutlu çizimi gösterilmektedir.

Model damlardan su çıkışlarının ölçülmesi planlanan sistemde genel prensip yağışlar sonucu bir miktar suyun damın yüzeyinden çörten aracılığıyla damdan uzaklaşacağı, bir miktar suyun dam toprağının ahşap alın tahtası ile birleştiği derz hattı olan bölgeden fitil adı verilen eğik ahşap eleman sayesinde uzaklaşacağı, kalan suyun da dam toprağı içerisinde emilmiş ve yapıya ulaşmış olacağı kabulüne dayanmaktadır. Bu bağlamda 1 yıl boyunca model damların çörten ve fitillerinden su çıkışlarının ölçülmesi planlanmıştır. Su çıkış miktarının fazla olması yapı içerisine ulaşan su miktarının daha az olduğunu gösterecektir. Dam modelleri kurulduktan sonra haftalık olarak drenaj bölgelerinden su çıkışları ölçülmüştür. Ayrıca nem ve sıcaklık ölçer yardımıyla yapı içi hava kalitesindeki değişimler de haftalık olarak ölçülerek değerlendirilmiştir.



Şekil 6.23 Tasarlanan oluk sisteminin üçboyutlu çizimi

Alan çalışmasındaki son gün olan 28-Haziran-2022 tarihinde tüm numuneler sıkıştırıldıktan sonra, sac levhalardan tasarlanan oluk sisteminin montajı yapılmıştır (Şekil 6.24).



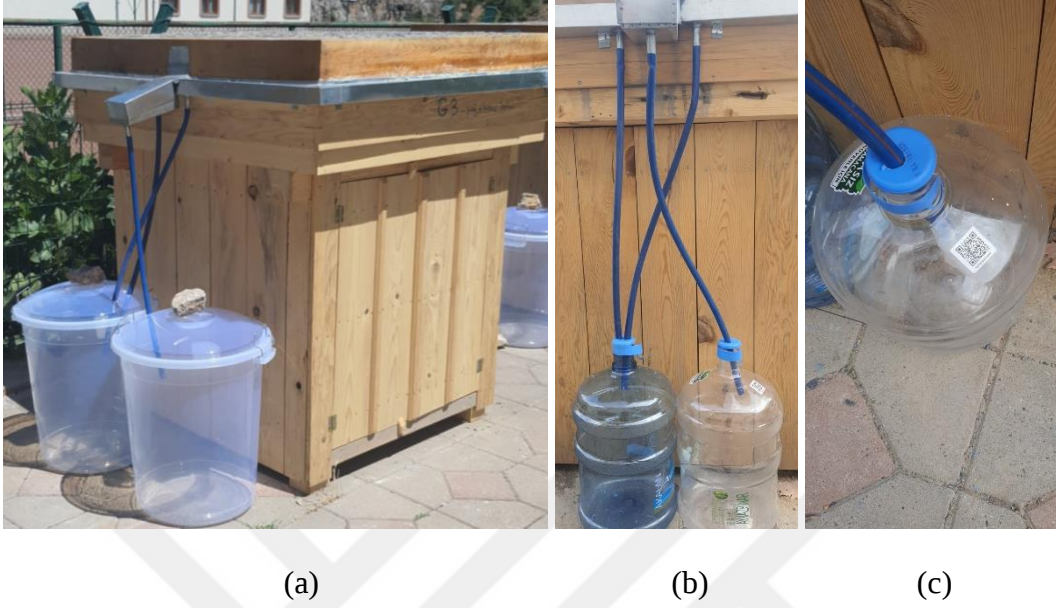
(a)

(b)

Şekil 6.24 a,b) Dam modellerinin su çıkışlarının ölçülebilmesi için geliştirilen oluk sistemi

Her bir model için 2 farklı plastik kova kullanılmıştır. Kovalardan biri çörtenden diğeri fıttlden çıkan suyu toplamak için plastik borular aracılığıyla oluk sistemine

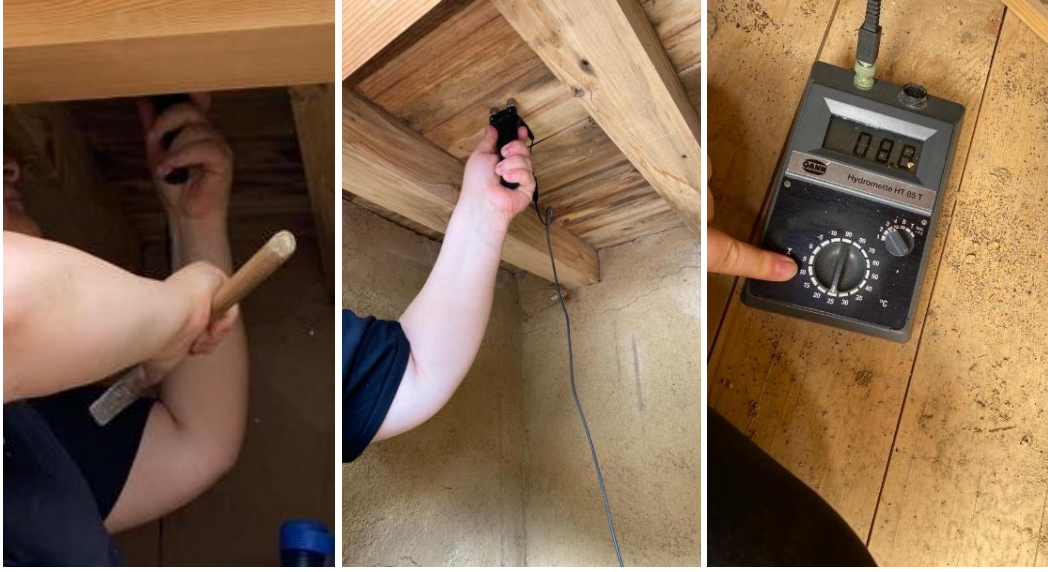
bağlanmıştır (Şekil 6.24-a,b; 6.25-a) Ancak plastik kovalar haziran-ağustos ayları arasında yüksek sıcaklıklara ve güneşin ultraviyole ışınlarına maruz kaldığı için hasar görmüş ve eylül ayında su damacaneları ile değiştirilmiştir (Şekil 6.25-b,c).



Şekil 6.25 a,b,c) Dam modellerinin su çıkışlarının ölçülebilmesi için geliştirilen oluk sistemi d,e) Değiştirilen su damacaneları

28-Haziran-2022 tarihinde kurulumu tamamlanan dam modellerinin ölçümleri 1 yıl boyunca (28-Haziran-2022 – 28-Haziran-2023) haftalık olarak (7 ± 1 gün) yapılmıştır. Bu süreçte içi hava kalitesi ve drenaj bölgelerinden (fitil ve çörten) su çıkışları ölçülmüştür. Yapı içi hava kalitesini ölçmek için damların altındaki strüktürlerin iç kısmında sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmış, birbirleriyle ve dış hava koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçümlere göre alınan verilerin tamamı EK-C’de verilmiştir.

10-Temmuz-2023 tarihinde Kemaliye’de bir başka alan çalışması düzenlemiş ve bu tarihte 1 yılın sonunda damlarda oluşan hasarlar gözlemlenerek tespit edilmiş, damların altında kalan ahşap tavan kaplamalarının su muhtevaları ölçülmüş (Şekil 6.26), toprak yapı malzemesinden ise yine su muhtevalarını hesaplamak için numune alınmıştır (Şekil 6.27).



(a)

(b)

(c)

Şekil 6.26 Toprak damların altında kalan ahşap tavan kaplamalarının direnç tipi rutubet ölçer ile su muhtevalarının ölçülmesi a) Direnç tipi rutubet ölçerin çekiç ile ahşap malzemeye çakılması, b) Rutubet ölçerin ahşap içerisine yerleştirilmesi, c) Ahşap cinsi ve sıcaklık ayarı yapılarak okuma alınması



(a)

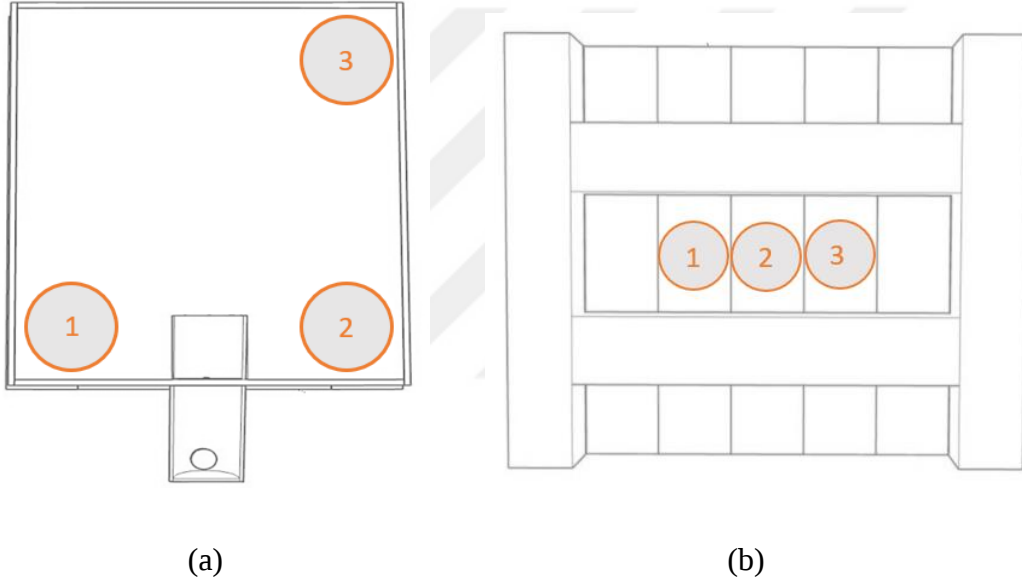
(b)

(c)

Şekil 6.27 a) Damdan rıhtım taşları sökülerek toprak numunenin alınması, b) Alınan numunelerin tartılması ve paketlenmesi, c) Damlardan alınan toprak numuneleri

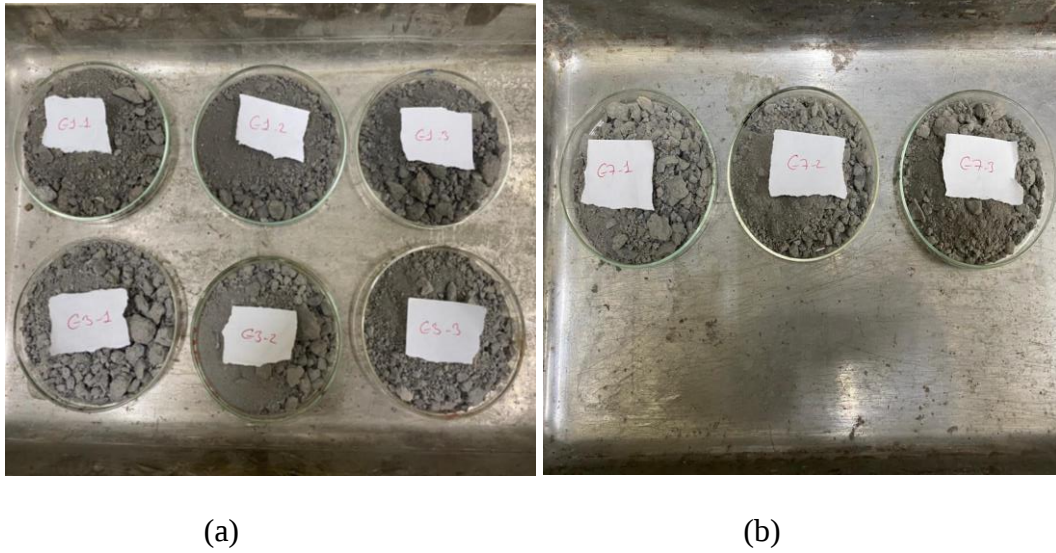
Ahşap malzemelerin ölçümü için İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi'nden direnç tipi rutubet ölçer temin edilmiş, bu cihazla ahşap cinsi ve mevcut sıcaklık verileri girildikten sonra literatürde ve ilgili standartta belirtildiği şekilde ahşap malzeme kesitinin 1/3'ü boyutundaki çiviler tavan kaplamasına çakılarak cihaz üzerinde okuma alınmıştır (Şekil 6.26) [122, 123].

Toprak numunelerinin dam modelleri üzerinde alındıkları yerler Şekil 6.28-a'da, ahşap malzemelerde yapılan ölçümlerin dam modelleri üzerindeki yerleri ise Şekil 6.28-b'de verilmiştir. Her damdan 3'er tane olmak üzere toplamda 9 toprak numunesi alınmış; yine her damda 3 noktadan ahşap malzemelerin nem ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.28 a) Dam modelleri üzerinde toprak numunelerin alındıkları yerler – Model dam plan krokisi b) Dam modelleri üzerinde ahşap malzemelerde yapılan ölçümlerin yerleri – Model dam tavan plan krokisi

Alınan toprak numuneleri daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi inşaat fakültesi yapı malzemeleri laboratuvarında tekrar tartılarak etüve yerleştirilmiş. Değişmez ağırlığa gelene kadar etüvde tutulan numuneler (24 saat) tekrar tartılarak TS 1900-2 standardına göre su muhtevaları hesaplanmıştır [124] (Şekil 6.29). Toprak ve ahşap malzemelerin su muhtevaları Tablo 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.29 a,b) Su muhtevalarını hesaplamak için alandan getirilen numuneler

Tablo 6.2 Bir yıl dış hava koşullarına maruz bırakılan dam modellerinden alınan toprak ve ahşap malzemelerin su muhtevaları

MODEL DAM KODU	NUMUNE CİNSİ	SU MUHTEVASI (%)
G1	Ahşap (Yerli çam)	$7,8 \pm 1$
	Toprak (Gavcin)	$1,0 \pm 0,2$
G3	Ahşap (Yerli çam)	$4,4 \pm 1$
	Toprak (Gavcin)	$0,7 \pm 0,1$
G7	Ahşap (Yerli çam)	$6,0 \pm 1$
	Toprak (Gavcin)	$0,9 \pm 0,1$

6.4 Model Damlardan Alınan Ölçümlerin ve Gözlemlerin Değerlendirilmesi

Bir yıllık süreçte (28-Haziran-2022-28-Haziran-2023) Kemaliye’de yerinde üretilen model damların drenaj bölgelerinden su çıkışları ve iç hava kalitesi ölçülmüştür (Şekil 6.30-6.32).

Yapılan bir yıllık ölçümler sonucunda G1 (özgün dam), G3 (ayçiçek yağı ve kireç katkılı gavcin içeren dam) ve G7 (uçucu kül ve kireç katkılı gavcin içeren dam) kodlu model damlardan çıkan su miktarları Şekil 6.33’te verilmiştir.



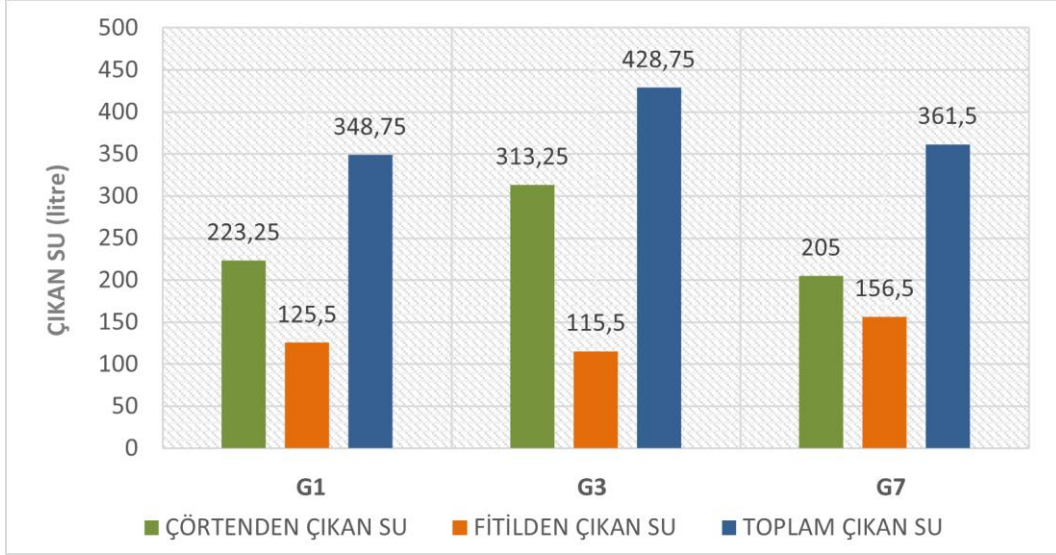
Şekil 6.30 Dam modellerinin Temmuz-2023 tarihli fotoğrafı



Şekil 6.31 Dam modellerinin Temmuz-2023 tarihli fotoğrafı



Şekil 6.32 Dam modellerinin Temmuz-2023 tarihli fotoğrafı



Şekil 6.33 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damlardan çıkan su miktarları

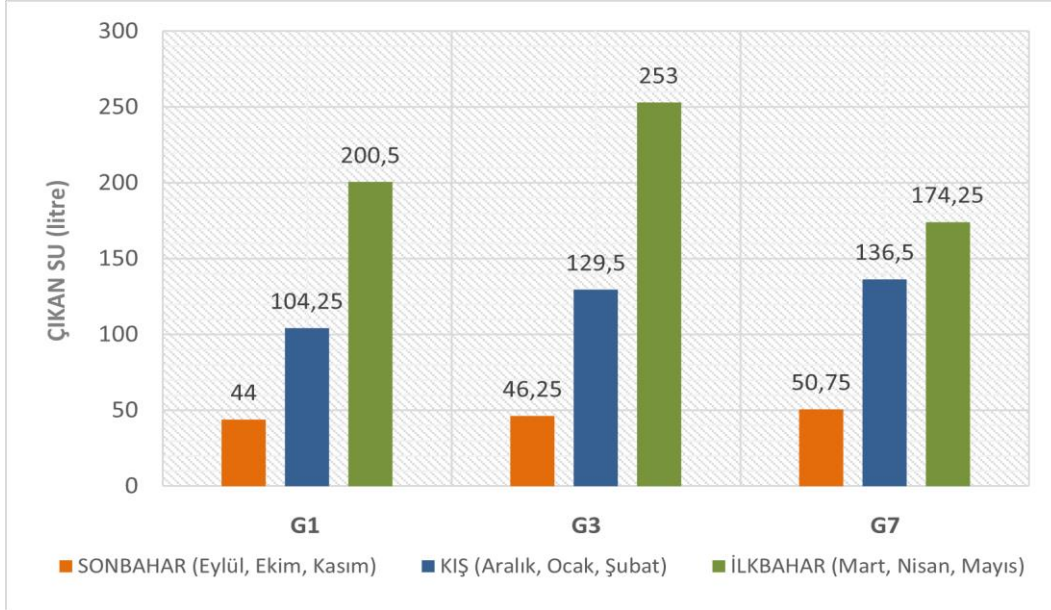
Yapılan ölçümlerde;

- G1 kodlu özgün gavcin toprağını içeren dam modelinden alınan ölçümlerde 223,25 litre çörtenden ve 125,5 litre fitilden olmak üzere toplamda 348,75 litre su çıkışı ölçülmüştür.
- G3 kodlu Ayçiçek yağı ve hava kireci katkılı gavcin toprağını içeren dam modelinden aynı tarih aralığında 313,25 litre çörtenden ve 115,5 litre fitilden olmak üzere toplamda 428,75 litre su çıkışı ölçülmüştür.
- G7 kodlu uçucu kül ve hava kireci katkılı gavcin toprağını içeren dam modelinden yine aynı tarih aralığında 205 litre çörtenden ve 156,5 litre fitilden olmak üzere toplamda 361,5 litre su çıkışı ölçülmüştür.

