

**DATÇA BÖLGESİNDEKİ VOLKANİK TÜFLERİN
YAPI MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar. Esra AKGÜL
(Enstitü No)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Leyla TANAÇAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erol GÜRDAL (İ.T.Ü)
Prof.Dr. Canan TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarında her türlü değerli bilgileriyle beni destekleyen danışmanım sayın Doç.Dr. Leyla Tanaçan'a

Çalışmalarım sırasında teşvik ve yardımlarını esirgemeyen sayın Prof.Dr. Erol Gürdal, Doç.Dr. Gülser Çelebi ve Araş.Gör. Seden Acun'a ayrıca İ.T.Ü Yapı Malzemesi Laboratuvarında bütün deneylerimin yapılmasında bana yardımcı olan değerli teknisyen sayın İbrahim Öztürk'e

Kimyasal ve minerolojik analizler için TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde emeği geçen Dr. Esin Gülay ve DTA-TG analizleri için Eskişehir Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezinde emeği geçen Malzeme Mühendisi Aynur Altınok'a

Her fırsatta beni destekleyen değerli anne ve babama

Teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2006

Esra AKGÜL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI	3
2.1 Çalışmanın Kapsamı	4
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3.1 Puzolanlar	6
3.1.1 Puzolanların Sınıflandırılması	
3.1.1.1 Doğal Puzolanlar	7
3.1.1.2 Yapay Puzolanlar	13
3.1.2 Türkiye'nin Puzolanik Madde Olanakları ve Durumu	14
3.2 Kireç	15
3.3 Puzolanik Aktivite	17
3.3.1 Kireç- Puzolan Reaksiyonu	19
3.3.1.1 Kireç- Puzolan Reaksiyonun Mekanığı	19
3.3.2 Çimento Puzolan Reaksiyonu	20
3.4 Puzolanlarla İlgili Yapılan Çalışmalar	21
3.4.1 Kireç- Puzolan İlişkisine Dayalı Araştırmalar	23
3.4.2 Çimento- Puzolan İlişkisine Dayalı Araştırmalar	27
4. ÖN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
4.1 Kullanılan Puzolanın Özellikleri	36
4.1.1 Puzolanın Özgül Kütlesi	36
4.1.2 Puzolanın Özgül Yüzey Alanı	38
4.1.3 Puzolanın Tane Büyüklüğü (Elek Analizi)	41
4.1.4 Puzolanın Kimyasal Analizi	42
4.1.5 Puzolanın X- Işınları Difraksiyonu XRD İle Minerolojik Analizi	44

4.2	Kullanılan Sönmüş Kirecin Özellikleri	45
4.2.1	Kirecin Özgöl Kütlesi	46
4.2.2	Kirecin Kimyasal Analizleri	46
4.3	TS 25'e Göre Puzolanik Aktivite Deneyi	46
4.3.1	Karışım Hesapları ve Kür Koşulları	47
4.3.2	Ön Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirilmesi	54
5.	ÜRETİM VE DENEYLER	57
5.1	Deney Numunelerinin Hazırlanması, Kodlanması ve Deney Programının Oluşturulması	57
5.2	Fiziksel Deneyler ve Sonuçların Değerlendirilmesi	61
5.2.1	Özgöl Kütle	61
5.2.2	Birim Hacim Kütlesi	62
5.2.3	Ultrasen Hızının Belirlenmesi	64
5.2.3.1.	Elastisite Modülü	66
5.2.4	Su Emme Deneyi	68
5.2.4.1	Kütlece Su Emme	70
5.2.4.2	Hacimce Su Emme Deneyi	73
5.2.5	Görünen Porozite	75
5.2.6	Komposite (Doluluk) ve Porozite (Boşluluk)	76
5.2.7	Buhar Geçirgenlik Direnci	76
5.3	Mekanik Deneyler ve Sonuçların Değerlendirilmesi	80
5.3.1	Eğilmede Çekme Dayanımı	81
5.3.2	Basınç Dayanımı	83
5.4	Termografik Analiz (DTA –TG) Difransiyel Termal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi	85
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	87
	KAYNAKLAR	90
	EKLER	93
	EK - A TABLOLAR	94
	EK- B ŞEKİLLER	104
	ÖZGEÇMİŞ	109

KISALTMALAR

CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrate
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
XRD	: X- Işınları Difraktometresi, Kalitatif Faz Analiz
XRF	: X- Işını Floresan Spektrometre, Yarı Kantitatif Element Analiz
s/k	: Harcın İçindeki Toplam Su Oranının Toplam Katı Oranına Bölümü
TS	: Türk Standartları
pe	: Polietilen

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1: Puzolanların Aktif Maddeleri ve Petrografik Sınıflandırılması.....	10
Tablo 3.2: Pomzaların Kimyasal İçerikleri.....	12
Tablo 3.3: Bölgelere Göre Tahmini Puzolan Kaynakları.....	15
Tablo 3.4: Puzolan Yatakları Analizi.....	15
Tablo 3.5: TS 25'e Göre Puzolanlarda Aranması Gereken Kimyasal Özellikler....	17
Tablo 3.6: Çalışmada elde edilen Sonuçlar [15].....	23
Tablo 3.7: Araştırmadaki Kireç- Puzolan Karışımları İçin Uygulanan Deney Süreci [28].....	25
Tablo 3.8: Araştırmada elde edilen Sonuçlar [16].....	26
Tablo 3.9: Çimento-Puzolan ve Kireç-Puzolan Hamurunun Farklı Kür Koşulları Karşısında Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim.....	33
Tablo 4.1: Datça Bölgesindeki Toprak Malzemenin Özgül Kütle Hesabı.....	38
Tablo 4.2: Puzolanın ve Puzolan-Kireç Harcının Kimyasal Analiz Sonuçları.....	43
Tablo 4.3: Datça Toprağının Kimyasal Analiz Sonuçlarının TS 25'e Göre Karşılaştırılması.....	44
Tablo 4.4: Kullanılan Sönmüş Kirecin Kuru Kireç Yüzdesi.....	45
Tablo 4.5: Deneyde Kullanılan Sönmüş Kirecin Özgül Kütle Hesabı.....	46
Tablo 4.6: Deneyde Kullanılan Kirecin Kimyasal Analiz Sonuçları	46
Tablo 4.7: TS 25' e Göre Puzolanik Aktivite Deneyi İçin Karışım Miktarı.....	47
Tablo 4.8: Karşım Miktarları.....	48
Tablo 4.9: Puzolanik Aktivite Sonuçları	54
Tablo 4.10: Datça Toprağının Diğer Bölgelerdeki Puzolanik Yapıya Sahip Topraklarla TS 25'e Göre Puzolanik Aktivitesinin Karşılaştırılması.....	55
Tablo 5.1: Kumsuz Üretilen Numunelerin Karşım Oranları (3 adet numune için).....	57
Tablo A.1: Farklı Su Karışım Oranına Göre 55°C – 7 Günlük Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri.....	94
Tablo A.2: Farklı Sıcaklık Koşullarındaki 7 Günlük Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri.....	95
Tablo A.3: Sabit Dış Ortam Koşullarındaki Zamana Göre Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri.....	96
Tablo A.4: Su İçerisinde Zamana Göre Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri.....	97
Tablo A.5: Farklı Sıcaklık Koşullarındaki 7 Günlük Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	98
Tablo A.6: Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	99
Tablo A.7: Su İçerisinde Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	100
Tablo A.11: Farklı Sıcaklık Koşullarındaki 7 Günlük Su Emme ve Komposite ve Porozite oranı değerleri	101
Tablo A.12: Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Su Emme, Komposite ve Porozite Oranı Değerleri.....	102

Tablo A.13: Su İçerisinde Zamana Göre Su Emme, Komposite ve Porozite Oranı Değerleri.....	103
--	-----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Doğal Puzolanların Sınıflandırılması	7
Şekil 3.2: Datça Toprağı.....	13
Şekil 3.3: Zamana Göre Porozite Yüzdesi.....	27
Şekil 4.1: Kurutulmuş Toprak Malzeme.....	35
Şekil 4.2: Bilyalı Değirmen.....	35
Şekil 4.3: Desikatörde Soğutulan Malzeme.....	37
Şekil 4.4: Cam Kap+Su+Cam Lamel Tartımı.....	37
Şekil 4.5: Cam Kap+Malzeme+Su+Cam Lamel Tartımı.....	37
Şekil 4.6: Blaine Aleti.....	38
Şekil 4.7: Hücre, Filtre ve Delikli Disk.....	38
Şekil 4.8: 0,0001 gr Hassasiyetli Terazî -Heltler H20.....	39
Şekil 4.8: 100gr Malzemenin Elek Dizisine Konulması ve Elek Sarsma Aletine Yerleştirilmesi.....	42
Şekil 4.9: Puzolanın XRD Analizi.....	44
Şekil 4.10: Puzolan Harcının XRD Analizi.....	44
Şekil 4.11: Kirecin 600µm' luk Elekten Elenmesi.....	45
Şekil 4.12: Agat Havanlı Cihaz.....	46
Şekil 4.13: Harcın Hazırlanması.....	49
Şekil 4.14: Harcın Kalıplara Konması.....	50
Şekil 4.15: Numunelerin Plastik Poşetlerde Muhafaza Edilmesi.....	50
Şekil 4.16: Numunelerin Etüve Yerleştirilmesi.....	50
Şekil 4.17: Etüvden Çıkarılan Numuneler.....	50
Şekil 4.18: Numunelerin Kodlanması.....	50
Şekil 4.19: Numunelerin Ölçülmesi.....	51
Şekil 4.20: Eğilmede Çekme ve Basınç Aleti.....	51
Şekil 4.21: Numunelerin Eğilmede- Çekme Aletinde Kırılması.....	52
Şekil 4.22: Eğilmede Çekme Deneyi Sonrasında Kırılan Harç Numuneler.....	52
Şekil 4.23: Eğilmede Çekme Mukavemeti Sonrası Basınç Deneyi.....	53
Şekil 4.25: Farklı Sıcaklıktaki Etüv Şartlarının Puzolanik Aktiviteye Etkisi.....	55
Şekil 4.26: Farklı Zaman Koşullarının Puzolanik Aktiviteye Etkisi.....	55
Şekil 4.27: Farklı s/k Oranının Puzolanik Aktiviteye Etkisi.....	56
Şekil 5.1 : Deneylerde Kullanılan 211µm' luk Elekten Geçen Puzolanın Granülometrik Elek Analizi.....	58
Şekil 5.2 : Puzolan ve Sönmüş Kireçten Oluşan Karışımın Hazırlanması.....	59
Şekil 5.3 : Hamurun Kalıba Yerleşmesi ve Plastik Poşet İçerisinde Kürleşmesi.....	59
Şekil 5.4 : Sabit Dış Ortam Koşullarında Bekletilen Numuneler (23°C %68 bağıl nem).....	60
Şekil 5.5 : Numunelerin Su İçerisinde Bekletilmesi.....	61
Şekil 5.6 : Farklı Etüv Şartlarına Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	63
Şekil 5.7 : Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	64

Şekil 5.8 :	Su İçerinde Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	64
Şekil 5.9 :	Ultrases Cihazı.....	64
Şekil 5.10:	Farklı Etüv Şartlarına Göre 7. Gündeki Ultrases Hızı Değerleri.....	65
Şekil 5.11:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Utrases Hızı Değerleri.....	66
Şekil 5.12:	Su İçerinde Zamana Göre Ultrases Hızı Değerleri.....	66
Şekil 5.13:	Farklı Etüv Şartlarına Göre 7. Gündeki Elastisite Modülü Değerleri.....	67
Şekil 5.14:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Elastisite Modülü Değerleri.....	67
Şekil 5.15:	Su İçerinde Zamana Göre Elastisite Modülü Değerleri.....	67
Şekil 5.16:	Su Emme Deneyi İçin Su İçine Daldırılan Numuneler.....	69
Şekil 5.17:	Farklı Etüv Sıcaklığına Göre Kütlege Su Emme Oranı Değerleri.....	70
Şekil 5.18:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Kütlege Su Emme Oranı Değerleri.....	70
Şekil 5.19:	Su İçerinde Zamana Göre Kütlege Su Emme Oranı Değerleri.....	70
Şekil 5.20:	Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri.....	71
Şekil 5.21:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri.....	72
Şekil 5.22:	Su İçerinde Zamana Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri.....	72
Şekil 5.23:	Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Görünen Porozite Oranı Değerleri.....	73
Şekil 5.24:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Görünen Porozite Oranı Değerleri.....	73
Şekil 5.25:	Su İçerisinde Zamana Göre Görünen Porozite Değerleri.....	73
Şekil 5.26:	Farklı Etüv Sıcaklıklarına Komposite ve Porozite Oranı Değerleri.....	74
Şekil 5.27:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Komposite ve Porozite Oranı Değerleri.....	75
Şekil 5.28:	Su İçerisinde Zamana Göre Komposite ve Porozite Oranı Değerleri.....	75
Şekil 5.29:	Buhar Difüzyon Direnci Hesabı İçin Hazırlanan Silindir Numuneler.....	77
Şekil 5.30:	PVC Plastik Kap İçerisindeki Numuneler.....	77
Şekil 5.31:	Farklı Etüv Sıcaklıklarında Buhar Difüzyon Direnç Faktörü Değerleri.....	77
Şekil 5.32:	Farklı Ortam Koşullarına Göre Buhar Difüzyon Direnç Faktörü Değerleri.....	77
Şekil 5.33:	Farklı Etüv Sıcaklıklarına Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri.....	81
Şekil 5.34:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri.....	81
Şekil 5.35:	Su İçerisinde Zamana Göre Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri.....	82
Şekil 5.36:	Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Basınç Dayanımı Değerleri.....	83
Şekil 5.37:	Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Basınç Dayanımı Değerleri.....	84
Şekil 5.38:	Su İçerinde Zamana Göre Basınç Dayanımı Değerleri.....	84
Şekil B.1 :	7 Gün 55°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi.....	104

Şekil B.2 : 7 Gün 70°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi.....	104
Şekil B.3 : 7 Gün 90°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi.....	104
Şekil B.4 : Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 7. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	105
Şekil B.5 : Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 28. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	105
Şekil B.6 : Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 90. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	105
Şekil B.7 : Su İçerisinde Bekleyen 7. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	106
Şekil B.8 : Su İçerisinde Bekleyen 28. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	106
Şekil B.9: Su İçerisinde Bekleyen 90. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi.....	106
Şekil B.10: Sudan Çıkan Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü.....	107
Şekil B.11: Etüvden Çıkan Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü.....	107
Şekil B.12: Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü.....	107
Şekil B.13: Farklı Etüv Sıcaklığından Çıkan Numunelerin Görünüşü.....	108
Şekil B.14: Sabit Dış Ortam Koşullarındaki Numunelerin Görünüşü.....	108
Şekil B.15: Su İçerisinden Çıkan Numunelerin Görünüşü.....	108

SEMBOL LİSTESİ

Dh	: Birim hacim kütlesi (g/cm^3)
Go	: Laboratuar koşullarında bekleyen malzeme kütlesi (g)
Gk	: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzeme kütlesi (g)
V	: Deney numunesinin hacmi (cm^3)
Sk	: Kütlece su emme oranı (%)
Gd	: Suyu doymuş haldeki kütle (g)
Sh	: hacimce su emme oranı (%)
Gds	: Suyu doymuş haldeki kütlenin su içindeki kütlesi (g)
P	: Porozite
do	: Özgül kütle (g/cm^3)
k	: Komposite (doluluk oranı)
μ	: Su buharı difüzyon direnç faktörü
Gh	: Havanın su buharı difüzyon iletkenlik katsayısı $\text{kgmh (N/mm}^2\text{)}$
G	: Malzemenin difüzyon iletkenlik katsayısı $\text{kgmh (N/mm}^2\text{)}$
d	: Malzemenin kalınlığı (m)
δH	: Havanın su buharı difüzyon direnci
P_1, P_2	: İç ve dış su buharı basınçları ($\text{N/m}^2, \text{Pa}$)
dH	: Numune altında kalan havanın kalınlığı
T	: °K cinsinden mutlak sıcaklık
Ph	: Ortalama hava basıncı
To	: Normal atmosfer basıncı (760 mmHg)
σ_b	: Basınç dayanımı (N/mm^2)
σ_e	: Eğilme dayanımı (N/mm^2)

DATÇA BÖLGESİNDEKİ VOLKANİK TÜFLERİN YAPI MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yaklaşık 10000 yıldır yapılarda kullanılan puzolan maddesinin puzolanik reaksiyonu sayesinde, çimentonun ana taşıyıcısı olan kalsiyum silikat ve alüminattan oluşan bileşiklerle suda çözünmeyen yüksek dayanımlı bir bağlayıcı elde edebilmek mümkün olmuştur. Çimentonun yaygın kullanımından sonra puzolan- kireç harçların kullanımı giderek azalmıştır. Ancak çimento harçlarının geleneksel yapı taşları, tuğla ve harçlara uyumsuz fiziksel özellikleri günümüzde kireç-puzolan harçların önemini gündeme getirmiştir. Tarihi binaların restorasyonunda yapılan çalışmalarda kireç puzolanik madde kireç- tuğla kırığı (horasan) bağlayıcılarla üretilen harçların priz süreleri, basınç mukavemetleri, eğilme mukavemetleri ve boşluk yapıları standart deneylere tabi tutularak sonuçta uygulaması kolay, fiziksel özellikleri geleneksel harçlara yabancı olmayan yeni harçların elde edilebildiği görülmüştür.

Diğer taraftan puzolanik madde özelliğindeki Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve yapı sektörüne kazandırılması sürdürülebilir mimarlık adına; çimentoya göre daha az enerji gerektiren ve kolay elde edilip uygulanabilen, günümüz koşullarına uygun, ekonomik ve sağlıklı yapı malzemelerinin geliştirilmesi bakımından önemlidir.

Türkiye’de doğal puzolan oluşumlarının bulunduğu geniş alanlar olmasına rağmen kalite ve potansiyelleri tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmayla birlikte Datça bölgesindeki toprağın puzolan maddesi olarak kullanımının etkinliği ve diğer bölgelerdeki puzolanlara oranla özelliğinin araştırılması imkanı bululabilecektir.

Datça bölgesindeki volkanik tüfün yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için puzolanik aktivite özelliğinden yararlanarak elde edilen ürünlerin mekanik, fiziksel ve minerolojik özelliklerinin araştırılması ve incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda puzolanik özelliğe sahip olan Datça toprağının puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amacıyla deney programı doğrultusunda kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), madde miktarı ve su oranları değiştirilerek aralarındaki farklar tesbit edilmiş ve en uygun üretim koşulu saptanmıştır.

İ.T.Ü bilimsel araştırma projeleri (BAP) birimi tarafından desteklenen bu çalışma için öncelikle mevcut hammadde üzerinde İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında TS 25 (Tras)’e göre puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde hammaddenin yarıkantitatif element analizi (XRF) ve kalitatif faz olan XRD minerolojik analiz gerçekleştirilmiştir. Datça toprağı, sönmüş kireç, standart kum ve sudan oluşmuş karışım numuneler için de TUBİTAK MAM’ de XRD (X- Işınları Difraktometrisi-Kalitatif Faz) ve XRF element analizi yaptırılmıştır. Puzolanik aktivite deneyinin sonucunda bulunan eğilmede çekme

dayanımı (1.20N/mm²), standartta verilen sınır değere yakinken (1.00N/mm²), basınç dayanım değeri (8.10 N/mm²), standart değerin (4.00 N/mm²), çok üstünde çıkmıştır. Olumlu sonuçlar karşısında, Datça toprağının bağlayıcılık yönünden araştırılmasının devamına karar verilmiştir. Bundan sonraki deneysel çalışmasında malzemenin, mekanik mukavemetin yanı sıra fiziksel ve minerolojik analizlerden oluşan deney programı oluşturulmuştur.

Üç farklı karışım oranında hazırlanan sönmüş kireç ve puzolan (Datça toprağı) karışımının, en iyi üretim koşullarının tesbit edilmesi amacıyla, üç ayrı kategori altında deney programı yapılmıştır. Birinci kategori; numunelerin altı gün boyunca farklı etüv sıcaklığında (55°C, 70 °C, 90 °C) beklemesiyle oluşacak olan mekanik ve fiziksel performansın belirlenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması, ikinci kategori; sabit dış ortam koşulları (23 °C % 68 bağıl nem) altında 7, 28 ve 90. gündeki mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması, üçüncü kategori; su içerisinde 7, 28 ve 90. gündeki mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması şeklinde oluşturulmuştur. Bunların yanı sıra her üç kategori içinde fiziksel ve mekanik deneylere ek olarak Eskişehir Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezinde termogravimetrik analiz olan DTA-TG analizi yapılmıştır. Böylece numunelerin puzolanik aktivitesinin, üç kategori altında nasıl geliştiğı gözlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kireç- Datça toprağı ile üretilen hamurun farklı kür koşulları altında fiziksel ve mekanik dayanımının nasıl değiştiğı tespit edilmiştir. Yapılan mekanik ve fiziksel deneyler sonucunda zamanla Datça çevresindeki volkanik tüflerin puzolanik aktivitesinin arttığı ortaya çıkmıştır. Ancak sönmüş kireç ve puzolandan oluşmuş karışımların su içinde beklemesi, sabit dış ortam koşullarına göre fiziksel ve mekanik yönden daha iyi neticelerin alınmasına sebep olmuştur. Dış ortam koşullarında zamanla malzemede yüzeysel dökülme ve kırılmalar gözle görünürken su içerisindeki malzemelerde ise böyle bir şey söz konusu olmamıştır. Diğer taraftan bir haftalık süreçte izlenen deneylerin sonucunda, etüv sıcaklığının artmasıyla gerek fiziksel gerekse mekanik dayanımda artış kaydedilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler neticesinde, Datça toprağının; tarihi binaların onarımında veya çevre yapıların yapımında kullanılmak üzere mukavemeti yüksek olan kireç-puzolan harç, sıva malzemesi ve hafif yapı tuğlası gibi yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceğı düşünülmektedir.

THE EVALUATION OF THE VOLCANIC TUFFS IN THE AREA AROUND DATÇA AS BUILDING MATERIAL

SUMMARY

During about 10.000 years one of the main problem of construction technology is cementing materials. Stone, adobe and brick walls were used to be constructed by earth, lime and gypsum. Since then the main aim has been to invent a hydraulic cementitious material that is not soluble in water and has efficient strength. The main structure of cement which consists of calcium silicates and aluminates was tried to be achieved by mixing lime with some other materials like pozzolanic earth. Since the volcanic tuffe has a binding feature with Ca(OH)_2 , it has been aimed to use it in the construction sector and develop it as a wall element.

The resources of the current raw materials in our country being used in the building sector is an important subject.as it is known, the role and importance of the current raw materials in removing the deficiency of building materials in our country is ver big. On the other hand utilizing indigenous materials in construction seems to be a realistic approach in the sense of realizing an ecological and economical construction. Pozzolans also play an important role to be maintained historical buildings. For a true restoration in historical buildings, convenient materials must be used to original materials. Because of the physical and chemical properties of building materials must be produce convenient solutions for the object.

In this study of a master degree the evaluation of a volcanic tuffs as building material in the area around Datça and investigation on determining its characteristics has been aimed.

Firstly, the earth which tested was derived from Datça to the building material laboratory of I.T.U and then it was used with typical commercial type quicklime as a testing lime fort he evaluation of the pozzolanic reactivity of the earth Datça according to the TS 25. The pozzolanic activity of Datça earth has been evluated in the present work by means of a combination of mechanical(flexural and compressive strength), minerological (XRD) and chemical (XRF) methods.

Pre- experiments in this subject have brought positive results. In the experiment, flexural strength has been found 1,20 N/mm² and compressive strength has 8,10 N/mm².

The main field of the post-experiments has been the determination of maximum strength by using basically pozzola and quicklime, and the determination of their mixture proportions and protection conditions (heat, time and moisture) without

special silica sand. After this, an experiment program has been made investigating by carrying out the physical, mechanical and thermogravimetric DTA-TG analysis of the new products emerging with the pozzolan-lime reaction. In this scope, the experiments consist of three categories.

- First category is different temperature of curing (55°C, 70 °C, 90 °C) at 7 day
- Second category is to be tested the specimens in stable out atmosphere (23 °C RH=68%) from 7 days to 90 days. The samples were tested at 7, 28 and 90 days curing time.
- Third category is to be tested the specimens in water from 7 days to 90 days. The samples were tested at 7, 28 and 90 days curing time for mechanical, physical and mineralogical analysis

Prismatic mortar strength results indicate that curing time has a greater influence on the pozzolans tested than that the applied curing temperature and during 90 days measured samples have a greater influence than curing in stable out atmosphere. The water/binder ratio is an important parameter.

1. GİRİŞ

Konut yapı sektöründeki kısıtlı kaynaklar ve hızla artan maliyetler karşısında yapı malzemesi gereksinimin karşılanabilmesi için, yeni yöntem ve kaynakların araştırılması gerekmektedir. Konut üretiminde yerel kaynaklarımıza dayalı malzemenin kullanım oranlarının arttırılması, eldeki kaynakların rasyonel kullanımı ve nispeten düşük maliyetli ve nitelikli malzeme üretimine yönelmesi sağlanmalıdır.

Ülkemiz kapsamında hammadde rezervlerimiz ve kendi öz kaynaklarımızın kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada bu hususun da göz önünde tutularak ülkemizde yeterli hammadde rezervi bulunan bağlayıcılık aktivite özelliğine sahip Datça toprağı seçilmiştir.

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, puzolanların kireçli harçlara veya portland çimentosu harcına katılması mukavemet açısından olumlu sonuçlar vermektedir.

Harç ve sıvalar, bina yapım aşaması ve sonrası işlevleriyle günümüz yapılarında olduğu gibi, tarihi yapıların da en önemli malzemeleridir. Tarihi yapıların onarılmasında mevcut orijinal malzemelere uygun harç ve sıvaların kullanılması gerekmektedir. Günümüzde tarihi yapıların onarımında portland çimentolu harç ve sıvalar kullanılmaktadır. Eskiyle yeninin fiziksel özelliklerindeki çelişkiler (mekanik mukavemet, ısısal genleşme katsayısı, boşluluk oranı, su emme kapasitesi...) nedeniyle tarihi yapıların onarımında portland çimentoların kullanımının çok da doğru bir yaklaşım olmadığını göstermiştir. Çimento harçlarının ısısal genleşme katsayıları geleneksel malzemeler olan kireçtaşı, kumtaşı ve kireç bağlayıcı harçlara göre iki katıdır. Bunun yanı sıra, portland çimentolu harçların boşluluk oranı düşüktür. Bu durum, geleneksel duvarın onarılan kısmında, suyun sıvı veya gaz halindeki dolaşımını engeller ve iç yoğunmalara neden olur. Puzolan- kireç harçlarının eskiyle uyum sağlayabilmesi nedeniyle kireç- puzolan reaksiyonu üzerine yapılan çalışmaların önemi artmaktadır.

Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmesi ve yapı sektörüne kazandırılması amacıyla öncelikle mevcut hammadde üzerinde İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında TS 25'e [34] göre puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Sonuçların standartta verilen değerlere uygun çıkması sonucunda TS 699'a [35] göre fiziksel deneyler ve minerolojik analizlerden (XRD, XRF, DTA-TG)oluşan deney programı oluşturulmuştur.

Böylece Datça çevresindeki volkanik tüflerden üretilen mamül malzemelerin fiziksel, mekanik, kimyasal ve minerolojik özellikleri gibi tüm özelliklerinin bilinmesiyle duvar malzemesi olarak rasyonel kullanım olanağı artacak ve inşaat sektörüne yeni bir yerel malzemenin kazandırılması söz konusu olacaktır.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Ülkemizde yararlanılamayan hammadde kaynaklarını, yapı sektöründe, en az enerji ile üretilebilecek yeni, çağdaş, kaliteli ve sağlıklı bir malzemenin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda puzolanik özelliğe sahip olan Datça toprağının puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi incelenmiştir.

Bu malzemenin etkin kullanılmasıyla günümüzde fazla miktarda enerji gerektiren çimento malzemesinin tüketiminin azalacağı gibi puzolan maddesinin bir takım avantajlarından ötürü daha sağlıklı ve özellikleri geliştirilmiş yapı elemanlarının kullanılması da söz konusu olacaktır. Bu araştırmanın uygulamaya geçirilmesi durumunda yöresel imkanlar ile elde edilebilen, ekonomik, mekanik mukavemeti yüksek yapı elemanlarının üretimi mümkün olacaktır. Konu ile ilgili yapılan deneyler olumlu sonuçlar vermiştir. Böylece yerel volkanik hammadde ile hiçbir enerji kullanımına gerek duymadan doğrudan doğruya hammaddenin öğütülüp kullanılmasıyla bağlayıcılık özelliği yüksek bir yapı malzemesi üretililebilecektir.

Araştırmada öncelikle, TS 25'e göre su, standart kum, sönmüş kireç ve Datça toprağından oluşan numunelerin puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Çeşitli kür koşulları (sıcaklık, süre, nem) ve su miktarı değiştirilip puzolanik aktivitenin değişip değişmediği incelenmiştir. Ön deneysel çalışmada sadece TS 25'e göre yapılan mekanik mukavemet testi ile sınırlı kalmıştır. Ön deneysel çalışmalarda olumlu sonuçların çıkması ve kür koşullarının değişmesiyle mekanik dayanımın bundan etkilenmesiyle konunun daha detaylı olarak ele alınmasına karar verilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda kum kullanmadan su, sönmüş kireç ve hammadden oluşan numunelerin mekanik mukavemetinin yanı sıra, TS 699'a göre fiziksel (ultrases hızı, porozite, komposite, su emme, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık)deneyler ve DTA-TG termogravimetrik analizi deney programına dahil edilmiştir. Kumsuz üretilen numunelerde karışım oranlarının yanı sıra, kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), değiştirilerek puzolanik aktivitenin nasıl gelişeceği gözlenmiştir.

2.1. Çalışmanın Kapsamı

Tez altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş bölümü olup, konunun tanımı ve önemi kısaca yer almaktadır.

İkinci bölümünde araştırmanın amacı, gerekçesi ve kapsamı vurgulanmıştır.

Üçüncü bölümde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Konu ile ilgili olarak puzolan, kireç kavramları açıklanmış ve puzolanlar hakkında daha önce yapılmış olan çalışmalar taranarak araştırmalar hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, Datça bölgesindeki hammaddenin bağlayıcılık özelliğinin olup olmadığı konusunda ön araştırma yapılmış ve tezin nasıl gelişeceğine karar verilmiştir. Bu bölümde, araştırmada kullanılan malzemelerin özellikleri, TS 25'e göre puzolanik aktivite özelliğinin olup olmadığı ve deney programı yer almıştır. Beşinci bölümde ise mekanik, fiziksel ve termogravimetrik deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar fotoğraf ve grafiklerle açıklanırken sayısal veriler tablolar halinde tezin ekler kısmında yer almaktadır. Bu bölümün sonunda deney verileri irdelenmiş ve bulgular değerlendirilmiştir.

Tezin son bölümü olan altıncı bölümde ise, genel sonuçlar yer almaktadır. SiO₂'ce zengin volkanik tüfün bir yapı malzemesi olarak nasıl değerlendirilebileceği ve bundan sonraki doktora çalışmasında neler yapılması gerektiği belirtilmiştir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, puzolanlar ve puzolanik aktiviteyle ilgili olarak çok çeşitli kitap, makale, tez, standart ve internet ortamında bilgi araştırması yapılmış ve elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

3.1. Puzolanlar

Puzolanlar eski Romalılar zamanından beri bilinmekte olup basit bağlayıcı (toprak, kerpiç, kireç, alçı) malzeme üretimine ilaveten çimento, harç ve beton katkı maddesi olarak kullanımı günümüzde de devam eden yapı malzemesidir. Puzolanlar yalnız olduklarında bağlayıcılık özelliği göstermeyen, beraberinde kalsiyum hidroksit bulunması durumunda ve normal sıcaklıkta su ile birleştiklerinde bağlayıcılık ve sertleşme özelliği gösteren maddelerdir.

Kireç ve su ile birleşme reaksiyonu yavaş, fakat devamlı şekilde oluşur. Reaksiyonun oluşabilmesi için puzolanın çok ince toz haline getirilmiş olması gerekir. Bu şekilde normal bir sıcaklıkta kireç ve su ile reaksiyona girerek, sertleşme özelliği kazanmaya puzolanik özellik denir. Bu özelliğe sahip olan maddelere ise genel olarak puzolanik maddeler adı verilir. Puzolanların hammaddesi silis, alümin ve demiroksit olmakla beraber belirli bir kimyasal bileşimleri yoktur.

Puzolanik maddeler, doğada elverişli bileşimdeki mineralleri içeren kayalar oluşturur. Bu kayalar doğrudan doğruya yalnız öğütülüp kullanıldığı gibi zenginleştirme yöntemlerinin uygulanması ile (ısı, kimyasal maddeler, yapay maddeler) elde edilen ürünlerin (toprak tuğlası, ucucu kül, curuflar...) ince öğütülmesi ile de puzolan olarak kullanılırlar. Puzolanik maddelerde bağlayıcı özellik, sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ve su ile reaksiyona girdiğinde meydana gelmektedir. Çok eski tarihlerden itibaren inşaat yapımında puzolanik madde kullanımı mevcuttur. 19. yy sonlarında portland çimentosunun keşfedilmesiyle puzolanik çimentonun pratik kullanımında azalma görülür. Puzolan maddesi, 1950'li yıllardan sonra portland çimentosu ile puzolanik madde bileşimlerinin kullanıldığı

beton ve harçlardaki bağlayıcılık özelliklerinde etkili yararlar görülerek çimento katkı maddesi olarak kabul edilmiştir[3].