Alınan veriler ışığında su çıkışının çoktan aza doğru sırasıyla G3, G7 ve G1 numunelerinde ölçüldüğü görülmüştür. Bu bağlamda bir yıl sonunda G7 kodlu uçucu kül ve kireç katkılı damın, özgün dama göre %3,6 oranında; G3 kodlu ayçiçek yağı ve kireç katkılı damın ise %22,9 oranında su geçirimsizliğine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir.

Bir yıl içerisinde gerçekleşen donma-çözülme çevrimlerinin etkisini araştırabilmek için yağış verileri 1 yıl boyunca gerçekleşen mevsimler özelinde de ayrı ayrı

incelenerek grafikleştirilmiştir (Şekil 6.34) Temmuz, Ağustos 2022 ve Haziran 2023 aylarında yağış olmadığı için yaz mevsimi grafiğe dahil edilmemiştir.



Şekil 6.34 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damlardan çıkan su miktarlarının mevsimlere dağılışı

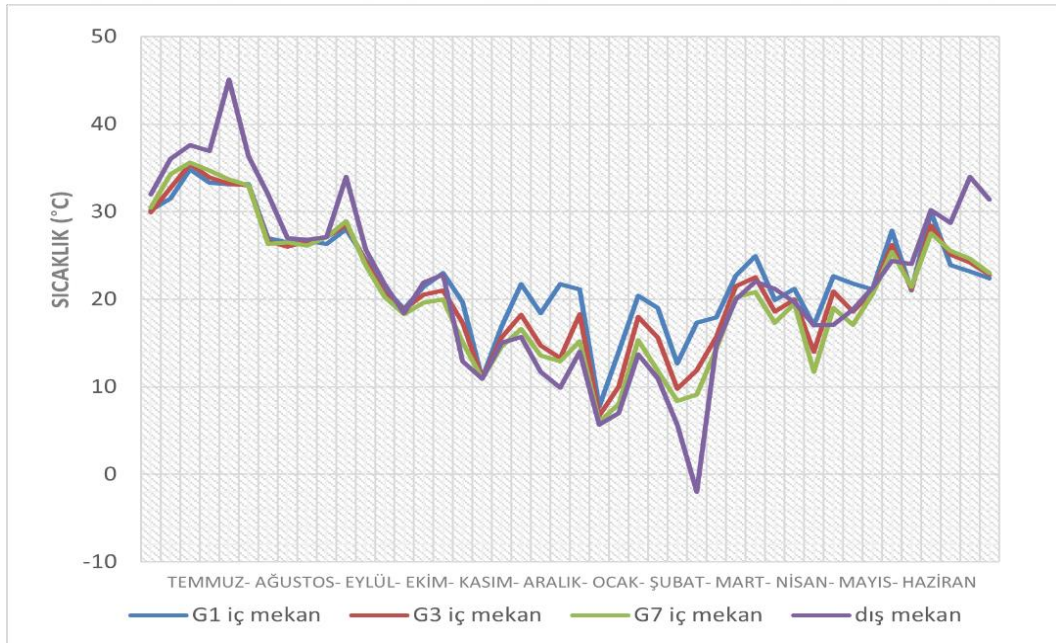
Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damlardan çıkan su miktarlarının mevsimlere göre dağılımı incelendiğinde;

- Eylül, Ekim ve Kasım aylarını kapsayan Sonbahar mevsiminde G1 kodlu modelden 44 litre, G3 kodlu modelden 46,25 litre ve G7 kodlu modelden 50,75 litre su çıkışı olduğu saptanmıştır. Alınan veriler ışığında su çıkışının çoktan aza doğru sırasıyla G7, G3 ve G1 numunelerinde ölçüldüğü görülmüştür. Bu süreçte G7 kodlu damın, özgün dama göre %15,3 oranında; G3 kodlu damın ise %5,1 oranında su geçirimsizliğine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir.
- Donma-çözülme olayının gerçekleştiği ve Aralık, Ocak, Şubat aylarını kapsayan kış mevsiminde G1 kodlu modelden 104,25 litre, G3 kodlu modelden 129,5 litre, G7 kodlu modelden 136,5 litre su çıkışı olduğu saptanmıştır. Alınan veriler ışığında su çıkışının çoktan aza doğru sırasıyla G7, G3 ve G1 numunelerinde ölçüldüğü görülmüştür. Bu süreçte G7 kodlu

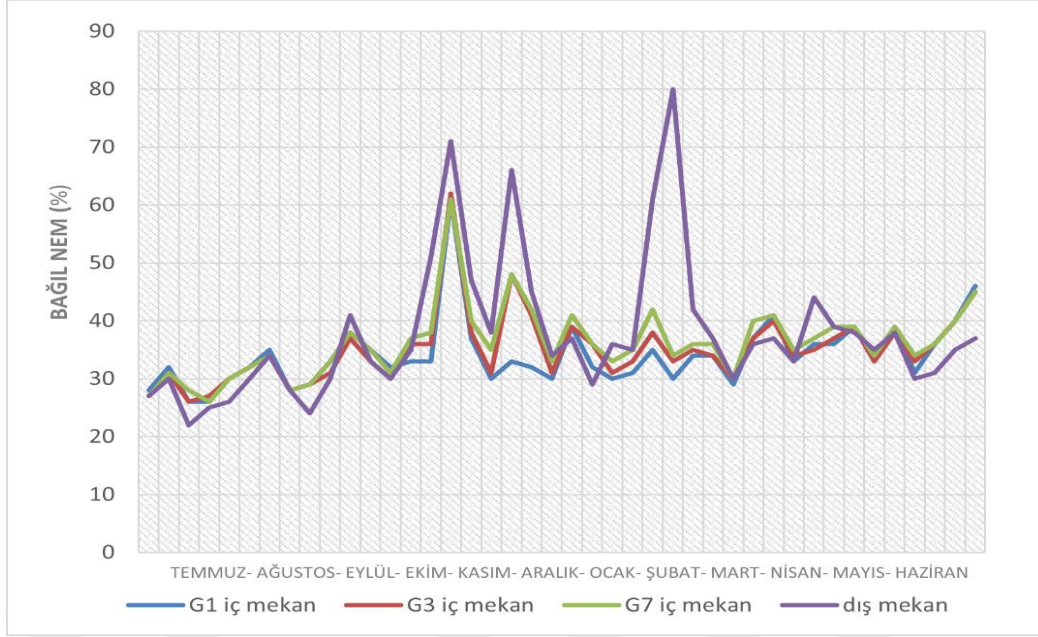
damın, özgün dama göre %30,9 oranında; G3 kodlu damın ise %24,2 oranında su geçirimsizliğine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir.

- Donma-çözülme olaylarının ve kış mevsiminin ardından gelen ve Mart, Nisan, Mayıs aylarını kapsayan ilkbahar mevsiminde G1 kodlu modelden 200,5 litre, G3 kodlu modelden 253 litre, G7 kodlu modelden 174,25 litre su çıkışı olduğu belirlenmiştir. Alınan veriler ışığında su çıkışının çoktan aza doğru sırasıyla G3, G1 ve G7 numunelerinde ölçüldüğü görülmüştür. Bu süreçte G3 kodlu damın %26,2 oranında özgün damın su geçirimsizliğine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir. Ancak kış mevsiminden sonra G7 kodlu numunenin özgün numunenin su geçirimsizliğini %13,1 oranında olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Geçen 12 aylık süreçte yapı iç hava kalitesi incelendiğinde damların dış mekân ve iç mekân sıcaklık verilerinin yanı sıra dış mekân ve iç mekân bağıl nem verileri de karşılaştırılmıştır. Bu süreçte tüm damların altında bulunan iç mekânlardan ve damların dış mekânlarından 8 ± 5 dakika ara ile her biri öğlen saatlerinde ($13:00 \pm 2,5$ saat) olmak üzere haftalık ölçümler alınmıştır. Şekil 6.35 ve 6.36'da bu ölçümler grafikleştirilmiştir.



Şekil 6.35 Bir yıllık ölçümlere göre G1, G3 ve G7 kodlu model damların iç mekân ve dış mekân sıcaklık verileri



Şekil 6.36 Bir yıllık ölçümlerde G1, G3 ve G7 kodlu model damların iç mekân ve dış mekân bağıl nem verileri

Şekil 6.35'te görüldüğü üzere damların ilk kurulduğu ve ölçümlerin sonuna doğru seyreden yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tüm damların benzer ısı yalıtım özellikleri gösterdikleri ve uygun ısısal konforun sağlanmasına katkıda bulundukları görülmüştür. Ancak havaların daha soğuk olduğu kasım ve mart ayları arasında ısı yalıtım özelliği çoktan aza doğru sırasıyla G1, G3 ve G7 numunelerinde görülmüştür. Şekil 6.36'da grafikleştirilen verilerde ise yıl içinde nem oranlarının en düşük G1 numunesinde en yüksek de G7 numunesinde görünmesine karşın aralarında büyük oranda fark olmadığı tespit edilmiştir.

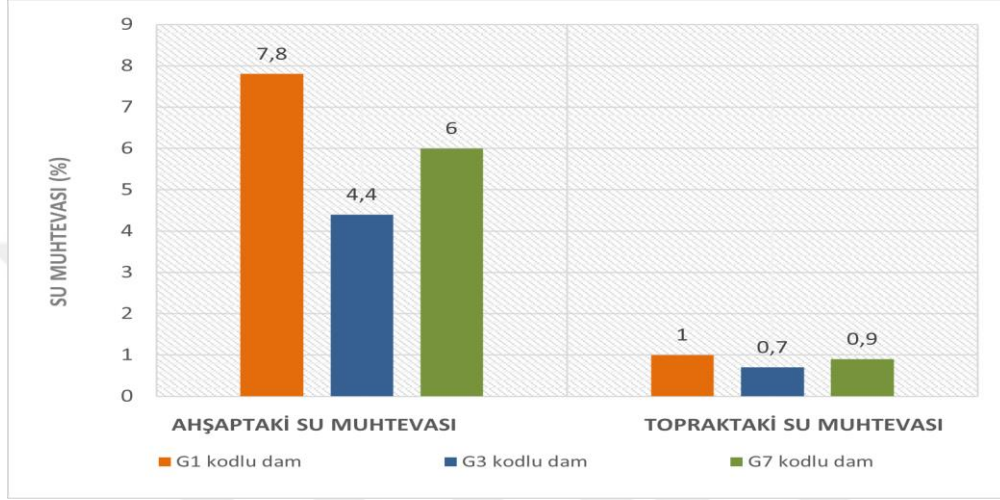
Temmuz-2023'te gerçekleştirilen ve 1 yılın sonundaki ölçüm ve gözlemleri kapsayan alan çalışması sırasında elde edilen verilere göre gavcin toprağında var olan su muhtevası çoktan aza doğru

- G1 numunesinde 1 ± 0.2 , G7 numunesinde 0.9 ± 0.1 ve G3 numunesinde 0.7 ± 0.1 olarak belirlenmiştir.
- En az su muhtevası yağ ve kireç katkılı numunede görülse de tüm damlarda topraktaki su muhtevası 1 ve altında kalmıştır.

Ahşap malzemelerde gerçekleştirilen su muhtevası ölçümünde ise yine benzer bir sıralama görülmüş, buna göre su muhtevaları çoktan aza doğru

- G1 kodlu özgün numunede 7.8 ± 1 , G7 kodlu numunede 6.0 ± 1 ve G3 kodlu numunede 4.4 ± 1 olarak tespit edilmiştir.
- Tüm damlarda ahşaptaki su muhtevası $\%10$ 'un altında kalmış, ancak yağ ve kireç katkılı dam numunesinde $\%5$ 'in altına düşmüştür.

Bir yılın sonunda gerçekleştirilen ölçümlerde alınan su muhtevası verileri Şekil 6.37'de grafikleştirilmiştir.



Şekil 6.37 Bir yıl sonunda ahşap ve toprak malzemedeki ölçülen su muhtevaları

28-Haziran-2022 ile 28-Haziran-2023 arasında kalan bir yıllık süreci kapsayan gözlemler sırasında özgün dam yüzeyinde bitki oluşumları tespit edilmiştir. Temmuz-2023 itibariyle dam yüzeyleri Şekil 6.38 – 6.40'ta verilmiştir. Katkılı damlarda ise bu şekilde bir sorunla karşılaşılmamıştır.



Şekil 6.38 G1 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)



Şekil 6.39 G3 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)

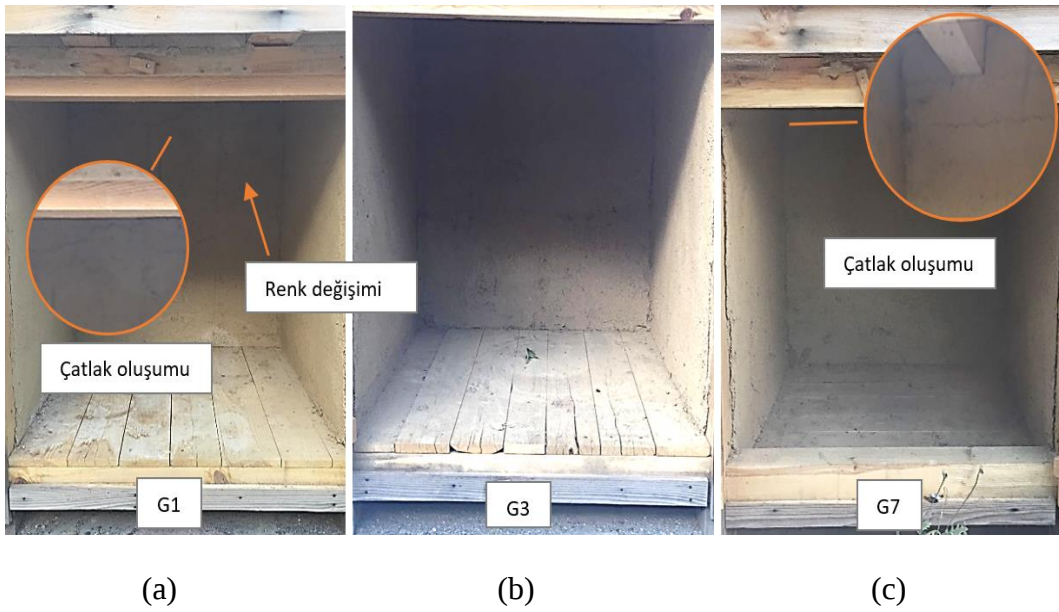


Şekil 6.40 G7 kodlu damın 1 yıl sonunda yüzey görünümü (Temmuz-2023)

Yağışlarla nem miktarı artan toprak yapı malzemesinin içerisine çeşitli nedenlerle (rüzgâr ve hayvanlar gibi) küçük bitki tohumlarının yerleştiği görülmüştür. Bu tohumların gelişen kökleri dam içerisinde gerilmeler yaratarak toprak yapı malzemesine zarar vermekte ve dam kesiti içerisinde boşluklar oluşturarak su geçirimsizliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bir yıllık ölçümler sonucunda G1 kodlu özgün numunede bitkilenme görülürken, G3 ve G7 kodlu katkı numunelerde bitkilenme görülmemesi nedeniyle yapıda önemli hasar nedenlerinden biri olarak kabul edilen [125] bitkilenme sorununun önüne geçmek için katkı malzemelerinin (uçucu kül-kireç ve yağ-kireç) kullanılabileceği söylenebilmektedir.