Puzolanlar, fazla miktarda kolloidal elemanlar özellikle, silis ve daha az miktarda alümin içerir. Bunlar tek başına bağlayıcılık özellik gösteremezler. Ancak başka bağlayıcı madde olan kireç ve çimento ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özellik kazanır. İyi bir puzolan az miktarda, genel olarak %4 den daha az, kireç ihtiva etmelidir. Yapılan araştırmalar kristal silisin kireçle birleşmediğini göstermiştir. Bu yüzden bir puzolanda koloidal silis veya aktif silis ne kadar fazla ise o puzolan o oranda yüksek bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Genel olarak amorf silisin daha çabuk ve daha kuvvetli reaksiyon yaptığı söylenmektedir [9],[7].

Puzolanik maddelerde, fiziksel nitelikler; özgül ağırlık, tane şekli, porozite ve incelik puzolanik aktivite ile yakından ilişkilidir. Puzolanik maddeler, oldukça yüksek gözenekli, sivri köşeli ve oldukça da ince tanecik yapısına sahip olup fazla miktarda su tutma yeteneğine sahiptirler.

Puzolan olarak tanımlanan volkanik malzemeler TS 25' de Tras olarak adlandırılmıştır. Kaynakları ne olursa olsun puzolanların esası, farklı miktarlarda da olsa her zaman var olan silistir. Doyurucu özelliklere sahip puzolanlar %40 dan %90 a kadar SiO₂ içerebilir [1].

Silisli maddelerin bazıları yüksek sıcaklıkta pişirme sonucu daha yüksek puzolanik özellik kazanmaktadır [10].

Bir maddenin puzolanik değerini ve aktivitesini belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin bileşimindeki silisyum alüminyum ve demir oksit miktarları toplamın en az %70 olması, çimentonun hacimce %35'i yerine katıldığında katkısız harç karışımı 28 günlük basınç dayanımının en az %70-%75'ini sağlaması veya kireçle reaksiyona girdiğinde 7 günde belirli bir harç dayanımına ulaşması gibi koşullar bazı standartlarda yer almaktadır (ASTM C-618-85,1998, TS 25, 1983, TS 639,1975)[9].

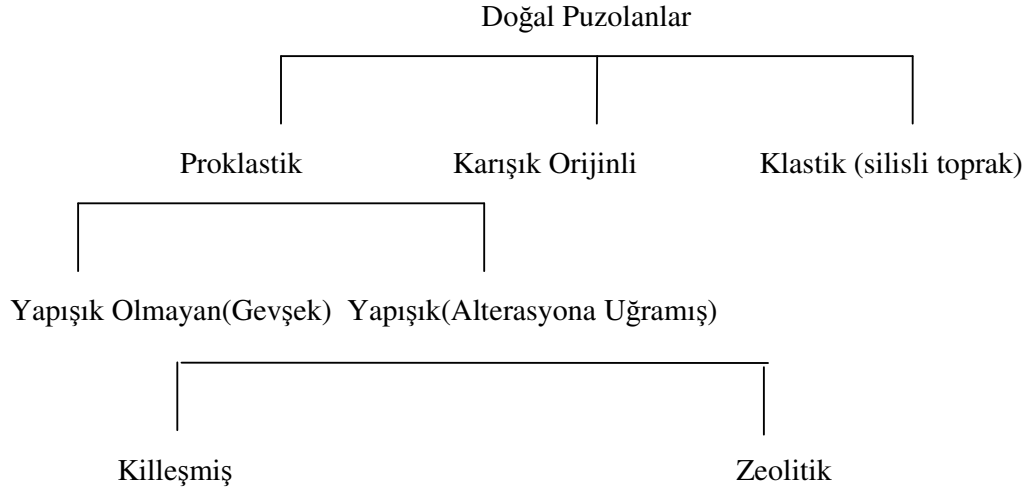
3.1.1. Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal yada yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelir [8,s.9].

- Aktif tertip maddeleri: Cam fazları, opal, silisli toprak ve zeolitler
- Atıl bileşenler : Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini)
- Zararlı istenmeyen bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri

3.1.1.1. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, doğada volkanik kütlelerin bulunduğu yerlerde görülür. Her puzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi, bulunduğu bölgeye göre değişir. Özgül kütlesi 2.0 ile 2.35 g/cm² arasındadır. Doğal puzolanlara örnek olarak volkanik tüfler, diyatome toprağı, pomza taşı verilebilir. Doğal puzolanlar çoğunlukla genç volkanizma ürünüdür [7].



Şekil 3.1. Doğal Puzolanların Sınıflandırılması [8]

Doğal puzolanların çoğu proklastik kayalardır. Proklastik kayalar bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik

parçacıklar zamanla yatak oluşturlar. Proklastik kayalar oluşumları sırasındaki koşulların bir sonucu olarak iki önemli karakteristik özelliğe sahiptir.

- Maddelerin hızlı soğumasına bağlı olarak püskürme süresince katılan mağma zerrelere kristalleşemez ve volkanik cam olarak katılır.
- Mağma yeryüzüne yaklaştığında basınç azalır ve gazların serbest kalmasına neden olur.

Püsküren madde, katılma süresince camsı bir yapı kazanmaya başlar. Fakat sadece camsı fazdan oluşan proklastik kaya yoktur. Bunun sebepleri;[8,s.10]

- Fıskıran parçacıklar az yada çok miktarda (%1- 60) fenokristaller şeklinde kristalleşen madde içerirler. Proklastik kayalarda feldspat, kuvars, biotit, magnetit, hornblend ve ojit en fazla bulunan fenokristallerdir.
- Volkanik camsı fazın kimyasal kararsızlığından dolayı, mevcut olan mineraller değişime uğrar ve yeni mineraller oluşur. Bu dönüşümün sonucunda, feldspat ve kristobalit mineralleri meydana gelir. Feldspat ve tridimit önceden oluşan camsı yapının yüzeyindeki gaz fazların etkisiyle büyüyebilir. Hava koşullarının kimyasal ve fiziksel değişikliklerinin etkisi, zeolit ve kil minerallerinin oluşumuna neden olur.

Puzolanların farklılıkları

1-Killer ve tortul şistler (Hidrate Silikatlı Bileşikler)

- Montmorillonit Tip
- Kaolenit Tip
- İllit Tip

2-Opal ve benzeri malzeme (Hidrate Silisli Bileşikler)

- Opal Ve Benzeri Şeyl
- Diatom Toprağı
- Çörtler

3-Volkanik tüfler ve sünger taşları (Doğal Taş Oluşumları)

- Riyolitik Tip
- Andezit Tip
- Fonolit Tip
- Bazalt Tip

Killer ve şist'lerin aktif puzolanlar haline getirilebilmesi için genellikle 430 ile 1000 arasında kalsinasyon işlemine tabi tutulması gerekir.

Opal ve benzeri malzemeler, kalsinasyon sonucu oluşan puzolanik aktiviteye nazaran daha elverişli olabilir veya içerdikleri minerallere göre bu durum gerçekleşmeyebilir.

Volkanik tüfler ve sünger taşları kalsinasyon ile nadiren yararlı hale gelirler. Normal olarak doğrudan doğruya kullanılırlar.

Genellikle iyi bir puzolan, düşük miktarda kil mineralleri yüksek miktarda zeolit ve volkanik cam mineralleri içermektedir. Kil mineralleri ısıtma işlemi tabii tutuldukları sürece iyi birer puzolanik özelliğe sahiptir. Mehta, doğal puzolanları kireçle yaptıkları reaksiyona göre 4 kategoride sınıflandırmıştır. 1- volkanik cam 2- volkanik tuf 3- kil ve şistler 4- ham veya kalsine edilmiş opal silikatlar [30].

Puzolanların kireçle yaptığı reaksiyona göre, minerolojik bileşimlerinde; camsı faz miktarı yüksek (%8 ve daha fazla) alkali feldspat (ortoklas, sanidin, albit, oligoklas) miktarı yüksek, kil mineralleri (montmorillonit, kaolinit, halosit) miktarı düşük olmalıdır. [8]

Doğal puzolanların elverişli olarak kullanılabilmesi için çok ince öğütülmesi gerekir. Doğal puzolanlar, kalsinasyon süreci esnasında kimyasal maddeler (alkaliler gibi) ilavesi ile daha elverişli duruma getirilebilir. Doğal puzolanların gösterdikleri puzolanik aktivite özellikleri, bir veya beş çeşit maddelerin kombinasyonu ile oluşur. Bu maddeler, [3]

- Volkanik cam
- Opal
- Kil mineralleri
- Zeolitler
- Alüminyum hidroksitler

Petrografik karakterlerine göre tipik puzolanlar aktif maddelerin değişik tiplerini içerirler ki bunlar Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo3.1. Puzolanların Aktif Maddeleri ve Petrografik Sınıflandırılması [3]

Aktif Maddeler	Puzolanların Petrografik Sınıflandırılması
Volkanik Cam	Riyolit,Dasit,Altere Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları
Opal ve Benzerleri	Diyatomit,Diyatome Toprağı,Opal,Çört ve Şeyl'ler
Kaolenit Tipi Kil	Kaolin İçeren Kil Mineralleri
İllit Tipi Kil	Hidromika Killeri ve Şeyller
Montmorillonit Tipi Kil	Bentolitik Killer ve Şeyller, Fuller Toprağı
Karışık Killer ve Altere Vermikülit	Buzul Killeri ve Siltleri
Zeolit	Zeolitli Tüfler, Volkan Külleri ve İğnimbiritler
Yapay Cam	Uçucu Kül, Yanmış Metal Cürufları, Toprak Tuğlası ve Cüruflar

Puzolanların petrografik tayinleri, çimento malzemesi olarak kullanılabilmelerinde güvenilir bir işaret sayılmaz. Çünkü aynı petrografik sınıflandırmaya ait olan puzolanlar, farklı kimyasal bileşimlerde aktif maddeler içerebilirler. Örneğin sünger taşları normal olarak kendilerine özgü puzolanik aktivitelerini volkanik cam yapılarına borçludur. Fakat bazı çeşitleri ise opal ve killeri içerir. Hidrotermal olarak altere olmuş ve ayrılmış riyolitik tüfler, normal olarak volkanik tüflerde bulunan cam yerine, yüksek miktarda zeolitleri veya kil minerallerini de içerebilirler. Diğer taraftan aktif bileşim tipleri sadece güvenilir bir kriter değildir. Çünkü % miktarı çok geniş limitler içerisinde değişmektedir [3,s.160].

Doğal puzolanlar yüksek oranda silis ve alümin ihtiva etmelidir. Bunlar Anadolu'nun büyük bir kısmında mevcut olup değerleri yönünden büyük değişiklik gösterir.

Puzolanların en önemli bileşiği olan silis doğada 6 şekilde bulunur. Bunlar; kuvars, tridimit, kristobalit, kalsedon (amorf), opal (amorf) ve silis camı (amorf). Bunlar arasında en yaygın olanı kuvarstır ve asit bileşime bütün magmasal kayalarda

bulunur. Tridimit ve kristobalit sadece volkanik kayalarda rastlanır. Silikat minerallerinin çoğu serttir ve asitte çözünme testleri ise çok sınırlıdır. Buna karşılık genelde saydamdırlar ve optik özellikleri tanınmalarında büyük önem taşır. Silis, hidroflorik asit dışında asitlerle çözünmez. Kuvarstaki SiO₂ serbest kimyasal yapıdadır. Cam ve obsidyende ise amorf şeklindedir. Kuvars çözünmez bir mineral olmasına rağmen yer kabuğu içinde hareketlidir. Kumtaşları içinde tekrar kristalleşerek kırıntı tanelerini çimentolar. Tortulların derinlerinde veya tortulların deformasyonlarında, kuvars filoncukları halinde ayrılır ve başkalaşma başlangıcının ilk görünümünden birisi olur. Kuvars, bir eriticinin karşısında uzun süre ısıtılması sonucu önce tridimite ve sonra kristobalite dönüşüm yapar. Bu malzemelerin erimesi ile de amorf silis elde edilir [10].

Kuvars → tridimit → kristobalit → erime (amorf-sıvı silis)

870 °C 1470 °C 1710 °C

Bu değişiklikler küçük bir hızla yavaş bir şekilde gerçekleşir ve belli sıcaklıklarda birbirine dönüşür. Amorf silis, silisin 1750 °C sıcaklığa getirilmesi ve sonra soğumaya terk edilmesiyle elde edilir. Tabiatı bu cins silis kuvarslı kumların muhtelif jeolojik zamanlar sonunda oluşmuştur. Amorf silis, kalitatif olarak X-Işınları Difraktometresinde, kantitatif olarak da kimyasal gravimetrik yöntemlerle ayırt edilir [10].

Doğal puzolanların inceliği ne kadar artarsa puzolanik aktifliği o kadar artar. Normal puzolan inceliği 3000 – 7000 cm² /g olmalıdır. TS '25e göre puzolanın özgül yüzdesi en az 3000 cm² /g olacak şekilde öğütülmelidir [34].

Pomza

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında, bünyesindeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması sonrasında, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekleri arası bağlantısız boşluklu olduğundan ısı ve ses yalıtımı özelliği oldukça yüksektir. TS standartlarına göre pomza, birbirinden bağımsız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³ ten küçük sertliği Mohs skalasına göre 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır.

Asidik ve volkanik faaliyetler sonucunda iki çeşit pomza oluşmuştur. Bunlar; asidik ve bazik pomzadır. Bazik pomza, koyu renkli, kahverengimsi ve siyahımsı olmaktadır. Yeryüzünde en yaygın olan ve kullanılan türü, asidik pomzadır. Kirli görünümlü ve grimsi beyaz renktedir. Asidik ve bazik pomzanın tipik kimyasal özellikleri Şekil 3.2’de yer almaktadır [9].

Tablo 3.2. Pomzaların Kimyasal İçerikleri [9]

BİLEŞİM	ASİDİK POMZA(%)	BAZİK POMZA(%)
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2,5	7
MgO	0,6	7
CaO	0,9	11
Na ₂ O+ K ₂ O	9	8

Ülkemizde üretilen pomzanın %80’i iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak, çimento üretimi sırasında katkı olarak, hafif yapı elemanları; tuğla blok, asmolon ve panel üretiminde ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır [9].

Volkanik tuf (pomza) ve traslar tabiatta aktif ve pasif şekilde bulunurlar. Aktif olanları kireçle karıştırıldığında havada ve su içinde sertleşebilme özelliğine sahip olurlar. Kimyasal bileşim, termodinamik kararsızlık ve özgül yüzeyler puzolanların aktifliklerini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır [9].

Çalışmada kullanılan volkanik tuf (pomza) Datça bölgesinden alınmıştır. Alınan bölge Şekil 3.1’ de yer almaktadır. Yapılan kimyasal analiz ve görünüş itibariyle çalışmada kullanılan pomzanın asidik pomza olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Datça Toprağı [30]

3.1.1.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar endüstriyel üretim atığıdır. Yapısında puzolanlardaki oksit bileşenler olmasından dolayı yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denmiştir. Atıktaki silisin miktarı, puzolanın aktifliğini belirler.

Yapay puzolanlar 5 gruba ayrılır [7].

- Pişmiş kil
- Yüksek fırın cüruf
- Uçucu kül
- Silis dumanı
- Pirinç kabuğu külü

Pişmiş Kil

Kalsine edilmiş killerin puzolanik özellikli, olduğu bilindikten sonra doğal puzolanların yokluğunda bunların yerine sistematik şekilde toprak yada kiremitler öğütülerek ve ufalanarak kullanılmıştır. Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer 500- 300°C de değişen sıcaklıklarda işlem gördüklerinde aktif hale gelir. Malzemelerde orijinal kristal yapının tamamen bozulması istendiği zaman yanma sıcaklığı kullanılan maddeye göre dikkatle seçilmelidir, aynı zamanda silisin ve alüminyum oksitlerin birbiriyle reaksiyona girip termodinamik olarak daha kararlı bileşikler oluşturmaları ve dolayısıyla kirece karşı çok az yada hiç reaksiyon göstermez hale gelmeleri engellenmelidir [7].

Yüksek Fırın Cürufu

Demir ve çelik endüstrisinde bir yan ürün veya artık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufları da serbest kireçle birleşince bağlayıcı özelliği gösterdiklerinden yapay bir puzolan olarak adlandırılabilir. Yüksek fırında erişmiş kızgın hale gelen cüruf su ile aniden soğutulur. Kurutulup bazı hallerde öğütülerek çimento fabrikalarına gönderilir. Cürufun puzolanik özellikleri yavaş veya ani soğumaya ve filize göre değişir [7],[8].

Uçucu Küller

Toz haline getirilmiş fosil yakıtlar termal güç santrallerinde yakıldıklarında ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Kimyasal bileşimleri el verirse yakılmayı izleyen soğutma işlemi, bu erimiş maddenin ince parçacıklarını aşağı yukarı küresel şeklinde camsı parçacıklara dönüştürür. Bol miktarda kalsiyum sülfat içerdikleri zaman, jips esaslı bağlayıcılar olarak ta kullanılabilirler. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek olmasına göre puzolanik özellik değişir [7],[8].

Silis Dumanı

Silis dumanları, metal silislerin veya değişik silis alaşımlarının elektrik ark fırınlarında üretimi sırasında ortaya çıkarlar. Elektrik ark sıcaklığında havada oksitlenen SiO₂ mikrokülleri şeklinde çökelen SiO₂ dumanları oluşur. Silisin içeriği çok yüksektir. Yüksek puzolanik aktiviteye sahiptirler [7].

Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu gibi bazı bitkilerin işlendikten sonra meydana gelen artıkları, yüksek silis içeriğine sahiptirler. Bu artıklar, yüksek sıcaklıkta fırınılandıklarında şekilsiz silis oluşur. Bu şekilsiz silis yeterince ince öğütülürse kirece karşı hayli reaktif duruma gelir ve buna bağlı olarak bir puzolan gibi davranır [7].

3.1.2. Türkiye'nin Puzolanik Madde Olanakları ve Durumu

Türkiye'nin jeoloji haritasına bakıldığında 155.000 km² alan kaplayan volkanik kayaç oluşumlarının varlığı görülür. Bu alan Türkiye yüzölçümünün 1/5'i kadardır. Türkiye'de doğal puzolan oluşumlarının bulunduğu geniş alanlar olmasına rağmen kalite ve potansiyelleri tam olarak bilinmemektedir. Gereksinim duyan endüstri kuruluşları kendi olanakları ve kaynakları saptayarak kullanmaktadır [7].

Coğrafi bölgelere göre puzolanik maddelerin bulunması tahmin edilen yerler aşağıdaki Tablo 3.3'de yer almaktadır.

“Brzesky(1962) ülkemizin puzolan açısından oldukça zengin olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye'nin değişik yerlerinde tespit ettiği trasların kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen Türkiye'deki değişik tras yataklarının analizleri” Tablo 3.4'de verilmektedir [9,s.19].

Tablo3.3. Bölgelere Göre Tahmini Puzolan Kaynakları [3]

Coğrafi Bölgeler	İller
Marmara Bölgesi	Balıkesir, Bursa, Tekirdağ, Bilecik, Çanakkale...
Ege Bölgesi	Afyon, Aydın, Denizli, Muğla, Kütahya, Manisa, İzmir
Akdeniz Bölgesi	Adana, Burdur, Isparta
İç Anadolu Bölgesi	Ankara, Kayseri, Niğde, Nevşehir, Yozgat, Sivas
Karadeniz Bölgesi	Amasya, Çorum, Artvin
Doğu Anadolu Bölgesi	Bingöl, Bitlis, Elazığ, Kars, Van, Erzurum
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	Adıyaman, Siirt, Urfa, Mardin

3.2. Kireç

Doğada bulunan kimyasal bileşimi $x.CaCO_3 + y.MgCO_3$ genel formülü ile ifade edilen kalker, dolomit, mermer, kalsit tebeşir ve manyezit gibi taşların kırılarak, kireç ocağı fırınlarında $1000^{\circ}C$ nin üstünde ısıtılması sonunda elde edilen inorganik bir maddedir.

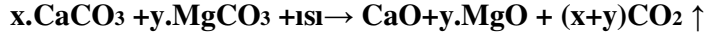
Bir bağlayıcı maddenin belli başlı elemanları kireç, silis, alümin ve demir oksittir. Kireç bağlayıcı maddelerin en önemli elemanıdır.

Tablo 3.4. Puzolan Yataklarının Analizi [9]

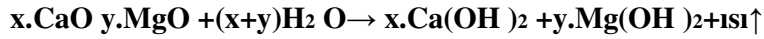
Bileşikler	Kayseri	Niğde	Tatvan	Ayvacık	Uşak	Bitlis	Trabzon
Al₂O₃	15,13	1,45	18,52	17,44	17,07	18,7	7,52
SiO₂	64	88,11	64,72	63,79	64,48	67,8	11,32
Fe₂O₃	4,85	1,99	7,18	3,21	6,06	5,2	3,88
MgO	0,96	0,49	0,8	0,85	1,84	1,15	1,36
Na₂O	3,85	-	-	-	-	-	-
K₂O	2,26	-	-	-	-	-	-
CaO	5,65	2,13	2,20	1,47	3,44	3,83	52,18
Kızdırma Kaybı	1,16	5,55	5,80	0,8	4,95	1,06	2,62
Bilinmeyen	-	-	-	7,08	2,16	-	18,27

Gerek portland çimentosunda gerek diğer çimentolarda kireç silis ve alüminle pişirilme esnasında birleşerek silikatlar alüminatları meydana getirirler. İşte bu silikat ve alüminatlar çimentolara bağlayıcılık özellikleri kazandırır.[1]

Isıtma sıcaklığı 1000°C nin üzerine çıktığı zaman meydana gelen kimyasal olay aşağıda ifade edilmektedir.



Bu şekilde elde edilen kirece sönmemiş kireç denir. Bu maddenin üzerine su ilave edilirse (hidratasyon) ve iyice eriyinceye kadar karıştırılırsa, fazla miktarda ısı ve büyük bir hacim artışı açığa çıkarak söner ve sönmüş kireç elde edilir. Bu kimyasal işlem da aşağıda ifade edilmektedir.



Söndürme işlemi ahşap teknelerde gerçekleşir ve daha sonra bulamaç halindeki kireç, kuyularda dinlendirmeye bırakılır. Dinlendirme süresi kullanım amacına bağlı olarak en az bir hafta (harç yapımında) veya iki üç hafta(sıva yapımında) sürer.

Dinlendirme sırasında, kirecin hava ile temasının kesilmesi gerekir. Aksi halde kirecin üst kısımları havadan aldığı karbondioksit nedeniyle kurur ve karbonlaşır.

Dinlendirme esnasında, kireç içindeki suyun fazlası kuyuda emilir. Dinlendirme sonunda geriye kalan malzeme yağlı kireç adı verilir. Yağlı kireç doğrudan doğruya şantiyede harç yapımında kullanılır veya kurutulup öğütüldükten sonra paketlenerek pazarlanır.

Harcın ve sıvanın sertleşerek dayanım kazanması için kirecin havadan karbondioksit alması gerekir.

Sertleşme sırasında açığa çıkan su, harcın içindeki su ile birlikte buharlaşır. Suyun buharlaşması, kireç harcının kuruyup sertleşmesi ve dayanım kazanması için, harcın yeterince boşluklu olması gerekir. Aksi halde iç kısımlardaki kireç yıllarca sertleşmemiş halde kalabilir [7].

Sönmüş kireç fazla kalınlıkta kullanılmamalıdır. Kalın tabakalar uygulanması halinde CO₂' nin tabakanın derinliklerine kadar nüfuz etmesi geç olur. Bunun neticesinde, sertleşme uzun süre gerçekleşemez.

Kirecin kalitesini, içeriğindeki karbondioksit miktarı, asitte çözünmeyen maddeler, metal oksitler ve kükürttrioksit miktarı belirler.

Basınç dayanımı 0.7N/mm², çekme dayanımı ise yoktur. Yapılarda duvar harcı, sıva harcı ve badana yapımında kullanılır [31].

3.3. Pozolanik Aktivite

Pozolanik aktivite, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda reaksiyona girme ve sertleşme kapasitesidir. Bir malzemenin pozolanlığının kanıtlanabilmesi için pozolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler mekanik ve kimyasal deneyler şeklinde olur. Ayrıca pozolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik gibi fiziksel ve kimyasal yöntemlerle de saptanabilir.

Pozolanik aktivite, kireç- pozolan ve çimento- pozolan ikilisinden oluşan harçların belirli bir süre içinde ulaştığı, mekanik dayanımının sonucuna bağlı olarak kanıtlanabildiği gibi DTA-TG (termogravimetrik) analiz ile de saptanabilir. DTA-TG analizi aracılığı ile pozolan içeren harçların zamana bağlı olarak içindeki serbest kalsiyum hidroksit miktarı tespit edilerek de pozolanik aktivite belirlenebilir. Harcın içindeki serbest Ca(OH)₂ miktarının azalması pozolanik aktivitenin gerçekleştiğini gösterir.

Kimyasal bileşim TS 25'e göre Tablo 3.5'de gösterildiği gibi olmalıdır.

Tablo.3.5. TS 25'e Göre Pozolanlarda Aranması Gereken Kimyasal Özellikler

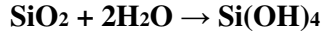
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	en az	% 70
MgO	en çok	% 5
SO ₃	en çok	% 3
Rutubet	en çok	% 10

TS 25'e göre pozolan kireç reaksiyonu sonucunda, eğilme dayanımı 1N/mm² basınç dayanımı ise 4 N/mm²'den az olmamalıdır.

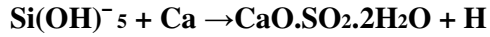
3.3.1. Kireç - Pozolan Reaksiyonu

Pozolanik özelliğe sahip volkanik tüfler SiO₂,Al₂O₃,Fe₂O₃ içerikleri yüksek fakat kristal yapıları genellikle bozuk olan silikatlı bileşiklerdir. Kristal yapısı bozuk

silikatlar pH'ı yüksek; alkali ortamda OH⁻ iyonlarının etkisi ile çözülebilir. Kristal yapının bozukluk derecesinin artması ile doğru orantılı olarak çözünürlük de artar. Çözülme işlemi kirecin su ile tepkimesi sonucu ortaya çıkan OH⁻ iyonlarının ortamdaki puzolanik malzemelerin yüzeyine soğurulması ile başlar. Bunun sonucu olarak silikatın yüzeyindeki silisyum atomunun koordinasyon sayısı yükselir, alttaki oksijen atomu ile olan bağları zayıflar ve yüzeyinde silisik asit oluşmaya başlar.



Doygun Ca(OH)₂ çözeltisinin pH'ı 12.6 dır. PH'ı 11 den yüksek olan çözelti ortamında daha çok Si(OH)₆⁻ bulunur. Yüzeyindeki silis atomunun bağlarının zayıflaması ile oluşan Si(OH)₅⁻ ve Si(OH)₆⁻ ların negatif yüklerini Ca, K ve Na iyonları nötrale edilebilir. Ca iyonu diğerlerinden daha büyük bir kuvvetle yüzeye soğurulduğu için önce Ca; oluşan negatif yükleri nötrleştirir. Negatif yüklerin bir kısmı da diğer alkali iyonlar(Na, K) tarafından nötrleştirilebilir. Ca bir H ile yer değiştirerek kalsiyum silikatlar oluşur.



Bu tepkimeler sürerken çözeltideki silis konsantrasyonu doygunluğa erişinceye kadar, silikat çözünmeye devam etmek isteyecektir. Ancak puzolanın yüzeyinde oluşan CSH (kalsiyum silikat hidrat), (OH)⁻(hidroksil) iyonlarının gelişini engelleyerek çözülmeyi yavaşlatacak ve durduracaktır. Bu nedenle, bir kireç çözeltisinde, Ca konsantrasyonu yükseldikçe çözeltideki çözülmüş silis konsantrasyonunda azalma görülür. Eğer, silikat çözülmesi süresince ortamda yeterli miktarda Ca bulunmaz ise veya silikatın çözülme hızı CSH kristalleşme hızından yüksek olur ise silikat çözeltide doygunluğa ulaşınca kadar çözünecek ve negatif yüklerin büyük kısmının alkali iyonlarca nötrleştirilmesi sonucunda tepkime ürününü alkali silikat bir jel olduğu alkali silika tepkime oluşacaktır [10].

Puzolanik tepkimeler, sanıldığı gibi silikatlı malzemelerin tamamen çözünüp Ca(OH)₂ ile tepkimesi sonucu yeni ürünlerin oluşmasından öte, puzolanik malzeme

taneciklerinin, yüzeysel çözümleri sonucunda çözünen kısmın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimesi sonucu yüzeylerinde oluşan CSH ile bağlamasından ibarettir [10].

Kristalin silikatların öğütülmesi esnasında yüzeylerindeki molekül yapılarının bozulması ile puzolanik özellik kazanmaları da bu tepkimelerin malzemelerin yüzeylerinde geliştiğinin bir işareti.

Puzolanik tepkime ürünlerini inceleyen çok sayıda araştırmaların hiç birinde kalsiyum ferrit, kalsiyum alümine ferrit türü, yani demir içerikli bir hidratasyon ürünü saptanamamıştır. Çimento hidratasyon ürünleri ile puzolanik hidratasyon ürünleri arasında en önemli fark budur [10].

Puzolanik aktiviteyi belirleyen yada önemli ölçüde etkileyen faktörler arasında

- Puzolanın kimyasal bileşimi, özgül yüzeyi, özgül ağırlığı, yapısı, inceliği...
- Nem Oranı
- Ortam Sıcaklığı
- Karışıma giren kirecin kimyasal bileşimi ve yapısı

bulunmaktadır.

3.3.1.1. Kireç- Puzolan Reaksiyonunun Mekaniği

Puzolanik ve alkali reaksiyonlar silisin alkali ortamda çözünme mekanizması ve çözünme kinetiği ile yakından ilgilidir. Puzolanlar ince öğütüldükleri zaman kireç ve su ile temasa geçtiği andan itibaren katı ve sıvılar arasında bir iyon değişimi başlar. İlk önce çözünürlükleri yüksek olan alkali sülfatlar çözeltiye geçer. Çözülen alkali sülfatlarla ortaya çıkan OH^- iyonları silis yüzeyinde soğurulmaya başlar. Yüzeyindeki silisyum atomunun koordinasyon sayısı yükselir ve alttaki oksijen atomu ile bağı zayıflar. Sonuçta Si-O bağı koparak silis çözeltiye geçer. $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$, yani silisin çözünürlüğü doğrudan pH'a bağlıdır. Eğer çözeltinin pH'ı yüksek ise silisin değişik iyonize şekilleri oluşacağından çözeltideki silis denge konsantrasyonu da artacaktır [7].



PH'111'den yüksek olan çözeltilerde daha çok Si(OH)^-_6 bulunmaktadır ve OH^- iyonları yüze soğurulup silis çözeltiye geçince çözeltideki OH^- kaybindan dolayı pH'ta azalma gözlenir.

Silis taneciklerinin kristal yapısı da çözünürlükte etken bir faktördür. Kristalin yapıları atom örgüleri düzgün ve sık olduğundan çözünmeleri güçtür. Buna karşın camsı yapıda atom örgüleri hem daha aralıklı hem daha bozuktur. Kristal silisin yoğunluğu 2.65 dolaylarında iken camsı siliste bu değer 2.3'ye kadar düşebilir. Dolayısı ile camsı yapıdaki silisin çözülmesi daha kolaydır.

Sonuç olarak; silis alkali ortamda ($\text{pH} > 11$) (OH^-) iyonlarının yüze soğurulup yüzeydeki silis atomunun koordinasyon sayısını yükseltmesi ile Si-O bağlarını koparması sonucunda çözeltiye geçer, pH'ın yanında karışımdaki orijinal silisin alkalilere oranı, silisli taneciklerinin tane boyu, kristal yapısı, ortamın sıcaklığı ve ortamda Ca iyonlarının bulunması da çözünürlüğe etki eden faktörlerdir [10].

3.3.2 Çimento- Puzolan Reaksiyonu

Çimento su ile temas ettiğinde hemen hidrasyona uğrar ve daha basit kristalize sert bileşikler meydana getirir. Bu arada çok sayıda serbest kireç açığa çıkar.



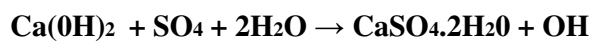
Üretim aşamasında oluşan kirecin yanında klinker içerisindeki serbest CaO'nun sönmesiyle meydana gelen Ca da vardır. Bunlar beton için tehlikelidir.

- Havadan Ca(OH)_2 alarak CaCO_3 oluşturur ve hacim artmasından dolayı betonda zamanla çatlamlar meydana getirebilir.
- Suların etkisiyle derhal çözünür. Sürüklenir ve beton gözenekli hale gelir. Betonda hidrasyon devam ederken devamlı Ca(OH)_2 açığa çıkar.

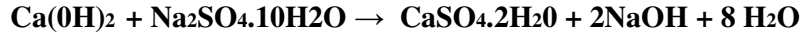
Puzolan ilavesi ile beton içerisinde meydana gelen zararlı serbest kireç bağlanır ve mukavemetli yeni bileşikler oluşur.

Çimento- puzolan harcı yavaş ve devamlı bir şekilde oluşan birleşme ile puzolanlı çimentolar portland çimentosuna göre betona şu üstünlükleri kazandırır.