Geçen bir yıllık sürecin sonunda dam modellerinin altındaki iç mekanlarda da inceleme yapılmış, G1 kodlu özgün dam ile G3 ve G7 kodlu katkılı damların Haziran-2023 tarihli iç mekân fotoğrafları Şekil 6.41’de verilmiştir.

Dam modellerinin iç mekanlarında yapılan görsel incelemenin sonucunda bir yıl sonunda G1 kodlu özgün dam modelinin kerpiç dolgulu duvarının iç mekandaki çamur sıvasında çatlak oluşumu ve renk değişimi, G7 kodlu uçucu kül ve kireç katkılı dam modelinin kerpiç dolgulu duvarının iç mekandaki çamur sıvasında çatlak oluşumu belirlenmiş; G3 kodlu ayçiçek yağı ve kireç katkılı dam modelinin iç sıvalarında ise gözlem yoluyla hasar tespit edilememiştir.



Şekil 6.41 a,b,c) G1,G3 ve G7 kodlu damların 1 yıl sonunda iç mekân fotoğrafları (Temmuz-2023, Kemaliye)

Haziran-2022 ve Haziran-2023 tarihleri arasında dış hava koşullarına maruz bırakılan özgün ve katkılı toprak dam modellerinin cepheleri incelendiğinde ise tüm modellerin ahşap strüktürlerinde yağışlara bağlı renk değişimleri görülmüştür. Dam modellerinin fotoğrafları Şekil 6.42’de verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 6.42 Model damların 1 yıl sonunda cephe fotoğrafları ve oluşan renk değişimleri a) G1, b) G3, c) G7 (Temmuz-2023, Kemaliye)

ICOMOS “Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi (2013)”’nde [126] mimari mirasın korunmasına yönelik müdahalelerde yapının özgünlüğünün tüm boyutlarıyla korunması, yapıya zarar vermeyecek müdahalelerde bulunulması ve tarihi belge özelliğindeki izlerin kaybedilmemesinin gereği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda tez kapsamında düz toprak damlarının korunması ve onarımına yönelik geliştirilen önerilerde özgün yapım tekniğinin korunması hedeflenmiştir.

Özgün yapım tekniğinin korunabilmesi ve sürdürülebilmesinin, yerel yapı ustalarının kuşaktan kuşağa aktarılan bilgi birikimleri ile doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir. ICOMOS’un “Ahşap Tarihi Yapıların Korunması için İlkeler (2017)”’ inde [127] ve UNESCO’nun “Geleneksel Zanaatlar Sözleşmesi (2003)”’ünde [128] yerel yapı ustalarının önemine değinilmiş ve ustaların sayılarının azalmasının kültürel mirasın sürekliliği açısından büyük tehdit oluşturduğu vurgulanmıştır [129].

Tez çalışması, temel olarak literatür, laboratuvar ve alan çalışması olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Literatür, laboratuvar ve alan çalışması arasındaki ilişkinin sağlıklı kurulabilmesi için yerel yapı ustaları ile görüşmeler yapılarak ustaların bilgi birikimlerinden yararlanılmış ve özgün yapım teknikleri laboratuvar ortamındaki deneysel çalışmalara da uyarlanmaya çalışılmıştır. Özgün yapım tekniğinin detaylıca incelenebilmesi için tezin ilk bölümlerinde anlatılan literatür araştırmaları alan çalışmaları ile desteklenmiştir. Deneysel çalışmaların öncesinde gerçekleştirilen alan ve literatür çalışmaları ile mimari mirasın yapım tekniği; bölgenin coğrafyası, topografyası, iklimi, sosyo-kültürel yapısı gibi tüm boyutlarıyla ele alınmış ve analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen ilk alan çalışması sırasında alanda yetişmiş farklı ustalarla röportajlar yapılmış, açık damlar yerinde incelenmiş ve literatür araştırmaları ile de birleştirilerek tüm veriler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı detay bilgileri ile

karşılaşıldığında tekrar alana dönüp inceleme yapılması ve ustalarla tekrar görüşülerek doğru bilgiye ulaşılması gerekmiştir.

Oluşabilecek problemlerin önüne geçebilmek için alanda uygulanacak model damların üretiminden önce yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile özgün yapım tekniğine uygun olarak 28.02.2022 – 29.02.2022 tarihleri arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Yapı Malzemeleri Laboratuvarının bahçesinde, bir prototip üretilmiştir. Uygulanan prototip model çalışması düz toprak damın ahşap strüktüründeki detayların çözümü, su çıkış noktalarının belirlenmesi, yapım sisteminin tüm detaylarının yerel yapı usyası Mustafa malkoç ile birlikte gerçekleştirilmesi yapım tekniğinin reçetelendirilerek, uygulama adımlarının yazılı hale getirilmesinin önemi açısından çok yararlı olmuştur.

Kemaliye Hacı Ali Akın Meslek Yüksek Okulu bahçesinde 24.06.2022 – 28.06.2022 tarihleri arasında laboratuvar deney sonuçları doğrultusunda biri özgün düz toprak dam ikisi öneri model olmak üzere üç adet düz toprak dam model uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tezin sonuç bölümünde tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar maddeler halinde verilmiş, laboratuvar verileri ve alan çalışması sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Farklı katkı malzemelerinin düz toprak damların yalıtım sorunlarına karşı olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirerek ülkemizde geleneksel düz toprak damların korunması ve onarımında kullanılabilecek bir yöntem olup olmadığı tartışılmış ve Kemaliye (Eğin) evlerinin toprak düz dam yapım sistemlerinin korunması ve onarımına yönelik bir model önerisi getirilmiştir.

- Alanda yapılan araştırmalar ve literatür çalışmaları sonucunda Kemaliye evlerinin düz toprak damlarının en üst katmanı olarak kullanılan rıhtım taşının yüzey erozyonunu engellediği ve Kemaliye evleri ile civar köylerine özgü bir uygulama olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan alan çalışmaları ve usta röportajları sonucunda Kemaliye evlerinin geleneksel toprak damlarında sistem içerisinde yaškuru toprağı olarak kohezyonsuz (ya da gavnine göre daha az kohezyonlu) bir toprak tabakası kullanıldığı durumlarda, ikincil drenaj bölgesi çözümünün (fitil) derzlerden sızabilecek suyu uzaklaştırmak dışında başka bir fonksiyonunun da

olabileceği düşünülmektedir. Kemaliye evlerinin özgün damlarının yapım tekniği göz önünde bulundurulduğunda çağdaş geoteknik drenaj sistemlerinden biri olan kapiler bariyer sistemi ile karşılaşılabilişinin olası olduğu görülmüştür.

- Özgün malzemelerin iç yapı özellikleri XRD ve XRF yöntemleri ile incelendiğinde, rıhtım taşının örneğin nadiren kuvarslı kum taneleri ve çok az kil içeren bir kireçtaşı olduğu, incelenen yaškuru toprağının içerisinde genellikle kil mineralleri ve daha az olarak kalsit ve kuvars bulunduğu, gavcin toprağında ise çoklukla kalsit, beraberinde illit ve klorit gibi levha silikat ve kil minerallerinin olduğu tespit edilmiştir.
- Özgün damların içerdığı yaškuru toprağı, gavcin toprağı ve rıhtım taşı tez kapsamında araştırılmış, malzeme özellikleri belirlenmiştir. Rıhtım taşı ve gavcin toprağı genellikle belirli yerlerden edinildiğı için çeşitlilik göstermemekte ancak yaškuru toprağı olarak farklı toprak çeşitleri kullanılabilir. Tez kapsamında sadece gavcin toprağında katkı malzemeleri ile iyileştirme yapıldığı için yaškuru toprağının çeşitliliğı göz ardı edilmiştir. Özgün toprak malzemelerle gerçekleştirilen granülometre ve hidrometre analizi sonucunda gavcin toprağı killi kum, yaškuru-1 toprağı kum, yaškuru-2 toprağı da killi kum olarak tanımlanmıştır.
- Araştırma kapsamında literatür çalışmaları ile toprak yapı malzemesinin geçirimsizliğini azaltmak amacıyla kullanılmak üzere 6 adet farklı katkı malzemesi (ayçiçek yağı + hidrolik kireç, ayçiçek yağı + hava kireci, bentonit, nişasta, uçucu kül + hidrolik kireç ve uçucu kül + hava kireci) belirlenmiştir. Özgün ve katkılı toprak malzemeler ile numuneler üretilmiş, bu numunelerin geoteknik özellikleri, taze haldeki ve sertleşmiş haldeki fiziksel malzeme özellikleri 28. ve 365. günlerde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla ölçülmüştür. En iyi performansı sergileyen 2 katkı malzemesi seçilmiştir.
- Uçucu kül katkılı numunelerin (G6 ve G7) dane birim hacim ağırlıklarının özgün numuneden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun özgün malzemeye göre daha ince dane boyutlarına sahip olan uçucu kül ve kireç

gibi malzemelerin danelerin arasındaki boşlukları doldurarak boşluk hacminde azalmaya neden olduğunu düşündürmektedir. Ancak %5 yağ içeren numunelerde (G2 ve G3), yağın düşük birim ağırlığı ($9,1 \text{ kN/m}^3$) nedeniyle katkılı malzemelerin birim hacim ağırlığının özgül malzemeye göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

- Özgül ve katkılı malzemelerin kıvam limitleri incelendiğinde gavcin toprağının plastisite indisinin yaškuru toprağından düşük olduğu ancak gavcin toprağı (G1) ile karşılaştırıldığında kireç + uçucu kül ve kireç + ayçiçek yağı katkılı numunelerde (G2, G3, G6, G7) plastik limitin arttığı ve plastisite indeksinin belirgin şekilde düştüğü gözlenmiştir. Nişasta kullanımında da benzer bir etki meydana gelirken, bentonit ilavesinin önemli bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Bu durum kireç, uçucu kül ve ayçiçek yağı ve nişasta katkılı numunelerin Casagrande plastisite kartına göre düşük plastisiteli killeri (CL veya ML) ve düşük plastisiteli siltler ve organik zeminler (ML veya OL) sınıflarında kaldıklarını göstermektedir. Bu da malzemelerde suya maruz kalma durumunda oluşacak kalıcı deformasyonların sınırlı seviyelerde olacağını düşündürmektedir.
- Özgül ve katkılı numuneler ile gerçekleştirilen fiziksel malzeme deneyleri değerlendirildiğinde dışa açık ve kapalı tüm boşluk oranlarında (porozite) uzun vadede düşüş olduğu belirlenmiştir. Tüm numunelerde 365. günde birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık arasındaki farkın da azaldığı görülmüştür. Bu nedenle zaman içerisinde tüm malzemelerin içerisindeki boşluk oranında azalma olduğu söylenebilmektedir. Yine tüm numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde de zamana bağlı düşüş olduğu görülmüştür.
- Kısa ve uzun vadeli gerçekleştirilen kılcal su emme deneylerinde hidrolik kireç, bentonit ve nişasta katkılı numunelerde (G2, G4, G5, G6) kılcal su emme değeri özgül numuneden yüksek çıkarken hava kireci + uçucu kül ve hava kireci + ayçiçek yağı katkılı numunelerde (G3 ve G7) kılcallık katsayısı çok düşük kalmıştır.

- Suda çözünme deneyinde G1 kodlu özgün numune ile G4 (bentonit katkılı) ve G5 (nişasta katkılı) kodlu katkılı numunelerin ilk 1 saat içinde suda çözündükleri; G2 (hidrolik kireç + ayçiçek yağı katkılı) ve G6 (hidrolik kireç + uçucu kül katkılı) kodlu numunelerin ilk 1 saat çözünmedikleri ancak 24 saati tamamlayamadıkları; G3 (hava kireci + ayçiçek yağı katkılı) ve G7 (hava kireci + uçucu kül katkılı) katkılı numunelerin ise 24 saat sonunda çözünmeden kaldıkları görülmüştür.
- Laboratuvar çalışmaları, plastik limitin yüksek ve plastisite indeksinin düşük olması, kılcal su emme değerinin düşük olması ve 24 saatte suda çözünmemesi nedeniyle en tatmin edici deneysel sonuçlarının G3 (hava kireci + ayçiçek yağı katkılı) ve G7 (hava kireci + uçucu kül katkılı) numuneleri tarafından elde edildiğini göstermiştir. Bu aşamadan sonraki deneyler G1 şahit numunesiyle beraber G3 ve G7 numuneleri ile sınırlandırılmıştır.
- En iyi performansı gösteren katkı malzemeleri seçildikten sonra Kemaliye’li yerel yapı ustası Mustafa Malkoç ile dam üretiminin gerçekleştirilebileceği toprak kıvamı belirlenmiştir. Bu kıvam için G1 numunesinde uygun su muhtevası %17, G3 ve G7 numunelerinde ise %22 olarak belirlenmiştir.
- Özgün malzeme ve seçilen katkı malzemeleri ile belirlenen su muhtevalarında tekrar numuneler üretilmiş ve 28. gündeki malzeme özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu numuneler Kemaliye’nin son 5 yıllık iklim verileri göz önünde bulundurularak donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış; ardından numunelerin malzeme özellikleri tekrar ölçülerek karşılaştırılmıştır.
- Üretilen numuneler neme doyurularak (havada) donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmış, 50 kez tekrarlanan donma çözülme çevrimlerinin ardından numuneler suya doyurulmuş ve tekrar donma çözülme çevrimlerine maruz bırakılmışlardır. Son sağlam numune kalıncaya kadar çevrimler devam ettirilmiştir. Havada gerçekleştirilen ilk donma çözülme çevrimlerinden tüm numuneler (G1%17-dc, G1%22-dc,

G3%17-dc, G3%22-dc, G7%17-dc, G7%22-dc) 50. çevrim sonunda sağlam çıkmış, fiziksel ve mekanik malzeme özellikleri tüm numunelerde çevrim sonrası ölçülebilmektedir. Suyu doyurularak gerçekleştirilen ikinci çevrimlerde ise özgün numuneler (G1%17-dc2 ve G1%22-dc2) suda çözündüğü için deneye dahil edilememiştir. Mekanik ve fiziksel deneyler yalnızca çevrimlerden sağlam çıkan kireç ve yağ katkılı (G3%17-dc2 ve G3%22-dc2) numunelerle gerçekleştirilmiştir.

- Tüm numunelerde donma-çözülme çevrimleri sonrasında porozite değerlerinde azalma görülmüştür. Genellikle donma-çözülme çevrimlerinin ardından malzemenin boşluk oranında artış beklense de daha önce gerçekleştirilen kısa ve uzun vadeli ön deneylerde tüm numunelerin porozite değerlerinde zaman içerisinde düşüş gerçekleştiği için donma-çözülme çevrimlerinin ardından gerçekleşen porozite düşüşlerinin zamana bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.
- Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri incelendiğinde yağ ve kireç katkılı (G3 numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin uçucu kül ve kireç katkılı (G7) numunelerinkinden donma-çözülme öncesinde de sonrasında da daha düşük olduğu söylenebilmektedir.
- Donma çözülme sonrası numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde düşüş gerçekleşse de kılcal su emme değerlerinde genellikle artış gözlemlenmiştir. Yalnızca su ve yağ katkılı numunelerin (G3) kılcal su emme değerleri donma-çözülme çevrimlerinden sonra olumsuz yönde etkilenmemiştir.
- Suda çözünme deneyinde yalnızca G1 kodlu özgün numune 1 saat içerisinde suda çözünmüş, diğer numuneler (G3 ve G7) donma-çözülme öncesinde de sonrasında da çözünmeden 24 saati tamamlamışlardır. Kullanılan katkı malzemelerinin özgün malzemenin suda çözülmesini engellediği görülmüştür.
- Malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde, donma-çözülme öncesinde de sonrasında da katkılı numunelerin (G3 ve G7) mekanik dayanımlarının özgün numuneden (G1) daha düşük olduğu görülmüştür. Bu

bağlamda kullanılan katkı malzemelerinin özgün malzemenin mekanik dayanımını düşürdüğü söylenebilmektedir.