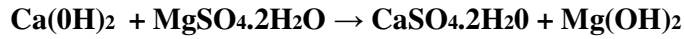
- **Kimyasal etkilere dayanıklılık:** Puzolanlar portland çimentosunda s.CaO ile stabil şekilde bağladıklarından, sudaki serbest CO₂ olmasının tesiri ile kireç çözünerek beton bünyesinden ayrılamaz.
- **Beton son mukavemetinde artış:** Puzolanlı çimento ile yapılan betondaki mukavemet ilk zamanlarda portland çimentosuyla yapılan betona göre az olmaktadır. Bu durum puzolanın hidratasyon reaksiyon hızının daha düşük olmasından ileri gelmektedir. Fakat 90 gün sonunda puzolanlı betonlar daha büyük mukavemet verir ve bu bir yıl sonrada devam eder.
- **Sıcaklıkla mukavemet yükselişi:** Portland çimentosunda betonun sıcaklıkla priz yapması gerekirse son mukavemet düşer. Oysa, puzolan çimentolu betonlarda, sıcaklıkla hem puzolanik aktivite artmakta hem de son mukavemet yükselmektedir.
- **Su Geçirimsizliğinin sağlanması:** Puzolanlar genellikle 2,3- 2,6 g/cm³ özgül ağırlığına sahiptir. Bu yüzden mutlak katı hacimleri aynı hacimdeki portland çimentosuna nazaran %15- 25 daha büyüktür. Bu yüzden her bir puzolan tanesi ve çimentonun meydana getireceği silikat jel miktarının daha fazla olması nedeniyle permeabilite da düşüktür. Diğer taraftan puzolan maddesinin çimentoya oranla özgül yüzey alanın daha büyük oluşu nedeniyle çimento hamurunun tanecik sayısını arttırmakta ve hamurun boşluk yapısı küçülmektedir. Bu durum betonu suya karşı daha geçirimsiz hale getirir [1].
- **Alkali – agrega reaktivitesini azaltır:** Çimento içinde bulunan Na, K oksitleri, agrega içinde bulunan aktif silisle reaksiyona girerek alkali silikat jelleri meydana getirir. Sertleşmiş beton içindeki bu jeller fazla su absorbe ettiği için betonun şişmesine ve yer yer çatlamasına neden olur. Puzolan bu duruma engel olur.
- **Sülfatlı sulara karşı dayanımı arttırır:** Sülfatlı çözeltilerdeki sülfat iyonları çimentonun hidratasyon ürünü olan Ca(OH)₂ ile birleşerek CaSO₄.2H₂O oluşturur.



Bu reaksiyon Na₂SO₄'lü ortamda ise NaOH, MgSO₄'lü ortamda ise Mg(OH)₂ meydana gelir



(bu reaksiyon sonucu katı fazın hacmi 124 misli artmaktadır)



Reaksiyon sonucu oluşan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ çimentodaki C3A hidratasyon ürünleri C_3AH_6 , C_3AH_3 , $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$ ile birleşerek candlot tuzuna dönüşür. Candlot tuzu doğal mineral olan etringite çok benzer ve 30- 32 molekül su bağlaması nedeniyle harç veya betonda hacim artışına neden olur. İşte bu noktada, puzolan tüm bu olumsuz duruma neden olan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek ortamdan uzaklaştırmaktadır. Böylece Ca(OH)_2 bulunmadığı puzolanlı çimentolarda sülfat iyonlarının harç ve beton içinde yayılması güçleşecektir [8].

- Çimento hamurunun işlenebilirliği artmaktadır.

Bu olumlu özelliklerine nazaran bazı sakıncalı tarafları da vardır;

- Puzolanlı çimento ile üretilen betonların daha uzun süre ve daha iyi koşullar altında korunması gerekir.
- Hidratasyon ısının daha az olmasından dolayı puzolanlı çimentolarla üretilen betonların soğuk havalarda kullanılması sakıncalıdır.
- Su ihtiyacını arttırarak harcın, s/k (su/katı) =%33 olan su oranı puzolan ilavesi ile %38' lere çıkar [8].
- Kuruma büzülmesini arttırırlar

Sonuç olarak, silis bakımından zengin olan puzolanın serbest kireçle birleşmesi neticesinde silikatlaşma meydana gelir. Böylelikle portland çimentosunun en zayıf elemanı ortandan kalkmış olur.

3.4. Puzolanlarla İlgili Yapılan Çalışmalar

Puzolanlarla ilgili olarak yerli ve yabancı birçok araştırmanın yapılmış olduğu görülmüştür ve bu araştırmaların çoğu puzolanik aktivite üzerinedir. Yapılan araştırmalar, çimento–puzolan ilişkisi ya da kireç-puzolan ilişkisi altında incelenmiştir. Bunların büyük bir kısmını çimento- puzolan reaksiyonu ve puzolan maddesinin beton katkı maddesi olarak kullanımı yer oluşturmaktadır. Bu

Çalışmaların yanı sıra, puzolanlı harçların tarihi binaların restorasyonundaki önemini belirten çalışmalarda mevcuttur.

3.4.1 Kireç.-Puzolan İlişmesine Dayalı Araştırmalar

U. Öz , [15] yaptığı araştırmaya göre:

Puzolanik malzemelerin kimyasal bileşiminde $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}$ miktarının ve camsı fazın yüksek olması, puzolanik aktivitesinin de yüksek olması istenir. Çözünmeyen kalıntının tamamının çözünmeyen silis olduğu yanlış olarak bilinmektedir. Bu yanlışlıktan dolayı puzolanlarda çözünmeyen kalıntısına göre değerlendirmekte, kullanılması gerekenden daha az kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çözünmeyen kalıntısı yüksek olan ve düşük olan traslarda puzolanik aktiviteleri incelenerek karşılaştırılmıştır.

Çözünmeyen kalıntı yönünden incelendiğinde; tras A nın puzolanik aktivitesinin daha düşük blaine değerinde olmasına rağmen tras B den daha yüksek aktivite verdiği gözlenmektedir. Aynı numunelerin çözünmeyen kalıntılarına bakılırsa, tras A nın çözünmeyen kalıntısının, tras B nin çözünmeyen kalıntısının iki katından daha fazladır. Puzolanların değerlendirmesinde çözünmeyen kalıntı değil, reaktif silis veya puzolanik aktivite esas alınmalıdır.

Tablo 3.6. Çalışmada elde edilen Sonuçlar [15]

	Tras A	TRAS B
SiO ₂	71,42	67,66
Fe ₂ O ₃	1,41	1,78
Al ₂ O ₃	13,10	12,61
CaO	1,64	3,88
MgO	0,39	1,24
SO ₃	-	-
K ₂ O	3,40	1,31
Na ₂ O	3,17	1,32
Kızdırma Kaybı	5,47	10,20
Trasın Özgöl Yüzeyi	3474	3565
Eğilmede Çekme Dayanımı	2,5	1,6
Basınç Dayanımı	10	6,1

N. Koçu; [7] , yaptığı araştırmaya göre:

Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapmış olduğu araştırma sonuçlarına göre, sıcaklık, su ve puzolan madde miktarının değişmesiyle numunelerin fiziksel ve mekanik dayanımları da değişmektedir. Kireç- puzolan hamurundaki s/k oranının artmasıyla hamurun porozitesi artmaktadır. Bu durum mekanik dayanımını azaltırken su geçirimsiği, kapilarite katsayısı gibi fiziksel özelliklerini arttırmaktadır. Sıcaklık artışı ile puzolanik aktivitenin arttığı, fakat bu artışın lineer bir doğru olmadığı saptanmıştır. Optimum bir sıcaklıktan sonra karışımın mekanik dayanımı olumsuz yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde kireç- puzolan hamuru için ideal bir karışım oranı söz konusudur. Yapılan araştırma ya göre bu değerde kuru kireç/puzolan oranı olarak %35 s/k %45 oranı olarak sonucuna varmıştır.

A. Moropoulou, A.Bakolas ve E. Aggelakopoulou;[19] yaptıkları araştırmaya göre:

Bu araştırma, doğal ve yapay puzolanların birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine dayanır. Araştırmada çeşitli oranlardaki kireç/doğal ve yapay puzolanlarla elde edilen harçların %98 nem ve 25 °C kür koşullarında ve 3-7-14-28. günlerdeki puzolanik aktivite değerleri DTA ve TG analizi aracılığıyla incelenmiştir.

Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi puzolan- kireç karışımında reaksiyona giren Ca(OH)_2 miktarı puzolanik aktivite için önemli bir girdidir. Bu çalışmanın esasında da, Milos–Yunanistan bölgesinde yer alan (EM) doğal puzolan ve matakaolin (MK) , seramik tozu (CP) yapay puzolanların kireçle reaksiyonu sonucunda oluşan hamurun bünyesindeki Ca(OH)_2 miktarının zamana bağlı olarak ne kadar azaldığı analiz edilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, DTA ve TG analizleri ile belirlenmiş olan kireç-puzolan karışımındaki reaksiyona giren Ca(OH)_2 miktarı puzolanik aktivite için önemli bir faktör olup, Ca(OH) miktarındaki azalmayla puzolanik aktivitenin arttığı tespit edilmiştir. Kireç/puzolan oranının azalmasıyla zamanla reaksiyona giren Ca(OH)_2 miktarında, artış gözlenmiştir.

C. Shi ve R. L.Day;[28] yapmış oldukları araştırmaya göre:

Doğal puzolanların puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda 3 farklı yöntem belirlenip değişkenlerin birbiriyle karşılaştırılması

yapılmıştır. Çalışmada %80 doğal puzolan ve %20 sönmüş kireçten oluşan karışımlar test edilmiştir. Üç farklı yöntemden birincisi, karşıma giren puzolananın kontrol numuneye göre özgül yüzey alanının artırılması ikincisi, kür sıcaklığının artırılması üçüncüsü ise kimyasal aktifleştirici (Na_2SO_4 ve CaCl_2) ilavesidir. 1.ve 28. gün sonunda tüm numunelerin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin %'lik miktarına ve karışımların basınç dayanımına bakılarak puzolanik aktivite değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm bu çalışmaların yanı sıra 3 farklı yöntem içinde en düşük maliyet ve enerji gerektiren yöntemin hangisi olduğunun da tespiti yapılmıştır.

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, doğal puzolanın özgül yüzey alanının artırılması veya kür sıcaklığının artırılması kimyasal katkı ilavesi kadar etkili olamamıştır. Özellikle kür sıcaklığının değişmesi puzolanik aktivitede önemli bir parametre olarak gözükmemiştir. Bunun yanında karşıma giren ve prosese tabii tutulan veriler göz önüne alındığında enerji ve maliyet giderleri olarak en uygun yöntem kimyasal katkı ilavesi olmuştur. Sonuç olarak yapılan deneyler neticesinde, kireç ve puzolandan oluşan karışımların puzolanik aktivitelerinin gelişmesinde gerek mekanik dayanım, gerekse düşük maliyet açısından en uygun yöntemin kimyasal katkı ilavesi olduğu belirlenmiştir.

Tablo.3.7. Araştırmadaki Kireç- Puzolan Karışımları İçin Uygulanan Deney Süreci [28]

Numune	Kimyasal Katkı	Kür Sıcaklığı °C	Özgül Yüzey Alanı M^2/Kg	Yöntem
A	-	50	291	KONTROL
B	4% Na_2SO_4	50	291	KİMYASAL
C	4% $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50	291	
D	-	23	291	ISIL
E	-	65	291	
F	-	50	385	MEKANİK
G	-	50	554	

L. Papayianni ve M. Stefanidou;[16] yapmış oldukları araştırmaya göre:

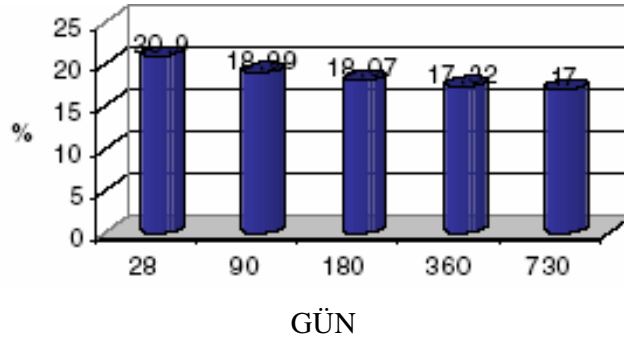
Kireç, puzolan, su ve standart kumdan oluşmuş harçların s/k (harcın su/katı oranı) oranını değiştirerek zamanla numunelerdeki porozite- dayanım ilişkisinin tespiti

hedeflenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre harca katılan su miktarının puzolanik aktivitede önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Tablo3.8. Araştırmada elde edilen Sonuçlar [16]

Numune	S/K	Porozite %	Basınç Dayanımı N/Mm ²
1	0.81	19.4	2.75
2	0.79	18.84	3.57
3	0.76	18.20	3.26
4	0.73	17.14	3.06
5	0.70	17.05	3.54
6	0.66	16.54	4.27
7	0.65	16.40	4.53
8	0.63	16.12	4.88

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, s/k oranı arttıkça puzolan harçların porozitesi artarak dayanımı azalmıştır. Zamanla harcın porozitesinin azaldığı ortaya çıkmıştır. s/k oranının 0,6dan 0,8'e çıkmasıyla porozite oranı %17'den %20'ye, dayanımı 4,9 N/mm²'den 2,5 N/mm²'a azalmıştır. Harcın ikinci yılındaki porozite değeri 28. gündeki porozite değerinden %20- 25 düşüktür.



Şekil 3.3. Zamana Göre Porozite Yüzdesi [16]

N. Değirmenci ve B. Baradan;[18] yapmış oldukları araştırmaya göre:

Çalışmada, Kireç, yapay puzolan(uçucu kül) ve su karıştırılarak puzolan hamuru elde edilmiştir. Elde edilen puzolan hamurunun kimyasal dayanımı, örneğin sülfat, tuz, asit dayanımı araştırılmış ve deney sonuçları portland çimentosuyla hazırlanan karşılımla kıyaslama yapılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, 3 farklı sülfürik asit konsantrasyonuna (%1,%5,%10) ve 2 farklı hidroklorik asit konsantrasyonuna (%1,%5) tabii tutulan karışımların dayanım yüzdeleri zamanla azalmıştır. Sonuçlara göre, puzolan hamuru kimyasal etkilere karşı çimento hamuruna göre daha dayanımlı çıkmıştır. Bununla beraber, kimyasal dayanım çözeltinin konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

F.Esenli; [23] yapmış olduğu araştırmaya göre:

Gördes bölgesindeki riyolitik tüfleri incelemiştir. Yapmış olduğu araştırma sonuçlarına göre, volkanik cam içeren malzemelerde eğilmede çekme dayanımı 1,81 N/mm² basınç dayanımı 2,12 N/mm² dir. Zeolit içeriğinin %42 olanlarında eğilmede çekme dayanımı 2,5 N/mm² basınç dayanımı 9,24 N/mm² dir. Zeolit içeriğinin %71- 94'lere çıkmasıyla eğilmede çekme dayanımı 2,55-3,06 N/mm² aralığında ve basınç dayanımı 11,83-12,96 N/mm² arasındadır.

Sonuç olarak puzolanik aktivite ile zeolit içeriği arasındaki kuvvetli ilişkinin zeolitlerin geçici iyon değişimleri ve absorpsiyon özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

S. Yıldız, M. Yalınbaş ve O. Keleştemur;[22] yapmış oldukları araştırmaya göre:

Bu çalışmada, yapı alçıları ile Antalya Etibank elektrometalurji işletmesi tesislerinde tutulan silis dumanlarının birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapı alçısı olarak kullanılan kartonpiyer alçısının SiFeCr baca tozu ile hacimce %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında yer değiştirilmesi neticesinde elde edilen numuneler, birim ağırlığı ve boşluk oranı ve eğilmede çekme dayanım açısından kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, silis dumanı katkısının, kartonpiyer alçısının birim ağırlığı ve boşluk miktarında azalma, eğilmede çekme dayanımında ise artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, SiFeCr baca tozunun kartonpiyer alçısı ile %10- 15 oranında yer değiştirilmesi neticesinde en iyi sonucun alındığı belirlenmiştir.

3.4.2. Çimento- Puzolan İlişkinine Dayalı Araştırmalar

B.Y. Pekmezci, S. Akyüz ;[20] yaptıkları araştırmaya göre:

Puzolan, beton sektöründe ekonomik bir ürün elde edilmesi ve betonun özelliklerini geliştirmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, doğal puzolanların çimentoya belirli

oranlarda katılmasıyla, beton dayanımı üzerindeki etkisi ve maksimum beton dayanımı için optimum puzolan miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu araştırma bünyesinde 15 adet farklı puzolan/çimento oranıyla Bolomey ve Feret dayanım bağıntıları ile betonun maksimum dayanım değeri saptanmıştır. Örnekler 5 cm'lik küplere konularak 20 ± 2 °C de 28 günlük kür koşulları sonrasında basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Deneyde kullanılan puzolan maddesi, Uzuntarla Bölgesinden getirilmiş ve ASTM C 618-03 standardına göre A sınıfı puzolan olduğu belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, maksimum beton dayanımı için optimum değerde puzolan kullanılması söz konusudur. Bu değerın üstünde fazla miktarda puzolan katılması beton dayanımı üzerinde negatif etkiye sahip olup, betonun mekanik değerini azaltmaktadır. Çıkan deney sonuçlarına göre ideal puzolan/çimento oranı yaklaşık 0,28'dir.

G.C. Issai, A.Lg. Gastaldini ve R. Moraes;[24] yaptıkları araştırmaya göre:

Portland çimentosuna puzolan katılması, betonun mekanik dayanımını ve durabilitesini arttırmasından dolayı önemli bir rol oynamaktadır. Portland çimentosuna puzolan ilavesiyle, çimento harcının mikrostrüktür yapısı değişmektedir. Puzolanik etkiyle tanecik boyutu küçülmekte ve ince taneciklerin birbiriyle olan etkileşimi esnasında gözenek, boşluk yapısı engellenmektedir. Bu çalışmada 12 adet birbirinden farklı beton karışımı elde edilerek, örneklerin basınç dayanımları, açığa çıkan ve reaksiyona giren su miktarının 28.- 91. günlerde ölçümleri tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde çeşitli oranlarda tekli, ikili veya üçlü olmak üzere yapay puzolanlar (uçucu kül, pirinç kabuğu külü), kireçtaşı ve portland çimentosuna ilave edilmiş ve 0,35-0,50-0,65 su karışım oranlarıyla hazırlanmıştır.

Puzolan maddesindeki amorf silis ile çimento hidratasyonu sonucu açığa çıkan Ca(OH)_2 arasında oluşan puzolanik reaksiyondan ötürü, harcın yoğunluğu artmaktadır. Yine bu nedenden ötürü harcın boşluk yapısı azalmaktadır. Puzolanik etki puzolan reaksiyona bağlı olduğu kadar karışımdaki küçük taneciklerin incelik etkisine veya fiziksel özelliğine de bağlıdır. Puzolan ilavesiyle daha yoğun ve uniform harç meydana gelmektedir.

Araştırma sonuçlarına göre,

- Puzolanik etki, karşıma mineral ilavesinin artmasıyla artmıştır. 91. gündeki etki 28. gündeki etkiden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlara göre puzolan maddesinin, hidratasyon olayını yavaşlatmasından ötürü betonun dayanımını zamanla arttırdığı çıkarılabilir.
- Puzolan ilavesiyle, reaksiyona giren su ve Ca(OH)_2 miktarındaki azalmadan dolayı hamurun hidratasyon hızı yavaşlamaktadır.
- Betondaki maksimum dayanım için optimum puzolan ilavesi geçerlidir. Bu değer in üstünde puzolan katılmasının aynı süreç içinde beton dayanımını azalttığı görülmektedir.

R.E. Rodriguez ve R. Uribe-Afif;[21] yaptıkları araştırmaya göre:

Bu çalışmada farklı doğal puzolan içeren, birbirinden farklı şekilde üretilen portland-puzolan çimentolarını kapsamaktadır. Bu farklı karışımların sülfat etkisindeki dayanımı ve durabilite karşılaştırılması yapılmıştır. Her bir puzolanın kompozisyonu ve puzolanik aktivitesi değerlendirilmiştir. ASTM C 1012 yöntemine göre 78 hafta boyunca farklı yaşlardaki harçların genleşme ölçümlerine göre sülfat etkisindeki dayanımı test edilmiştir. Deney sonucunda, yüksek aktiviteye veya düşük alumina sahip puzolan içeren çimento karışımları sülfat etkisine karşı olumlu gelişme göstermiştir.

“Puzolanlı çimentolar, CaSO_4 li çözeltilere karşı portland çimentosuna göre daha büyük bir dayanıklılık gösterir. Bunu Lafuma’nın bir teorisine dayanarak şu şekilde açıklamak gerekir. Genel olarak katılaşmış bir çimento içinde bulunan katı eleman çözelti içindeki bir madde ile birleşirse daima bir genleşme gerçekleşir. Fakat eğer katı cisim içindeki madde çözelti haline geçtikten sonra reaksiyon yaparak bir birleşme olursa hiçbir genleşme meydana gelmez. Kireci doymun bulunan bir çözeltide, portland çimentosu içinde bulunan kalsiyum alüminat hidratenin çözünme kabiliyeti son derece azdır. Fakat çözeltide kireç miktarının azalmasıyla bu maddenin çözünürlüğü artmaktadır. İşte çimentoya karıştırılan puzolan kireci tespit etmek suretiyle çözeltideki kireç miktarını azalttığından Ca alüminat hidratenin çözünürlüğü artmakta ve yukarıdaki kurala göre beton içinde genişlemeyen bir madde oluşmakta ve böylelikle puzolanlı çimentolar sülfatlı sulara karşı daha büyük bir dayanıma sahip olmaktadır” [14].

Araştırma sonuçlarına göre,

- Pozolanik aktivite, sülfat dayanımını arttırmaktadır.
- Yüksek pozolanik aktiviteye sahip pozolanik çimentoların sülfat etkisine karşı dayanımı, portland çimentosuna oranla daha yüksek çıkmıştır.
- %11,6 – 14,7 arasında alümin içeren ve yüksek aktiviteye sahip pozolanik çimentolar en iyi sülfat dayanımını göstermiştir.

E.F. Irassar; M. Gonzalez; V. Rahhal;[32] yapmış oldukları araştırmaya göre:

Betonların sülfata karşı dayanımı öncelikle betonların permabilite özelliğine bağlıdır. Sülfatlı ortamda sıkça maruz kalma durumunda ve düşük permabiliteye sahip betonların ve sülfata karşı yüksek dayanım gösteren çimento kullanılması gerekir. Portland çimentoları için sülfat dayanımı, C₃A içeriğine ve hidrasyon olayının erken safhasında açığa çıkan CH miktarına bağlıdır.

Araştırmada çimento hamurunun katılaşması esnasındaki CH miktarı değişimi araştırılmıştır. Deneyler 1 yıl boyunca sodyum sülfat çözeltisi içinde pH kontrolü altında harçların genleşme miktarı ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, yüksek miktarda C₃S bileşiği içeren portland çimentonun sülfat dayanımı, düşük miktarda C₃S li portland çimentosuna oranla çok daha zayıf çıkmıştır. Doğal pozolanlı çimentolar maksimum seviyede sülfat dayanımı sağlamıştır. Bunun nedeni, harcın içindeki CH ile sülfat iyonları arasındaki reaksiyonun pozolan sayesinde önlenmesidir. CH bileşiğinin azalması, C₃A' nın seyreltilmesi ve hamurun gözenek boyutunun küçülmesinden ötürü portland çimentosuna doğal veya yapay pozolan ilavesi ile çimento harcının sülfata karşı dayanımı artar.

Araştırma sonuçlarına göre,

- Doğal pozolan ilavesi ile harcın genleşmesi azalmıştır.
- Düşük C₃S'li portland çimentosu kullanımı sülfatlı ortamda olumlu sonuçlar verirken basınç dayanımını arttırmış genleşme miktarını da azaltmıştır. Oysa C₃S miktarının artmasıyla bu durum tersine dönmüştür. Bunun başlıca nedeni, silikat hidrasyonu esnasında açığa çıkan CH miktarındaki artıştır.

- Doğal puzolan ilavesi ile düşük C₃A portland çimentolar harçtaki CH miktarını azalttığı için sülfat dayanımları iyileşmektedir. Özellikle bağlayıcı hamuru ile agrega ara yüzeyindeki alçı oluşumunun engellenmesi veya geciktirmesinden ötürü CH' ın azalmasına sebep olmuştur.

B.Uzal ve L.Turanli; [33] yaptıkları araştırmaya göre:

Bu araştırmada, çimento içerisine %55 oranında doğal puzolan ilave edilerek oluşan yeni çimentonun karakteristiği araştırılmıştır. İki farklı bölgeden volkanik tüf kullanılmıştır. Oluşan yeni çimentonun tane boyutu dağılımı, basınç dayanımı ve alkali silika aktivitesi arttırılırken aynı periyot içerisinde portland çimentosuyla karşılaştırılması yapılmıştır. %55 oranında puzolan ilave edilen çimento; 91. güne kadar daha düşük dayanım gösterirken 91. günden sonra benzer değerler göstermiştir. Bunun yanı sıra alkali- silika genleşmesi azalmıştır ve daha ince yapıya sahiptir.

Puzolan maddesi ile ilgili bugüne kadarki araştırma konularını, genel olarak maddeler halinde toplamak gerekirse;

- Puzolan maddesinin bölgeye ve yapısına bağlı olarak puzolanik aktivitenin nasıl değiştiği
- Puzolan maddesinin farklı kür koşulları (sıcaklık, nem, süre...) altında puzolanik aktivitenin nasıl değiştiği
- Doğal ve yapay puzolanların puzolanik aktiviteden yararlanılarak, birbiririyle kıyaslaması ve mekanik, fiziksel ve kimyasal yapılarındaki farklılığın ne olduğu
- Puzolan maddesinin çimento hamurunun yapısını nasıl değiştirdiği ve bunun sonucunda neyi etkilediği(mekanik dayanım, sülfata karşı dayanım, genleşme oranı...)
- Puzolan maddesinin, maksimum beton dayanımı için optimum puzolan miktarının araştırılması gibi özetlenebilir.

Yapılan literatür araştırmasına göre konuyla ilişkili girdi ve çıktılar, azalış-artış biçiminde Tablo 3.9'da yer almaktadır.

Yapılan puzolanik aktiviteyle ilişkili araştırmalar neticesinde, puzolan-kireç hamurunun, zamanla mekanik mukavemetinin arttığı, boşluluk (porozite) oranının düştüğü ortaya çıkmıştır. Zamanla gerçekleşen puzolanik aktiviteyle beraber hamurun yoğunluğunun arttığı ve bunun sonucu olarak, su geçirimsizlik özelliğinin azaldığı tesbit edilmiştir. Puzolan- kireç hamuru için belirli bir optimum sıcaklık söz konusudur. Optimum sıcaklığın dışındaki sıcaklıklarda puzolan- kireç hamurunun mekanik ve fiziksel özelliğinde zayıflama olduğu görölmüştür.

Çimento hamuruna puzolan maddesinin katılması, hamurun ilk mekanik dayanımı azaltırken bir süre sonra (90. gün) arttırdığı tesbit edilmiştir. Aynı şekilde imento-puzolan hamurunda gerçekleşen puzolanik aktiviteyle beraber hamurun yoğunluğu artarak belirli fiziksel özelliklerde (rötre, su geçirimsizlik, komposite...) iyileşme olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, imento-puzolan harçları imento harçlarına göre sülfatlı sulara karşı daha dayanımlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.9. Çimento-Puzolan ve Kireç-Puzolan Hamurunun Farklı Kür Koşulları Karşısında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim

Bağlayıcı hamuru			Fiziksel Özellikler						Mekanik Özellikler		Yapıda Kullanım Olanakları		Üretim süreci			
Etkileyen Faktörler		Performans Kriterleri	Isı Tutuculuk	Su Geçirimsizlik	İşlenebilirlik	Yoğunluk	Özgül Yüzey Alanı (Blaine)	Sülfat Dayanımı	Eğilmede Çekme Dayanım	Basınç Dayanımı	Harç-Sıva Malzemesi Olarak	Taşıyıcı Malzemesi Olarak	Üretim Enerjisi	Maliyet	Çevre Kirliliği	Gaz Emisyon Değeri
ÇİMENTO- PUZOLAN HAMURU	Çimento/Puzolan Oranı	Çimento Miktarının Artması		▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲
		Puzolan Miktarının Artması	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲		▼	▼	▼	▼
	Su Miktarı	Su Miktarının Artması	▲	▲	▲	▼		▼	▼	▼		▼	▲	▲		
		Su Miktarının Azalması	▼	▼	▼	▲		▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	
	Kür Koşulları	Sıcaklık Artışı						▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	
		Zaman (7,14,28,90..gün)						▲	▲	▲						
PUZOLAN –KİREÇ HAMURU	Kireç/Puzolan Oranı	Kireç miktarının artması		▲		▼	▼		▼	▼			▼	▼		
		Puzolan miktarının artması	▼	▼		▲	▲		▲	▲	▲		▲	▲		
	Su miktarı	Su miktarının artması	▲	▲	▲	▼			▼	▼	▼		▲	▲		
		Su miktarının azalması	▼	▼	▼	▲			▲	▲	▲		▼	▼		
	Kür koşulları	Sıcaklık Artışı (55,70,80°C..)	▲	▲		▼			▼	▲	▲		▲	▲	▲	
		Zaman (7,14,28,90..gün)		▼	▼				▲	▲	▲					

Puzolan-kireç veya imento-puzolan hamuru için ideal su miktarının belirlenmesi önemli bir konudur. Gereğinden fazla su miktarının kullanılması, bağlayıcı hamurunun mekanik ve fiziksel özelliklerini zayıflatmıştır.

Puzolan maddesinin imento maddesine göre üretimi sırasında daha az enerji gerektirmesi, sağlıklı ve çevreye daha az zarar vermesinden ötürü ekolojik bir malzeme olduğu ortadır. Bu nedenle kireç-puzolan harcı imento harcına göre ekolojik bir yapı malzemesidir.

Kireç çimentoya göre sabit bir karakteristiğe sahip olduğundan, puzolan –kireç harcı ile yapılan deneyler daha kısa sürede değerlendirilebilmektedir [9]. Bundan dolayı, bu çalışmada imento kullanmadan kireç- puzolan reaksiyonuna bağlı olarak Datça toprağının puzolanik aktivitesinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Yapılan tüm literatür araştırması sonucunda, Datça toprağının puzolan özelliğinin diğer bölgelerdeki puzolan özelliğindeki topraklara göre ne konumda olduğu yapılan deneyler neticesinde belirlenebilecektir.

4. ÖN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Datça çevresinden elde edilen ve bölgede aktoprak olarak adlandırılan zemin malzemesinin bağlayıcılık özelliğinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle hammadde TS 25'e göre puzolanik aktivite deneyine tabii tutulmuş ve sonrasında XRF (yarıkantitatif element analiz) yöntemiyle kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. TS 25'de belirtilen değerlerin üstünde sonuçların çıkmasıyla volkanik tüf üzerinde çalışılmaya devam edilmiştir.

Datça çevresinden İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Labratuvarına getirilen toprak malzeme, öncelikle nemini atması için 105° C sıcaklıktaki etüve yerleştirilmiş ve üç gün boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvde kurutulan malzeme, bilyalı değirmende öğütüldükten sonra, 211µm göz açıklığı olan elekten geçirilmiştir. Malzemenin ortam nemini almaması için elekten geçen tüm malzeme, ağzı kapalı polietilen(pe) torbalar içinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.1. Datça Zemin Malzemesi



Şekil 4.2. Bilyalı Değirmen Kavanozu

Puzolanik aktivite reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için ikinci önemli malzeme sönmüş kireçtir. Lafarge Ömerli Entegre Tesislerinden elde edilen sönmemiş kireç İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarına getirilerek söndürme işlemine tabii tutulmuş ve iki hafta boyunca dinlenmeye bırakılmıştır. Sönmüş kirecin elenmesinden sonra bir kaba alınarak, havayla temasının kesilmesi için ağzı sıkıca kapatılmıştır. Böylece deneyler için gerekli olan sönmüş kireç elde edilmiştir.

Deney için gerekli olan standart kum (Rilem- Cembureau), Set Çimento Fabrikasından sipariş üzerine getirilmiştir. Kumlu üretilen tüm numunelerde 1350 gr'lık poşetlerde bulunan hazır Rilem- Cembureau standart kumu kullanılmıştır.

Puzolanik aktivite deneyinin öncesinde öğütülmüş malzemenin sırasıyla özgül ağırlığı, özgül yüzey alanı ve rutubet kaybı miktarı tespit edilmiştir. Bunun yanında, sönmüş kirecinde özgül ağırlığı ve kuru kireç oranı belirlenmiştir. Tüm bu işlemler sonrasında, öğütülmüş Datça toprağı, sönmüş kireç, standart kum ve sudan oluşan karışım, puzolanik aktivite deneyi için hazır hale getirilmiş oldu.

TS 25'e [35] göre yapılan puzolanik aktivite deneyinde, olumlu sonuç veren numunelerin birtakım verilerin değişmesiyle sonuçların nasıl değişeceği merak edilmiştir. Bu nedenle, TS 25' de sözü geçen sıcaklık, süre ve su miktarı değiştirilerek deneyler tekrar edilmiştir. TS 25 göre yapılan numuneler kontrol numunesi olarak kabul edilmiş ve diğer numuneler kontrol numunesiyle kıyaslanarak, sıcaklık, su miktarı ve sürenin değişmesiyle sonucun nasıl etkilendiği gözlenmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Puzolanın Özellikleri

4.1.1. Puzolanın Özgül Kütlesi

Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzemenin, boşlukları hariç olmak üzere birim hacminin kütlesine özgül kütle denir [35].

Deneyde kullanılan hammadde, öncelikle öğütülüp 90 µm'luk elekten geçirilmiştir. 90µm dan geçen malzeme Porselen bir kaba alınarak 105°Cde etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde bekletilmiştir [35]. Etüvden çıkarılan malzeme desikatörde (Şekil 4.3), dış ortam neminden uzak bir ortamda soğumaya bırakılmış ve bir saat sonra desikatörden alınan 25 gr'lık malzeme, Mettler H-20 marka 0.01 mg, hassasiyetli terazide tartılmıştır. Deneyde kullanılan su damıtılmış sudur ve özgül kütlesi 1 g/cm³ kabul edilmiştir.

Camdan yapılmış bir kabın içine damıtılmış su ağzına kadar doldurulmuş ve kabın içine hava girmeyecek şekilde cam bir lamel ile üstü kapatılıp hassas terazide tartılmıştır. Cam kabın içinden bir miktar su alınıp içine 25 gr'lık malzeme yavaşça ilave edilip suyun içine tamamı batırılmıştır.



Şekil 4.3. Desikatörde Soğutulan Malzeme

Cam kabın ağzı kapatılarak bir gün süre ile beklemeye alınmış ve bir gün sonra içinde hiç bir hava kabarcığı olmadığından emin olunarak, ağzına kadar su doldurulup cam lamel ile kapatılmış ve cam kap hassas terazide tekrar tartılmıştır.



Şekil 4.4. Cam Kap+Su+Cam Lamel Tartımı



Şekil 4.5. Cam Kap+Malzeme+Su+Cam Lamel Tartımı

Deney iki defa tekrar edilmiş ve ikisinin ortalaması alınarak puzolanın özgül kütlesi **2,44** gr/cm³ bulunmuştur.

Tablo 4.1. Datça Bölgesindeki Toprak Malzemenin Özgöl Kütle Hesabı

Boş cam kap + cam lamel(gr)	su dolu cam kap + cam lamel(gr)	İnce malzeme ağırlığı(gr)	Cam kap+malzeme+su+ cam lamel(gr)	Özgöl Ağırlık Hesabı	Sonuç gr/cm ³
159,28	342,89	25	357,62	$342,89+25= 367,899$ $367,899-357,62=10,279$ $25/10,279=2,43$	2,43
154,59	340,05	30	357,84	$340,05+30= 370,05$ $370,05-357,84=12,21$ $30/12,21=2,43$	2,45

4.1.2. Puzolanın Özgöl Yüzey Alanı

TS-25 e göre TS-24[37] de verilen deney uygulandığında trasın özgöl yüzeyi en az 3000 cm²/gr olmalıdır [37].

Blain aleti, hava geçirgenliği prensibine dayanarak çimentoların özgöl yüzeyini tayin etmeye yarayan alettir. Alet numune hücresi, delikli disk, piston ve manometreden meydana gelir.

Öğütölüp 211µm'luk elekten geçen toprak malzeme 105 °C lik etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup, TS 24'e göre özgöl yüzey alanı bulunmuştur. Deneyin yapılması, sırasıyla hacim tayini, blaine aletin (k) sabit değerinin bilinmesi, akış süresinin hesabı ve özgöl yüzey hesabı ile son bulmaktadır. Bunlarla ilgili formül ve çıkan sonuçlar aşağıda yapılış sırasına göre verilmiştir.



Şekil 4.6. Blaine Aleti ve Hücre, filitre, delikli disk



Şekil 4.7. 0,00001 gr Hassasiyetli Terazî -Heltler H20

Numune Hacminin Tayini

Çimento ve mamül malzemenin hacmi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V = \frac{m_1 - m_2}{D} \quad (1)$$

V = Numune hacmi, cm^3

m_1 = Çimento yokken tartılan civa kütlesi, gr

m_2 = Çimento varken tartılan civa kütlesi, gr

D = Civanın deney sıcaklığındaki yoğunluğu, gr/cm^3 - TS24 de çizelge-1

Bu deney birkaç sefer tekrar edilerek sabit değerlerin çıkmasına dikkat edildi. Ama ölçümlerde her seferinde farklı değerlerin çıkmasından dolayı birbirine yakın çıkan sonuçların ortalaması alınmasına karar verildi.

$$m_1 = 111,425 \text{ gr} \quad m_2 = 79,810 \text{ gr (çimento)} \quad m_2 = 76,459 \text{ (puzolan)}$$

$$V_{\text{ç}} = \frac{111,425 - 79,810}{13,54} = 2,34 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{m}} = \frac{111,425 - 76,459}{13,54} = 2,58 \text{ cm}^3$$

Blaine Aletinin K Sabit Değerinin Tayini

Aletin K sabiti, özgül yüzeyi ve yoğunluğu bilinen bir ayar numunesi ile kullanılarak tayin edilir.

Ayar Numunesi Miktarı: (Ayar numunesi olarak National Enstitute Of Standarts Cement kullanıldı).

$$m = d V (1 - e) \quad (2)$$

m = Alınacak numune kütlesi, gr

d = Numunenin yoğunluğu, gr/cm³

V = Tayin edilen numune hacmi cm³

e = 0,5 (hücre içine yerleştirilmiş olan numunenin gözenekliliğidir)

m çimento için; d = 3,15 gr/cm³ national enstitute of standarts
cement

verilen değer

$$m_c = 3,15 \cdot 2,34 \cdot (1 - 0,5) = 3,68 \text{ gr}$$

m mamül malzeme için; d = 2,44 gr/cm³ daha öncesinde
hesaplanmıştı.

$$m_m = 2,44 \cdot 2,58 \cdot (1 - 0,5) = 3,14 \text{ gr}$$

t - Akış Süresinin Hesabı

Akış süresi her iki numune içinde tekrar edilir ve deney sonuçların aritmetik ortalaması alınır.

Her iki malzeme içinde ortalama olarak t=55 sn alındı.

K sabiti, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$K = \frac{S d (1 - e) \sqrt{\eta}}{\sqrt{e^3} \sqrt{t}} \quad (3) \quad S = 3774 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

K = alet sabiti

S = ayar numunesi özgül yüzeyi , cm²/gr

d = ayar numunesi yoğunluğu, gr/cm³

e = gözeneklilik – (0,5)

η = deney sıcaklığında hava viskozitesi

t = akış süresi, sn

$$K = \frac{3774. 3,15. 0,5. 0,01352}{0,354. 7,45} = 30, 602$$

Mamül Malzeme İçin Özgül Yüzey

$$S = \frac{K \sqrt{e^3} \sqrt{t}}{d (1 - e) \sqrt{\eta}} \quad (4)$$

$$S = \frac{30,602. 0,354. 7,45}{2, 44. 0,5. 0,01352} = 5044, 125 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Sonuç olarak, özgül yüzey tayininin 5044,125 cm²/gr çıkmıştır. Standarttaki değer olan 3000 cm²/gr den büyük olduğu görüldü.

4.1.3. Puzolanın Tane Büyüklüğü (Elek Analizi)

TS 24’de verilen deney uygulandığında tras 200 μm (mikron) delik açıklığı olan elek üzerinde en çok %6 ve 90 μm delik açıklığı olan elek üzerinde en çok % 8 kalıntı bırakmalıdır [37].

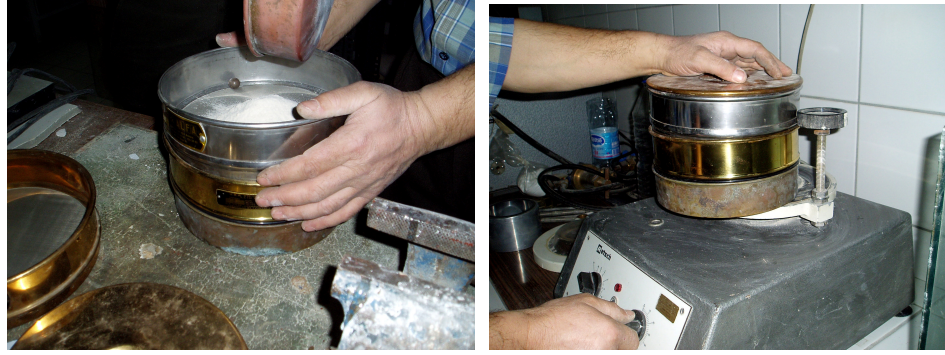
İnce malzemenin elek analizi deneyine başlamadan önce öğütülmüş malzeme, 90 μm göz açıklığı olan elekten el ile elenmiştir. 90 μm elekten geçen malzeme tane büyüklüğü tayinine tabi tutulmuştur.

İnce malzemenin elek analizi, İ.T.Ü Yapı Malzemesi Laboratuarında elek sarsma aleti kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.8). 105°C lik etüvde kurutulmuş malzemedan, 0,01 gr hassasiyetli terazide 100 gr tartılır. Tartılan numune, 200 μm göz açıklığı olan elek üstte, 90 μm göz açıklığı olan elek altında ve toplama tavası en alta olmak üzere sıralanmış elek dizisinin üzerine konur ve elek dizisinin üstü bir kapakla

kapatılır. Elek dizisi içindeki malzeme 15 dk elek sarsma aletinde elenir. Bu süre sonunda 200 µm göz açıklığı elek üstü kalıntısı tartılır ve gr olarak kaydedilir (m_2). 90 µm göz açıklığı olan elek-üstü kalıntısı darası belli bir kaba alınarak tartılır. Kalıntı tekrar 90 µm luk eleğe konur, 5 dk daha el ile elenerek yeniden tartılır. Her iki tartım arasındaki fark 0,1 den daha az oluncaya kadar el ile elemeye devam edilir. 90 µm luk elek üstü kalıntısı tartılır ve gr olarak kaydedilir(m). Burada 90 µm göz açıklığı olan elek –üstü toplam kalıntısı (m_1)

$$m_1 = m + m_2$$

Kalıntılar m_1 - m_2 sırasıyla malzemenin 90-200 µm göz açıklığındaki elekler üzerinde kalan yüzdeleri verir.



Şekil 4.8. 100gr Malzemenin elek dizisine Konulması ve Elek Sarsma Aletine Yerleştirilmesi

$$m_2 = 0,56 \text{ gr } \% 0,56 (200 \mu\text{m}) \text{ TS } 25-\%6$$

$$m_1 = 0,56 + 0,25 = 0,81 \text{ gr } \% 0,8 (90 \mu\text{m}) \text{ TS } 25-\%8$$

Sonuçların TS 25 de verilen değere uygun çıkmasından ötürü puzolanik aktivite deneyinde 90 µm’luk elekten geçen malzeme kullanılmıştır.

4.1.4. Puzolanın Kimyasal Özelliği

Datça çevresinden elde edilen volkanik tüflerin, kimyasal analizleri XRF yöntemiyle TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezin'de yapılmıştır. Hammaddenin ve TS 25’e göre üretilen numunenin 7. gündeki, Philips PW-2404 model Dalgaboyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı ile yapılan yarı kantitatif element analiz sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Kimyasal analizler araştırma için önemli bilgiler içermektedir. Ancak minerolojiye bağlı kalmadan sadece kimyasal analiz ile yeterli bilgiye ulaşılamaz. Kimyasal analiz neticesinde Datça toprağının SiO₂'ce oldukça zengin bir toprak olduğu görülmektedir. Kullanılan puzolan TS 25'de belirtilen kimyasal analizlerle kıyaslanırsa Tablo 4.3'deki sonuç ortaya çıkmıştır.

SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ toplamının %92.26 oranında olması puzolanik aktivite deneyi için üretilecek numune adına olumlu bir gelişme olarak görülmüştür.

Tablo 4.2. Puzolanın ve Puzolan-Kireç Harcının Kimyasal Analiz Sonuçları

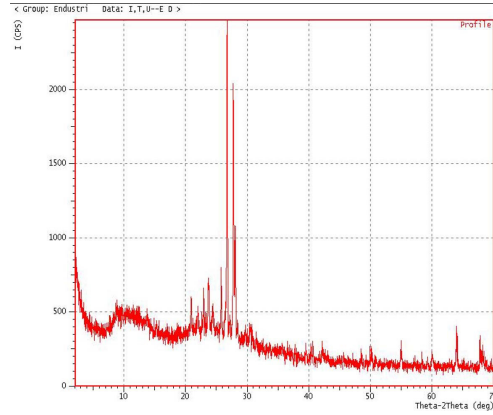
BİLEŞİK	Puzolan (%) Datça top.	7. günde üretilen numune (%)	Element	Puzolan (%) Datça top.	7. günde üretilen numune (%)
SiO₂	75.289	58.934	Si	35.193	27.548
Al₂O₃	15.991	11.510	Al	8.463	6.092
Fe₂O₃	0.984	0.829	Fe	0.689	0.580
Na₂O	2.211	1.361	Na	1.640	1.010
K₂O	3.026	2.408	K	2.512	1.999
CaO	1.222	21.377	Ca	0.874	15.278
CO₂	-	-	O	49.796	45.320
MgO	0.772	2.870	Mg	0.466	1.731
P₂O₅	0.072	0.077	P	0.031	0.034
TiO₂	0.149	0.148	Ti	0.089	0.089
MnO₂	0.047	0.050	Mn	0.030	0.031
Cr₂O₃	0.005	-	Cr	0.004	-
NiO	0.004	0.005	Ni	0.003	0.004
CuO	0.002	-	Cu	0.001	-
ZnO	0.002	0.006	Zn	0.001	0.005
Rb	0.006	0.007	Rb	0.006	0.007
SrO	0.015	0.019	Sr	0.013	0.016
V₂O₅	-	0.022	Cl	0.092	0.078
Y₂O₃	0.002	0.006	Y	0.002	0.005
ZrO₂	0.010	0.015	Zr	0.007	0.011
Nb₂O₅	0.001	0.008	Nb	0.001	0.006
BaO	0.097	0.075	Ba	0.087	0.067
Cl	0.092	0.078			
SO₃	-	0.194			
PbO	-	-			
ThO₂	-	-			
Toplam	100.00	100.00		100.00	100.00
Özgöl ağırlığı(gr/cm³)	2.44	2,42			

Tablo 4.3. Datça Toprağının Kimyasal Analiz Sonuçlarının TS 25'e Göre Karşılaştırılması

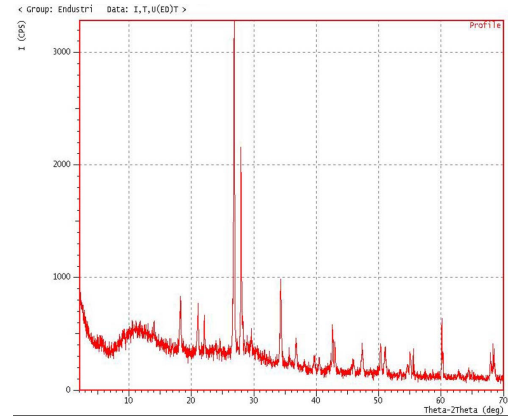
	En Az SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	En Çok MgO	En Çok SO ₃	En Çok Rutubet
TS 25	%70	%5	%3	%10
Datça Toprağı	%92.26	%0.77	-	%0.12

4.1.5. Puzolanın X- Işınları Difraksiyonu XRD İle Minerolojik Analizi

Datça toprağı ve TS 25'e göre üretilen harç malzemenin yarı kalitatif faz analizi (XRD) TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezin'de yapılmıştır. Shimadzu XRD-600 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucunda, numunelerde amorf yapı gösteren bileşikler saptanmıştır (Şekil4.9-4.10). Datça toprağında yapılan incelemeler neticesinde kuvars (SiO₂), feldispat, az miktarda kristobolit (SiO₂) ve amorf yapı gösteren bileşiklerin, Datça toprağından üretilen harçta ise kuvars, feldispat, portlandit, kristobalit ve amorf yapı gösteren bileşiklerin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. Puzolanın XRD Analizi



Şekil 4.10. Puzolan Harcının XRD Analizi

Gerek XRF gerekse XRD analizleri neticesinde, Datça toprağının kireçle reaksiyonu sonrasında puzolanik aktivite ürünü olan bileşik yapıların oluştuğu gözlenmiştir.

4.2. Deneylerde Kullanılan Sönmüş Kirecin Özellikleri

Ömerli Lafarge- Entegre fabrikasından temin edilen sönmemiş kireç, İ.T.Ü Yapı Malzemesi Laboratuvarına getirilmiştir. Sönmemiş kirecin tamamı su içerisinde söndürülmüştür. Kireç dolu kabın ağzı kapatılarak 15 gün süreyle dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlenme sonrasında kirecin içinde bir takım kalıntılar olduğu görülünce, 600µm'luk elekten elenmiş (Şekil 4.11) ve kireç pürüzsüz hale getirilmiştir.

Puzolanik aktivite deneyi için sönmüş kireç içindeki su yüzdesi bilinmelidir. Bu nedenle, elekten elenen sönmüş kireç içerisinde alınan 100 gr' lık malzeme porselen bir kaba konularak 105°C de etüve alınmış ve değişmez kütleye kadar malzeme etüv içinde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan kireç, desikatöre alınarak bir saat soğumaya bırakılmıştır. Desikatörden çıkarılan kireç, 0,01 gr hassasiyetli terazide tartılmış ve içerisindeki su miktarı yüzdesi saptanmıştır.



Şekil 4.11. Kirecin 600µm' luk Elekten Elenmesi

Tablo 4.4. Kullanılan Sönmüş Kirecin Kuru Kireç Yüzdesi

Etüv öncesi;	Etüv sonrası;
Sönmüş kireç + porselen kap = 301,95gr	Sönmüş kireç + porselen kap = 242,85 gr
Su miktarı = 301,95 – 242,85= 59,1 gr Su miktarı= %59,1	Kuru kireç miktarı = 40,9 gr Kuru kireç miktarı= %40,9

4.2.1. Sönmüş Kirecin Özgöl Kütle

Sönmüş kireç TS 699'a göre etüvde kurutulduktan sonra agat havanda öğütülmüş (şekil 4.10) ve özgöl kütle deneyi yapılmıştır.

Tablo 4.5. Deneyde Kullanılan Sönmüş Kirecin Özgöl Kütle Hesabı

Boş cam kap + cam lamel(gr)	su dolu cam kap + cam lamel(gr)	Kuru kireç kütlesi(gr)	Cam kap+kireç+su+cam lamel(gr)	Özgöl kütle Hesabı	Sonuç gr/cm ³
159,28	342,89	20	353,95	$342,89+20=362,890$ $362,890-353,95=8,94$ $20/8,94=2,23$	2,23



Şekil 4.12. Agat Havanlı Cihaz

Sonuç olarak söndürülmüş kirecin özgöl kütlesi 2.23 gr/cm³ bulunmuştur (Tablo 4.5).

4.2.2. Kirecin Kimyasal Özelliği

Kireç ile ilgili kimyasal analiz bilgilerine Lafarge'ın internet sitesinden ulaşılmıştır[39]. Kireç ile ilgili çalışma kapsamında ayrıca bir kimyasal analiz yapılmamıştır.

Tablo 4.6. Deneyde Kullanılan Kirecin Kimyasal Analiz Sonuçları [39]

	SiO ₂ %	Metal oksitler R ₂ O ₃ %	CO ₂ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %
Kireç	1	0,5	5	85	1,5	0,8

4.3. TS 25'e Göre Puzolanik Aktivite Deneyi

Tezin bu kısmında Datça bölgesinden getirilen toprak malzemenin puzolan yapısını içerip içermediğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu araştırma için öncelikle TS-25 de belirtilen puzolanik aktivite deneyinin yapılmasına karar verilmiştir. Sonuçların olumlu çıkmasından ötürü ön deneysel çalışmalar uzatılmış ve 55°C olan etüv koşulu 70°C'ye, 7 gün olan bekleme süresinin 14 güne çıkmasına ve harca katılan su miktarının değiştirilmesine karar verilmiştir. Böylelikle yapılan değişikliklerin mukavemete nasıl etki edeceği araştırılmıştır. TS 25'e göre yapılan numuneler kontrol numunesi olarak kabul edilmiştir. Ön deneysel çalışmaların değerlendirmesinde, diğer numuneler kontrol numunesiyle karşılaştırılmıştır.

4.3.1. Karışım Hesapları ve Kür Koşulları

Trasın puzolanik aktivite deneyi; puzolan, sönmüş kireç, standart kum ve su karışından oluşan numuneler tarafından gerçekleşir (Şekil 4.13). Üç adet deney numunesi hazırlamak için karşıma giren malzemelerin miktarı aşağıdaki Tablo 4.7'e göre düzenlenir [34]. Her deney için en az 3 numune hazırlanmıştır.

Deneylerde Set Çimento firmasından temin edilen 1350±5 gr'lık torbalarda muhafaza edilen Rilem–Cembureau standart kumu kullanılmıştır. Standart kumun granülometrik dağılımı Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. TS 25' e Göre Puzolanik Aktivite Deneyi İçin Karışım Miktarı

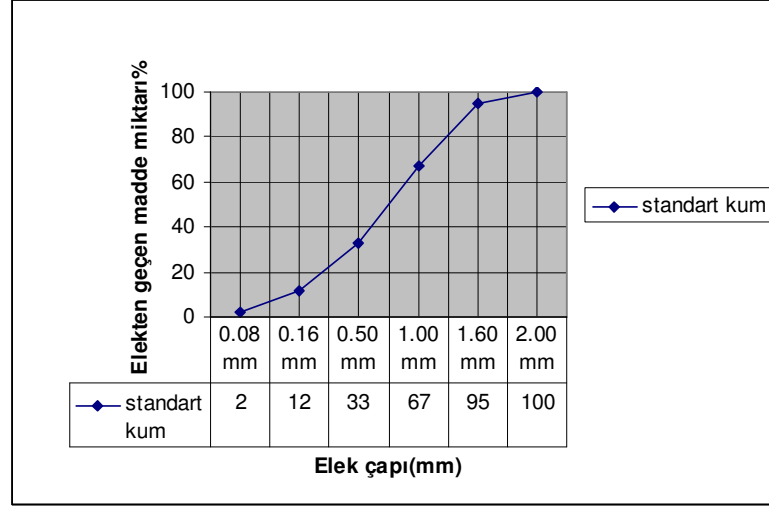
Malzeme cinsi	Alınacak miktar, g
Sönmüş kireç (kuru Ca(OH)_2)	150
Tras	2×150 tras özgül ağırlığı/sönmüş kireç özgül ağırlığı = T
Standart kum (TS 819)	1350
Su	$0,5 (150 + T)$

Araştırmanın ilk safhasında TS 25 göre 9 adet numune hazırlanmıştır. Bunlar;

3 adet kontrol numunesi (TS 25)

3 adet 70 °C'deki etüv numunesi

3 adet 14 gün bekleme süresi numunesi olacak şekilde karışım hesapları yapılmıştır.



Şekil 4.13. Standart Kumun Granülometrik Dağılımı

Araştırmanın ikinci kısmında harca katılan su miktarı azaltılarak, harcın s/k (su/katı) oranı azaltılmış ve tekrar TS 25'e göre 3 adet numune hazırlanmıştır. İki kere TS 25'e göre hazırlanan karışımların madde miktarları ve oranı Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Numuneler kalıplara yerleştirildikten sonra nemini kaybetmesi için plastik torbalara konulmuştur. Üretilen numunenin kalıpları 4×4×16 cm'lik standart kalıplardır. Plastik torba içerisine konmuş numuneler oda sıcaklığında bir gün bekletilmiştir (Şekil 4.14-15). Numuneler 24 saat oda sıcaklığında muhafaza edildikten sonra kalıplar sökülmeden 12 adet numune 55°C'ye ve 3 adet numune 70°C lik etüv içerisinde 6 gün bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler, kalıplarından sökülerek 4 saat sonra eğilmede çekme ve basınç deneylerine tabii tutulmuştur. Üç adet numune 7. günün sonunda kırılmadan bir hafta ortam koşullarında (23°C %44 bağıl nem) bekletildikten sonra kırılmıştır. Numuneler kırılmadan önce her bir numuneye kod verilmiş ve mekanik dayanım hesapları için gerekli olan numunelerin kenar uzunluk ölçüleri not edilmiştir (Şekil 4.16-19).

Tablo 4.8. Karşım Miktarları

Karışım 3 numune için	Sulu kireçteki kuru kireç oranı (%)	Sulu Kireç miktarı (gr)	Kuru kireç miktar (gr)	Puzolan miktarı (gr)	Standart kum (gr)	Harca katılan su miktarı	Harçtaki puzolan oranı (%)	Su /Katı (%)
TS25'e göre×3	40,9	366,74×3	150×3	328,25×3	1350×3	120×3	15,16	18,41
TS25'e göre	44,2	339,36	150	328,25	1350	75	15,68	14,45



Şekil 4.14. Harcın Hazırlanması



Şekil 4.15. Harcın Kalıplara Konması



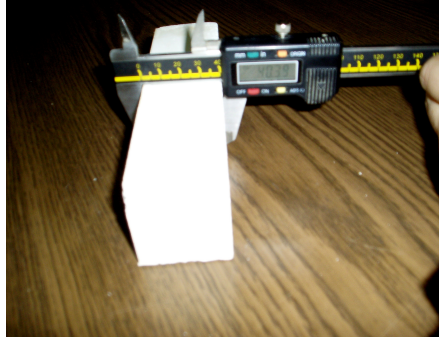
Şekil 4.16. Numunelerin Polietilen (pe) Torbalarda Muhafaza Edilmesi



Şekil 4.17. Numunelerin Etüve Yerleştirilmesi



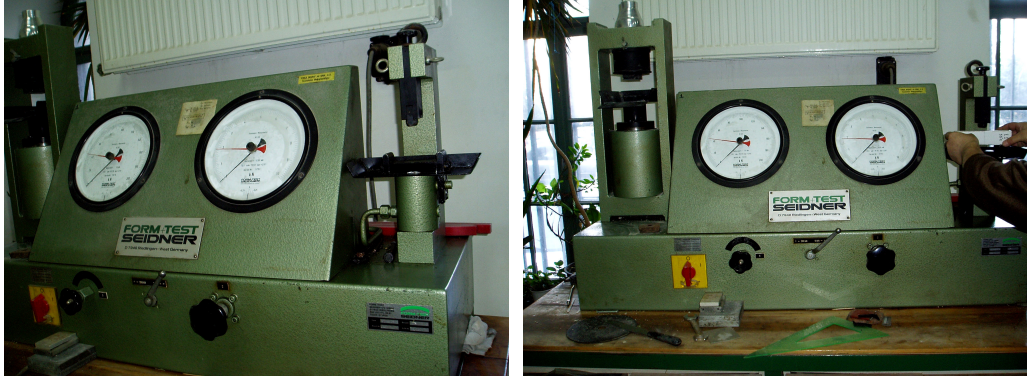
Şekil 4.18. Etüvden Çıkarılan Numuneler ve Numunelerin Kodlanması



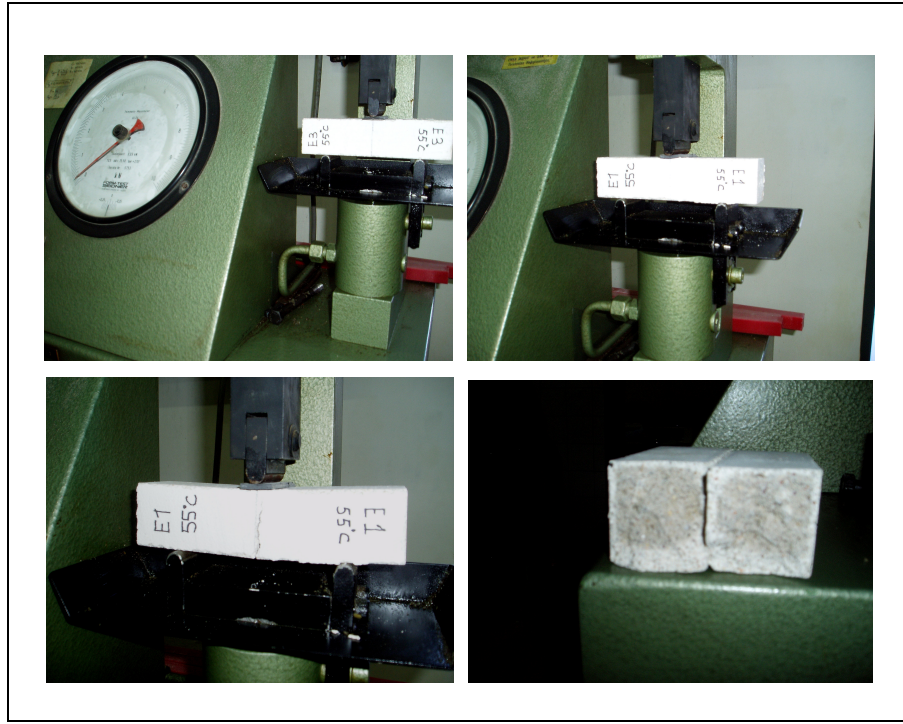
Şekil 4.19. Numunelerin Ölçülmesi

Eğilmede çekme deneyi, TS 24'e uygun olarak İ.T.Ü Yapı Malzemesi Laboratuvarında Form+Test Seidner marka, basınç dayanım kapasitesi 200kN, eğilmede çekme dayanımı 10 kN kapasiteli basınç için 1 kN eğilmede çekme için 0,05 kN hassasiyetindeki alet ile yapılmıştır. Eğilmede çekme aletinin yükleme düzeni birbirinden 100 mm uzaklıkta olan 10mm çaplı iki destek silindirden ibarettir. Bu iki silindirin tam orta yerinde aynı çaplı üçüncü bir yükleme silindiri vardır. Bu üç silindirin eksenlerinden geçen düşey düzlemler birbirine paralel olarak ve deney süresince paralel kalacak şekilde sabit tutulmuştur. Destek silindirleri ve yükleme silindiri prizma üzerinde yükün uniform şeklinde dağılımını sağlayacak ve burulma gerilimi meydana getirmeyecek biçimde kendi merkezi etrafında olmasına dikkat edilmiştir.

Harç prizmaları, kalıptan çıkmış yan yüzlerinden biri üzerine ve uzunluğuna eksenini destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde destek silindirler üzerine konulmuştur. P yükü yüklenici silindirler vasıtasıyla ile karşı yüzden dik olarak uygulanmış ve yükleme hızı saniyede 0,5 N/mm² olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.20. Eğilmede Çekme ve Basınç Aleti



Şekil 4.21. Numunelerin Eğilmede- Çekme Aletinde Kırılması



Şekil 4.22. Eğilmede Çekme Deneyi Sonrasında Kırılan Harç Numuneler

Eğilmede çekme mukavemeti σ_R aşağıdaki bağıntı ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır [37].

$$\sigma_R = 1,5 \times \frac{PL}{b \times h^2} \quad h=b \quad (5)$$

b = prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, (cm) , 4 cm

P = prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N

L = destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık, cm, 10 cm

Eğilmede çekme tayininde iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar, presin alt ve üst tablaları arasına yerleştirilen kırma başlığı yardımı ile kırılır. Kırma başlığının herhangi bir sürtünmeye neden olmadan prizmaya iletilmesine dikkat edilmiştir. Yükleme, basınç saniyede 1- 2 N/mm² artacak şekilde ayarlanmıştır [37].



Şekil 4.23. Eğilmede Çekme Mukavemeti Sonrası Basınç Deneyi

TS 25'e göre, kireç-puzolan karışımı ile hazırlanan deneme numunelerin 7 günlük eğilmede çekme dayanımı en az 1N/mm² ve 7 günlük basınç dayanımı en az 4 N/mm² olmalıdır.

4.3.2. Ön Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Puzolanik aktivite deneyine ait sonuçlar Tablo 4.9’da yer almaktadır.

Datça bölgesinden getirilen toprak malzeme, TS 25’de belirtilen puzolanik aktivite deneyine göre olumlu sonuç vermiştir. Eğilmede çekme dayanımı, standartta verilen sınır değere yakınken, basınç dayanımı standartta verilen değer yaklaşık %50 üstünde çıkmıştır. Bunun yanı sıra harca katılan sönmüş kireç kalitesinin arttırılmasıyla sonuçların daha yüksek çıkacağı düşünülmektedir. Bir hafta sonra kırılan numune içlerinin, hala nemli olduğu görülmüştür (Şekil 4.22). Üretilen numunelerin, bekleme süresinin artmasıyla mekanik dayanım sonuçlarının da artacağı tahmin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan puzolan (Datça toprağı) maddesinin, puzolanik aktivite deneyi yapılmış olan diğer doğal puzolanlarla karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 4.10’da yer almaktadır.

Tablo 4.9. Puzolanik Aktivite Sonuçları [30]

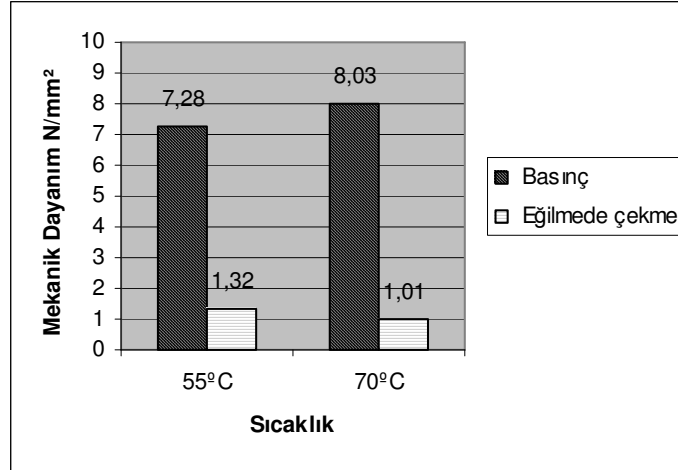
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)		
	7 gün(TS 25)	14 gün	70°C	7 gün (TS 25)	14 gün	70°C
TS 25	≥4	-	-	≥1	-	-
Karışımındaki su oranı %18,41	7,28	8,86	8,03	1,32	1,20	1,01
Karışımındaki su oranı %14,45	8,10	-	-	1,20	-	-

Bu karşılaştırmayla Datça toprağının diğer bölgelerdeki puzolanik özelliğe sahip topraklara göre bağlayıcılık özelliği yönünden ne durumda olduğu tespit edilebilir. Tablo4.10’e göre Datça toprağı; Türkiye’deki mevcut puzolan hammadde kaynaklarının niteliği ile kıyaslandığında yüksek bağlayıcılık özelliğe sahip puzolan olduğu ortaya çıkmaktadır.

Etüv sıcaklığının 55°C’den 70°C çıkarılmasıyla malzemenin mukavemetinde değişiklik olduğu saptanmış ve aynı şartlarda 70°C de etüvde bekletilen malzeme 55°C ye oranla basınç dayanımı %10.30 oranında artmıştır. Buna karşılık eğilmede çekme dayanımı, %23,48 oranında düşüş olmuştur (Şekil 4.25).