- Alan çalışması sırasında Kemaliye’de biri özgün (G1) diğer ikisi katkılı (G3 ve G7) olmak üzere üç adet dam modeli üretilmiştir. Üretim sırasında uygun kıvamın yakalanması beklenerek damları sıkıştırma işlemi tüm modellerde aynı anda yapılmamış G7 kodlu modelde 1. gün, G1 ve G3 kodlu modelde 2. gün gerçekleştirilmiştir. Yerel yapı ustası Mustafa Malkoç’un belirlediği sıkıştırma yapılabilecek kıvamların laboratuvar ortamındaki deneysel çalışma ile örtüştüğü görülmüştür.
- Bir yıllık süreçte Kemaliye’de yerinde üretilen model damların drenaj bölgelerinden su çıkışları ölçülmüştür. Su çıkışının çoktan aza doğru sırasıyla G3, G7 ve G1 numunelerinde ölçüldüğü görülmüştür. Bu bağlamda bir yıl sonunda G7 kodlu uçucu kül ve kireç katkılı damın, özgün dama göre %3,6 oranında; G3 kodlu ayçiçek yağı ve kireç katkılı damın ise %22,9 oranında su geçirimsizliğine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir.
- Alan çalışmasından edinilen bir yıllık veriler mevsimler özelinde incelendiğinde ilk yağışların başladığı sonbahar ve ardından kış mevsiminde en çok su çıkışı G7 kodlu uçucu kül ve kireç katkılı, ardından da G3 kodlu yağ ve kireç katkılı damda görülmüştür. Ancak donma-çözülme etkisinin ve kış mevsiminin tamamlanmasıyla birlikte seyreden ilkbahar mevsiminde en çok su çıkışı G3 kodlu damda ardından G1 kodlu özgün damda görülmüş; G7 kodlu damın kış mevsiminin ardından olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir.
- Alan çalışması sırasında geçen 12 aylık süreçte yapı içi hava kalitesi incelendiğinde damların dış mekân ve iç mekân sıcaklık verilerinin yanı sıra dış mekân ve iç mekân bağıl nem verileri de karşılaştırılmıştır. Yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tüm damların benzer ısı yalıtım özellikleri gösterdikleri ve uygun ısısal konforun sağlanmasına katkıda bulundukları görülmüştür. Ancak havaların daha soğuk olduğu kasım ve mart ayları arasında ısı yalıtım özelliği çoktan aza doğru sırasıyla G1, G3 ve G7

numunelerinde görülmüş, katkı malzemelerinin özgün damın ısısal konforuna olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

- Dış hava koşullarına maruz bırakılan dam modellerinin bir yılın sonunda toprak malzemelerinin ve toprak katmanlarının altında kalan ahşap tavan kaplamalarının su muhtevaları ölçülmüştür. Tüm toprak numunelerinde su muhtevası %1'in altında kalmakla beraber su içeriği çoktan aza doğru sırasıyla G1, G7 ve G3 modellerinden alınan toprak numunelerinde görülmüştür.
- Bir yılın sonunda ahşap tavan kaplamalarındaki su muhtevaları ölçüldüğünde tüm numunelerde su muhtevasının %10'un altında kaldığı ancak kireç ve yağ katkılı G3 kodlu numunede %5'in de altına düştüğü görülmüştür. Ahşap malzemede su muhtevaları çoktan aza doğru G1, G7 ve G3 numuneleri olarak sıralanmıştır.
- Bir yıllık ölçümler sonucunda G1 kodlu özgün numunede bitkilenme görülürken, G3 ve G7 kodlu katkılı numunelerde bitkilenme görülmemiştir. Bu nedenle yapıda hasar nedenlerinden biri olarak kabul edilen bitkilenme sorununun önüne geçmek için katkı malzemelerinin (uçucu kül-kireç ve yağ-kireç) kullanılabileceği söylenebilmektedir.
- Dış hava koşullarına maruz bırakılan özgün ve katkılı toprak dam modellerinin cepheleri incelendiğinde bir yılın sonunda tüm modellerin ahşap strüktürlerinde yağışlara bağlı renk değişimleri görülmüştür. Dam modellerinin iç mekanlarında yapılan görsel incelemenin sonucunda ise bir yıl sonunda G1 kodlu özgün dam modelinin hımsı duvarlarının çamur sıvasında çatlak oluşumu ve renk değişimi, G7 kodlu uçucu kül ve kireç katkılı dam modelinin hımsı duvarlarının çamur sıvasında çatlak oluşumu belirlenmiş; G3 kodlu ayçiçek yağı ve kireç katkılı dam modelinde ise gözlem yoluyla bir hasar tespit edilememiştir.

Sonuç olarak kullanılan katkı malzemelerinin özgün toprak malzemenin mekanik dayanımını düşürdüğü ve ısı yalıtımı açısından zayıflattığı, ancak damların su yalıtımına ve bitkilenme sorununa olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Bu nedenle kullanılan katkı malzemelerinin periyodik bakım sıklıklarını azaltmaya katkıda

bulunacağı, geleneksel düz toprak damların korunması ve onarımı sırasında kullanılabileceği öngörülmektedir.

Ancak laboratuvar ve alan çalışmaları sırasında görülmüştür ki uçucu kül ve kireç katkılı örnekler donma-çözülme çevrimlerinin ardından deforme olmakta ve su geçirimsizlikleri büyük ölçüde artmaktadır. Bu nedenle endüstriyel atıkların yeniden kullanımı açısından olumlu olsa da uçucu kül ve kireç katkının kar yağışının ve don olayının gerçekleşmediği daha ılıman iklimlere sahip bölgelerde kullanılabileceği; daha soğuk iklimlerde ise yağ ve kireç katkının tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma Kemaliye'deki geleneksel düz toprak damların su geçirimsizliği açısından iyileştirilmesi için en üstte bulunan toprak yapı malzemesinin tamamına katılmak üzere ayçiçek yağı, hava kireci, hidrolik kireç, bentonit, nişasta ve uçucu külün test edilmesi ile sınırlandırılmıştır. Geleneksel düz toprak damların korunması ve onarımıyla ilgili yapılacak çalışmalarda dam yüzeyine hidrofobik bir malzeme sürülmesi gibi farklı teknikler ile farklı katkı malzemelerinin ve kullanılmış yağlar gibi farklı atık malzemelerin dam kesiti içerisinde kullanımı da çalışma alanları arasında değerlendirilmelidir.

Bu çalışma, TÜBİTAK'ın 217M561 numaralı "Kemaliye Evlerinin Özgün Düz Damlarının Korunmasına Yönelik Çözüm Önerileri" isimli projesi ve YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün FBA-2021-4738 numaralı "Toprak Düz Dam Yapım Sistemlerinin Korunmasına Yönelik Bir Öneri, Kemaliye (Eğin) Örneği" isimli projesi ile desteklenmiştir. Yapılan proje ve tez çalışmaları kapsamında;

- Mimari mirasın korunmasını hedefleyen bu çalışmada mimarlık (restorasyon, yapı), inşaat mühendisliği (yapı malzemeleri, geoteknik) ve orman mühendisliği disiplinlerinin çalışma alanlarına giren araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Özgün mimari yapım tekniğine uygunluğun devam ettirilmesi, yapılan araştırmaların sadece literatürde kalmaması ve aynı zamanda uygulanabilir olması için disiplinler arası bir araştırmanın önemi anlaşılmıştır.

- Çalışma süresince yerel uygulayıcılar olan ustalar ve kullanıcılar ile işbirliğinin önemi görülmüş, bu alanda yapılan çalışmalarda literatür araştırmasının yanısıra laboratuvar ve alan çalışmalarının birlikte yürütülmesinin gerekli olduğu kanısına varılmıştır.
- İyileştirilecek düz dam sayısının artması ile kalifiye ara eleman ihtiyacının artacağı, bu nedenle Kemaliye’de günümüzde yaşayan yerel yapı ustalarının yeni ustaların yetişmesine katkı sunmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.
- Toprak yapı malzemesi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların, yönetmelik ve standartların yetersiz olduğu görülmüş; kerpiç tekniği dışındaki toprak yapı üretim tekniklerinin gelişmesi ve geleneksel mimarinin korunabilmesi için bu konuda gerçekleştirilen bilimsel araştırmalara önem verilmesi mevcut yönetmelik ve standartlarda ise iyileştirme yapılması gerektiği anlaşılmıştır.
- 2005 yılında kentsel sit alanı ilan edilen Kemaliye’de ahşap taşıyıcılı eğimli çatılara mevcut mevzuata göre halen izin verilmektedir. Bu bağlamda yapılar bütüncül olarak korunamamakta ve mimari özgünlük kaybı görülmektedir. Dolayısıyla geçerli koruma yasasında kırsal ve kentsel sit alanlarını bütüncül olarak ele alan iyileştirmelere ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan bu tez çalışması ile günümüzde terk edilen, bakımı yapılmayan, kullanılmayan düz toprak dam sistemlerinin geliştirilebileceği ve özgün mimarinin korunarak yaşatılmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışması, geleneksel mimari mirasın korunması çalışmalarının yanı sıra çağdaş toprak mimarisinde uzun ömürlü sürdürülebilir düz toprak üst örtülerin geliştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır.

- [1] “Geleneksel mimari miras tüzüğü, Ekim 1999,” ICOMOS. Erişim: 24 Mayıs 2022. Çevrimiçi: <http://www.icomos.org.tr/?Sayfa=Icomostuzukleri&dil=tr>
- [2] B. Alper, “Kemaliye (Eğin) yerleşme dokusu ve evleri üzerine bir araştırma,” Doktora Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1999.
- [3] K. Pektaş, *Kemaliye Eğin’de Türk Mimarisi*, Ankara, Türkiye: TŞOF, 2006.
- [4] E. Torbaoğlu, “Özgün yerleşmelerin sürekliliği üzerine bir araştırma; Kemaliye örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [5] M. Z. Akdemir, D. Ekşi-Akbulut, A. Çiftçi, E. Korkmaz, “Kemaliye (Eğin) evlerinin çatı ve duvar kuruluşlarının tespiti ve koruma sorunlarına yönelik öneriler,” 2012-03-01 Kap01 Numaralı Araştırma Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü, İstanbul, 2012-2014.
- [6] D. Ekşi Akbulut, M. Z. Akdemir, A. Çiftçi, E. Korkmaz, S. A. Berilgen, N. Yüzer, M. Berilgen, Ü. Akkemik, C. Ünal, E. Y Gökyiğit Arpacı, A. Aslan Fidan, B. Taşkent, "Kemaliye Evlerinin Özgün Düz Damlarının Korunmasına Yönelik Çözüm Önerileri", 217M561 numaralı TÜBİTAK Projesi, İstanbul, 2018-2023.
- [7] E. Atabeyli Çağlık, “Çevresel etmen-kullanıcı gereksinimleri bağlamında (Kemaliye) Apçağa Köyü konutlarının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [8] M. Efeoğlu, “Kemaliye, Başpınar’da geleneksel konutların yapım tekniklerinin incelenmesi ve M. Tamer Aksoy evi restorasyon önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [9] H. Yıldız, “Kemaliye, Başpınar’da geleneksel konutların mimari özellikleri ve koruma sorunları üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [10] B. Taşkent, “Erzincan, Kemaliye’deki geleneksel konutların düz dam yapım teknikleri ve koruma sorunları üzerine bir araştırma” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2021.
- [11] O. C. Tuncer, *Diyarbakır Evleri*, Diyarbakır, Türkiye: Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür Sanat Yayınları, 1999.
- [12] N. Dalkılıç ve A. Bekleyen, “Geçmişin günümüze yansıyan fiziksel izleri: Geleneksel Diyarbakır evleri”, *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, Diyarbakır, Türkiye: Türkiye Cumhuriyeti Diyarbakır Valiliği Yayınları, 2011.
- [13] Y. Sayan ve S. Öztürk, *Bitlis Evleri*, Ankara, Türkiye: Türkiye Cumhuriyeti Kültür Bakanlığı Yayınları, 2001.

- [14] K. Eyupgiller, M. Topcubas, R. Yaylali ‘‘Darende’de geleneksel ev mimarisi ve korunması’’ *Kırsal Mimarlık Mirasının Korunması- Türkiye’den ve Dünyadan Örnekler*, İstanbul, Türkiye: Arkeoloji ve Sanat Yayınları, s. 159-167, 2016.
- [15] B. İşcanı, Z. Eres, ‘‘Datca-Hizirsah Koyu kırsal sit alanı ve geleneksel konut mimarisinin incelenmesi’’, *Kırsal Mimarlık Mirasının Korunması-Türkiye’den ve Dünyadan Örnekler*. İstanbul, Türkiye: Arkeoloji ve Sanat Yayınları, s. 57-75, 2016.
- [16] C. X. Boixareu, ‘‘Les Toitures en Terrasse en Zone de Montagne Dans La Corniche de la Méditerranée, Le Cas des Pyrénées Catalanes’’, *L’architecture Vernaculaire, tome XVI*, Paris: Centre d’Etudes et Recherches sur l’Architecture Vernaculaire, 1992.
- [17] H. Önel, ‘‘Ahşap ve yurdumuzda yöresel uygulamaları’’, Yeterlilik Çalışması, Mimarlık Bölümü, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, İstanbul, 1975
- [18] RehabiMed, *Traditional Mediterranean Architecture*, Paris: Ecole D’avignon For The Corpus Network, 2002.
- [19] S. Şenol, ‘‘Anadolu Türk konut mimarisinde Divriği evleri’’, *Sivas 1000 Temel Eser*, Sivas: 2007.
- [20] N. Seçkin, A. Erdem, D. Maşalı, D., ‘‘Buldan (Denizli) kırsal mimarlık envanteri’’ *TUBA Kültür Envanteri Dergisi*. no. 3, s. 201-228, 2004.
- [21] B. B. Erdogan, ‘‘Van yöresi geleneksel köy mimarlığı’’, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 2007.
- [22] J. Seeher, *Hattuşa & Kerpiç Kent Suru: Bir Rekonstrüksiyon Çalışması*, İstanbul: Ege Yayınları, s.119-120, 2008.
- [23] R. Çelebi, *Anadolu Kerpiç Mimarlığı*, İstanbul: T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 2012.
- [24] *Architecture Traditionnelle Libanaise*, RehabiMed, Paris, 2004.
- [25] *Manual for the Renovation of Traditional Kairouan Architecture - Rehabilitation Manuals*, RehabiMed, Paris: 2015.
- [26] *Maintenance and Rehabilitation Manual for the Medina of Marrakech, Rehabilitation Manuals*, RehabiMed, Paris: 2015.
- [27] *Brochure Construction Terre Ghardaia, Ar, Cezayir*, RehabiMed, Paris: 2015.
- [28] *Manual as Salt. Jordan: Rehabilitation Manuals*, RehabiMed, Paris: 2015..
- [29] *Handbook for Maintenance and Rehabilitation of Traditional Syrian Architecture, Rehabilitation Manuals*, RehabiMed, Paris: 2015.
- [30] R. Kafesçioğlu, *Çağdaş Yapı Malzemesi Toprak ve Alker*, İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları, 1.Baskı, ISBN: 978-605-4778-57-7, 2017.
- [31] M. Vietports, *Protecting Earthen Buildings from Rains and Floods*, 1983.
- [32] E. Derya, *Stabilize Toprağın Yapı Gereci Olarak Kullanılması İçin Deneyler*, Ankara: ODTÜ Yayınları, 1982.

- [33] R. M. Taylor, "An evaluation of the New Mexico state monuments adobe test walls at Fort Selden", in *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, 1990, pp: 383-389.
- [34] A. Tabban, M. Erdik ve N. Bayülke, "Simple Rules for Adobe Block Making and Adobe Masonry Construction", *Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas Conference Proceedings*, Ankara, 1986.
- [35] N. Değirmenci, "Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması" *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 27-29 Eylül 2007.
- [36] K. Stathopoulos, M. Apostolopoulou, A. Bakolas, A, "Enhancement of Water Resistance of Earthen Mortars Through Stabilization" *Construction and Building Materials* 289(5):123180, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123180, 2021.
- [37] A. E. Losini, A.C. Grillet, M. Belotto, M. Woloszyn, G. Dotelli, "Natural Additives And Biopolymers For Raw Earth Construction Stabilization – A Review", *Construction and Building Materials*, 304 (2021) 124507, 2021.
- [38] E. Veiga, E., "Luso Brazilian architecture and its relationship with the toponymy-Toponymy and fragments of traditional architecture of Portuguese heritage: some certainty, some myths and misconceptions," in *Colloquium 260 Years of Azorean Heritage*, Florianopolis e Santa Catarina, Brazil, 2021.
- [39] G. B. Teixeira, M. C. Belem, *Building Dialogues: Traditional Techniques of Restoration*, Porto: Centro Regional de Artes Tradicionais, CRAT, 1998.
- [40] L. Heathcote, "A study of carbonation in nonhydraulic lime mortars," Doktora Tezi, University of Bath, Bath, United Kingdom, 2006.
- [41] M.G. Margalha, M. R. Veiga, J. Brito, "Some advantages of the use of lime putty in coatings", in: *2nd Meeting on Pathology and Rehabilitation of Buildings Patorreb*, Porto, 2006.
- [42] G. Minke, *Building with Earth- Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Basel Switzerland: Birkhauser e Publishers for Architecture, 2006.
- [43] G. Minke, "Building with earth e 30 years of research and development at the University of Kassel". In: *CESB 07 PRAGUE Conference*, Session T1A, 2007.
- [44] E. Cechova, "The Effect of Linseed Oil on the Properties of Lime-based Restoration Mortars", Doktora Tezi, Science for Conservation, University of Bologna, Bologna, İtalya, 2009.
- [45] R. Eires, "Building with Earth: Improved Performance with Biopolymers Incorporation", Doktora Tezi, University of Minho, Guimar, Portekiz, 2012.
- [46] R. Eires, A. Camoes ve S. Jalali "Enhancing Water Resistance of Earthen Buildings with Quicklime and Oil", *Journal of Cleaner Production*, 142(2017) 3281-3292, 2017.