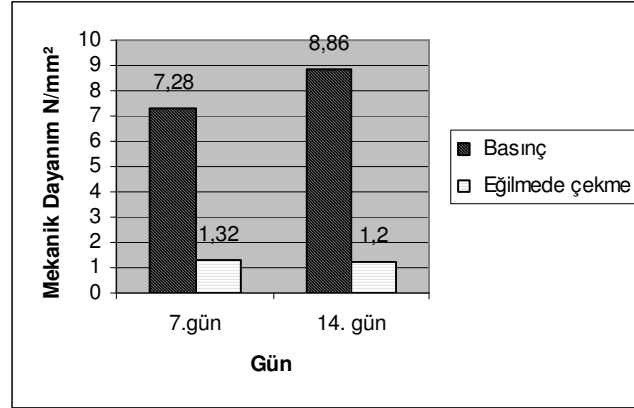
Tablo 4.10. Datça Toprağının Diğer Bölgelerdeki Puzolanik Yapıya Sahip Topraklarla TS 25'e Göre Puzolanik Aktivitesinin Karşılaştırılması

Yapılan araştırma	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Eğilme dayanımı (N/mm ²)
Nazım Koçu; Konya Çevresi(7)	15.31	3.03
Hanifi Binici, Pomza(9)	11- 15	2.8- 4.1
M. Öztürk; Yenişehir-İznik(7)	11.0	2.5
Mehmet Bulgu; Perlit(12)	10.20	3.0
M. Karagüler; Sünger Taşı(7)	10.0	2.60
M. Kuşcu; Isparta Çevresinde(7)	10.0	2.30
P. Sarıbaş; Niğde Yöresi(7)	9.25	2.19
Datça toprağı	8.10	1.20
L. Tanaçan-Ham Perlit (30)	7.49	1,27
F.Esenli(7)	2,12	1,81



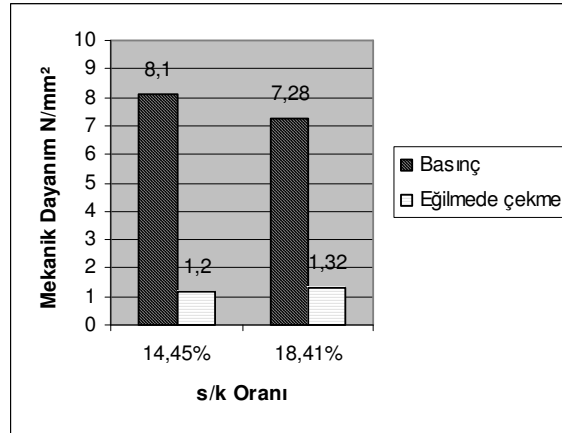
Şekil 4.25. Farklı Sıcaklıktaki Etüv Şartlarının Puzolanik Aktiviteye Etkisi

Bütün şartların ve etüv koşullarının aynı olması durumuna karşılık malzemenin bir hafta daha ortam koşullarına bırakılmasıyla basınç dayanımında, %21,70 oranında artış olurken, eğilmede çekme dayanımında %10 oranında düşüş olduğu görülmüştür (Şekil 4.26). Basınç dayanımında artış olurken eğilmede çekme dayanımının azalmasının nedeni olarak, malzeme bünyesinin kurumasıyla birlikte oluşan rötrel çatlaklarının eğilmede çekme dayanımını olumsuz şekilde etkilerken basınç dayanımına fazla miktarda etki edemeyişi olarak açıklanabilir.



Şekil 4.26. Farklı Zaman Koşullarının Puzolanik Aktiviteye Etkisi

Bir başka merak edilen husus harca katılan su miktarının değişmesiyle puzolanik aktivitenin etkilenip etkilenmediği olmuştur. Bu sebeple %18,41 olan harcın s/k oranı %14,45'e düşürülmüştür. Harcın s/k oranının %18,41'den %14,45'e düşmesiyle basınç dayanımı, %11,26 oranında artarken eğilmede çekme dayanımı, %10 oranında azalmıştır (Şekil 4.27). Sonuç olarak harcın s/k oranının %4 dolayında azaltılmasıyla, harcın basınç dayanımı yaklaşık %11 seviyesinde artmıştır.



Şekil 4.27. Farklı (s/k) Oranının Puzolanik Aktiviteye Etkisi

Sonuç olarak Datça toprağının puzolan özelliğine sahip bir toprak olduğu görülmüştür. Kür koşullarının ve harca katılan su miktarının değişmesiyle puzolanik aktivite değeri değişmiştir. Bundan sonraki çalışmada bu faktörler göz önünde tutularak, kumsuz üretilecek numunelerin kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), madde miktarı ve su oranı ilişkisi kontrollü ve daha detaylı bir şekilde ele alınıp puzolanik aktivitenin bu etkiler karşısında nasıl etkileneceği incelenecektir.

5. ÜRETİM ve DENEYLER

Bu bölümde, ön deneyler neticesinde puzolanik aktivite özelliği gösterdiği tespit edilen Datça çevresindeki volkanik tüflerin, bağlayıcılık özelliğinin geliştirilmesinde rolü olan; etüv sıcaklığı, koruma koşulu ve madde miktarı faktörlerinin incelenmesi ve birbirleriyle kıyaslanmasının deney yöntemleriyle belirlenmesine karar verilmiştir. Deneyler üç başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

1-Fiziksel Deneyler	2- Mekanik Deneyler	3-Termogravimetrik Analiz
Özgül Kütle Birim Hacim Kütle Ultrasen Hızı Hacimce Su Emme Kütlece Su Emme Porozite/ Kompozite Buhar Geçirgenlik	Basınç Dayanımı Eğilmede Çekme Dayanımı	Mamül Maddenin Diferansiyel Termal Analizi : DTA-TG

5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması, Kodlanması ve Deney Programının Oluşturulması

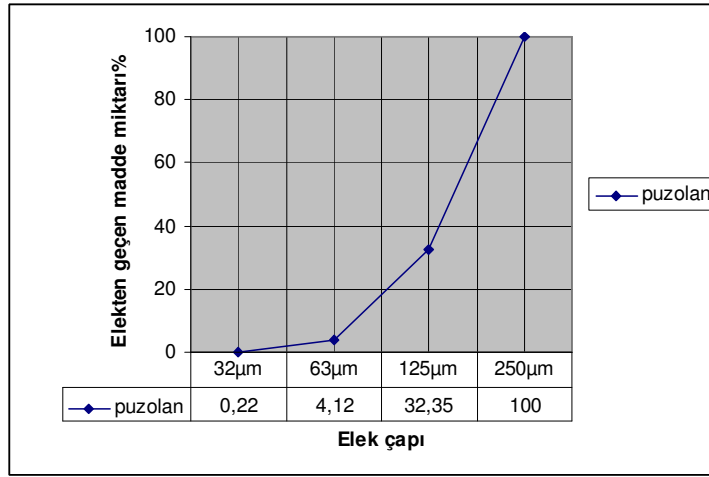
Deneyler, sönmüş kireç ve puzolandan oluşan karışım ile hazırlanmış ve karışıma kum ilave edilmemiştir (Şekil 5.2). Karışıma giren maddelerin, miktarı ve oranı Tablo 5.1’de verilmiştir. Üretilen kumsuz numunelerin, puzolan miktarı sabit tutulup sönmüş kireç miktarı % 5 oranında azaltıp eksiltirilmiştir. Yapılan literatür araştırması sonucunda, üretilen numunelerin k.kireç/puzolan oranının %30,%35 ve %40 olması sağlanmıştır. [7],[19].

Tablo 5.1. Kumsuz Üretilen Numunelerin Karşım Oranları (3 adet numune için)

Kuru Kireç/ Puzolan (%)	% Su/K.K+Puzolan (Kati) (%)	K.Kireç/Puzolan (gr)	Sönmüş Kireç (gr)
30	33	270/900	662
35	37	315/900	772
40	41	360/900	882

Karışıma giren su miktarının puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu yapılan ön deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür. Bu nedenle öncelikle, farklı puzolan- kireç karışımı (%30,35 ve 40) oranları için ideal su miktarının ne olması gerektiği araştırılmıştır. Bundan dolayı her bir karışım oranı için 3 farklı su miktarı denenmiş ve sonrasında TS 25'e göre yapılan mekanik dayanım testinde, en yüksek dayanımı gösteren su miktarı kabul edilmiştir (Tablo A.1). Böylece üretilecek numunelerin su oranlarının sabit kalmasına dikkat edilmiştir. Hamura katılan su miktarı, yoğurma suyu kıvamında olup el ve göz muayenesine göre gerekli olan su miktarı karışıma ilave edilmiştir. Mekanik dayanım sonuçlarına göre, %30 k.kireç/puzolan oranı için %33, %35 k.kireç/puzolan oranı için %37 ve %40 k.kireç/puzolan oran için %41 su oranı belirlenmiştir.

Ön deneylerde kullanılan 90 μ m'luk elek yerine kumsuz üretilen numunelerde 211 μ m'luk elekten geçen toz halindeki puzolan katılmıştır. 211 μ m'luk elekten geçen puzolan maddesinin granülometrik dağılımı Şekil 5.1'de ifade edilmiştir.



Şekil 5.1. Deneylerde Kullanılan 211 μ m'luk Elekten Geçen Puzolanın Granülometrik Elek Analizi[37]

Karışım için hazırlanan malzemeler 20 $\pm$ 3 °C ortamda karıştırılmış ve karışımların özellikle homojen olmasına özen gösterilmiştir. Harçlar 4x4x16 cm'lik kalıplara yerleştirilmiş ve 7 gün boyunca pe torba içerisinde 100 ml su ile birlikte kürlenmiştir (Şekil 5.3).

Üretilen her bir seriden 6 adet numune üretilmiştir Bunların 3 adeti fiziksel deneyler 3 adeti ise mekanik deneyler için oluşturulmuştur.



Şekil 5.2. Puzolan ve Sönmüş Kireçten Oluşan Karışımın Hazırlanması

Numunenin kodlanması; [30/33/55/07-1] önce k.kireç/puzolan oranı, ikincide harcın s/k (su/katı) oranı, daha sonra sırasıyla sıcaklık ve gün yazılmıştır. Bu numaralama sisteminde malzeme numune sayısı 3 adet olduğundan, 1den 3'e kadar numara verilmiştir.



Şekil 5.3. Hamurun Kalıba Yerleşmesi ve PE Torba İçerisinde Kürlenmesi

Deneyler 3 kategori altında incelenmiştir.

1. Kategori

Üretilen 4×4×16 cm boyutlarındaki prizmatik numunelerin, 7 gün süresince farklı etüv sıcaklığının (55,70 ve 90°C) mekanik ve fiziksel özelliğe etkisi ve bu etkinin incelenerek birbirileriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bir hafta boyunca farklı sıcaklık ortamında kürlenmiş numunelere 7. günde mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Bu kategoriye ait kodlama aşağıdaki gibidir.

30/33/55/07- 30/33/70/07- 30/33/90/07

35/37/55/07- 35/37/70/07- 35/37/90/07

40/41/55/07- 40/41/70/07- 40/41/90/07

2. Kategori

Sabit dış ortam koşulunda (23 ± 2 °C %68 bağıl nem) muhafaza edilen numunelerin, 7,28 ve 90. gündeki mekanik ve fiziksel özelliğindeki değişimin incelenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu kategoriye ait kodlama aşağıdaki gibidir.

30/33/23/07- 30/33/23/28- 30/33/23/90

35/37/23/07- 35/37/23/28- 35/37/23/90

40/41/23/07- 40/41/23/28- 40/41/23/90



Şekil 5.4. Sabit Dış Ortam Koşullarında Bekletilen Numuneler
(23°C %68 bağıl nem)

3033-3537-4041 oranlarınca hazırlanan karışım numuneler bir hafta pe torba içerisinde (23°C % 90 bağıl nem) muhafaza edildikten sonra 28. ve 90. güne kadar sabit dış ortam koşullarında bekletilmiştir (şekil 5.4).

3. Kategori

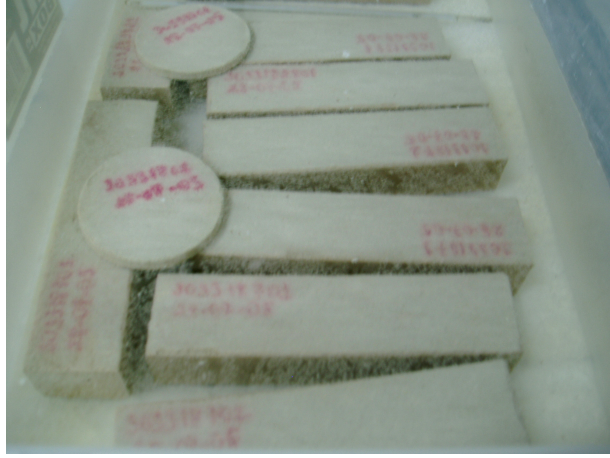
Numunelerin su içerisindeki 7, 28 ve 90. gündeki mekanik ve fiziksel özelliğindeki değişimin incelenmesi ve birbirleriyle kıyaslanmasını kapsamıştır. Bu aşamaya ait kodlama aşağıdaki gibidir.

30/33/20/07- 30/33/20/28- 30/33/20/90

35/37/20/07- 35/37/20/28- 35/37/20/90

40/41/20/07- 40/41/20/28- 40/41/20/90

3033-3537-4041 oranlarınca hazırlanan karışım numuneler bir hafta pe torba içerisinde (23°C % 90 bağıl nem) muhafaza edildikten sonra 7. günde 20±2 °C sıcaklığındaki su içerisine yerleştirilmiş ve 28. ve 90. güne kadar su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 5.5). Suyun, 90. güne kadar her iki haftada bir değişmesine özen gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Numunelerin Su İçerisinde Bekletilmesi

Deney sonuçları değerlendirme kısmında fotoğraf ve grafik olarak sunulmuştur. Sayısal sonuçlar ise ekler bölümünde yer verilmiştir.

5.2. Fiziksel Deneyler ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Fiziksel deneyler TS 699'a göre tanımlanmış ve yapılmıştır. Fiziksel analiz sonuçları 3 adet deney numunesinin ortalaması alınarak bulunmuştur.

5.2.1. Özgül Kütle

Bir malzemenin özgül kütlesi, daima birim hacim kütesinden büyük olmakta, ancak hiç boşluksuz bir malzeme ise bu iki kütle birbirine eşit olmaktadır [7].

Deney için numuneler, kırılarak porselen bir kapta öğütülmüş ve 211µm elekten elenmiştir. 105°C etüvde değişmez kütleye kadar malzeme kurutulmuştur. Daha sonra malzeme desikatör içinde soğutulmuştur. Her cins numuneden 40 gr tartılmış ve araştırmanın 4.1.1. bölümünde açıklanan özgül kütle deneyi ve hesabı yapılmıştır. Özgül kütle deneyi üç defa tekrar edilerek çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Mamül malzemeleri için çıkan özgül kütle sonuçları aşağıdaki gibidir.

3033 = 2,23 gr/cm ³
3537 = 2,23 gr/cm ³
4041 = 2,22 gr/cm ³

5.2.2. Birim Hacim Kütle

Bu deneyle, numunelerin boşlukları ile birlikte birim hacminin kütlesi tayin edilir.

Numuneler 105°C etüv sıcaklığında değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Deney numunelerinin hacimleri, boyutlarından hesaplanarak bulunur. Deney numunelerinin boyutlarının her biri, birbirine dik doğrultuda olmak üzere ikişer defa 0,5 mm hassasiyetle ölçülüp bunların aritmetik ortalamaları alınarak bulunmuştur. Bulunan ortalama boyutlardan deney numunelerinin hacimleri hesaplanmıştır [35]. Sonuçlar Tablo A.2’de verilmiştir.

Numunelerin hacim kütlesi,

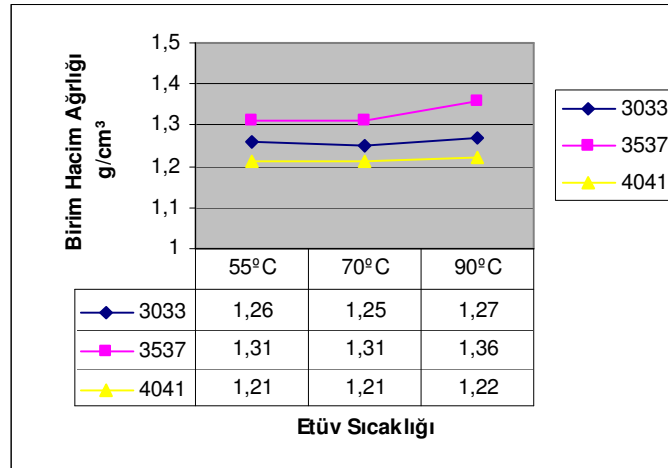
$$dh = G_k / V \quad (6)$$

dh = Taşın hacim kütlesi (g/cm³)

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)

V = Deney numunesinin hacmi (cm³)

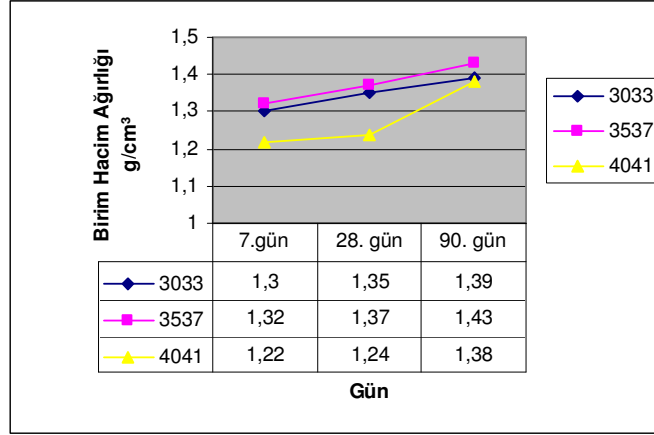
Yapılan birim hacim ağırlık deney sonuçları aşağıda grafiklerle açıklanmaktadır.



Şekil 5.6. Farklı Etüv Şartlarına Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri

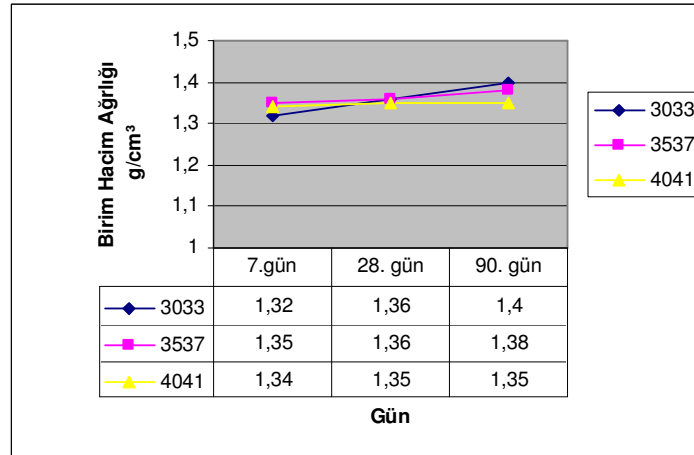
Yukarıdaki grafiğe göre (Şekil 5.6) etüv sıcaklığının artmasıyla birim hacim ağırlığı artmıştır. 3537 oranındaki karışım numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri, diğerlerine oranla daha yüksektir. 3033'lük numuneler için birim hacim ağırlığı

sıcaklığa göre 1,25- 1,27 gr/cm³ arasında değişirken, 3537 numuneler için 1,31- 1,36 gr/cm³ ve 4041 numuneler için 1,21-1,22 gr/cm³ arasında değişmiştir.



Şekil 5.7. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Sabit dış ortam koşullarında bekletilen numunelerin, zamanla birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı gözlenmiştir. 3033'lük numuneler için birim hacim ağırlığı zamana göre 1,3- 1,39 gr/cm³ arasında değişirken, 3537 numuneler için 1,32-1,43 gr/cm³ ve 4041 numuneler için 1,22-1,38 gr/cm³ aralığında değişmiştir. 4041 numunelerin 7. günden 90. güne kadar olan birim hacim ağırlık artışı %13,11 iken 3537 numunelerin birim hacim ağırlık artışı %8,33, 3033 numunelerin ise %6,92 olmuştur. Birim hacim ağırlıktaki artış yüzdesine bakarak, sabit dış ortam koşullarında, karışıma giren su yüzdesinin artmasıyla zamanla birim hacim ağırlığında daha fazla artış olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.8. Su İçerinde Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Su içerisinde bekletilen numunelerin birim hacim ağırlığı, zamanla artmaktadır. 3033 kodlu numunelerin birim hacim ağırlığı, 7. günde diğerlerine göre daha düşükken 90. günde daha yüksek çıkmış ve 3033 oranında hazırlanan karşım numuneler için birim hacim ağırlığındaki değişim, 7. günden 90. güne kadar %6,06, 3537 ve 4041 numuneleri için bu değer %1,50 seviyesinde olduğu görülmüştür. 3033'lük numuneler için birim hacim ağırlığı zamana göre 1,32- 1,40 gr/cm³ arasında değişirken, 3537 numuneler için 1,35-1,38 gr/cm³ ve 4041 numuneler için 1,34-1,35 gr/cm³ aralığında değişmiştir.

5.2.3. Ultrases Hızının Belirlenmesi

Numunelerin ultrases hızının belirlenmesi için i.t.ü mimarlık fakültesi yapı malzemesi laboratuvarında WTW-DIGI EG-C2 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 5.9). çalışmada ses geçiş süresi ölçülerek iç yapı hakkında bilgilenmek amaçlanmıştır. Ses geçiş süresinden hızın belirlenmesi aşağıdaki bağıntıdan hesap edilir.

$$V = L / t \text{ (m/s)} \quad (7)$$

$$V = \text{Hız (dk)}$$

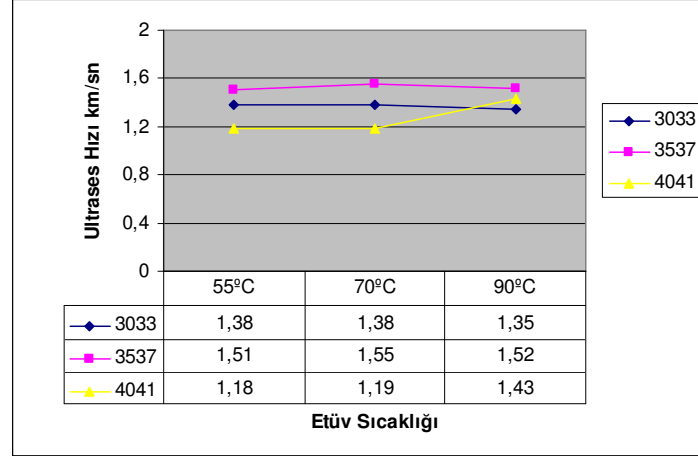
$$L = \text{Numune Boyu (m)}$$

$$t = \text{Zaman (s)}$$

4×4×16 cm ölçülerindeki numunelerin iki ucundan yerleştirildiğinde iki tarafından eşit miktarda kuvvet uygulanmıştır. Numunenin iki tarafında bulunan boşlukları vazalin ile doldurularak değerler okunmuştur. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerle ifade edilmiştir.



Şekil 5.9. Ultrases Cihazı

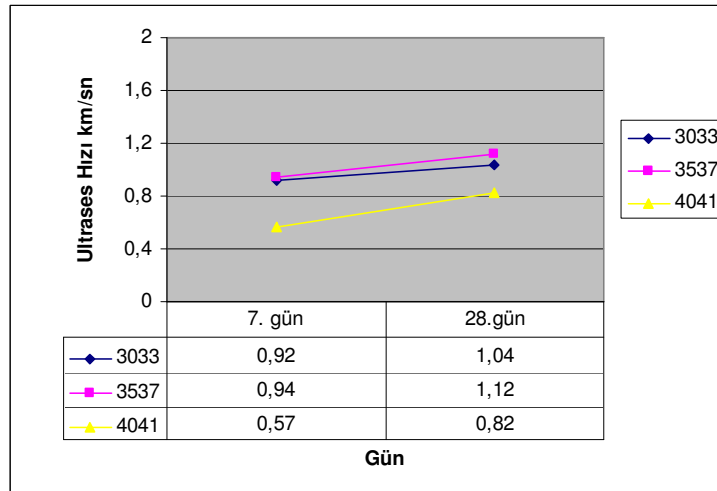


Şekil 5.10. Farklı Sıcaklık Şartlarına Göre 7. Gündeki Ultrases Değerleri

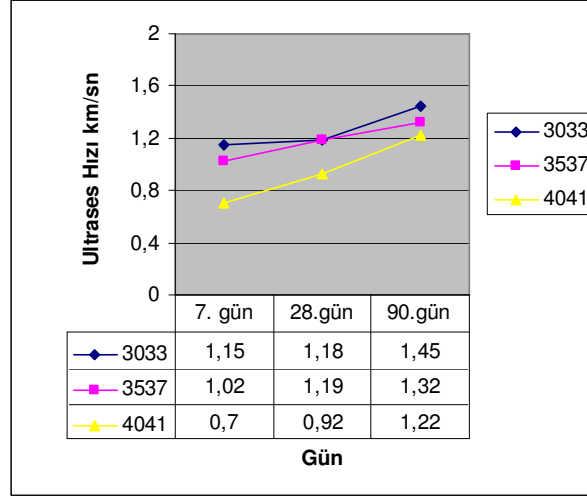
Etüv sıcaklığının 55°C' den 70°C' ye çıkarılması durumunda, her üç karışım içinde ultrases hızı artmıştır. Ancak etüv sıcaklığının 90°C olması halinde, 3033 ve 3537

kodlu numunelerin ultrases hızı azalırken 4041 kodlu numunelerin ultrases hızı artmaya devam etmiştir. En düşük ultrases hızı değeri (1,18 km/sn), 55°C' deki 4041 karışım oranındaki numuneler olurken en yüksek ultrases değeri (1,55 km/sn), 70°C' deki 3537 kodlu numuneler olmuştur.

Sabit dış ortam koşullarında, numunelerin 90. gündeki ultrases hızı ölçümleri, numunelerde meydana gelen kırılmalar ve parçalanmalar nedeniyle yapılamadı. Numuneler 7. günden 28. güne kadarki süreç içerisinde ultrases hızı artmıştır. 3537 kodlu numunelerde zamanla ultrases hızı daha yüksektir.



Şekil 5.11. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Ultrases Hızı Değerleri



Şekil 5.12. Su İçerisinde Zamana Göre Ultrases Hızı Değerleri

Her üç karışım içinde su içerisinde zamanla numunelerin ultrases değeri artmıştır. En yüksek ultrases değerine sahip numune, 90. gündeki 3033 kodlu numuneler (1,45km/sn) iken en düşük ultrases hızı değeri 7. gündeki 4041 kodlu numunelerin (0,7 km/sn) olmuştur.

5.2.3.1. Ultrases Hızı İle Elastisite Modülünün Bulunması

İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi laboratuarında mevcut WTW DIGI EG-C2 marka dijital ultrases cihazı kullanılarak numunelerin iki ucu arasından ultrases geçiş süresi okunmuştur. Buradan elde edilen sonuçlar ile elastisite modülü hesap edilmiştir. Elastisite modülü aşağıdaki formül yardımıyla hesap edilir.

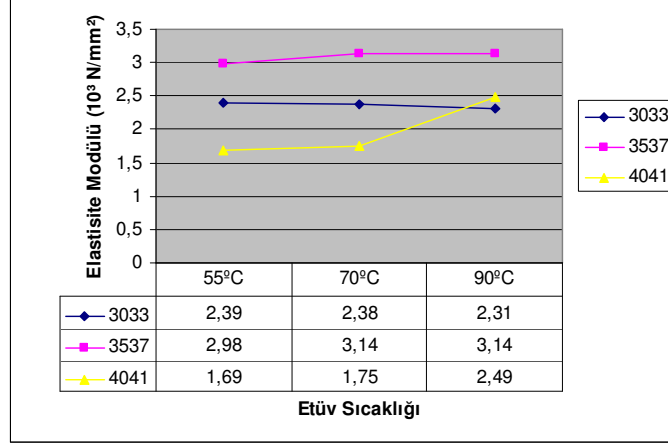
$$E = V^2 \times \rho \times 10^3 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (8)$$

E= Elastisite Modülü (N/mm²)

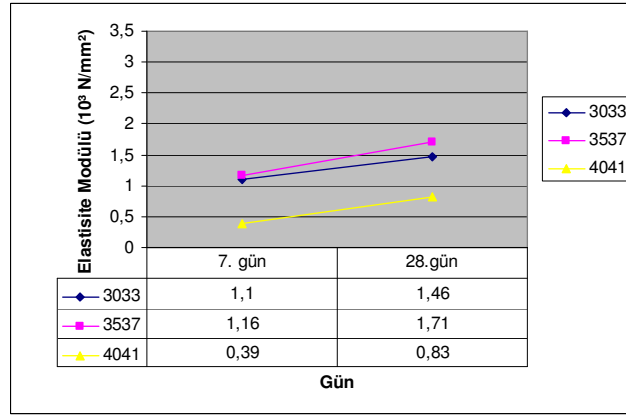
V= Ultrases hızı (km/sn)

ρ = Yoğunluk (gr/cm³)

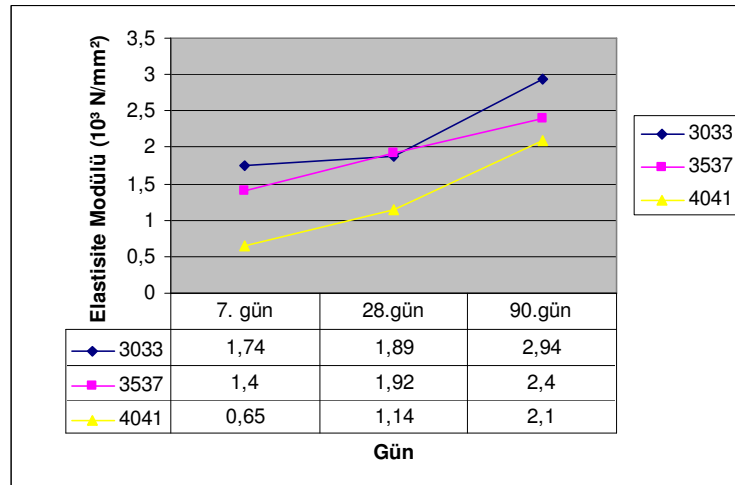
Deney sonuçları aşağıdaki grafiklerle ifade edilmektedir.



Şekil 5.13. Farklı Sıcaklık Şartlarına Göre 7. Gündeki Elastisite Modülü Değerleri



Şekil 5.14. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Elastisite Modülü Değerleri



Şekil 5.15. Su İçerisinde Zamana Göre Elastisite Modülü Değerleri

5.2.4. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi küttele ve hacimce olmak üzere iki şekilde hesap edilmiştir.

5.2.4.1 Küttele Su Emme

Üretilen deney numunelerinin kılcallık deneyi sonunda yüzeyi iyice temizlendikten sonra, içinde $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta su bulunan uygun büyüklükte ve derinlikte kap içerisine, numuneler yüksekliğinin yaklaşık 1/4'üne kadar suya daldırılır. Bu durumda 1 saat bekletildikten sonra 1/2'sine kadar suya batacak şekilde su ilave edilir ve 1 saat daha bekletilir. Aynı şekilde 3/4'ü kadar suya batacak şekilde su ilave edilerek 1 saat bekledikten sonra deney numuneleri su içine tamamen batacak şekilde su ilave edilir. Bu durumda 45 saat süre ile bekletilir. Bu süre zarfında kaptaki su yüksekliğinin deney numunelerinin üzerini yaklaşık 1,5-2 cm örtecek seviyede olması ve deney numuneleri üzerinde oluşan hava kabarcıklarının giderilmesine dikkat edilir. Deneyin başlangıcından itibaren 48 saat sonunda sudan çıkarılan deney numuneleri, ıslatılarak sıkılmış bir bezle silinerek üzerindeki su damlaları alındıktan sonra, beklemeksizin 0,01gr hassasiyetle tartılmıştır (Gd). Bundan sonra doymuş haldeki deney numuneleri Arşimet terazisinde 0,1 g hassasiyetle tartılarak, su içindeki kütlesi bulunmuştur (Gds). Daha sonra deney numuneleri değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatör içinde soğuduktan sonra 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütlesi bulunmuştur [35].

Numunelerin küttele su emme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Sk = \frac{Gd - Gk}{Gk} \times 100 \quad (9)$$

Sk= Küttele su emme oranı (m/m, %)

Gd= Doymuş haldeki kütle (g)

Gk= Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzeme kütlesi (g)

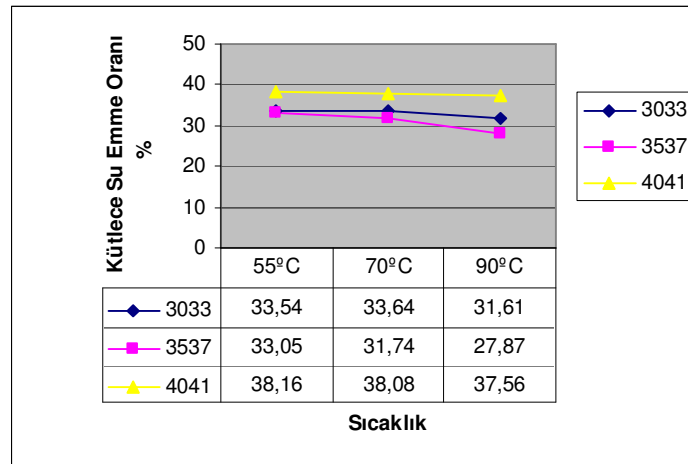
Sonuçların sayısal değerleri Tablo A.8,9,10'de verilmiştir.

Yapılan küttele su emme deneyi sonuçları Şekil5.16,17,18'deki grafiklerle açıklanmaktadır.

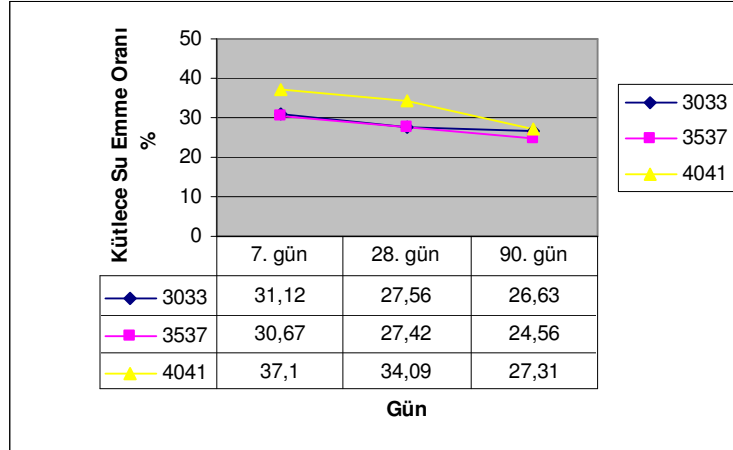


Şekil 5.16. Su Emme Deneyi İçin Su İçine Daldırılan Numuneler

Etüv sıcaklığının artmasıyla kütlege su emme oranı azalmıştır. Etüv sıcaklığının artmasıyla numunelerin birim hacim ağırlığı artmış ve bunun bir sonucu olarak malzemelerin bünyesine giren su miktarında azalma olduğu görülmüştür. En düşük kütlege su emme değeri (%27,87), 90°C deki 3537 kodlu numuneler olurken, en yüksek su emme değeri (%38,16), 55°C deki 4041 kodlu numunelerin olduğu görülmüştür. 55°C’den 90°C’ye kadar 3537 nolu numunelerin, %15,65 oranında kütlege su emme oranı azalırken diğerlerinde bu oran %5,75 olmuştur. 3537 kodlu numunelerin 3033 ve 4041 numunelerine göre 3 katı kadar daha kütlege su emme oranında azalma gerçekleşmiştir.

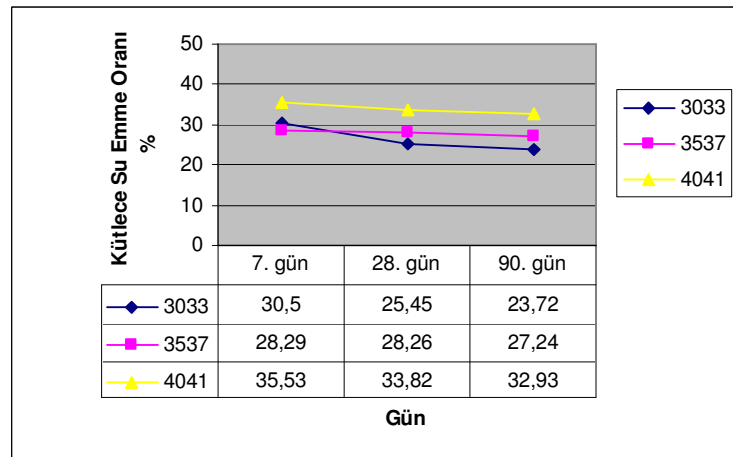


Şekil 5.17. Farklı Etüv Sıcaklığına Göre Kütlege Su Emme Oranı Değerleri



Şekil 5.18. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Kütlece Su Emme Oranı Değerleri

Sabit dış ortam koşullarında, zamanla numunelerin kütlece su emme değerleri azalmıştır. 3033 ve 3537 karışım oranlarında hazırlanan numuneler için, kütlece su emme değerleri birbirine çok yakın olduğu tesbit edilmiştir (Şekil 5.18). En yüksek su emme oranı değeri (%37,10), 7. gün 4041 nolu numuneler olurken, en düşük kütlece su emme oranı değeri (% 24,56), 90. gün 3537 kodlu numunelerin olduğu belirlenmiştir. 7.günden 90. güne kadar 4041 nolu numunelerin, %26,38 oranında kütlece su emme oranı azalırken diğerlerinde bu oran %19,92 olmuştur.



Şekil 5.19. Su İçerinde Zamana Göre Kütlece Su Emme Oranı Değerleri

Su içerisinde zamanla, numunelerin kütlece su emme oranı değerleri azalmıştır. 3033 kodlu numunelerin su emme değerleri 7. günden 90. güne kadar 3537 ve 4041 numunelerin %60'ı oranında düşmüştür (Şekil 5.19). Su içerisinde, en yüksek

kütlece su emme oranı değeri (%35,53), 7. gündeki 4041 nolu numuneler olurken, en düşük kütlece su emme değeri (%23,72), 90. gün 3033 kodlu numunelerin olduğu görülmüştür.

5.2.4.2 Hacimce Su Emme

Malzemenin hacimce su emme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Sh = Gd - Gk / Gd - Gds \times 100 (\%) \quad (10)$$

Sh = Hacimce su emme oranı (%)

Gd = Doygun haldeki kütle (g)

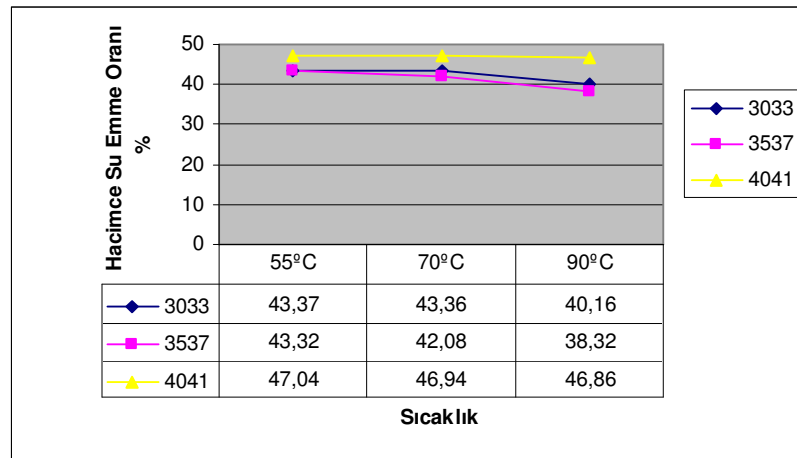
Gk = Değişmez kütle kadar kurutulmuş malzeme kütlesi

Gds = Doygun haldeki malzemenin su içindeki kütlesi

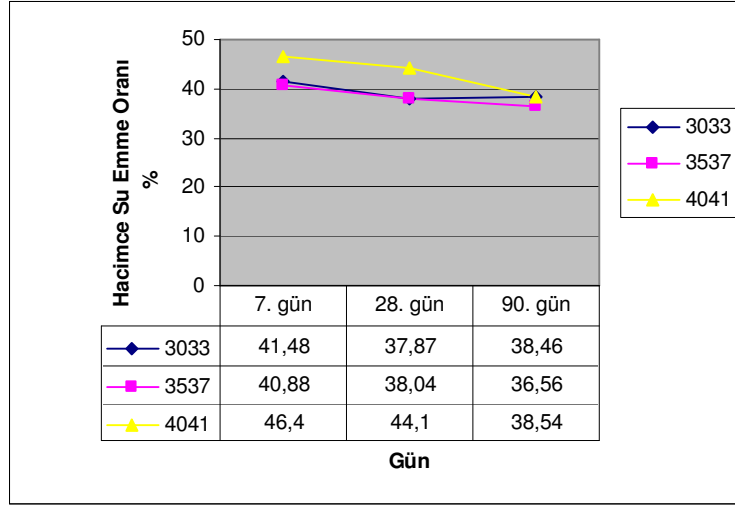
Sonuçlar Tablo A.8,9,10'de verilmiştir.

Yapılan hacimce su emme deneyi sonuçları aşağıdaki grafiklerle açıklanmaktadır.

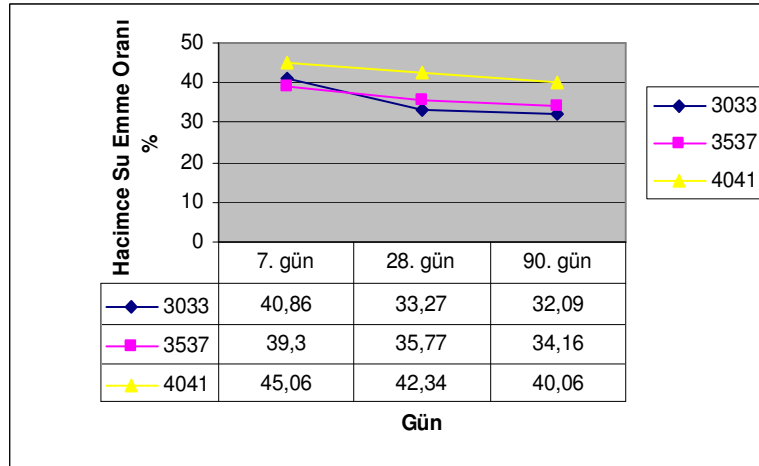
Deney sonuçlarına bakıldığında, üç kategoride de kütlece su emme oranı değerlerindeki değişim hacimce su emme oranı değerlerindeki değişimle paralel çıktığı görülmüştür. Etüv sıcaklığının artmasıyla, hacimce ve kütlece su emme değerleri oranı azalmıştır. Dış sabit ortam koşullarında ve su içerisinde zamanla kütlece su emme değerlerinde azalma olduğu gibi aynı şekilde hacimce su emme değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Minimum hacimce su emme oranı değeri (%32,09) 30/33/18/90 kodlu numuneler iken maksimum hacimce su emme değeri (%47,04) 40/41/23/07 kodlu numuneler olmuştur.



Şekil 5.20. Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri



Şekil 5.21. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri



Şekil 5.22. Su İçerinde Zamana Göre Hacimce Su Emme Oranı Değerleri

5.2.5. Görünen Porozite

Malzemenin hacimce su emme oranından hesaplanması;

$$Pg = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} \times 100 \quad (11)$$

Pg = Taşın görünen porozitesi

Gd = Taşın doymun haldeki kütlesi (g)

Gk = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş taşın kütlesi (g)

Gds = Doymun haldeki taşın su içindeki kütlesi (g)

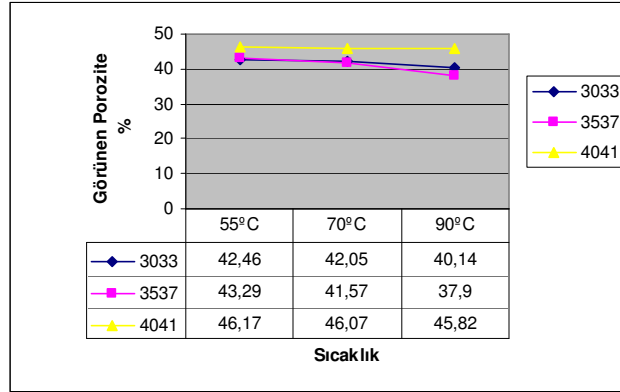
Malzemenin küttele su emme oranından hesaplanması;

$$P_g = d_h \times S_k \quad (12)$$

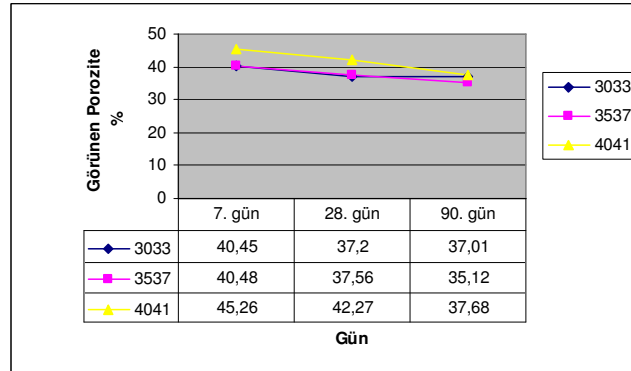
d_h = Malzemenin birim hacim ağırlığı (gr/ cm²)

S_k = Malzemenin küttele su emme oranı

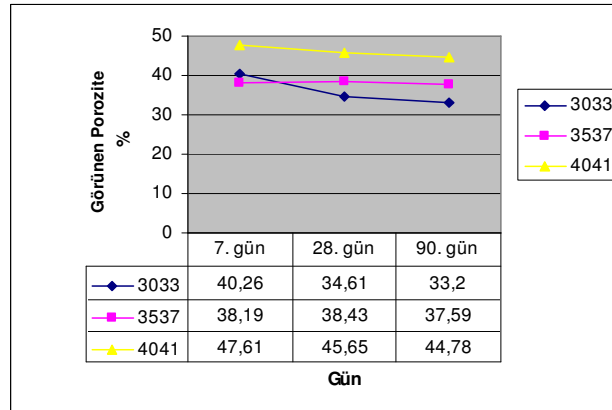
Numunelerin görünen porozite sonuçları aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır.



5.23. Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Görünen Porozite Oranı Değerleri



Şekil 5.24. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Görünen Porozite Oranı Değerleri



Şekil 5.25. Su İçerisinde Zamana Göre Görünen Porozite Değerleri

Grafik sonuçlarına göre, malzemelerin sıcaklık artışına bağlı olarak görünen porozite değeri azalmış yani malzemenin boşluk yapısında azalma görülmüştür. Aynı şekilde sabit dış ortam koşulunda ve su içerisinde bekletilen numunelerin de zamanla porozite değerinde azalma olduğu görülmüştür. Minimum görünen porozite değeri (%32,20) 30/33/18/90 kodlu numuneler iken maksimum görünen porozite değeri (%47,61) 40/41/18/07 nolu numuneler olmuştur.

5.2.6. Komposite (Doluluk) ve Porozite (Boşluluk)

Değişmez kütleyle kadar kurutulmuş malzemenin, boşlukları hariç hacminin, boşlukları dahil hacmine oranıdır.

$$k = d_h / d_o \times 100 \quad (13)$$

k = Taşın doluluk oranı (%)

d_h = Taşın ortalama hacim kütlesi (gr/cm^3)

d_o = Taşın ortalama özgül kütlesi (gr/cm^3)

Malzemelerin porozite (gözeneklilik derecesi) aşağıdaki formül ile hesaplanır,

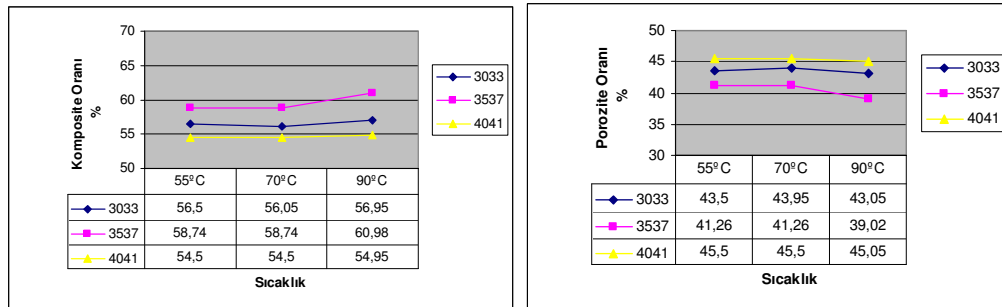
$$P = (1 - d_h / d_o) \times 100 \quad (\%) \quad (14)$$

P = Taşın porozitesi (%)

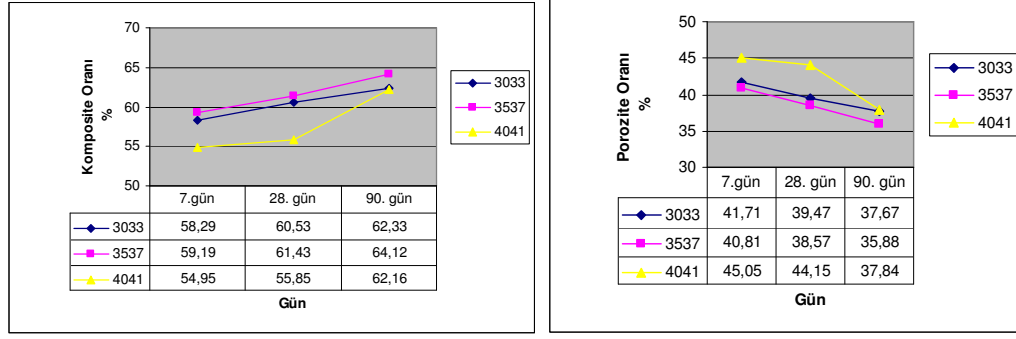
d_h = Taşın hacim kütlesi (gr/cm^3)

d_o = Taşın özgül kütlesi (gr/cm^3)

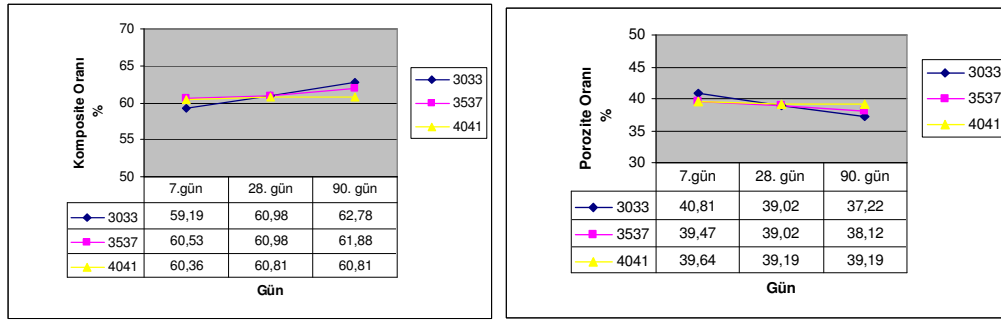
Numunelerin komposite ve porozite oranı değerleri aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 5.26. Farklı Etüv Sıcaklıklarına Komposite ve Porozite Oranı Değerleri



Şekil 5.27. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Komposite ve Porozite Oranı Değerleri



Şekil 5.28. Su İçerisinde Zamana Göre Komposite ve Porozite Oranı Değerleri

Sıcaklık artışına ve geçen zamana bağlı olarak puzolanik aktivitenin olumlu yönde gerçekleşmesi ile malzemelerin komposite değeri artarken porozite değeri azalmıştır yani puzolanik aktiviteyle beraber numunelerin yoğunluğunda artış olduğu tesbit edilmiştir. 7. günde sıcaklık farkına göre oluşturulan kategoride, komposite oranı değerleri %54,50 – %60,98 aralığında gelişirken, sabit dış ortam koşulunda bu değer %54,95- %65,12 aralığında gerçekleşmiştir. Su içerisinde ise bu değer %59,19 - %62,78 aralığında değişmiştir. Bundan önceki grafiklerde de (birim hacim ağırlık, su emme) olduğu gibi sabit dış ortam koşullarında zamanla 3033 ve 3537 numunelerin komposite oranı artışı 4041 karışım numunelerinin yaklaşık %50 mertebesinde çıkmıştır. Su içerisindeki 7. günden 90. güne kadar gerçekleşen süre içerisinde ise, en fazla komposite oranı artışı 3033 kodlu numunelerde olmuştur. Su içerisinde 3537 ve 4041 numunelerin komposite oranı artışı 3033 numunelerinin %30'u seviyesinde olduğu görülmüştür.

5.2.7. Buhar Geçirgenlik Direnci (μ)

Bu deney için, pvc'den üretilmiş 5-7cm çapında plastik kabın içerisinde, silindir şeklinde üretilen numune ile aralarında 15-20mm aralık kalacak şekilde CaCl_2 doldurulmuştur. Plastik bardak içindeki numuneler sabit ortam koşullarında (24°C %88 bağıl nem) muhafaza edilmiştir. Tüm örneklerin ağırlıkları 24 saat aralıkla ölçülmüş ve ardışık tartım arasındaki fark değişmeyinceye kadar ölçümlere devam edilmiştir. Buhar difüzyon faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

Buhar difüzyon direnç faktörü hesabı için üretilen malzemeler Şekil 5.29'da görülmektedir.

$$\mu = 1 / d \times (\delta h \times A \times P_1 - P_2 / G - dh) \quad (15)$$

$$\delta h = 0.083 / R_b \times T \times P_o / P_h \times T / 273 \times 1.83$$

D = Numune kalınlığı (m)

δh = Havanın su buharı difüzyon direnci

A = Alan (m^2)

P_1 = Dış ortamın basıncı

P_2 = Numune altında kalan hacmin su buharı basıncı (CaCl_2 bütün nemi çektiğinden $P_2 = 0$)

G = 1 saatte geçen su buharı miktarı (kg/h)

dh = Numune altında kalan havanın kalınlığı (m)

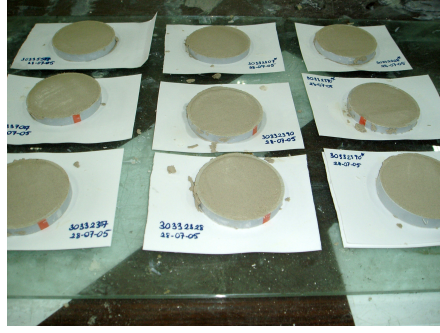
R_b = Su buharın gaz sabiti $462 \text{ N/kg}^\circ\text{K}$

T = $^\circ\text{K}$ cinsinden sıcaklık (mutlak sıcaklık)

P_h = Ortalama hava basıncı (atmosfer basıncı)

T_o = Normal atmosfer basıncı 760 mmHg veya 10125 N/mm^2

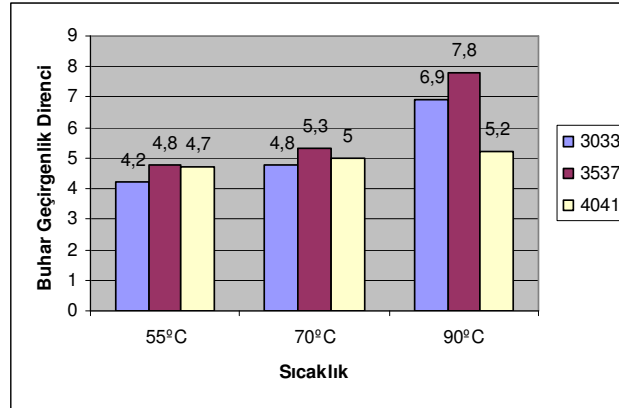
Mamül malzemelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü komposite ile yani malzemenin doluluk oranıyla ilişkilidir. Malzemelerin doluluk oranı arttıkça buhar geçirgenlik direnç faktör değeri artmaktadır. Bu ilişkiden ötürü, çalışmada yalnızca 7. gündeki buhar geçirgenlik direnç faktörü incelenmiş olup 28. ve 90. gündeki buhar geçirgenlik faktörü tesbiti için deney devam ettirilmemiştir.



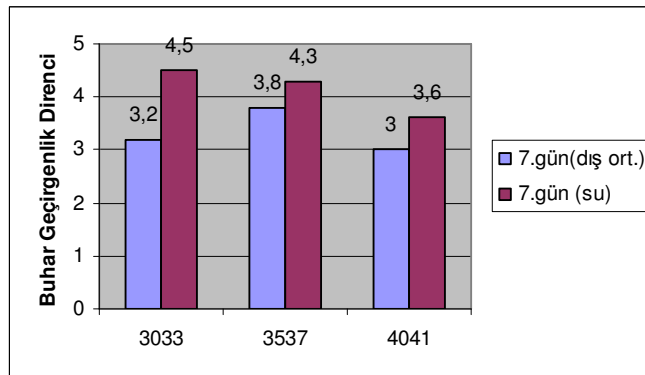
Şekil 5.29. Buhar Difüzyon Direnci Hesabı İçin Hazırlanan Silindir Numuneler



Şekil 5.30. PVC Plastik Kap İçerisindeki Numuneler



Şekil 5.31. Farklı Etüv Sıcaklıklarında Buhar Difüzyon Direnç Faktörü Değerleri



Şekil 5.32. Farklı Ortam Koşullarına Göre Buhar Difüzyon Direnç Faktörü Değerleri

Puzolan ve sönmüş kireçten oluşan karışımların fiziksel deney sonuçları aşağıda maddeler halinde değerlendirilmiştir. Bunlar

- Üretilen numunelerin özgül kütlesi, karşımda kullanılan puzolan maddesinin özgül kütlesinden ($2,44 \text{ g/cm}^3$) farklılık göstererek 3033 ve 3537 karışım oranında (%k.kireç/puzolan-%su/katı) hazırlanan numuneler için $2,23 \text{ g/cm}^3$ ve 4041 numuneleri için $2,22 \text{ g/cm}^3$ olarak çıkmıştır.
- Numunelerin birim hacim ağırlığı, komposite ile doğru orantılı olarak artmakta veya azalmaktadır. Etüv sıcaklığının ve sürenin artmasıyla numune hacimlerinin azalmasına paralel olarak birim hacim ağırlığı artmıştır. Numunelerin ortalama birim hacim ağırlık değerleri $1,25-1,4 \text{ gr/cm}^3$ aralığında değişmektedir. Sıcaklık farkı altında, birim hacim ağırlık değeri en yüksek olan numuneler 3537 olmuştur. Buna karşın sabit dış ortam koşulunda en yüksek birim hacim ağırlık değeri 3537 kodlu numuneler olmasına karşın 7. günden 90. güne kadar birim hacim ağırlığında en fazla artışı gösteren 4041 kodlu numunelerin olduğu görülmüştür (Şekil 5.7). Su içerisinde, 7. günde en düşük birim hacim ağırlık değeri 3033 nolu numunelere aitken 90. günde birim hacim ağırlık değeri diğerlerinden daha yüksek çıkmıştır (Şekil 5.8).
- 55, 70, 90°C de sıcaklıkta üretilen numunelerin, 3537 oranında en düşük porozite ve en yüksek komposite değerinin (%60,98) çıktığı buna karşılık 4041 oranının ise en yüksek porozite ve en düşük komposite değerine (%54,50) ulaştığı görülmüştür. Sabit dış ortam koşullarında ve su içerisinde zamanla numunelerin komposite değeri artarken porozite değeri azalmıştır. Dış ortamda bekletilen numuneler içinde komposite açısından en yüksek değeri 90.günde (%64,12) 3537 verirken, su içerisindeki en yüksek değeri 90. günde (%62,78) 3033 vermiştir.
- Etüv sıcaklığının artmasıyla ve zamanla numunelerin boşluk oranında azalma görülmüştür. Bu azalmaya paralel olarak numunelerin sıcaklık artışı ve zamanla ultras hızında ve ultras hızına bağlı olarak hesaplanan elastisite modülünde artma olduğu görülmüştür. Numunelerin iç yapısındaki doluluk oranının artmasıyla, numune içinde geçen ses hızında artış olduğu görülmüştür.

- Su emme deneyi kütlege ve hacimce olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Numunelerin, sıcaklık ve sürenin artmasına bağlı olarak kütlege ve hacimce su emme yüzdesi azalmaktadır. Sıcaklık artışına paralel olarak en düşük kütlege ve hacimce su emme değeri 3537 kodlu numunelere ait olup sırasıyla %33,03-%27,87 ve %43,32-%38,32 arasında değişmektedir. Sabit dış ortam koşulunda, en düşük kütlege ve hacimce su emme değeri 3537 kodlu numunelere ait olup sırasıyla %30,67-%24,56 ve %40,88-%36,56 arasında değişmektedir. Su içerisinde ise numunelerin, en düşük kütlege ve hacimce su emme değeri 3033 kodlu numunelere ait olup sırasıyla %30,50-%23,72 ve %40,86-%32,09 arasında değişmektedir. Çimento harcının ağırlıkça su emme oranı %30-50 arasında değişmektedir. Datça çevresindeki puzolan maddesi ile yapılmış harcın kütlege su emme değeri, çimento harçlarına göre daha düşük çıkmıştır.
- Malzemelerin kompasitesi arttıkça buhar geçirgenlik direnci artmakta, porozite değeri arttıkça buhar geçirgenlik direnci azalmaktadır. 7 günlük numuneler üzerinde yapılan buhar geçirgenlik deneylerinde minimum buhar geçirgenlik difüzyon değeri 30,30 (40/41/23/07) maksimum değer (35/37/90/07) ise 78,47 olarak bulunmuştur. Bu fark, numunelerin su oranına, karışım oranına, homojenliğine ve doluluk oranına bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sonucunda puzolan maddesinden üretilen numunelerin ortalama buhar geçirgenlik direncinin çimento harçlarından yüksek tuğla malzemesine ise yakın olduğu çıkmıştır.

5.3. Mekanik Deneyler ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Mekanik deneyler bölümünde numunelerin, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, 3 adet deney numunesinin ortalaması alınarak hesap edilmiştir.

Farklı etüv sıcaklıklarına göre mekanik dayanımları test edilen numunelere, TS 25 de bahsedilen yöntem uygulanmıştır. Bir gün dış ortam koşullarında plastik poşet içerisinde kürlenmiş numuneler sonra altı gün etüv sıcaklığında bekletilmiş ve yedinci günün sonunda mekanik dayanım testine tabii tutulmuştur.

Sabit dış ortam koşullarında puzolan-kireç karışımından oluşmuş numunelerin, mekanik özelliğinin nasıl geliştiği görebilmek için, 7,28 ve 90. günde eğilmede çekme ve basınç dayanımı test edilmiştir. Üretilen numuneler, dış ortamda yedi gün pe torba içerisinde kürmeye bırakılmıştır. Yedinci günün sonunda üç adet numune kırılırken diğerleri 28. ve 90. günde kırılmak üzere ortam şartlarının değişmediği bir odada üstü açık bir şekilde bekletilmiştir (Şekil 5.4). Mekanik dayanım testi için, numuneler etüv aletinde kurutmadan direk kırılmasına karar verilmiştir. Program dahilinde olmadığı halde, kuru ağırlığa göre mekanik dayanımın nasıl değişeceği merak edildiğinden 105°C etüv sıcaklığında kurutulan 1 adet numune üzerinde mekanik dayanım testi yapılmıştır.

Su içinde, puzolan-kireç karışımından oluşan numunelerin mekanik özelliğinin nasıl geliştiği görebilmek için, 7, 28 ve 90. günde eğilmede çekme ve basınç dayanımı yapılmıştır. Üretilen numuneler, dış ortamda yedi gün pe torba içerisinde kürmeye bırakılmış ve yedinci günün sonunda 20 ±2°C su içine yerleştirilmiştir. Bir hafta su içinde bekleyen üç ayrı seriden alınan üçer adet numune kırılırken diğerleri 28. ve 90. günde kırılmak üzere su içinde bırakılmıştır. Su içinden alınan numunelerin kırılmadan önce 4 saat dış ortamda beklemesine özen gösterilmiştir. Ayrıca sudan çıkan ve 105°C etüv sıcaklığında kurutulan 1 adet numune üzerinde mekanik dayanım testi yapılmıştır.

5.3.1. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilmede çekme mukavemeti σ_R aşağıdaki bağıntı ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır.

$$\sigma_R = 1,5 \times \frac{PL}{b \times h^2} \quad b=h \quad (16)$$

b = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, (cm) , 4 cm

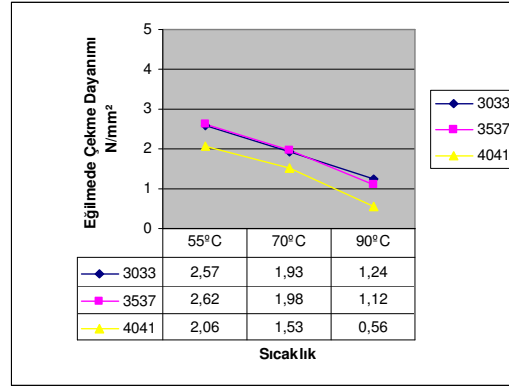
P = Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N

L = Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık , (cm), 10 cm

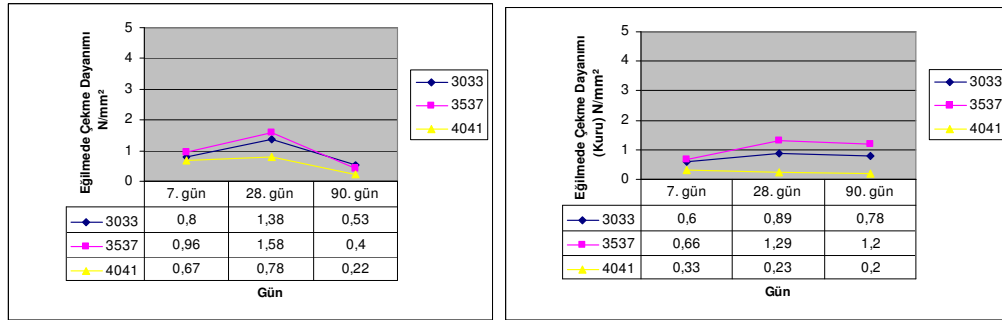
Eğilmede çekme deney sonuçları aşağıda grafiklerle ifade edilmiştir.

Etüv sıcaklığının artmasıyla eğilmede çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Minimum eğilmede çekme dayanım 0,56 N/mm² ile 40/41/90/07 iken maksimum eğilmede çekme dayanım 2,62 N/mm² ile 35/37/55/07 olmuştur. Etüv sıcaklığının

55°C'den 90°C'e çıkmasıyla, 3033 ve 3537 nolu numuneler benzer davranış gösterirken 4041 nolu numunelerin farklı bir tavır içinde olup 70°C'den sonra diğerlerine oranla eğilmede çekme dayanımında daha fazla düşüş göstermiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. Farklı Etüv Sıcaklıklarına Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri

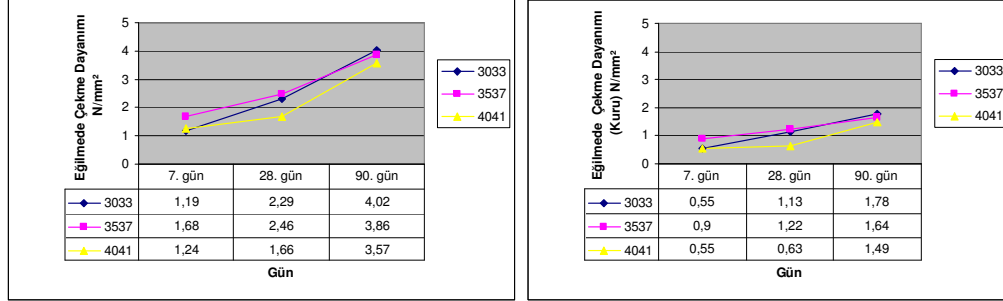


Şekil 5.34. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri

Dış ortamda bekletilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı 28. günde artarken 90. günde düştüğü ortaya çıkmıştır. Maksimum eğilmede çekme dayanım 1,58 N/mm² değerinde 35/37/23/28 kodlu numuneler olurken minimum eğilmede çekme dayanım ise, 0,22 N/mm² değerinde 40/41/23/90 kodlu numuneler olmuştur. Sabit dış ortam koşulunda 3537 numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerleri 3033 numuneleriyle yaklaşık aynı olurken 4041 numunelerinden %50 oranında fazla olduğu belirlenmiştir.