- [47] H. Lin, F. Y. Liu, S. D. N. Lourenço, G. Schwantes, S. Trumpf, D. Holohan, ve C. T. S. Beckett, “ Stabilization of an earthen material with tung oil: compaction, strength and hydrophobic enhancement” *Construction and Building Materials*, 290 (2021) 123213, 2021.
- [48] H. Özen, "Residential Adobe Architecture Around Santa Fe and Taos from 1900 to the Present" Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Texas Technical University, ABD, 1990.
- [49] “Vinil Asetat Monomer” Kimyagrup. Erişim: 14 Şubat 2021. Çevrimiçi: <https://kimyagrup.com/urun-detay/vinil-asetat-monomer-vam>
- [50] “Kazein Tutkalı” Solverkimya. Erişim: 14 Şubat 2021. Çevrimiçi: <https://www.solverkimya.com/site/makaleler/detaylar/kazein-tutkali-kazein-yapistiricisi-formulleri.html>
- [51] M. S. Akman ve B. Akçay, "Kimyasal beton katkıların gelişimi ve çimentolarla uyumu" *1. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2005, s:15-32.
- [52] M. Aydın, "Polimer/kil nanokompozitlerin hazırlanmasında yeni yöntemler", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [53] “Silicate”. Dictionary Words. Erişim: 14 Şubat 2021. Çevrimiçi: <https://www.dictionary.com/browse/silicate>
- [54] “Pueblo Revival”. Dahp. Erişim: 16 Şubat 2021. Çevrimiçi: <https://dahp.wa.gov/historic-preservation/historic-buildings/architectural-style-guide/pueblo-revival>
- [55] “The Oldest House”. Dahp. Erişim: 16 Şubat 2021. <https://www.history.org/the-oldest-house>.
- [56] D. Ekşi Akbulut ve E. Y. Gökyiğit Arpacı, “Types of Flat Earthen Roofs Used in Vernacular Anatolian Architecture and Their Preservation Problems”, *Journal of Green Building*, 17 (1):89-103. <https://doi.org/10.3992/jgb.17.1.89>, 2022.
- [57] A. Tekin, *Diyarbakır*, İstanbul: Diyarbakır Tanıtım ve Turizm Derneği, 1971.
- [58] D. Erginbas, *Diyarbakir Evleri*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1953.
- [59] K. Eyüpgiller, *Arapgir-Tarih, Mimari ve Yaşam-Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanteri*, İstanbul: Arapgir Kültür Yayınları, 2014.
- [60] M. Topaloğlu, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Ekşi Akbulut ve Yıldız, Kemaliye, Erzincan, 2019.
- [61] M. Okçu, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Ekşi Akbulut ve Yıldız, Kemaliye, Erzincan, 2019.
- [62] M. Malkoç, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Ekşi Akbulut ve Yıldız, Kemaliye, Erzincan, 2019.
- [63] K. Gezici, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Aslan Fidan, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

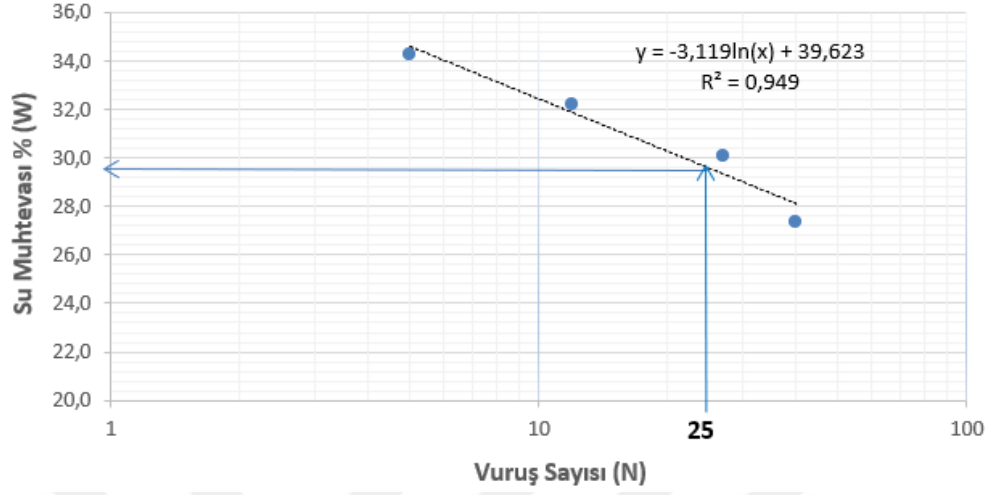
- [64] M. Gölbaş, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Ekşi Akbulut ve Yıldız, Kemaliye, Erzincan, 2019.
- [65] M. Olgunöz, Yerel yapı ustası ile görüşme Gökyiğit Arpacı, Ekşi Akbulut ve Yıldız, Kemaliye, Erzincan, 2019.
- [66] S. Fırat, *Saklı Cennet Kemaliye*, İstanbul: İlke Basın Yayın, 2008.
- [67] E. Karataş, “Merkezi fonksiyonları açısından Ağın-Arapkir ve Kemaliye ilçeleri”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 1996.
- [68] 2003-2004 Dönemi Çalışma Dosyaları, KEMAV. s. 1-24, 2014.
- [69] “Kemaliye (Eğin- Ağın - Agn)”. Yerganyan. Erişim: 20 Ocak 2020. Çevrimiçi: <http://www.angelfire.com/hero/yerganyan/2012-05-B.html>
- [70] A. Aksın “XIX. Yüzyılda Eğin (İdari, Fiziki, Sosyal ve İktisadi Yapı)”, *Kemaliye (Eğin) Kültür Turizm ve Folklor Derneği Kültür Yayını* No.1, İstanbul, 2003.
- [71] “A project to reconstruct ottoman armenian town and village life”. Houshamadyan. Erişim: 17 Ocak 2020. Çevrimiçi: <https://www.houshamadyan.org/mapottomanempire/vilayetofmamuratulazizharpur.html>
- [72] V. Cuinet, *La Turquie d'Asie*, Paris: Geographie Administrative, Statistique, Descriptive et raisonnee de chaque province de l'Asie-Mineure, 1890.
- [73] “Photos of Kemaliye – Kemaliye Mani Yolu” Erişim: 15 Mart 2023. Çevrimiçi: https://www.tripadvisor.com/Tourismg9732345Kemaliye_Erzincan_Province-Vacations.html#/media/9732345/309199424:p/?focusedIndex=0
- [74] *Yurt Ansiklopedisi*. İstanbul, 1982, s: 26
- [75] “Genel Nüfus Sayım Verileri, 2018”. Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim: 18 Ocak 2020. Çevrimiçi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas>, Erişim: 18.01.2020.
- [76] M. Z. Akdemir, “Tipolojiye Aykırı Bir Örnek: Kemaliye/Apçağa Köyü – Yakupağa Konağı”, *Hüseyin Kaptan’a Armağan – Kent ve Planlama*, İstanbul: YEM Yayın. 1. Basım, 2020.
- [77] W. A. Jury, W.R. Gardner, W.H. Gardner, *Soil Physics*, Michigan, ABD: Michigan Eyalet Üniversitesi, 5. Baskı, ISBN: 9780471831082, 1991.
- [78] W. Gardner ve J. Hsieh. *Water Movement in Soils* (1959). Erişim: 20 Mart 2020. Çevrimiçi: <http://www.waterpotential.com>, Erişim: 20.03.2020, 1959.
- [79] C. D. Schackelford, *Waste-soil interactions that alter hydraulic conductivity*, ASTM Special Technical Publication, 1141-111-111, 1994.
- [80] *Ortaöğretim Projesi Laboratuvar Hizmetleri Toprakta Fiziksel Analizler*, Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Yayın No: 524LT0037, 2011.
- [81] H. Oğuz, “Toprak bilgisi ders notu” ders notu, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye, 2008. Çevrimiçi: <http://gmyo.gumushane.edu.tr/media/uploads/gmyo-bitkisel/files/toprak-dersi-notlar.pdf>
- [82] B. Çiçek, “Çağdaş bir yapı malzemesi olarak toprak”, *Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Kerpiç Malzeme Kullanımı Paneli*, Konya, 16-18 Mayıs 2014.

- [83] *Engineering Design of Earth Buildings*, NZS 4297, 2020.
- [84] *Materials and Construction for Earth Buildings*, NZS 4298, 2020.
- [85] *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*, ASTM E2392, 2005.
- [86] *Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma*, TS 2514, 1977.
- [87] *Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları*, TS 2515, 1985.
- [88] *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*, TS 1900-1, 2006.
- [89] “Elekt analizi deneyi” deney föyü, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye. Çevrimiçi: <https://cdn.bartın.edu.tr/insaat/f0524f5c-98df-4ccf-8f50-40fb70f6b6dc/deney-foyleri.pdf> cdn.bartın.edu.tr/insaat.
- [90] E. Aghazadeh, “Kireç ve alçı içeren toprak yapı elemanlarının fiziksel ve mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [91] *Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile)*, TS EN 1015-3, 2000.
- [92] “Çimento Yayılma Tablası”. Parsros. Erişim: 17 mart 2022, Çevrimiçi: <https://www.parsros.net/cimento-yayilma-tablasi>
- [93] *Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 6: Taze harcın boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini*, TS EN 1015-6, 2000.
- [94] *Çimento deney yöntemleri- Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini*, TS EN 196-3, 2017.
- [95] “İnşaat Teknolojisi- Çimento Kıvam ve Priz Süresi Tayini” ders notu, T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Türkiye. Çevrimiçi: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%C3%87imento%20K%C4%B1vam%20Ve%20Priz%20S%C3%BCresi%20Tayini.pdf.
- [96] *Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini*, TS EN 1015-10, 2001.
- [97] *Kâgir harcı- Deney yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiden kaynaklanan su emme katsayısının tayini*, TS EN 1015-18, 2014.
- [98] *Kültürel varlıkların korunması- Deney metotları- Suyun kılcal emiliminin tayini*, TS EN 15801, 2010.
- [99] *Kâgir harcı- Deney yöntemleri- Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini*, TS EN 1015-11, 2020.
- [100] F. Kocataşkın, "Kerpiç Yapı ve Kimyasal Stabilizasyon", *İmar ve İskan Bakanlığı Malzeme Genel Müdürlüğü, Kerpiç Semineri*, Ankara, 1964.
- [101] *Baixa Pombalina: basis for a safeguard intervention* Lisbon, CML, Portugal, 2005.
- [102] A. F. G. Sa, “Hydrated Air Lime Mortars with the Addition of Fat and its Use in Plasters”, *Construlink Monograph*, vol. 7, 2002.

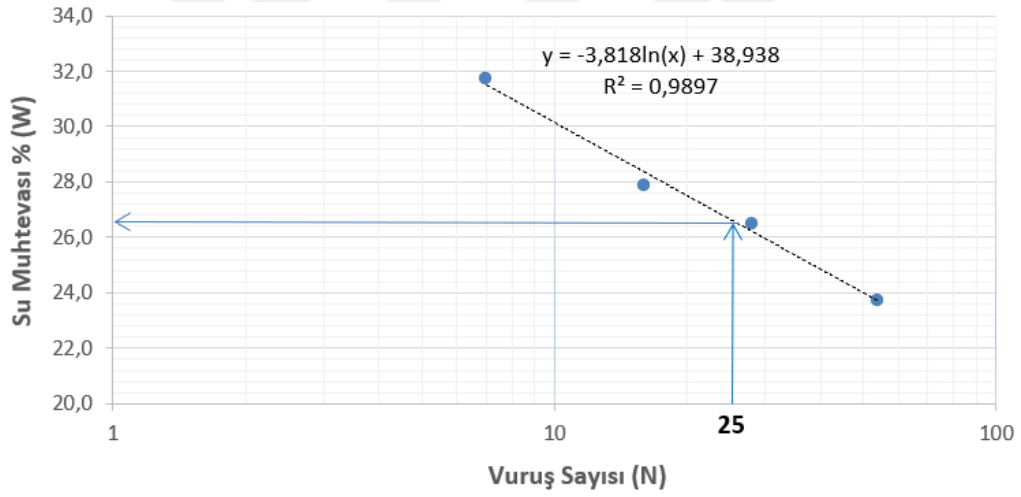
- [103] A. F. G. Sa, “Plasters in walls of stone and lime”, Yüksek Lisans Tezi, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portekiz, 2005.
- [104] C. Nunes ve Z. Slízkova, “Hydrophobic lime based mortars with linseed oil: characterization and durability assessment”. *Cement and Concrete Research*, 61-62, Elsevier, 2014.
- [105] E. Garzón, M. Cano, B. C. O’Kelly, P. J. Sánchez-Soto “Effect of Lime on Stabilization of Phyllite Clays”, *Applied Clay Science*, 123, 2016, s: 329–334.
- [106] A. Amadi ve A. Okeiyi, “Use of quick and hydrated lime in stabilization of lateritic soil: Comparative analysis of laboratory data” *International Journal of Geo-Engineering*. 8:3, 2016.
- [107] C. Bektaş, “Neolitikten beri kerpiç,” konferans sunumu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Toprak Mimarlık Günü- Mevcut Yaklaşımlar*, İstanbul, 28 Şubat 2018.
- [108] C. Nunes ve Z. Slízkova “Freezing and thawing resistance of aerial lime mortar with metakaolin and a traditional water-repellent admixture,” *Construction Building Materials*, 114, 896e905. Elsevier, 2016.
- [109] *Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 2: İmalatta kullanılan harç yığınlarından numune alma ve deney için hazırlama*, TS EN 1015-2, 2000.
- [110] *Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini*, TS EN 196-1, 2016.
- [111] *Çimento deney yöntemleri- Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi*, TS EN 196-2, 2010.
- [112] *Uçucu kül- Deney yöntemleri- Bölüm 1: Serbest kalsiyum oksit muhtevasının tayini*, TS EN 451-1, 2017.
- [113] *Uçucu kül- Deney yöntemleri- Bölüm 2: Islak eleme ile incelik tayini*, TS EN 451-2, 2017.
- [114] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 7: Taşunu (filler) tane yoğunluğunun tayini- Piknometre metodu*, TS EN 1097-7, 2001.
- [115] *Yapı kireci- Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri*, TS EN 459-1, 2005.
- [116] C. H. Benson ve J. M. Trast, “Hydraulic conductivity of thirteen compacted clays,” *Clays and clay minerals*, 43(6), 1995, s. 669-681.
- [117] S. P. Sahoo, S.P. Singh, R. Das, “Effects of delay time on plasticity and compaction characteristics of lime modified expansive soil,” *Indian Geotechnical Conference*, IIT Guwahati, India, 2017.
- [118] F. G. Bell, “Lime stabilization of clay minerals and soils,” *Engineering Geology*, 42(4), 1996, s: 223-237.
- [119] A. A. Basma ve E. R. Tuncer, (1991) “Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays”, *Transportation Research Board*, 1296, 1991, s: 54-61.

- [120] A. Işık “Sıkıştırılmış zeminlerde donma-çözülme olayının deneysel incelemesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [121] *Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM D560, 2012.
- [122] H. V. Görgün ve Ö. Ünsal, “Yapısal ahşap- rutubet ilişkisi”. *Bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 4 (1), 2023, s. 53-63.
- [123] *Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) Parçasının Rutubet Muhtevası – Bölüm 2: Elektrikli Direnç Yöntemiyle Tahmin*, TS EN 13183-2, 2012.
- [124] *İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri*, TS 1900-2, 2006.
- [125] E. Y. Gökyiğit Arpacı, “Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon malzemesinin (grout) performans değerlendirmesi ve 19. yüzyıl tuğla yığma yapılarda örneklenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.
- [126] "ICOMOS Türkiye Mimari Miras Koruma Bildirgesi 2013," ICOMOS. Erişim: 25 Ağustos 2023. Çevrimiçi: http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0784192001542192602.pdf
- [127] “Ahşap Mimari Mirasın Korunması İçin İlkeler,” ICOMOS. Erişim: 25 Ağustos 2023. Çevrimiçi: <http://iiwc.icomos.org/assets/iiwc-2017-principles-turkish.pdf>
- [128] “Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi 2003,” UNESCO. Erişim: 13 Temmuz 2021. Çevrimiçi: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ich.unesco.org/doc/src/00009-TR-PDF.pdf>
- [129] E. Balcı, N. Kuban ve A. Çiftçi “Türkiye’de Mimari Mirasın Korunmasında Çalışan Geleneksel Yapı Ustalarının Önemi ve Uygulama Elemanlarının Eğitimleri Üzerine Güncel Bir Değerlendirme” *TUBA-KED*, DOI: 0.22520/tubaked.2022.25.003, 2022.