Su içerisinde zamanla numunelerin, eğilmede çekme dayanımı artmıştır. 3033 için bu artışın lineer bir doğru şeklinde olduğu saptanmıştır. (Şekil 5.35). En düşük eğilmede çekme dayanım değeri 1,19 N/mm² ile 30/33/20/07 kodlu numuneler iken en fazla

eğilmede çekme dayanım değeri 4,02 N/mm² ile 30/33/20/90 kodlu numuneler olmuştur. Su içerisinde, 7. günden 90. güne kadar olan süreçte 3033 numunelerin eğilmede çekme dayanımı %235 artarken, 3537 numunelerin %135 ve 4041 numunelerin %185 oranında artmıştır.



Şekil 5.35. Su İçerisinde Zamana Göre Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri

5.3.2. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyi, eğilme dayanımı deneyleri sonucunda iki parçaya ayrılan örneklerin her bir parçası üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanım değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_b = P / A = P / 40 \times b \quad (20)$$

σ_b = basınç gerilmesi (N/mm²)

P = Kuvvet (N)

A = Alan (mm²)

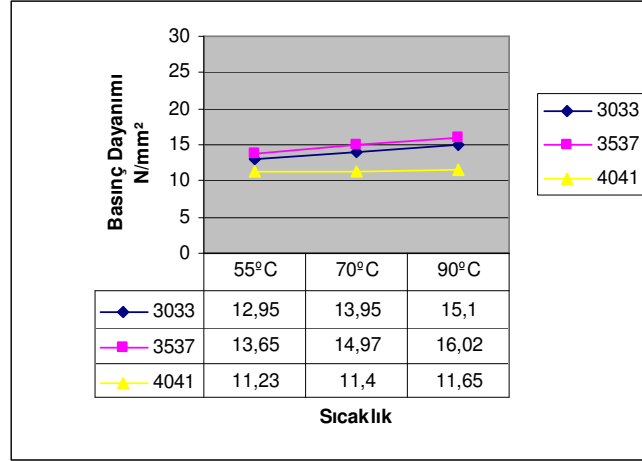
b = örnek genişliği (mm)

40 ise; basınç uygulanan yüzeyin alt ve üst kısmına konan lama genişliğidir. (mm)

Deney sonuçları aşağıda grafiklerle ifade edilmektedir.

Etüv sıcaklığın artmasıyla numunelerin basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Etüv sıcaklığının 55°C' den 90°C' ye çıkmasıyla 3033 ve 3537 kodlu numunelerin basınç dayanımındaki artış birbirine paralellik göstererek %17,35 seviyesinde iken, 4041 nolu numunelerdeki artışın %3,75 oranında olduğu görülmüştür (Şekil 5.36). Farklı etüv sıcaklıklarının birbirine göre kıyaslanması sonucu, maksimum basınç

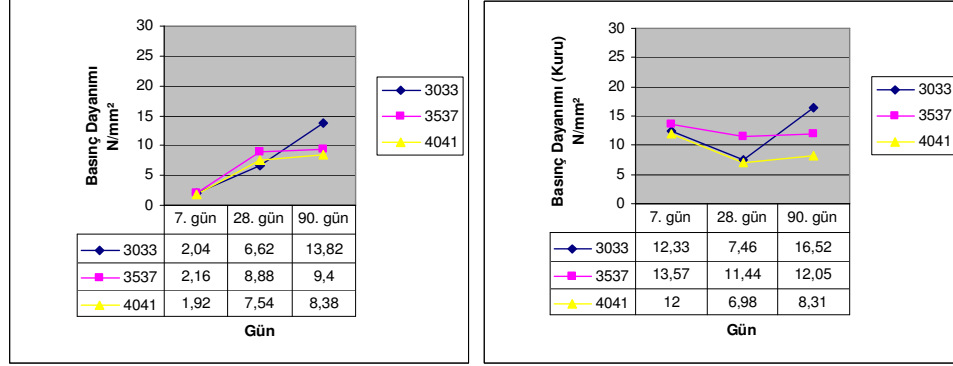
dayanım değeri 16,02 N/mm² ile 35/37/90/07 iken minimum basınç dayanım değeri 11,23 N/mm² ile 40/41/55/07 çıkmıştır.



Şekil 5.36. Farklı Etüv Sıcaklıklarına Göre Basınç Dayanımı Değerleri

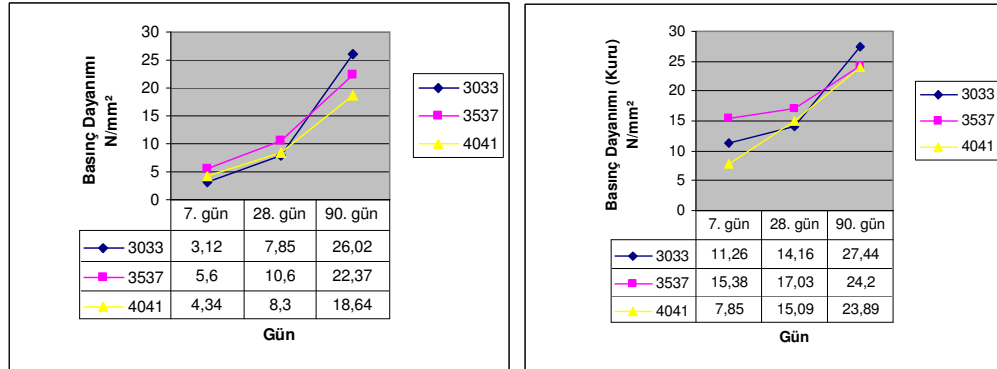
Ortamda bekletilen numunelerin, zamanla basınç değeri artmıştır. Ancak 3537 ve 4041 için 28. günden sonraki artış hızı azalmaktadır. Buna karşın 3033 kodlu numunelerin sürekli arttığı gözlenmiştir. Dış ortama bırakılan örneklerde, maksimum basınç dayanımı (13,82 N/mm²) 90. günde 3033 olurken, minimum basınç dayanımı (2,04 N/mm²) 7. günde 4041 olmuştur. Numunelerin kurutularak kırılmasıyla ortaya çıkan grafik değişmiştir. Kurutulan numunelerde, 28. günde düşüş yaşanırken 90. günde artmıştır. Kurutularak kırılan örneklerde 3033 kodlu numune hariç 3537 ve 4041 numunelerinin 7. gündeki basınç dayanımı 28. ve 90. güne göre yüksek çıkmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki 30/33/23/90 nolu numunelerin kurutulup kırılmasıyla, basınç dayanımı 28. ve 90. günde yaklaşık 3 N/mm² artmıştır.

Su içerisinde zamanla numunelerin basınç dayanımı artmıştır. 28. günden 90. güne kadar olan süreçte artışın 7 ile 28. gün aralığından daha hızlı olduğu görülmüştür (Şekil 5.38). Su içerisinde 7. günden 90. güne kadar 3033 numunelerinin basınç değeri %735 oranında artarken 3537 numuneleri %305 ve 4041 numunelerinin ise %325 seviyesinde artış göstermiştir.



Şekil 5.37. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Basınç Dayanımı Değerleri

Basınç dayanımında minimum değer (3,12 N/mm²) ile 30/33/20/07 iken maksimum değer (26,02 N/mm²) ile 30/33/20/90 olmuştur. Numunelerin kurutulup kırılmasıyla da zamanla basınç dayanımında giderek artan bir grafik çıkmıştır. Kurutup kırılan numunelerde nemli numunelere göre basınç dayanımının yükseldiği tesbit edilmiştir. Maksimum basınç dayanımı malzemenin kurutulup kırılmasıyla 26,02 N/mm²'den 27,44 N/mm² çıkmıştır.



Şekil 5.38. Su İçerinde Zamana Göre Basınç Dayanımı Değerleri

Sonuç olarak, eğilmede çekme mukavemeti etüv sıcaklığının artmasıyla azalmış ve sürenin artmasıyla artmıştır. Basınç dayanımı ise, etüv sıcaklığının ve sürenin artması durumunda artmıştır. TS 25'e göre 1 gün dış ortamda 6 gün süreyle farklı sıcaklıklar altında tutulan malzemelerde maksimum basınç mukavemeti (16,02 N/mm²) 3537 karşım oranında ve 90°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Sıcaklık artışıyla malzemenin basınç dayanımı artarken eğilmede çekme dayanımı azalmıştır yani sıcaklık artışına paralel olarak malzeme daha gevrek bir malzeme haline gelmiştir.

Sabit dış ortam koşullarında ve su içerisinde bekletilen numunelerin zamanla basınç dayanımının yanında eğilmede çekme dayanımında artmaktadır. 90. günde dış ortam koşulunda maksimum basınç dayanımı 13,82 N/mm² iken buna karşılık gelen eğilmeden çekme dayanımı 0,53 N/mm² olmuştur. 90 gün boyunca su içinde bekletilen numunelerin, maksimum basınç değeri 26,02 N/mm² iken buna karşılık gelen eğilmede çekme dayanım değeri 4,02 N/mm² çıkmıştır.

5.4. Termogravimetrik Analiz (DTA –TG) Diferansiyel Termal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Diferansiyel termal analiz, bir maddenin fiziksel ve kimyasal değişimlere uğradığı zaman bu madde tarafından verilen veya alınan ısıнын karşılaştırılması esasına dayanır [7,s.137]. Isıtılan maddenin ısı davranışları belirlenerek bu maddenin özellikleri saptanır. Etüv sıcaklığına ve süreye bağlı olarak gelişen puzolanik aktivitenin mekanik deneylerinin yanı sıra DTA-TG analizi yapılarak Ca(OH)₂ miktarındaki azalmaya bağlı olarak puzolanik aktivitenin gelişimi belirlenmiştir. Yapılan analiz DTA-TG analiz sonuçları ait grafikler ekler (Şekil B1-9) kısmında yer almaktadır.

DTA-TG analizinde sadece 3537 karışım oranında hazırlanan 9 adet numune üzerinde çalışılmıştır. 9 adet numunenin, 3 adeti etüv sıcaklığı olan 55°C, 70° ve 90°C, 3 adeti sabit dış ortam koşullarındaki 7. , 28. ve 90. gün ve 3 adeti su içerisindeki 7. , 28. ve 90. gün numuneleridir.

Analiz sonuçlarına göre, mekanik dayanım testi sonrasında çıkan puzolanik aktiviteye ilişkin gelişim DTA-TG analizi ile paralellik göstermiştir. Etüv sıcaklığının artmasıyla Şekil B. 1,2,3'e göre 400- 420°C sıcaklıkları arasında gerçekleşen endotermik Ca(OH)₂ pikinde azalma olduğu ve 120°C sıcaklığında gerçekleşen CSH bileşiklerinin endotermik pikinde artma olduğu tesbit edilmiştir. Sabit dış ortam koşulunda ve su içerisinde bekleyen numunelerinin de 7. de 90. güne kadar geçen süre içinde aynı şekilde 400- 420°C sıcaklıkları arasında gerçekleşen Ca(OH)₂ pikinin azalıp 120°C sıcaklığında gerçekleşen CSH bileşiklerinin pikinin arttığı okunmuştur. Ca(OH)₂ pikinin azalıp CSH bileşiklerinin pikinin artışı, puzolanik aktivite olayının geliştiğine dair bir bulgudur.

Sabit dış ortam koşulunda bekleyen 90. gündeki numunenin, Ca(OH)_2 pikinin yüksekliği su içersinde bekleyen 90. gündeki numunenin Ca(OH)_2 pikinin yüksekliğinden daha az olduğu görülmüştür. Bu durum, dış ortamda bekleyen numunenin puzolanik aktivitesinin su içerisindeki numuneye göre tamamlanmaya daha yakın olduğunu şeklinde yorumlanmıştır.

6- SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonunda, üretilen numunelerin kimyasal tepkimeler sonucunda meydana gelen malzemenin özellikleri, yapı malzemeleri arasında nasıl bir yer alacağı ve çalışma sonrasında çıkan sonuçların nasıl değerlendirilebileceği açıklanmıştır.

Elimizdeki hammaddenin değerlendirilebilmesi için puzolanik aktivite deneyinden yararlanılmıştır. Datça çevresindeki volkanik tüflerin yapılan XRF (yarı kantitatif) element analizi neticesinde TS 25’de belirtilen tenorlar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) toplamı istenen değerin üzerinde çıkmıştır. Puzolanın kimyasal analizi sonunda bulunan SiO_2 oranı (%75) %66’dan fazla olduğu için asit kayaçlar sınıfına girmektedir. TS 25’e göre puzolanik aktivite deneyinde 7 günlük eğilmede çekme 1 N/mm² olması istenirken, elde ettiğimiz her deney numunesinin bunu sağladığı görülmüştür. Hammaddenin kireçle oluşturduğu reaksiyon sonucunda eğilmede çekme dayanımı üç adet deney numunesi ortalaması 1,20 N/mm² bulunmuştur. TS 25’e göre basınç dayanım mukavemetinin 4 N/mm² olması istenirken, elde ettiğimiz deney sonuçlarına göre altı adet deney numunesi ortalaması 8,10 N/mm² olduğu tesbit edilmiştir. Sıcaklık ve sürenin arttırılmasıyla görülmüştür ki, elimizdeki hammaddenin (Datça toprağı) bağlayıcılık özelliğı belirli bir aşama kaydetmiştir. Örneğın, sürenin 7 günden 14 güne çıkarılmasıyla, basınç değeri 7,28 N/mm² dan 8,86 çıkmış, etüv sıcaklığının 55°C den 70°C çıkarılmasıyla basınç değeri 7,28 N/mm² dan 8,03 N/mm² çıkmıştır. Bunu yanı sıra, puzolan, sönmüş kireç, standart kum ve sudan oluşmuş harcın içine giren su miktarının azaltılmasıyla, basınç değerinin 7,28 N/mm² den 8,10 N/mm² çıktığı görülmüştür.

Hammadde ve hammadde kullanılarak oluşturulmuş harcın minerolojik analiz (XRD) sonucunda, kuvars, kristobolit, feldispat cinsi SiO_2 ve amorf yapı içeren bileşiklerin varlığı belirlenmiştir. Ayrıca puzolan harcının içerisinde kireçle reaksiyondan artan portlandite [Ca(OH)_2] tesbit edilmiştir.

Yukarıda bahsettiğimiz sonuçlara göre, etüv sıcaklığının, harca giren su miktarının ve daha önemlisi sürenin puzolanik aktivite için, kayda değer bir öneme sahip olduğu görüşüne varılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken hususlar; puzolanın tanecik boyutunun küçük olması yani çok ince öğütülmesi, harca giren sönmüş kirecin kalitesine, su yüzdesine ve dinlenme süresine önem vermek gerektiğidir. Blaine sonuçlarına göre özgül yüzey alanı yüksek puzolanın, kireçle yapacağı reaksiyonun artmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak, puzolanik aktiviteye girecek hammaddelerin; bileşimleri, oranları, özgül yüzeyleri, nem oranı, ortamın sıcaklığı ve aktif silis miktarı puzolanik aktiviteye tesir etmektedir.

Datça çevresindeki volkanik tüflerin, puzolanik aktivite özelliği taşımasından ötürü kumsuz üretilen mamül malzeme üzerinde fiziksel, mekanik ve içyapıya yönelik deneysel araştırma yapılmıştır. Araştırma sonuçları ile ilgili bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Fiziksel deneyler sonucunda, birim hacim kütlesi artan numunelerin, su emme oranı, komposite (doluluk) ve buhar geçirgenli direnç faktörünün de arttığı tesbit edilmiştir. Karışıma giren madde miktarları değiştirilerek puzolan-kireç harcının komposite değeri değiştirilebildiği belirlenmiştir. Harcın içine giren, sönmüş kireç ve su miktarının artmasıyla numunelerin porozite değeri artmıştır. Buna karşın, su ve puzolan miktarının artmasıyla, numunelerin porozitesi azalmıştır.
- Su içerisindeki malzemelerin 7. günden 90. güne kadar seyretmiş olduğu komposite değeri, karışıma giren puzolan miktarının artmasıyla daha belirgin bir şekilde artarken, sabit dış ortam koşullarında ise 7. günden 90. güne kadar geçen süre içerisinde komposite değeri, su ve sönmüş kireç miktarının artmasıyla daha belirgin bir şekilde artmıştır.
- Mekanik deneyler sonucunda, su içerisindeki malzemelerin mekanik mukavemetleri, dış ortam koşullarına göre daha olumlu bir şekilde gelişmektedir.
- 7. günde 3537 kodlu numunelerin mekanik dayanımları daha iyi olduğu gözlenirken, karışımdaki puzolan yüzdesi en fazla olan 3033 kodlu

numunelerin, 90. günde mekanik dayanımları 3537'e göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuca göre, harcın içindeki puzolan yüzde oranının artması ile zamanla mekanik mukavemetinin daha iyi geliştiğini göstermiştir.

- Yapılan araştırmaya göre, etüv sıcaklığının ve sürenin artmasıyla puzolan ve kireçten oluşmuş karışımların puzolanik aktivitesi artmıştır. Ancak puzolanik aktivite, sıcaklık artışından ziyade sürenin artmasıyla daha etkin biçimde gelişmiştir.
- Dış ortamdaki numunelerin gözle görünecek bir biçimde yüzeyinde kopmalar meydana gelirken su içerisinde böyle bir şey söz konusu olmamıştır.
- Sıcaklık ve sürenin yanı sıra k.kireç/puzolan yüzdesi de puzolanik aktivite için önemli bir parametre olmuştur.
- Süreye ilişkin yapılan deneyler neticesinde, puzolanik aktivitenin, yavaş ve uzun sürede gerçekleşen bir reaksiyon olduğunu göstermiştir.
- DTA-TG analiz sonucunda, dış ortam koşulunda 90. günde numunenin puzolanik aktivitesi tamamlanmaya yakinken, su içerisinde bekleyen 90. gündeki numunelerin puzolanik aktivitesinin halen devam ettiğini göstermiştir.

Yapılan araştırma sonucunda bağlayıcılık özelliği kuvvetli olan Datça çevresindeki volkanik tüflerin, yüksek lisan tezi sonrasında yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi adına bir takım çalışmalar geliştirilebilir. Bunlar;

- Datça çevresinden temin edilen puzolan maddesinin, çimento ile karıştırılarak traslı çimentonun oluşumu ve mikroyapı araştırması veya çimento harç ve sıvalarına puzolan ilavesi ile oluşacak yeni karışımın özelliklerinin belirlenmesine ait araştırmalar
- Puzolan, sönmüş kireç, camsuyu ve alüminyum tozu karıştırılarak gazbeton gibi hafif yapı tuğlasının geliştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik çalışmalar
- Tarihi eserlerde horasan harcı olarak bilinen harç içerisine Datça çevresinden çıkarılan puzolanın katılması ile fiziksel ve mekanik yapının değişimi araştırılabilir. Özellikle Datça çevresindeki ve yakın bölgedeki tarihi eserlerin korunmasında puzolanik harçların üretilebilme olanakları araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Postacıoğlu, B., Çakıroğlu, N., Ortabaşı, N.,** 1960. Kayseri Pozolanları, İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, Seri C, Sayı1, İstanbul.
- [2] **Postacıoğlu, B., Uyan, M., Mazlum, F.,** 1987. Traslı Çimentoların Kullanma Alanları, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [3] **Taşkın, C.,** Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [4] **Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammadde ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu,** 1996. D.P.T, Cilt 2, Ankara.
- [5] **Akman S.,** 2003. Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi, *TMH*, **426**, 30-36
- [6] **ACI Cmittee 232 Report,** 1994. Proposed Report: Use Of Natural Pozzolans In Concrete, ACI Materials Journal,
- [7] **Koçu, N.,** 1997. Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Okucu, A.,** 1998. Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzzolanik özellikleri, *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [9] **Binici, H.,** 2002. PÇ-GYFC-Pomza üçlü karışımlarının özellikleri, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [10] **Daştan, A.,** 2005. Pişmiş killerin pozolanik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Baran Y.,** 2003. Ankara kizelgur fabrikası atığı diyomitlerin çimento üretiminde pozolan olarak kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- [12] **Bulgu, M.**, 2003. Perlitin çimentoda puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [13] **Sölpuüker, U.**, 2002. Use of tuffs as pozzolanic materials in cement industry, *Yüksek Lisans Tezi*, METU Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] **Uzal, B.**, 2002. Effects of high volume natural pozzolan addition on the properties of pozzolanic cements, *Yüksek Lisans Tezi*, METU Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] **Öz, U. ve Urhan, S.**, 1993. Puzolanik malzemelerdeki çözünmeyen kalıntı, puzolanik aktivite karşılaştırması, *TÇMB Çimento Bülteni*, **311**, 1-3.
- [16] **Papayianni, I. and Stefanidou M.**, 2005. Strength-porosity in lime pozzolan mortars, *Construction And Building Materials*,
- [17] **Souza, P. and Molin, D.**, 2005. Viability of using calcined clays, from industrial y-products, as pozzolans of high reactivity, *Cement And Concrete Research*, **35**, 1993-1998.
- [18] **Değirmenci, N. and Baradan, B.**, 2005. Chemical resistance of pozzolanic plaster for earthen walls, *Construction And Building Materials*, **19**, 536-542.
- [19] **Moropolou, A., Bakolas, A. and Aggelakopoulou, E.**, 2004. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis, *Thermochimic Acta*, **420**, 135-140.
- [20] **Pekmezci, B. and Akyüz, S.**, 2004. Optimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete, *Cement And Concrete Research*, **34**, 2175- 2179.
- [21] **Rodriquez, R.E. and Uribe, R.**, 2002. Importance of using the natural pozzolans on concrete durability, *Cement And Concrete Research*, **32**, 1851- 1858.
- [22] **Yıldız, S., Yalınbaş, M. ve Keleştemur, O.**, 2005. Silis dumanı katkılı yapı alçılarında eğilmede çekme dayanımının araştırılması, *Gazi Üniversitesi Müh.- Mim. Fakültesi Dergisi*, **20**
- [23] **Esenli, F.**, 1995. Fifth canmed, *ACI International Conference on flyash silica fume slag and natural pozzolans in concrete*, Supplementary Papers Milwaukee, USA.
- [24] **Isaia, G.C., Gastaldini A.L.G. and Moraes, R.**, 2003. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high –

- performance concrete, *Cement&Concrete Composites*, **25**, 69-76.
- [25] Shi, C., Wu, Y., Riefler, C. and Wang, H., 2005. Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders, *Cement And Concrete Research*, **35**, 987-993.
- [26] Shi, C. and Day, R.L., 2000. Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators part II: reaction products and mechanism, *Cement And Concrete Research*, **30**, 607-13.
- [27] Shi, C., 2001. Studies on several factors affecting hydration and properties of lime- pozzolan cements, *Journal Of Materials In Civil Engineering*, November/December, 441-445.
- [28] Shi, C., Day, R.L., 2001. Comparison Of different methods for enhancing reactivity of pozzolans, *Cement And Concrete Research*, **31**, 813-818.
- [29] Mehta, P.K., 1998. Role of flyash in sustainable development, concrete, flyash, and the environment- proceedings, *Environment Building News*: <http://www.ebuild.com/archives/features/flyash/mehta.html>.
- [30] Tanacan, L. and Akgül, E., 2005. The pozzolanic activity of dağca earth and perlite- turkey, 3. *International Conference Ecomaterials Connecting Science: With The Grassroots*, Cuba, November 14-17, 2005.
- [31] Çelebi, G., 1997. Yapı Malzemeleri Performans ve Yapıda Kullanım Özellikleri, Ankara.
- [32] Irassar E.F., Gonzalez M. and Rahhal V., 2000, Sulphate resistance of type V cements with limestone filler and natural pozzolan, *Cement & Concrete Composites*, **22**, 361-368.
- [33] Turanlı, L., Uzal, B. And Bektaş, F., 2004. Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans, *Cement And Concrete Research*, **34**, 2277-2282.
- [34] TS-25, 1975. Trass, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [35] TS- 699, 1987. Tabii yapı taşları muayene ve deney metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [36] TS- 639, 1975. Uçucu küller, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [37] TS- 24, 1985. Çimentoların fiziki ve mekanik deney metodları, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- [38] TS- 819, 1988. Rilem- Cembureau standart kumu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

EKLER

EK – A DENEY SONUÇLARINA AİT TABLOLAR

EK- B DENEY SONUÇLARINA AİT RESİMLER

Tablo A.1. Farklı s/k oranının 55°C -7 Günlük Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri

Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı			
	a mm	b mm	h mm	N	N/mm ²	Ort.	1. N	2. N	N/mm ²	Ort.
30335507-1	40,52	42,31	160	1300	2,68	2,57	22000	21000	13,26	12,95
30335507-2	40,10	41,76	160	1150	2,46		19000	21000	12,46	
30335507-3	39,98	41,81	160	1200	2,57		21000	21000	13,13	
30365507-1	40,08	41,04	160	1100	2,50	2,57	20000	19000	12,16	12,55
30365507-2	40,23	41,96	160	1100	2,42		20000	20000	12,43	
30365507-3	40,18	41,38	16	1150	2,58		21000	21000	13,06	
30395507-1	40,06	40,70	160	1100	2,52	2,52	18000	18000	11,23	11,84
30395507-2	40,02	41,19	160	1250	2,84		17000	17000	10,61	
30395507-3	40,19	42,11	160	1100	2,20		22000	22000	13,68	
35375507-1	40,25	41,91	160	1100	2,43	2,62	22000	22000	13,66	13,65
35375507-2	40,31	41,55	160	1150	2,55		23000	21000	13,64	
35375507-3	40,03	41,83	160	1300	2,90		21000	21000	13,11	
35395507-1	40,02	41,15	160	1100	2,50	2,68	21000	21000	13,12	12,47
35395507-2	40,14	41,83	160	1300	2,90		19000	19000	11,83	
35395507-3	40,06	42,12	160	1200	2,66		20000	20000	12,48	
35415507-1	40,38	40,84	160	1200	2,70	2,76	16000	16000	9,90	9,88
35415507-2	40,23	40,77	160	1325	3,01		16000	16000	9,94	
35415507-3	40,05	41,58	160	1150	2,58		16000	16000	9,82	
40415507-1	40,04	41,58	160	1000	2,25	2,06	19000	19000	11,86	11,53
40415507-2	40,12	41,62	160	850	1,90		19000	18000	11,52	
40415507-3	40,06	41,12	160	900	2,04		18000	18000	11,23	
40425507-1	39,76	41,19	160	850	1,95	1,97	18000	18000	11,95	11,30
40425507-2	39,83	41,50	160	900	2,05		17000	17000	10,67	
40425507-3	39,86	41,47	160	850	1,93		18000	18000	11,29	
40435507-1	40,10	41,72	160	1000	2,23	2,18	18000	18000	11,22	11,22
40435507-2	40,17	41,11	160	1000	2,26		18000	18000	11,20	
40435507-3	39,99	41,08	160	900	2,05		18000	19000	11,25	

Tablo A.2. Farklı Sıcaklık Koşullarında 7 Günlük Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı			
		a mm	b mm	h mm	N	N/mm ²	Ort.	1. N	2. N	N/mm ²	Ort.
55 °C	30335507-1	40,52	42,31	160	1300	2,68	2,57	22000	21000	13,26	12,95
	30335507-2	40,10	41,76	160	1150	2,46		19000	21000	12,46	
	30335507-3	39,98	41,81	160	1200	2,57		21000	21000	13,13	
70 °C	30337007-1	40,21	42,04	160	750	1,58	1,93	22000	22000	13,67	13,95
	30337007-2	40,17	40,31	160	1000	2,29		22000	22500	13,84	
	30337007-3	40,14	42,51	160	600	1,24		23000	23000	14,32	
90 °C	30339007-1	39,64	41,91	159	600	1,29	1,24	24000	24000	15,13	15,10
	30339007-2	39,53	41,10	159	550	1,23		24000	24000	15,17	
	30339007-3	40,05	43,12	160	600	1,20		24000	24000	14,98	
55 °C	35375507-1	40,25	41,91	160	1100	2,43	2,62	22000	22000	13,66	13,65
	35375507-2	40,31	41,55	160	1150	2,55		23000	21000	13,64	
	35375507-3	40,03	41,83	160	1300	2,90		21000	21000	13,11	
70 °C	35377007-1	40,30	42,31	160	925	1,92	1,98	24000	24000	14,88	14,97
	35377007-2	40,23	42,11	160	850	1,78		24000	24000	14,91	
	35377007-3	40,51	41,60	160	1050	2,24		24000	25000	15,12	
90 °C	35379007-1	39,27	41,10	159	500	1,13	1,12	25500	26000	16,39	16,02
	35379007-2	39,84	40,76	159	450	1,01		24500	25000	15,84	
	35379007-3	39,81	40,78	159	550	1,24		24500	26000	15,85	
55 °C	40415507-1	40,04	41,58	160	1000	2,25	2,06	18500	18000	11,23	11,23
	40415507-2	40,12	41,62	160	850	1,90		18000	18000	11,21	
	40415507-3	40,06	41,12	160	900	2,04		18000	17500	11,23	
70 °C	40417007-1	40,16	40,82	161	650	1,45	1,53	18000	18500	11,35	11,40
	40417007-2	40,19	40,93	161	700	1,56		18500	18500	11,50	
	40417007-3	40,06	40,81	161	700	1,57		18000	18500	11,38	
90 °C	40419007-1	39,60	41,64	159	175	0,38	0,56	19000	20000	11,90	11,65
	40419007-2	39,50	40,69	160	250	0,57		18000	19000	11,70	
	40419007-3	39,50	41,12	159	250	0,56		18000	18000	11,40	

Tablo A.3. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı			
		a mm	b mm	h mm	N	N/mm ²	Ort.	1. N	2. N	N/mm ²	Ort.
7.gün	30332307-1	39,99	40,96	160	400	0,89	0,80	3000	3000	1,87	2,04
	30332307-2	40,04	41,66	159	350	0,75		3500	3500	2,18	
	30332307-3	40,22	41,23	159	350	0,76		3000	3500	2,11	
	30332307-K	39,50	41,47	158	275	0,60	0,60	20000	19000	12,33	12,33
28.gün	30332328-1	39,66	41,56	158	650	1,42	1,38	10000	11500	6,77	6,62
	30332328-2	39,31	40,75	157	600	1,38		10000	10000	6,35	
	30332328-2	39,42	41,15	158	600	1,36		11000	11000	6,78	
	30332328-K	39,34	41,33	158	400	0,89	0,89	12500	11000	7,46	7,46
90.gün	30332390-1	39,24	40,93	157	250	0,57	0,53	22000	23000	14,33	13,82
	30332390-2	39,43	40,57	157	200	0,46		21000	21000	13,31	
	30332390-2	39,32	40,45	157	250	0,57		22000	22000	13,83	
	30332390-K	39,34	41,12	157	350	0,78	0,78	26000	26000	16,52	16,52
7.gün	35372307-1	40,09	41,04	160	450	0,99	0,96	3500	3500	2,18	2,16
	35372307-2	40,14	40,73	160	400	0,90		3500	3500	2,17	
	35372307-3	40,10	40,52	160	450	1,01		3500	3500	2,15	
	35372307-K	39,58	39,52	158	275	0,66	0,66	21000	22000	13,57	13,57
28.gün	35372328-1	39,23	42,07	158	550	1,18	1,58	14000	12000	8,28	8,88
	35372328-2	39,68	40,63	157	850	1,94		15000	15000	9,45	
	35372328-3	39,22	41,42	158	750	1,66		14000	15000	8,92	
	35372328-K	39,33	42,06	159	600	1,29	1,29	18000	18000	11,44	11,44
90.gün	35372390-1	39,63	40,22	158	150	0,35	0,40	15000	15000	9,41	9,40
	35372390-2	39,64	41,78	157	200	0,43		15000	15000	9,65	
	35372390-3	39,65	41,38	157	200	0,44		15000	15000	9,14	
	35372390-K	39,39	40,57	157	600	1,20	1,20	19000	19000	12,05	12,05
7.gün	40412307-1	39,87	41,34	159	350	0,77	0,67	3500	3000	2,04	1,92
	40412307-2	40,43	40,57	159	250	0,56		3000	3000	1,85	
	40412307-3	40,15	40,24	159	300	0,68		3000	3000	1,85	
	40412307-K	39,52	41,47	158	150	0,33	0,33	19000	19000	12,00	12,00
28.gün	40412328-1	39,42	42,72	158	350	0,72	0,78	13000	12000	7,94	7,54
	40412328-2	39,75	42,34	158	400	0,84		12000	13000	7,45	
	40412328-3	39,71	42,55	158	400	0,82		12000	11000	7,24	
	40412328-K	39,37	40,41	158	100	0,23	0,23	11000	11000	6,98	6,98
90.gün	40412390-1	39,49	41,67	158	100	0,21	0,22	13000	13000	7,90	8,38
	40412390-2	39,58	40,57	158	100	0,23		14000	14000	8,71	
	40412390-2	39,92	41,03	158	100	0,22		14000	14000	8,54	
	40412390-K	39,32	41,24	158	100	0,20	0,20	14000	12000	8,31	8,31