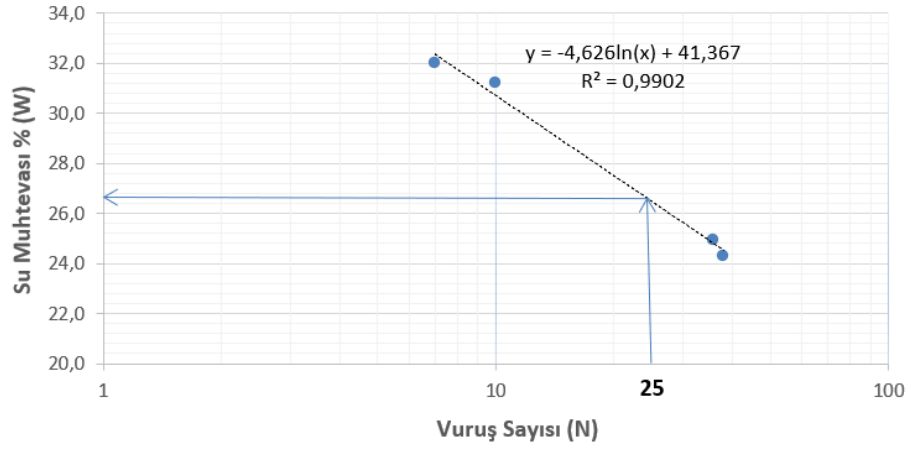
EK-A LİKİT LİMİT GRAFİKLERİ



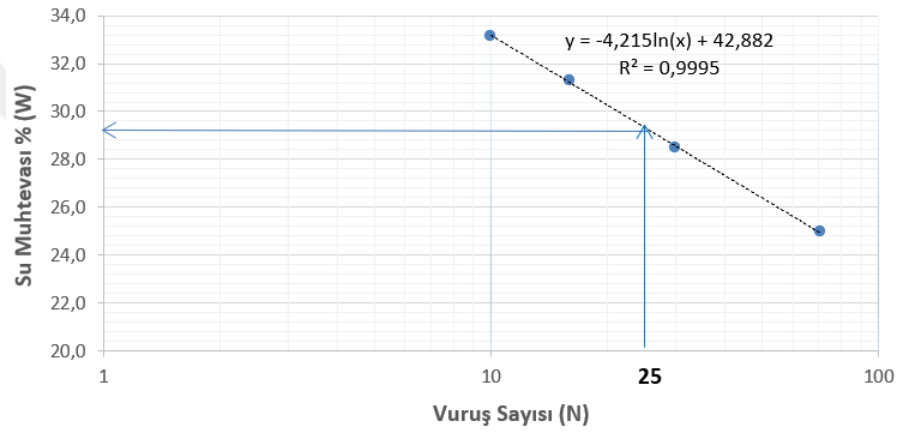
Şekil Ek-A.1 Y2 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği



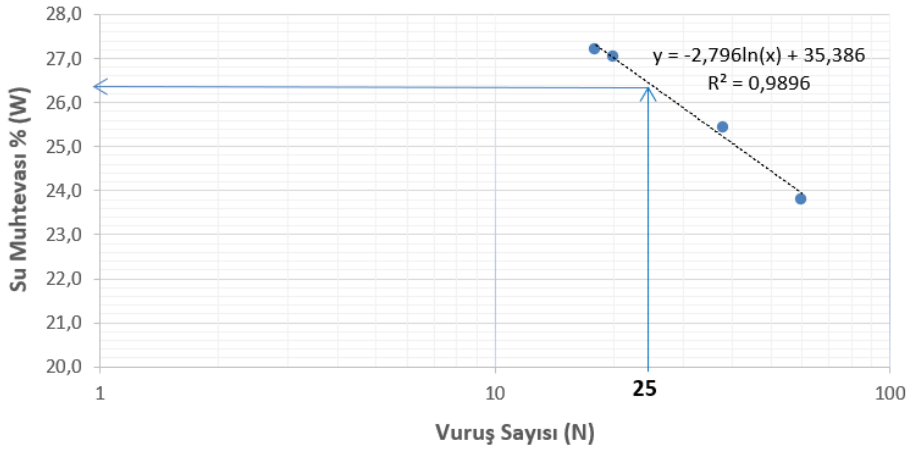
Şekil Ek-A.2 G1 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği



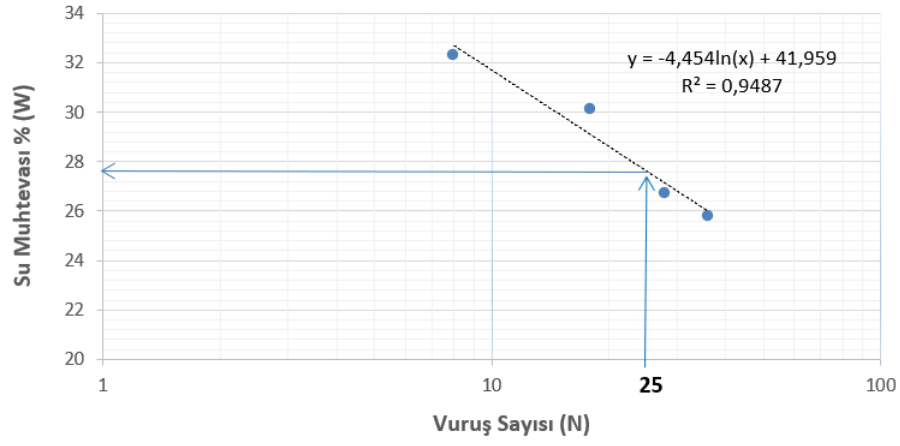
Şekil Ek-A.3 G2 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği



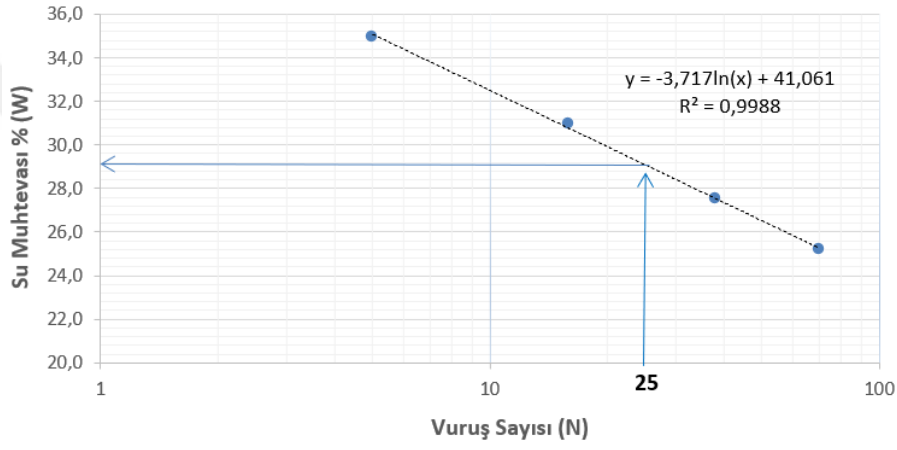
Şekil Ek-A.4 G3 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği



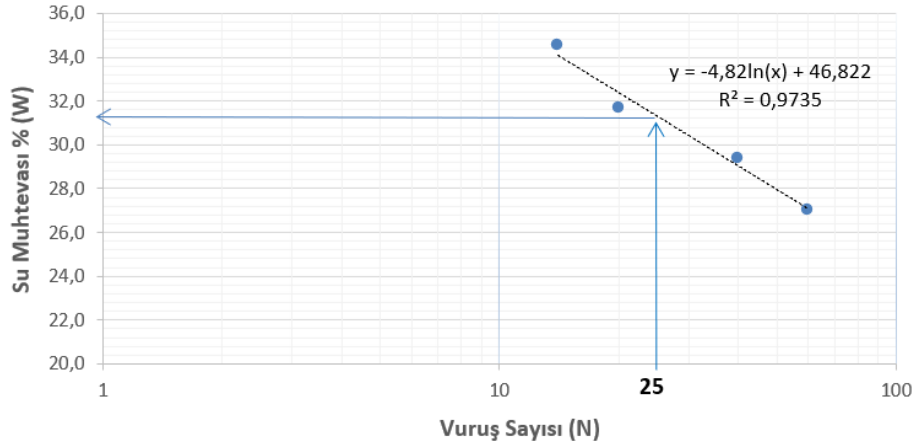
Şekil Ek-A.5 G4 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği



Şekil Ek-A.6 G5 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği

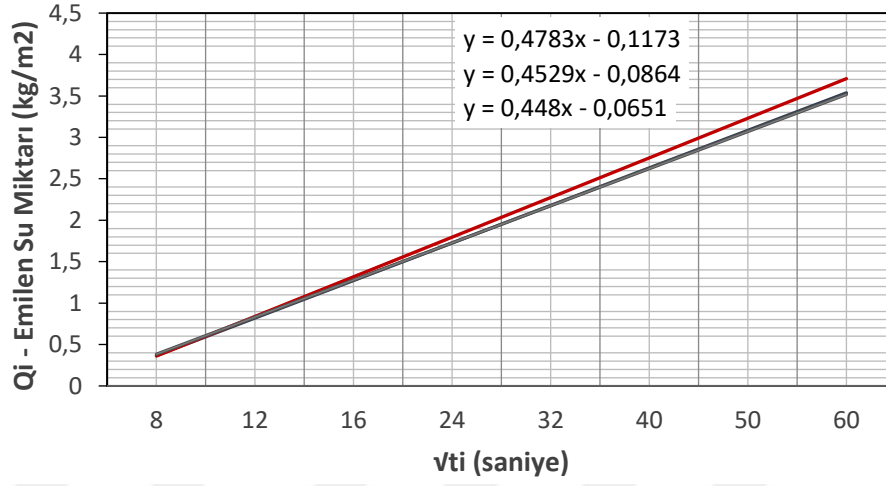


Şekil Ek-A.7 G6 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği

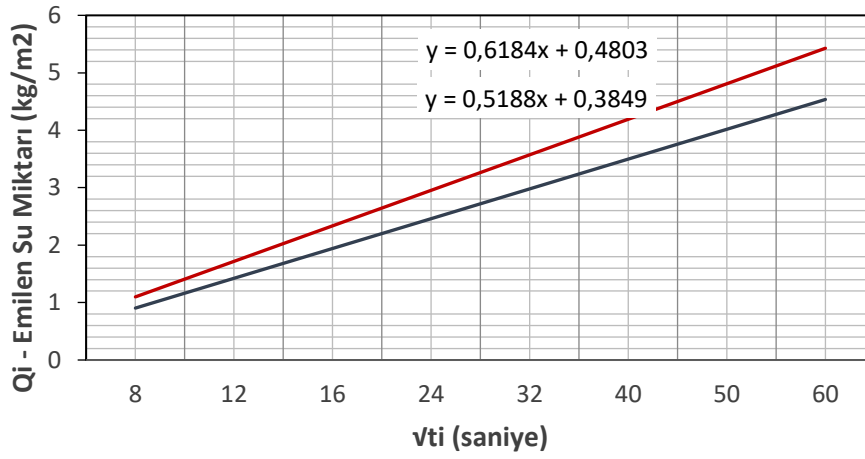


Şekil Ek-A.8 G7 Malzemesinin Casagrande - Likit Limit Grafiği

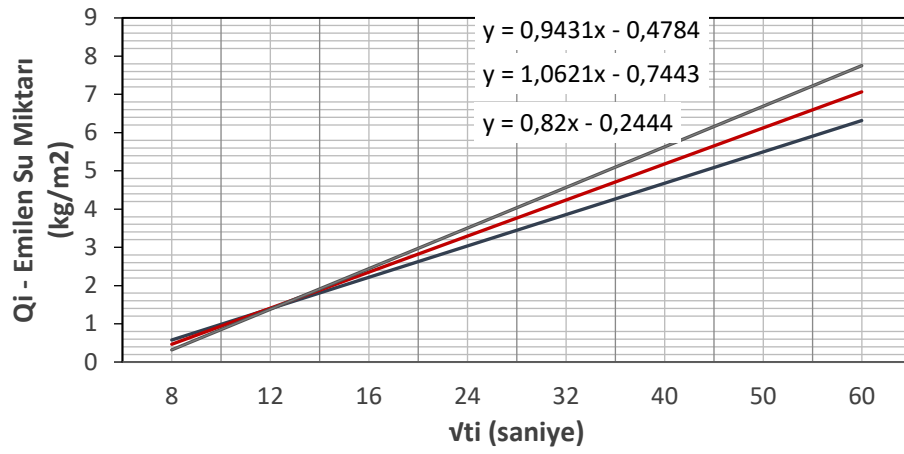
EK-B KILCAL SU EMME GRAFİKLERİ



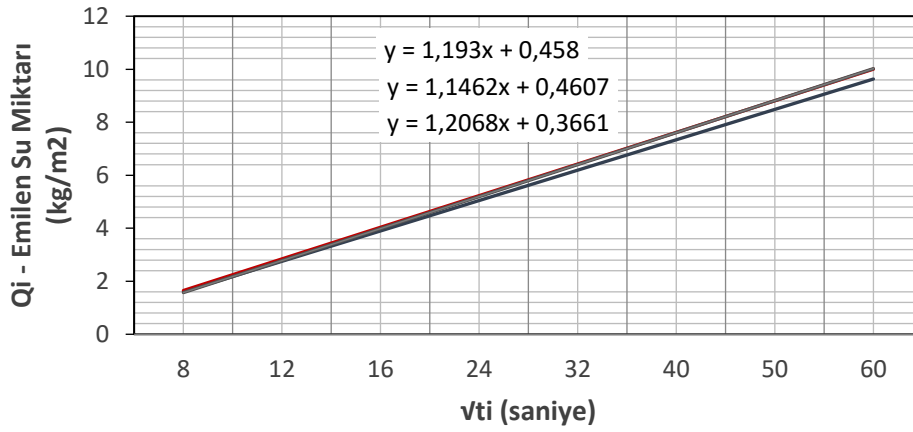
Şekil Ek-B.1 G1 malzemesinin 28. gün $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği



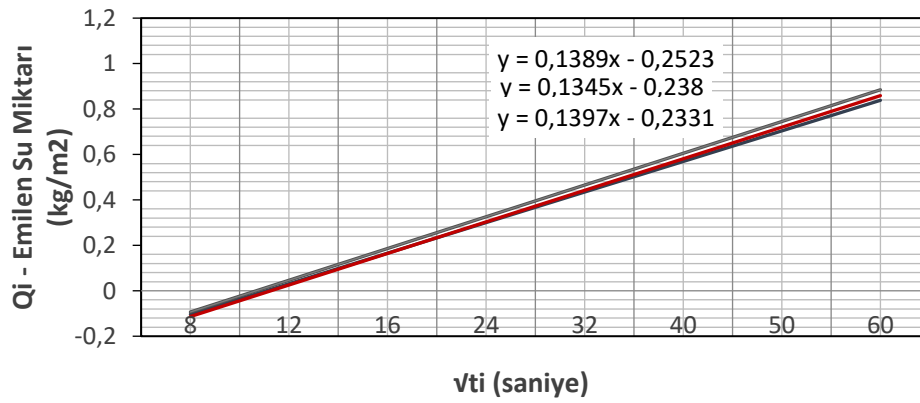
Şekil Ek-B.2 G1 malzemesinin 365. gün $Q_i - \sqrt{t_i}$ grafiği



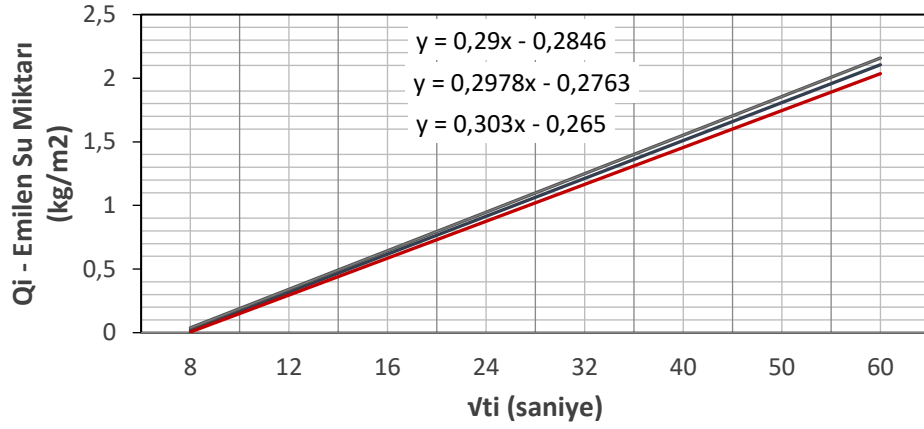
Şekil Ek-B.3 G2 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği



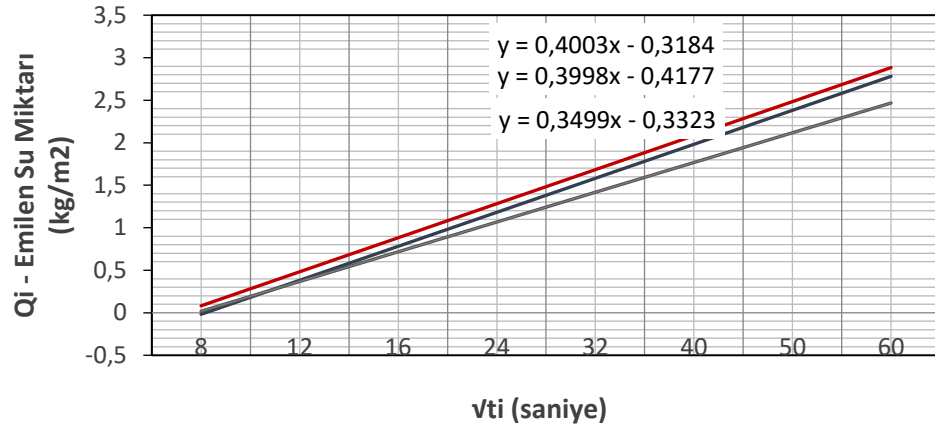
Şekil Ek-B.4 G2 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği



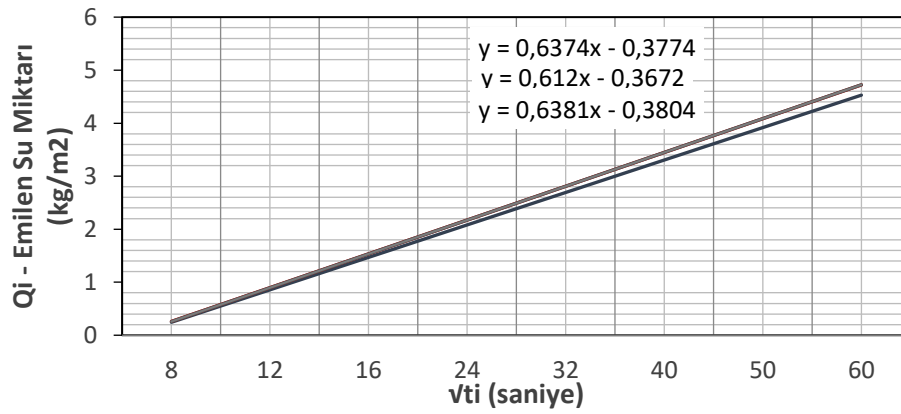
Şekil Ek-B.5 G3 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t}$ i grafiği



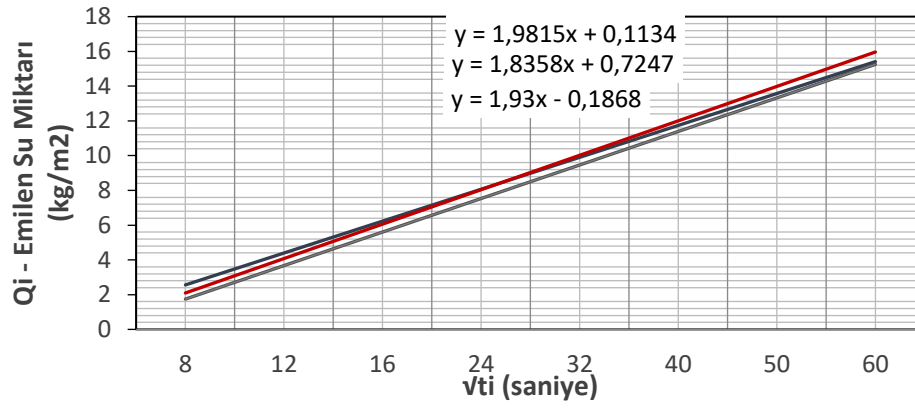
Şekil Ek-B.6 G3 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



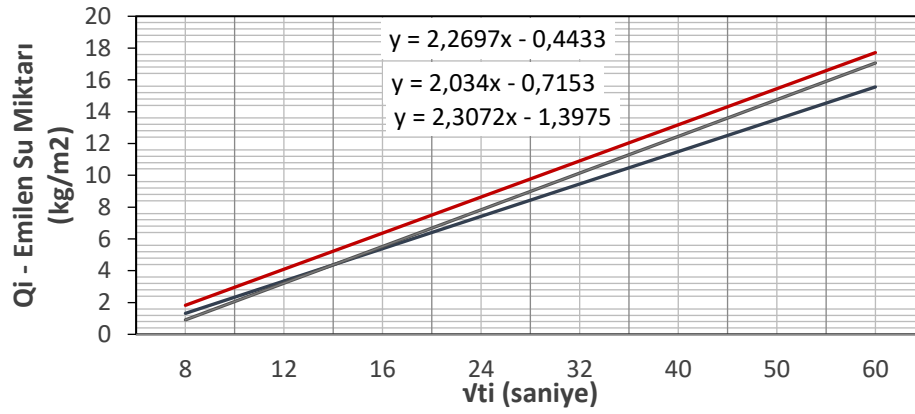
Şekil Ek-B.7 G4 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



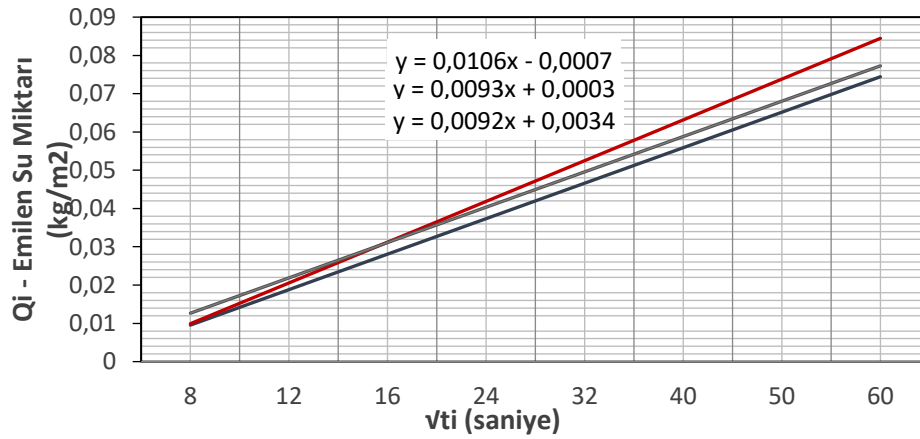
Şekil Ek-B.8 G5 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



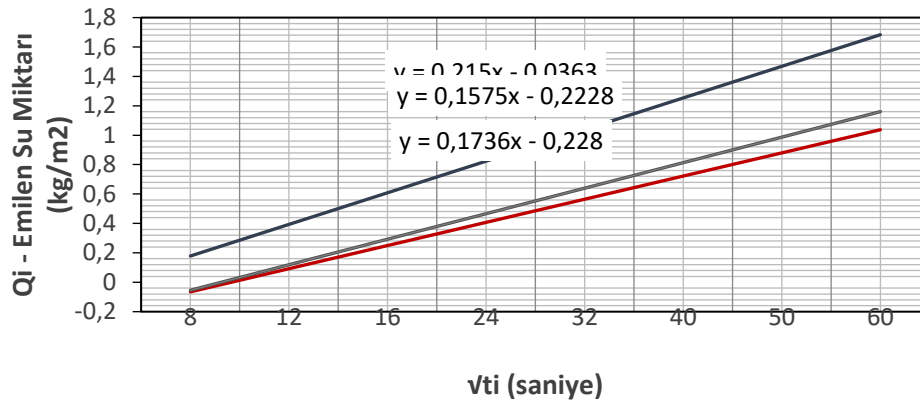
Şekil Ek-B.9 G6 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



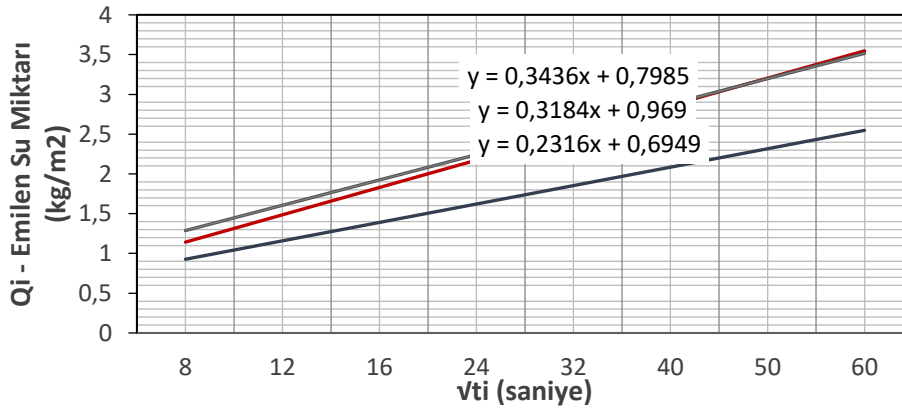
Şekil Ek-B.10 G6 malzemesinin 365. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



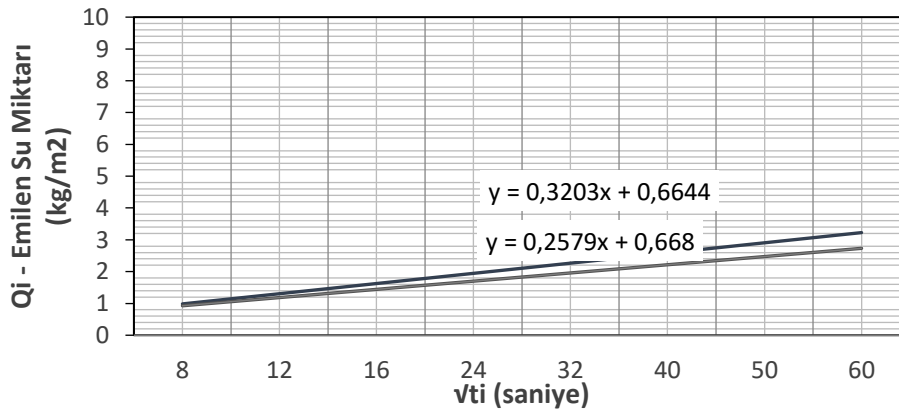
Şekil Ek-B.11 G7 malzemesinin 28. gün Qi - $\sqrt{t_i}$ grafiği



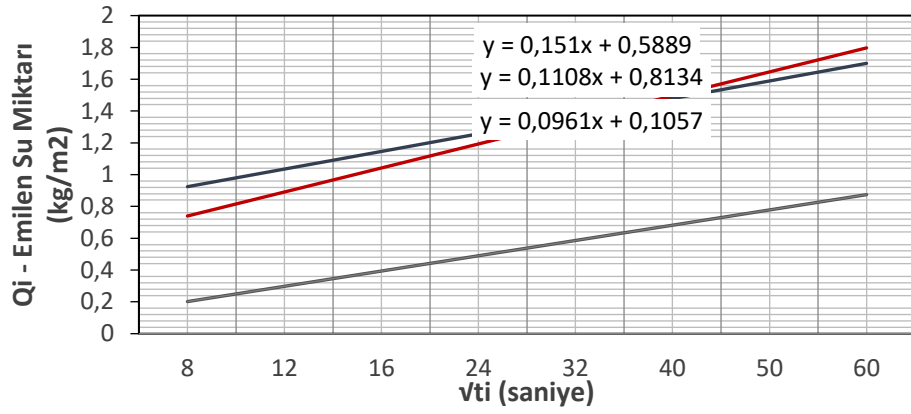
Şekil Ek-B.12 G7 malzemesinin 365. gün Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



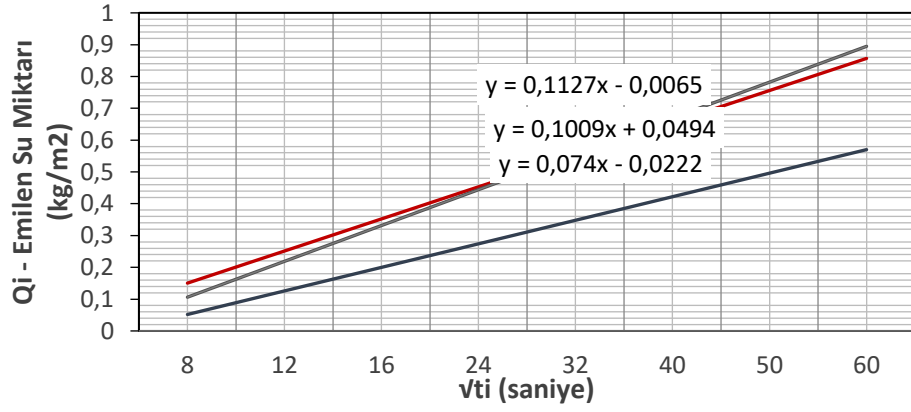
Şekil Ek-B.13 G1%17 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



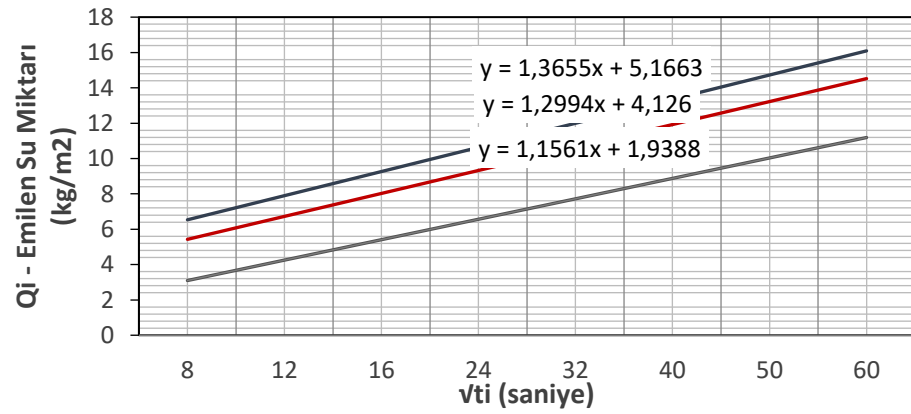
Şekil Ek-B.14 G1%22 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



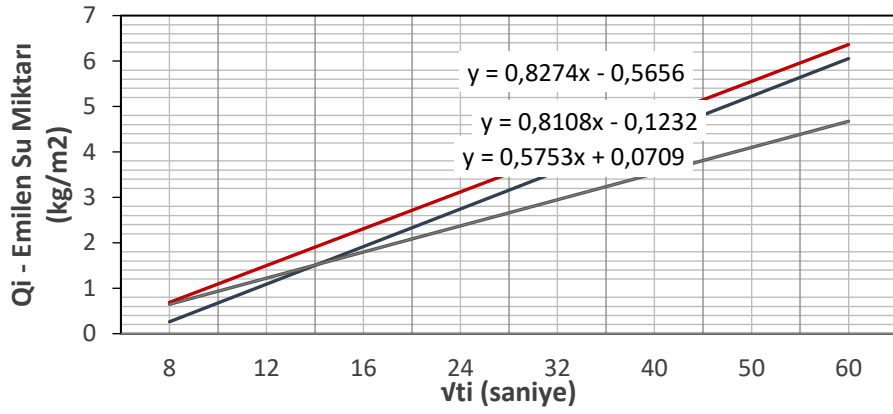
Şekil Ek-B.15 G3%17 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



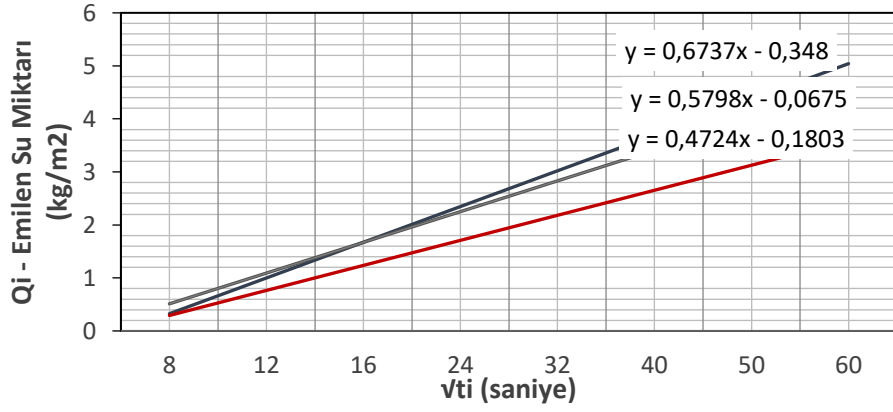
Şekil Ek-B.16 G3%22 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



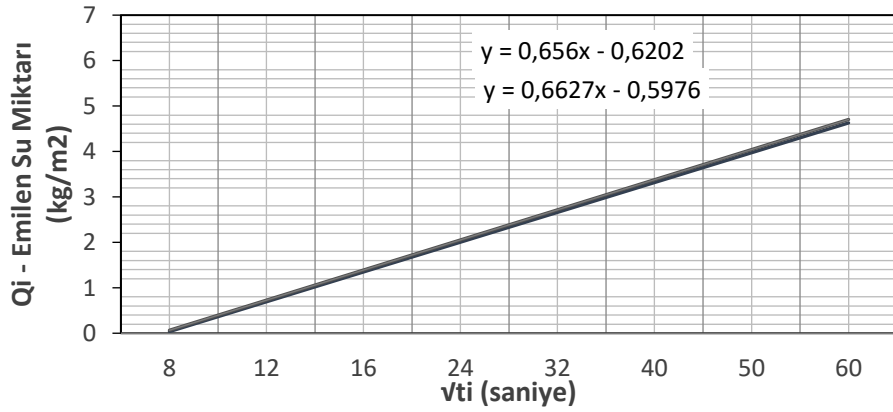
Şekil Ek-B.17 G7%17 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



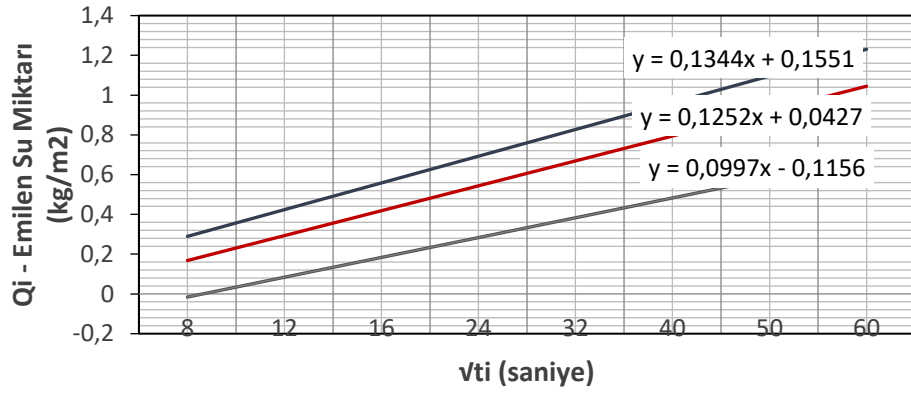
Şekil Ek-B.18 G7%22 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