Tablo A.4. Su İçerisinde Zamana Göre Eğilme ve Basınç Mukavemet Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı			
		a mm	b mm	h mm	N	N/mm ²	Ort.	1. N	2. N	N/mm ²	Ort.
7.gün	30332007-1	39,92	41,62	159	550	1,19	1,19	5000	5000	3,13	3,12
	30332007-2	40,13	41,63	159	550	1,18		5000	5000	3,11	
	30332007-3	40,16	41,52	159	550	1,19		5000	5500	3,14	
	30332007-K	39,96	41,10	158	250	0,55	0,55	18000	18000	11,26	11,26
28.gün	30332028-1	39,95	41,05	159	1000	2,22	2,29	13000	12500	7,97	7,85
	30332028-2	39,91	41,19	159	1050	2,32		12500	12000	7,67	
	30332028-3	39,92	41,12	159	1050	2,33		13000	12000	7,90	
	30332028-K	39,69	40,85	159	500	1,13	1,13	22000	23000	14,16	14,16
90.gün	30332090-1	40,04	41,40	159	2050	4,46	4,02	42000	41000	25,90	26,02
	30332090-2	39,67	41,24	159	1600	3,55		41000	42000	26,14	
	30332090-3	40,00	41,22	159	1850	4,08		43000	43000	26,07	
	30332090- K	39,62	41,17	159	800	1,78	1,78	44000	43000	27,44	27,44
7.gün	35372007-1	39,58	41,88	158	650	1,40	1,68	8500	8500	5,37	5,60
	35372007-2	39,70	41,37	158	850	1,88		9000	9000	5,66	
	35372007-3	39,72	41,42	158	800	1,76		9000	9500	5,77	
	35372007-K	39,01	41,12	158	400	0,90	0,90	24000	24000	15,38	15,38
28.gün	35372028-1	39,94	41,12	158	1250	2,77	2,46	17000	17000	10,69	10,60
	35372028-2	40,09	41,31	158	950	2,08		17000	17000	10,60	
	35372028-3	39,12	41,46	158	1150	2,56		17000	17000	10,48	
	35372028-K	39,63	41,22	159	650	1,22	1,22	27000	27000	17,03	17,03
90.gün	35372090-1	40,23	40,70	158	1700	3,82	3,86	34000	35000	21,56	22,37
	35372090-2	40,02	41,14	158	1700	3,90		37000	37000	22,47	
	35372090-3	39,69	41,38	159	1750	3,86		36000	37000	23,09	
	35372090-K	39,90	41,37	158	750	1,64	1,64	39000	38000	24,20	24,20
7.gün	40412007-1	40,17	40,48	158	550	1,25	1,24	7000	7000	4,35	4,34
	40412007-2	40,25	40,94	158	550	1,23		7000	7000	4,25	
	40412007-3	39,75	40,85	158	550	1,24		7000	7000	4,40	
	40412007-K	39,77	41,29	158	250	0,55	0,55	22000	21000	7,85	7,85
28.gün	40412028-1	39,68	41,76	158	700	1,51	1,66	14000	13000	8,50	8,30
	40412028-2	39,82	41,82	159	800	1,72		13000	13000	8,16	
	40412028-3	39,43	41,65	159	800	1,75		13000	14000	8,22	
	40412028-K	39,74	42,36	158	300	0,63	0,63	24000	24000	15,09	15,09
90.gün	40412090-1	41,02	40,32	159	1700	3,82	3,57	31000	32000	19,20	18,64
	40412090-2	41,58	40,33	158	1500	3,32		30000	30000	18,07	
	40412090-3	41,23	40,33	158	1600	3,57		31000	31000	18,64	
	40412090-K	39,83	41,94	159	700	1,49	1,49	38000	38000	23,89	23,89

Tablo A.5. Farklı Sıcaklık Koşullarında Birim Hacim Ağırlık Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Malzeme Hacmi		Malzeme Kütlesi		Birim Hacim Ağırlığı	
		a mm	b mm	h mm	cm ³	Ort.	gr	Ort.	gr/cm ³	Ort.
55°C	30335507-1	39,95	41,70	159	264,88	264,36	335,31	334,02	1,26	1,26
	30335507-2	39,99	42,18	159	268,20		336,40		1,26	
	30335507-3	39,77	40,97	159	260,00		330,34		1,26	
	35375507-1	40,19	41,41	159	264,61	262,46	345,98	344,73	1,30	1,31
	35375507-2	39,94	40,65	159	258,14		341,54		1,32	
	35375507-3	40,05	41,56	159	264,65		346,69		1,31	
	40415507-1	39,80	41,27	160	262,80	265,65	319,24	319,79	1,21	1,20
	40415507-2	39,92	41,92	160	267,75		318,90		1,20	
	40415507-3	39,72	41,92	160	266,40		321,25		1,21	
70°C	30337007-1	40,11	42,34	159	270,02	267,30	338,21	336,16	1,25	1,25
	30337007-2	39,84	41,69	159	264,08		334,40		1,26	
	30337007-3	40,05	42,05	159	267,77		335,89		1,25	
	35377007-1	40,10	42,17	159	268,87	265,32	353,06	348,82	1,31	1,31
	35377007-2	39,74	41,89	159	264,68		348,34		1,31	
	35377007-3	39,76	41,51	159	262,42		345,08		1,31	
	40417007-1	39,78	40,80	159	258,12	261,06	316,65	317,41	1,22	1,21
	40417007-2	39,73	41,50	159	262,15		317,37		1,21	
	40417007-3	39,75	41,60	159	262,92		318,23		1,21	
90°C	30339007-1	39,71	42,51	160	270,09	267,58	340,99	340,66	1,26	1,27
	30339007-2	39,92	42,42	159	269,25		342,50		1,27	
	30339007-3	39,69	41,48	160	263,41		338,49		1,27	
	35379007-1	39,68	40,15	158	251,71	254,70	342,71	346,49	1,36	1,36
	35379007-2	39,76	40,69	158	255,61		345,65		1,35	
	35379007-3	39,74	40,90	158	256,80		351,12		1,36	
	40419007-1	39,55	41,34	159	259,96	260,63	320,39	318,65	1,23	1,22
	40419007-2	39,61	41,91	158	262,28		320,03		1,22	
	40419007-3	39,82	41,27	158	259,65		315,53		1,21	

Tablo A.6. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Malzeme Hacmi		Malzeme Kütlesi		Birim Hacim Ağırlığı	
		a mm	b mm	h mm	cm ³	Ort.	gr	Ort.	gr/cm ³	Ort.
7. gün	30332307-1	39,60	41,38	159	260,54	257,82	338,68	335,75	1,30	1,30
	30332307-2	39,52	41,53	159	260,96		339,64		1,30	
	30332307-3	39,43	40,19	159	251,96		328,94		1,30	
	35372307-1	39,57	41,69	158	260,64	262,15	349,21	348,18	1,34	1,32
	35372307-2	39,46	42,31	158	263,79		350,28		1,32	
	35372307-3	39,61	41,87	158	262,04		345,07		1,31	
	40412307-1	39,54	42,64	158	266,38	260,77	322,51	318,49	1,21	1,22
	40412307-2	39,74	41,36	158	259,69		317,42		1,22	
	40412307-3	39,80	40,75	158	256,25		315,54		1,23	
28. gün	30332328-1	39,47	41,49	158	258,74	255,56	349,59	346,39	1,35	1,35
	30332328-2	39,62	41,38	158	259,03		349,00		1,34	
	30332328-3	39,41	40,23	157	248,91		340,60		1,36	
	35372328-1	39,41	41,10	158	255,92	254,55	349,38	349,89	1,36	1,37
	35372328-2	39,50	40,44	157	250,78		347,40		1,38	
	35372328-3	39,17	41,52	158	256,96		352,91		1,37	
	40412328-1	39,48	42,27	158	263,67	262,60	325,52	327,27	1,23	1,24
	40412328-2	39,60	42,09	158	263,34		330,01		1,25	
	40412328-3	39,49	41,80	158	260,80		326,30		1,25	
90. gün	30332390-1	39,40	41,09	157	254,17	254,58	351,84	353,07	1,39	1,39
	30332390-2	39,42	41,10	157	254,36		354,10		1,39	
	30332390-3	39,37	41,29	157	255,21		353,27		1,39	
	35372390-1	39,60	40,84	159	257,14	260,31	365,74	373,95	1,42	1,43
	35372390-2	39,45	41,55	159	260,62		376,51		1,44	
	35372390-3	39,63	41,77	159	263,19		379,60		1,44	
	40412390-1	39,16	41,15	158	254,60	249,73	343,94	346,34	1,35	1,38
	40412390-2	39,04	39,95	157	244,86		348,75		1,42	
	40412390-3									

Tablo A.7. Su İçerisinde Zamana Göre Birim Hacim Ağırlık Değerleri

	Numune Kodu	Kenar Ölçüleri			Malzeme Hacmi		Malzeme Kütlesi		Birim Hacim Ağırlığı	
		a mm	b mm	h mm	cm ³	Ort.	gr	Ort.	gr/cm ³	Ort.
7. gün	30332007-1	39,71	40,93	158	253,41	257,58	339,16	340,15	1,33	1,32
	30332007-2	39,70	41,49	158	260,25		340,56		1,30	
	30332007-3	39,60	41,36	158	258,78		340,74		1,31	
	35372007-1	39,43	41,15	157	254,73	257,30	349,44	348,53	1,37	1,35
	35372007-2	39,70	41,59	158	260,87		347,66		1,33	
	35372007-3	39,52	41,31	157	256,31		348,49		1,35	
	40412007-1	39,41	40,40	158	251,56	253,05	338,60	341,68	1,34	1,34
	40412007-2	39,43	40,60	157	251,33		341,02		1,35	
	40412007-3	39,62	40,94	158	256,28		345,43		1,34	
28. gün	30332028-1	39,52	41,22	158	257,38	260,40	355,36	353,51	1,36	1,36
	30332028-2	39,80	41,10	158	258,45		352,01		1,35	
	30332028-3	39,67	42,34	158	265,38		353,18		1,36	
	35372028-1	39,55	40,39	158	252,39	254,06	346,21	347,37	1,35	1,36
	35372028-2	39,62	40,61	158	254,21		348,47		1,36	
	35372028-3	39,58	40,87	158	255,58		349,45		1,36	
	40412028-1	39,51	41,16	158	256,94	256,9	345,11	344,00	1,35	1,35
	40412028-2	39,67	41,12	159	259,36		344,59		1,34	
	40412028-3	39,63	40,63	158	254,40		342,28		1,35	
90. gün	30332090-1	39,73	42,60	159	269,10	264,61	371,83	371,08	1,41	1,40
	30332090-2	39,50	42,45	159	266,60		371,39		1,40	
	30332090-3	39,53	41,07	159	258,13		370,02		1,39	
	35372090-1	39,47	40,45	158	252,25	252,27	346,62	366,19	1,38	1,38
	35372090-2	39,45	40,24	158	250,81		345,90		1,38	
	35372090-3	39,60	40,63	158	254,21		346,05		1,38	
	40412090-1	39,70	40,66	160	258,27	258,17	348,22	348,86	1,34	1,35
	40412090-2	39,58	41,00	159	258,02		348,34		1,35	
	40412090-3	39,73	40,88	159	258,24		350,04		1,35	

Tablo A.8. Farklı Sıcaklık Koşullarında Su Emme, Komposite ve Porozite Oranı Değerleri

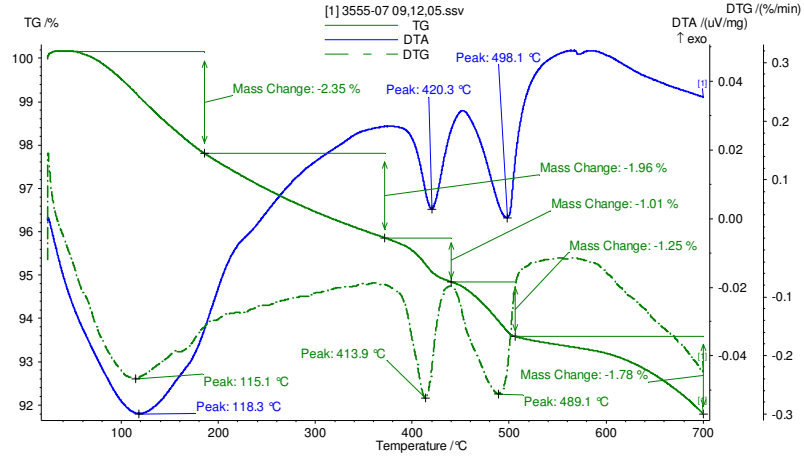
		Komposite oranı		Porozite oranı		Görünen porozite oranı		Kütlece Su Emme Oranı		Hacimce Su Emme Oranı		
	Numune Kodu	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	
55°C	30335507-1	56,48	56,50	43,52	43,50	42,30	42,46	33,56	33,54	43,34	43,37	
	30335507-2	56,49		43,51		42,52		33,60		43,47		
	30335507-3	56,50		43,50		42,56		33,47		43,30		
	35375507-1	58,74	58,74	41,26	41,26	43,30	43,29	32,93	33,05	43,17	43,32	
	35375507-2	58,78		41,22		43,35		33,00		43,32		
	35375507-3	58,64		41,36		42,72		33,24		43,54		
	40415507-1	54,32	54,50	45,68	45,50	46,12	46,17	38,03	38,16	47,08	47,04	
	40415507-2	54,62		45,38		46,32		38,27		47,06		
	40415507-3	54,56		45,44		46,07		38,18		46,99		
	70°C	30337007-1	56,15	56,05	43,85	43,95	42,20	42,05	33,83	33,64	43,32	43,36
30337007-2		56,18	43,82		42,17		33,46		43,35			
30337007-3		55,82	44,18		41,78		33,64		43,42			
35377007-1		58,64	58,74	41,36	41,26	41,52	41,57	31,68	31,74	41,99	42,08	
35377007-2		58,72		41,28		41,64		31,64		42,02		
35377007-3		58,86		41,14		41,55		31,92		42,24		
40417007-1		54,32	54,50	45,68	45,50	46,10	46,07	37,89	38,08	46,92	46,94	
40417007-2		54,63		45,37		46,12		38,29		47,01		
40417007-3		54,55		45,45		45,99		38,06		46,90		
90°C		30339007-1	54,96	54,95	45,04	43,05	40,12	40,14	32,55	31,61	20,07	18,72
	30339007-2	54,45	45,55		40,10		31,18		18,11			
	30339007-3	55,44	44,56		40,20		31,10		17,99			
	35379007-1	61,04	60,98	38,96	39,02	37,94	37,90	28,07	27,87	38,51	38,32	
	35379007-2	60,82		39,18		37,82		28,15		38,50		
	35379007-3	61,08		38,92		37,94		27,40		37,96		
	40419007-1	54,82	54,95	45,18	45,05	45,80	45,82	37,16	37,56	46,64	46,86	
	40419007-2	55,10		44,90		45,76		37,50		46,85		
40419007-3	54,93	45,07		45,90		38,03		47,11				

Tablo A.9. Sabit Dış Ortam Koşullarında Zamana Göre Su Emme, Komposite ve Porozite Oranı Değerleri

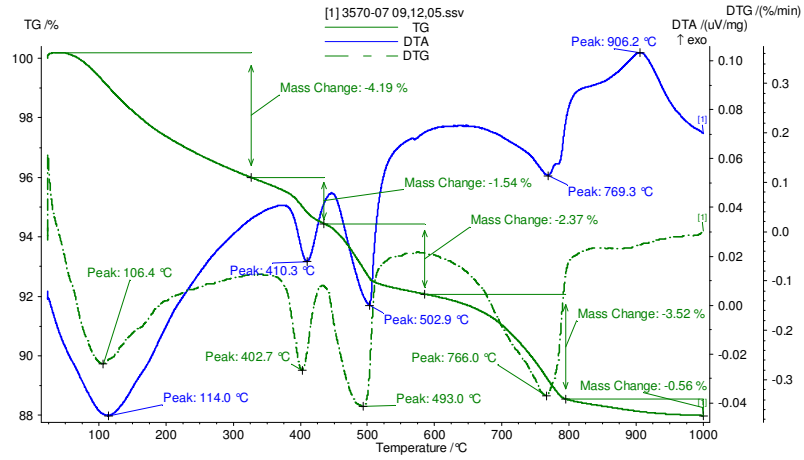
		Komposite oranı		Porozite oranı		Görünen porozite oranı		Kütlece Su Emme Oranı		Hacimce Su Emme Oranı		
	Numune Kodu	%	Ort.	gr	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	
7. gün	30332307-1	58,25	58,29	41,75	41,71	40,42	40,45	31,34	31,12	41,65	41,48	
	30332307-2	58,24		41,76		40,44		31,07		41,65		
	30332307-3	58,38		41,62		40,49		30,95		41,30		
	35372307-1	59,22	59,19	40,78	40,81	40,50	40,48	30,22	30,67	40,83	40,88	
	35372307-2	59,18		40,82		40,44		30,74		41,02		
	35372307-3	59,17		40,83		40,50		31,07		40,80		
	40412307-1	54,92	54,95	45,08	45,05	45,26	45,26	37,21	37,10	46,44	46,40	
	40412307-2	54,98		45,02		45,24		37,09		46,36		
	40412307-3	54,95		45,05		45,28		36,99		46,41		
	28. gün	30332328-1	60,48	60,53	39,52	39,47	37,24	37,20	27,83	27,56	38,38	37,87
30332328-2		60,56	39,44		37,19		27,27		37,41			
30332328-3		60,55	39,45		37,17		27,58		37,83			
35372328-1		61,48	61,43	38,52	38,57	37,60	37,56	27,53	27,42	38,42	38,04	
35372328-2		61,47		38,53		37,48		29,13		40,01		
35372328-3		61,34		38,66		37,60		25,62		35,70		
40412328-1		55,82	55,85	44,18	44,15	42,20	42,27	33,97	34,09	44,03	44,10	
40412328-2		55,96		44,04		42,25		34,01		43,54		
40412328-3	55,77	44,23		42,36		34,30		44,73				
90. gün	30332390-1	62,20	62,33	37,80	37,67	37,05	37,01	26,08	26,63	38,05	38,46	
	30332390-2	62,42		37,58		37,03		27,00		38,73		
	30332390-3	62,37		37,63		36,95		26,81		38,61		
	35372390-1	64,15	64,12	35,85	35,88	35,13	35,12	24,85	24,56	36,65	36,56	
	35372390-2	64,05		35,95		35,11		24,75		36,85		
	35372390-3	64,16		35,84		35,12		24,10		36,19		
	40412390-1	62,20	62,16	37,80	37,84	37,62	37,68	27,36	27,31	38,65	38,54	
	40412390-2	62,09		37,91		37,74		27,26		38,44		
40412390-3	-	-		-		-		-				

Tablo A.10. Su İçerisinde Zamana Göre Su Emme, Komposite ve Porozite Oranı Değerleri

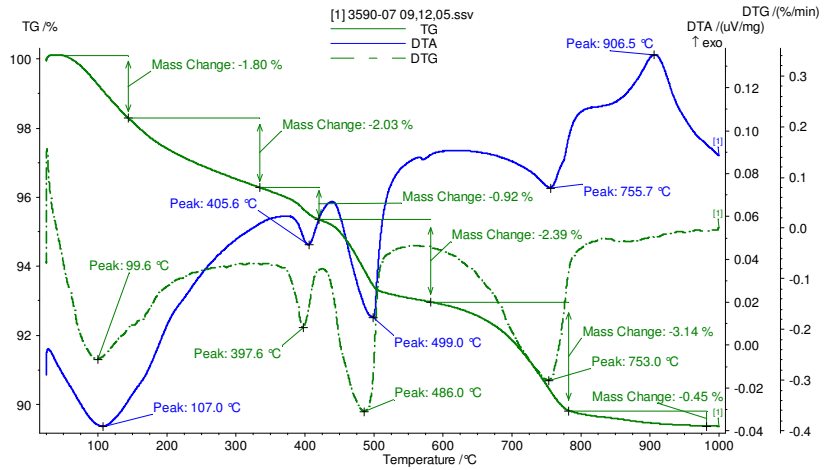
	Numune Kodu	Komposite oranı		Porozite oranı		Görünen porozite oranı		Kütlece Su Emme Oranı		Hacimce Su Emme Oranı	
		%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.	%	Ort.
7. gün	30332007-1	59,25	59,19	40,75	40,81	40,22	40,26	30,30	30,50	40,70	40,86
	30332007-2	59,26		40,74		40,30		30,70		41,06	
	30332007-3	59,06		40,94		40,26		30,50		40,83	
	35372007-1	60,44	60,53	39,56	39,47	38,23	38,19	28,32	28,29	39,40	39,30
	35372007-2	60,50		39,50		38,42		28,64		39,61	
	35372007-3	60,65		39,35		37,92		27,93		38,91	
	40412007-1	60,32	60,36	39,68	39,64	47,63	47,61	35,40	35,53	45,10	45,06
	40412007-2	60,42		39,58		47,73		35,52		45,00	
	40412007-3	60,34		39,66		47,47		35,67		45,08	
28. gün	30332028-1	61,05	60,98	38,95	39,02	34,54	34,61	25,52	25,45	33,30	33,27
	30332028-2	60,92		39,08		34,45		25,50		33,46	
	30332028-3	60,97		39,03		34,84		25,33		33,05	
	35372028-1	61,12	60,98	38,88	39,02	38,16	38,43	28,22	28,26	35,82	35,77
	35372028-2	60,96		39,04		38,40		28,30		35,72	
	35372028-3	60,86		39,14		38,73		28,26		35,77	
	40412028-1	60,93	60,81	39,07	39,19	45,62	45,65	33,82	33,82	42,17	42,34
	40412028-2	60,55		39,45		45,57		33,76		42,49	
	40412028-3	60,95		39,05		45,76		33,88		42,37	
90. gün	30332090-1	62,65	62,78	37,35	37,22	33,15	33,20	23,54	23,72	32,01	32,09
	30332090-2	62,90		37,10		33,45		23,18		32,59	
	30332090-3	62,79		37,21		33,00		24,44		31,67	
	35372090-1	61,90	61,88	38,10	38,12	37,62	37,59	27,14	27,24	34,25	34,16
	35372090-2	61,92		38,08		37,60		27,72		34,12	
	35372090-3	61,82		38,18		37,65		26,86		34,11	
	40412090-1	60,75	60,81	39,25	39,19	44,84	44,78	32,42	32,93	40,03	40,06
	40412090-2	60,92		39,08		44,44		32,81		40,06	
	40412090-3	60,76		39,24		45,06		33,56		40,09	



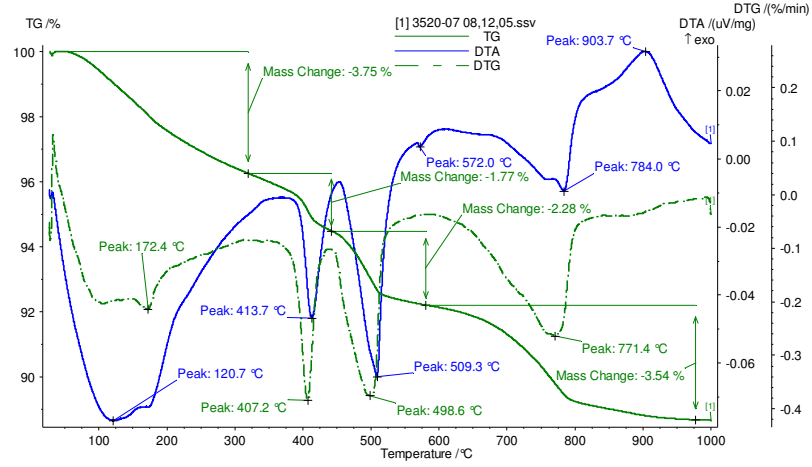
Şekil B.1. 7 Gün 55°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi



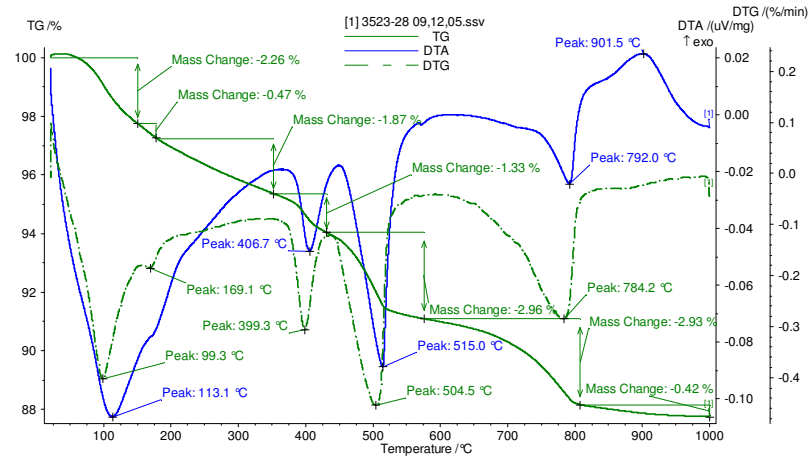
Şekil B.2. 7 Gün 70°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi



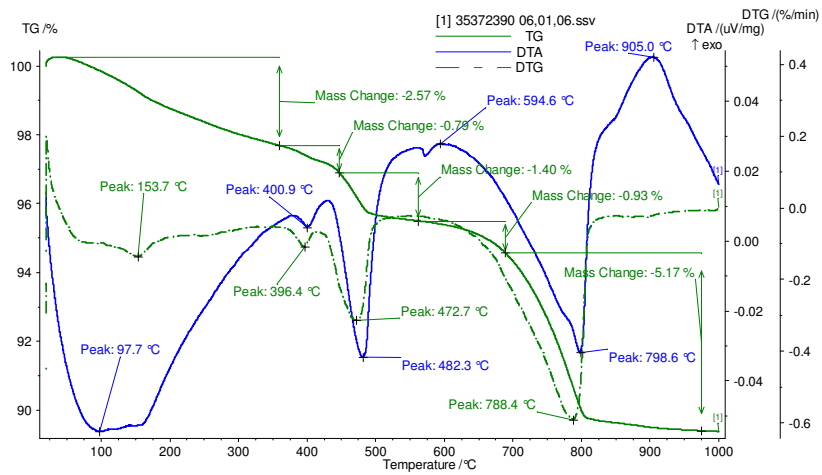
Şekil B.3. 7 Gün 90°C Etüv Sıcaklığındaki Numunenin DTA-TG Analizi



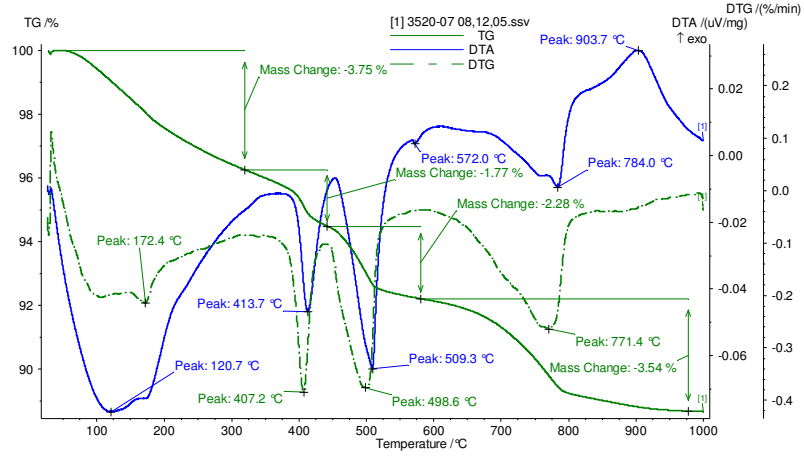
Şekil B.4. Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 7. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi



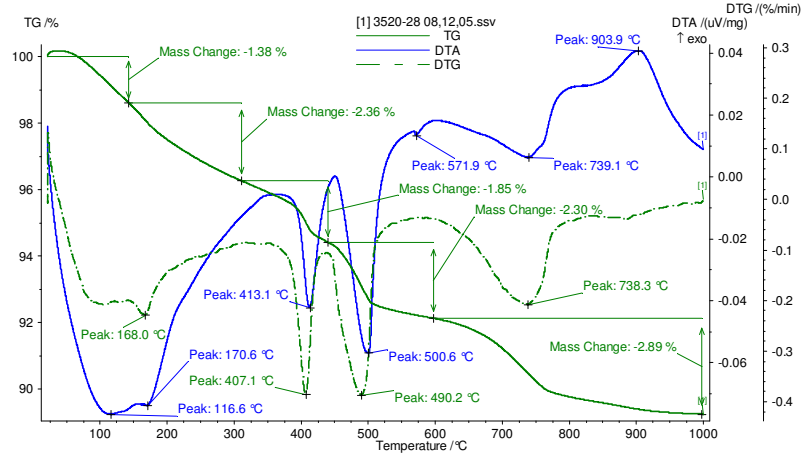
Şekil B.5. Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 28. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi



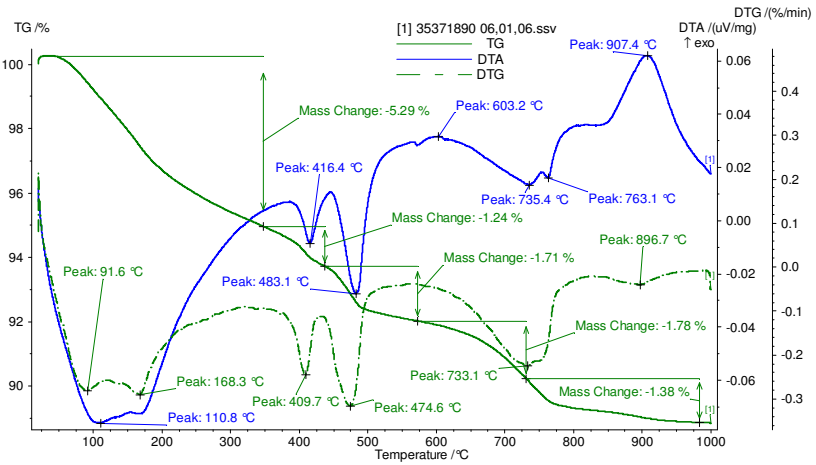
Şekil B.6. Sabit Dış Ortam Koşulunda Bekleyen 90. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi



Şekil B.7. Su İçerisinde Bekleyen 7. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi



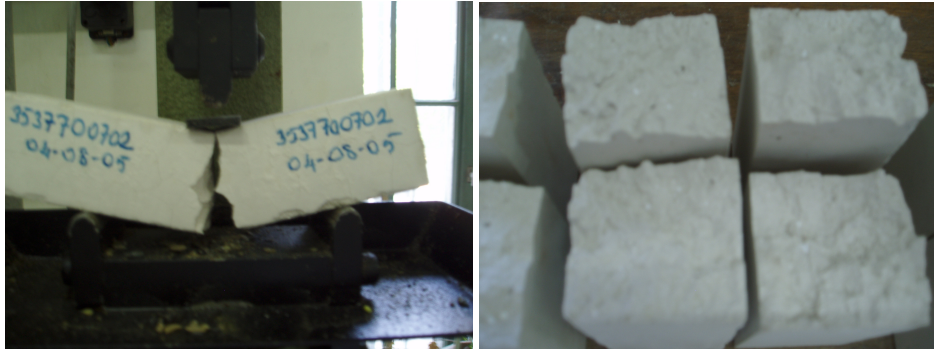
Şekil B.8. Su İçerisinde Bekleyen 28. Gündeki Numunenin DTA-TG Analizi



Şekil B.9. Su İçerisinde Bekleyen 90. Gündeki Numunenin DTA-TG Analiz



Şekil B.10. Sudan Çıkan Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü



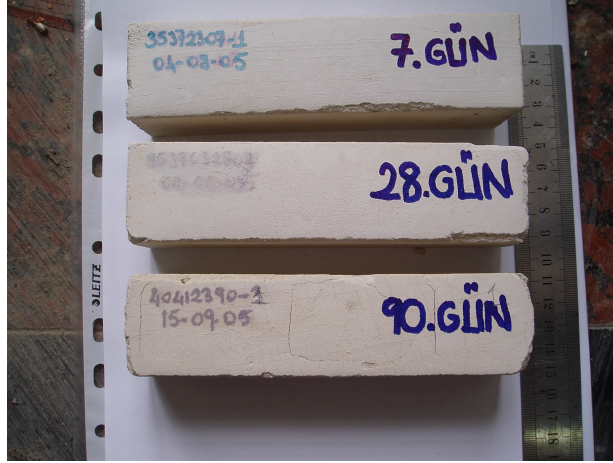
Şekil B.11. Etüvden Çıkan Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü



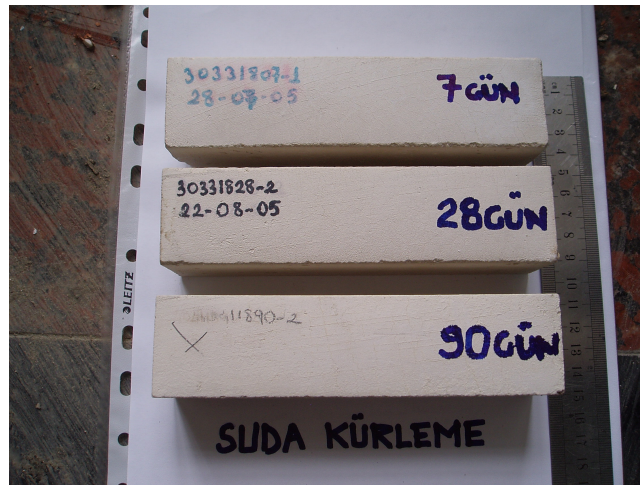
Şekil B.12. Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanım Deneyi Sonrasındaki Görünüşü



Şekil B.13. Farklı Etüv Sıcaklığından Çıkan Numunelerin Görünüşü



Şekil B.14. Sabit Dış Ortam Koşullarındaki Numunelerin Görünüşü



Şekil B.15. Su İçerisinden Çıkan Numunelerin Görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

1979 Samsun doğumlu Esra Akgül, ilk ve orta öğretimini Samsun'da tamamladı. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Mimarlık- Mühendislik Fakültesi Mimarlık Bölümünü kazandı. 2004 yılında İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Malzeme Kürsüsünde yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır. 2005 yılından beri mimari bürolarda çalışmaktadır.