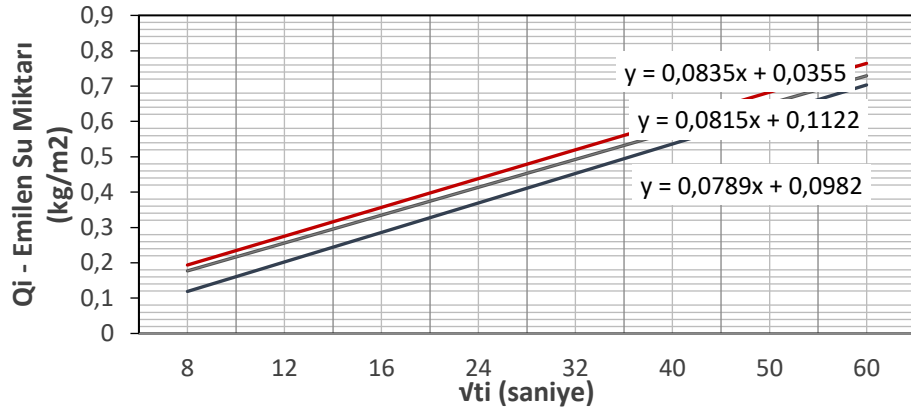
Şekil Ek-B.19 G1%17-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



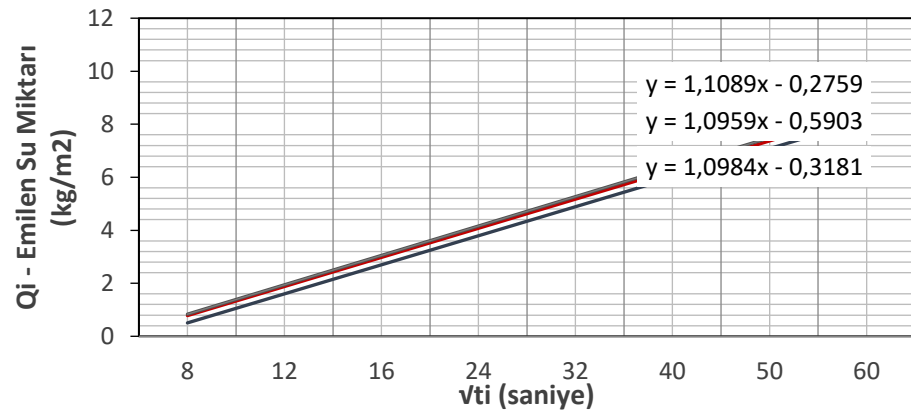
Şekil Ek-B.20 G1%22-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



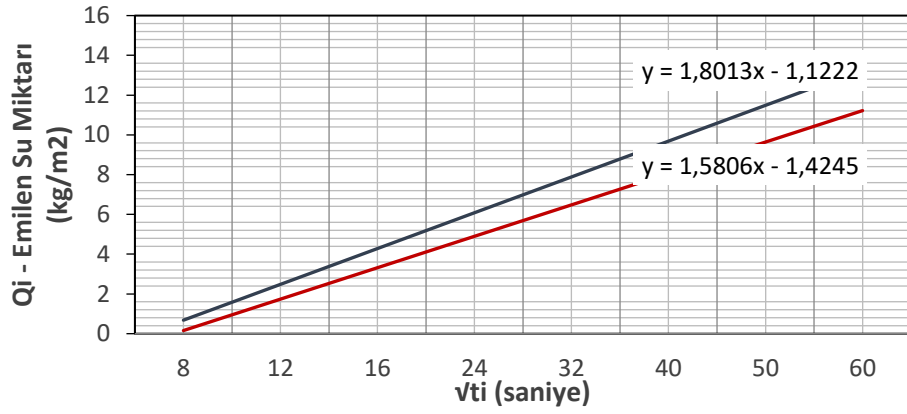
Şekil Ek-B.21 G3%17-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



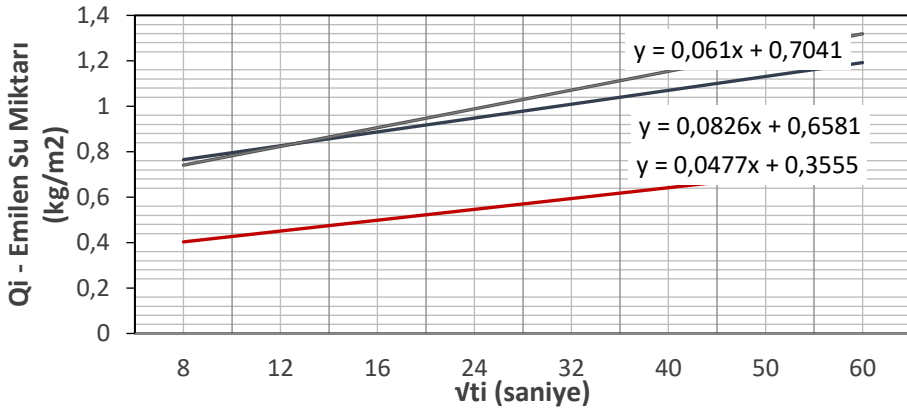
Şekil Ek-B.22 G3%22-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



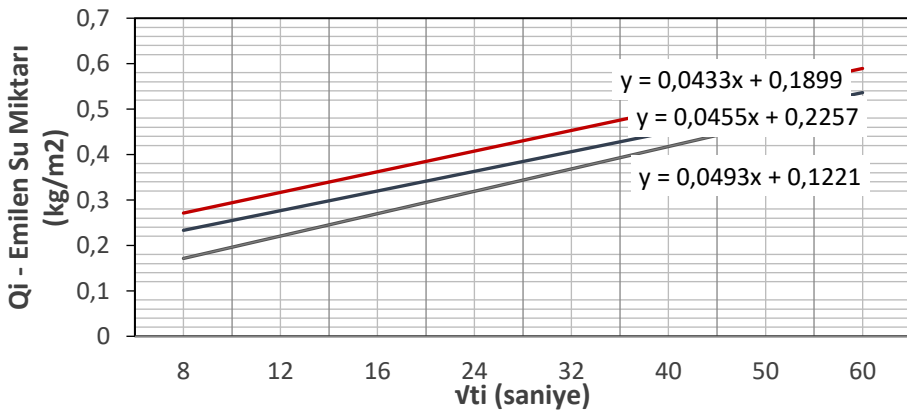
Şekil Ek-B.23 G7%17-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



Şekil Ek-B.24 G7%22-dc Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



Şekil Ek-B.25 G3%17-dc2 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği



Şekil Ek-B.26 G3%22-dc2 Q_i - $\sqrt{t_i}$ grafiği

EK-C

ALAN ÇALIŞMASI DENEY VERİLERİ

Tablo EK-C.1 Alanda üretilen modellerden ölçülen su çıkışları ve iç hava kalitesi

TARİH	SAAT	DAM TİPİ	DIŞ SICAKLIK (°C)	DIŞ NEM (%)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%)	SU ÇÖRTEN (lt)	SU FİTİL (lt)	TOPLAM SU (lt)
27.07. 2022	11:03	G1	32		30,2	32	-	-	-
	11:09	G3			29,9	32	-	-	-
	11:16	G7			30,5	31	-	-	-
3.08. 2022	11:12	G1	36		31,5	31	-	-	-
	11:18	G3			32,7	31	-	-	-
	11:22	G7			34,3	28	-	-	-
10.08. 2022	12:49	G1	37,6	27	34,8	28	-	-	-
	12:53	G3			35,4	27	-	-	-
	12:57	G7			35,6	27	-	-	-
17.08. 2022	11:47	G1	36,9	30	33,3	32	-	-	-
	11:51	G3			33,9	31	-	-	-
	11:55	G7			34,7	31	-	-	-
24.08. 2022	11:09	G1	45,1	22	33,1	26	-	-	-
	11:15	G3			33,2	26	-	-	-
	11:20	G7			33,7	28	-	-	-
1.09. 2022	11:04	G1	36,3	25	33,1	26	-	-	-
	11:07	G3			33	27	-	-	-
	11:11	G7			33	26	-	-	-
7.09. 2022	11:50	G1	32	26	27	30	-	-	-
	11:53	G3			26,6	30	-	-	-
	11:58	G7			26,3	30	-	-	-
14.09. 2022	11:58	G1	27	30	26,5	32	-	-	-
	12:13	G3			26	32	-	-	-
	12:18	G7			26,5	32	-	-	-
22.09. 2022	14:01	G1	26,8	34	26,7	35	-	-	-
	14:05	G3			26,6	34	-	-	-
	14:09	G7			26,1	34	-	-	-
28.09. 2022	15:36	G1	27,1	28	26,3	28	-	-	-
	15:40	G3			27,1	28	-	-	-
	15:43	G7			27,1	28	-	-	-
5.10. 2022	13:48	G1	34	24	28	29	-	-	-
	13:52	G3			28,5	29	-	-	-
	13:55	G7			28,9	29	-	-	-
12.10. 2022	13:01	G1	25,7	30	24,5	33	-	-	-
	13:03	G3			24,3	31	-	-	-
	13:06	G7			23,9	33	-	-	-
20.10. 2022	11:47	G1	21,7	41	21,3	38	-	-	-
	11:52	G3			20,6	37	-	-	-
	11:57	G7			20,3	38	-	-	-
26.10. 2022	15:37	G1	18,4	33	18,9	35	-	-	-
	15:40	G3			18,8	33	-	-	-
	15:45	G7			18,3	35	-	-	-
3.11. 2022	13:31	G1	21,9	30	21,4	32	-	-	-
	13:34	G3			20,5	30	-	-	-
	13:37	G7			19,6	31	-	-	-
10.11. 2022	13:50	G1	22,8	35	23	33	12	4	16
	13:54	G3			21	36	10	6,75	16,75
	13:57	G7			20	37	10	7	17

Tablo EK-C.1 Alanda üretilen modellerden ölçülen su çıkışları ve iç hava kalitesi
(Devamı)

TARİH	SAAT	DAM TİPİ	DIŞ SICAKL İK (°C)	DIŞ NEM (%)	İÇ SICAKL İK (°C)	İÇ NEM (%)	SU ÇÖRTEN (lt)	SU FİTİL (lt)	TOPLA M SU (lt)
16.11. 2022	14:54	G1	12,9	51	19,7	33	4	2,75	6,75
	15:00	G3			17,3	36	5	1	6
	15:05	G7			15,1	38	9	2,25	11,25
25.11. 2022	14:01	G1	10,9	71	10,9	61	17,25	9	26,25
	14:05	G3			10,9	62	21	2,5	23,5
	14:11	G7			10,9	61	10,5	11,75	22,25
1.12. 2022	13:53	G1	15	47	16,9	37	21	9,25	30,25
	13:57	G3			15,6	38	24	7	31
	14:00	G7			14,6	40	15,75	15,5	31,25
7.12. 2022	12:51	G1	15,7	38	21,7	30	2	1	3
	12:54	G3			18,2	31	2,75	1	3,75
	12:57	G7			16,6	35	2	2	4
15.12. 2022	14:24	G1	11,7	66	18,4	33	16	6	22
	14:30	G3			14,7	48	20	5	25
	14:33	G7			13,6	48	18	15	33
21.12. 2022	15:00	G1	9,9	45	21,7	32	1	1	2
	15:29	G3			13,3	41	2	0,75	2,75
	15:33	G7			12,9	42	1	1	2
28.12. 2022	14:13	G1	14	34	21,1	30	-	-	-
	14:16	G3			18,3	31	-	-	-
	14:20	G7			15,2	33	-	-	-
4.01. 2023	15:26	G1	5,7	37	7,7	39	-	-	-
	15:38	G3			6,7	39	-	-	-
	15:48	G7			6	41	-	-	-
13.01. 2023	14:17	G1	7	29	14	32	1	0,5	1,5
	14:28	G3			10	36	2	0,5	2,5
	14:42	G7			8	36	2	0,75	2,75
18.01. 2023	14:43	G1	13,7	36	20,4	30	-	-	-
	14:46	G3			18	31	-	-	-
	14:49	G7			15,3	33	-	-	-
27.01. 2023	13:53	G1	11	35	19	31	-	-	-
	13:57	G3			15,6	33	-	-	-
	14:01	G7			11,8	35	-	-	-
1.02. 2023	13:41	G1	5,7	61	12,7	35	7,5	6	13,5
	13:47	G3			9,8	38	15,5	5	20,5
	13:50	G7			8,4	42	11,5	9	20,5
11.02. 2023	15:37	G1	-2	80	17,3	30	18	14	32
	15:42	G3			11,9	33	32	12	44
	15:46	G7			9,1	34	25	18	43
23.02.20 23	15:37	G1	14,7	42	17,9	34	-	-	-
	15:42	G3			15,7	35	-	-	-
	15:46	G7			14,3	36	-	-	-
2.03.202 3	15:12	G1	20	37	22,7	34	-	-	-
	15:15	G3			21,5	34	-	-	-
	15:18	G7			20,2	36	-	-	-
9.03.202 3	12:22	G1	22	30	24,9	29	-	-	-
	12:25	G3			22,5	30	-	-	-
	12:29	G7			20,8	30	-	-	-
15.03.20 23	13:41	G1	21,2	36	19,9	37	19	17	36
	13:45	G3			18,6	37	27	19	46
	13:49	G7			17,3	40	21	19	40
23.03.20 23	13:19	G1	19,7	37	21,2	41	16	3	19
	13:22	G3			20	40	27	7	34
	13:25	G7			19,5	41	19	7	26

Tablo EK-C.1 Alanda üretilen modellerden ölçülen su çıkışları ve iç hava kalitesi
(Devamı)

TARİH	SAAT	DAM TİPİ	DIŞ SICAKL İK (°C)	DIŞ NEM (%)	İÇ SICAKLI K (°C)	İÇ NEM (%)	SU ÇÖRT EN (lt)	SU FİTİL (lt)	TOPLAM SU (lt)
31.03.2 023	11:11	G1	17	33	17	33	13	5	18
	11:15	G3			14	34	21	5	26
	11:20	G7			11,7	35	12,5	2,5	15
6.04.20 23	14:21	G1	17,1	44	22,6	36	5	2	7
	14:25	G3			20,9	35	8	3	11
	14:30	G7			19	37	5	1	6
12.04.2 023	13:57	G1	18,8	39	21,8	36	19	12,5	31,5
	14:03	G3			18,6	37	27	12,5	39,5
	14:06	G7			17,1	39	19	12,5	31,5
19.04.2 023	14:24	G1	21,3	38	21,1	39	2,5	1	3,5
	14:32	G3			20,9	39	3	1	4
	14:35	G7			20,6	39	2,75	1	3,75
26.04.2 023	13:57	G1	24,4	35	27,8	33	17	7	24
	14:03	G3			26,2	33	19	7	26
	14:06	G7			25,4	34	9	6	15
7.05.20 23	15:38	G1	24	38	21	39	19	4	23
	15:43	G3			21,2	38	20	4	24
	15:46	G7			21,4	39	5	4	9
11.05.2 023	14:37	G1	30,2	30	30	31	-	-	-
	14:38	G3			28,4	33	-	-	-
	14:41	G7			27,5	34	-	-	-
17.05.2 023	15:05	G1	28,7	31	23,9	36	6	4	10
	15:09	G3			25,1	36	8	3	11
	15:12	G7			25,5	36	3	4	7
24.05.2 023	14:36	G1	34	35	23,2	40	8	10	18
	14:40	G3			24,2	40	12	8	20
	14:43	G7			24,6	40	2	10,5	12,5
1.06.20 23	13:30	G1	31,4	37	22,4	46	4	6,5	10,5
	13:34	G3			22,8	45	5	4,5	11,5
	13:38	G7			23	45	2	6,5	8,5
08.06.2 023	12:56	G1	41	31	42,1	23	-	-	-
	12:59	G3			40,6	23	-	-	-
	13:05	G7			36	25	-	-	-
14.06.2 023	12:35	G1	38,9	24	42,1	23	-	-	-
	12:38	G3			38,8	24	-	-	-
	12:42	G7			34,4	26	-	-	-
21.06.2 023	13:57	G1	36,2	30	36,1	23	-	-	-
	14:03	G3			35,2	23	-	-	-
	14:06	G7			35	25	-	-	-
28.06.2 023	14:24	G1	40,1	22	41,1	23	-	-	-
	14:32	G3			40,3	23	-	-	-
	14:35	G7			36	25	-	-	-

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. E. Y. Gokyigit Arpaci, D. Eksi Akbulut and O. Yıldız, “Enhancing water resistance of earthen buildings by using admixture materials” *Architectural Engineering and Design Management* (2023). DOI: 10.1080/17452007.2023.2270630
2. D. Eksi Akbulut and E. Y. Gokyigit Arpaci, “Types of flat earthen roofs used in vernacular anatolian architecture and their preservation problems”, *Journal of Green Building*, (2022) 17 (1):89-103. <https://doi.org/10.3992/jgb.17.1.89>

Konferans Bildirileri

1. E. Y. Gokyigit Arpaci, D. Eksi Akbulut and S. E. Yıldız, “Traditional flat earthen roof construction techniques in kemaliye and the importance of local foremen,” *8th International Conference KERPIC' 20- Healthy Buildings: The Role of Earthen Material on Providing Healthy and Sustainable Indoor Environment*, 26-27 November 2020, Istanbul.

Projeler

1. TÜBİTAK “Kemaliye Evlerinin Özgün Düz Damlarının Korunmasına Yönelik Çözüm Önerileri”, 217M561 numaralı araştırma projesi (2018-2023).
2. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü “Toprak Düz Dam Yapım Sistemlerinin Korunmasına Yönelik Bir Öneri, Kemaliye (Eğin) Örneği”, FBA-2021-4738 numaralı araştırma projesi (2021-2023).