

**POMZA AGREGASI, ATIK MERMER TOZU VE KİTRE KATKILI ÇİMENTO
ESASLI KOMPOZİT MALZEMENİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

İnş. Yük. Müh. Şermin KOÇYİĞİT

**Doktora Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Servet YILDIZ**

MART-2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POMZA AGREGASI, ATIK MERMER TOZU VE KİTRE KATKILI ÇİMENTO
ESASLI KOMPOZİT MALZEMENİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Şermin KOÇYİĞİT

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Danışman: Prof. Dr. Servet YILDIZ

...// 2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POMZA AGREGASI, ATIK MERMER TOZU VE KİTRE KATKILI ÇİMENTO
ESASLI KOMPOZİT MALZEMENİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Şermin KOÇYİĞİT

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :
Tezin Savunulduğu Tarih :**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Servet YILDIZ
Üye : Prof. Dr. Zülfü ÇINAR ULUCAN
Üye : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU
Üye : Prof. Dr. S. Özgür DEĞERTEKİN
Üye : Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR

MART-2016

ÖNSÖZ

Doktora çalışmalarımda, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarımda, desteğini esirgemeyerek beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr Servet YILDIZ'a, görüşleri, fikirleri ve önerileri ile bana yol göstererek çalışmaya katkı sağlayan değerli hocalarım Prof Dr. Salih YAZICIOĞLU ve Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm çalışmam boyunca manevi desteğini benden bir an olsun esirgemeyen, sürekli yanımda olan, varlığıyla bana umut ve güç veren sevgili eşim Yrd. Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT'e teşekkür ederim.

Şermin KOÇYİĞİT
ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
1.2. Çalışmanın Literatürdeki Önemi	9
2. POMZA AGREGASININ TANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ	10
2.1. Pomzanın Özellikleri	12
2.2. Pomza Sektörünün Türkiye ve Dünyadaki Yeri	13
2.3. Pomzanın Endüstriyel Uygulama Alanları	14
2.4. Pomzanın Kompozit Türü Yapı Malzemesi İçerisinde Agrega Olarak Kullanımı	15
3. MERMER	17
3.1. Mermer Atıkları	17
3.1.1. Mermer Atıklarının Oluşumu	17
3.1.2. Ocaklarda Oluşan Atıklar	18
3.1.3. Fabrikalarda Oluşan Atıklar	18
3.1.4. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Değerlendirildiği Yerler	19
4. KİTRE	21
4.1. Kitrenin Yapısı	21
4.2. Kitrenin Üretimi	22
4.3. Kitrenin Kullanım Alanları	23
4.4. Geven Çeşitleri	23
5. GÖZENEKLİ MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK KATSAYILARININ TAYİNİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME	27
5.1. Gözenekli Malzemelerde Yapılan Kabuller	28

5.2.	Porozitenin Bulunması	37
5.3.	Numunelerin Hacim-Ağırlık Oranları İlişkisi	39
5.4.	Modelde Kullanılan Isıl İletkenlik Katsayıları	41
6.	MATERYAL ve METOT	43
6.1.	Pomza Agregası	43
6.2.	Atık Mermer Tozu	45
6.3.	Kitre	46
6.4.	Çimento	47
6.5.	Su	47
6.6.	Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Karışım Oranları	47
6.7.	Isıl İletkenlik Katsayısını Ölçme Deneyi	52
6.8.	Su Emme Deneyi	53
6.9.	Basınç Dayanımı Deneyi	55
6.10.	Aşınma Kaybı Deneyi	55
6.11.	Yoğunluk Deneyi	56
6.12.	Yüksek Sıcaklık Deneyi	57
6.13.	Donma-Çözülme Deneyi	58
6.14.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	59
7.	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	64
7.1.	Isıl İletkenlik Katsayısı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	64
7.2.	Deney Numunelerinin Isıl İletkenlik Katsayısının Sayısal Çözümü	80
7.3.	Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	82
7.4.	Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	90
7.5.	Aşınma Kaybı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	96
7.6.	Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	102
7.7.	Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	106
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	110
	KAYNAKLAR	112
	EKLER	120
	ÖZGEÇMİŞ	122

ÖZET

Bu araştırmada; pomza agregası, atık mermer tozu ve kitre katkılı çimento esaslı kompozit malzemenin mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Ağırlıkça %10, %30 ve %50 oranlarında 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane boyutlarında pomza agregası, %10 ve %20 oranlarında 0.25 mm'lik elekten geçirilerek elde edilmiş atık mermer tozu, %0, %0.5 ve %1 oranlarında kitre ve CEMI 42.5 N tipi portland çimentosu kullanılarak kompozit bir yapı malzemesi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kompozit numuneler üzerinde; **ısıl iletkenlik, su emme, basınç dayanımı, aşınma kaybı, yoğunluk, yüksek sıcaklık ve donma-çözülme** deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ısıl iletkenlik katsayısını teorik olarak tespit etmek için daha önce geliştirilmiş matematiksel bir model kullanılarak sonuçlar bulunmuştur. Bulunan bu teorik sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kompozit numunelerden **3512 no'lu** numunenin mikro yapısı SEM analizi ile incelenmiştir.

Hazırlanan numunelerde pomza agregası miktarı, tane boyutu, kitre miktarı arttıkça ve atık mermer tozu miktarı azaldıkça ısıl iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı, yüksek sıcaklık ve yoğunluk değerlerinin azaldığı, aşınma kaybı, donma-çözülme ve su emme değerlerinin arttığı görülmüştür.

En düşük ısıl iletkenlik katsayısının deneysel olarak bulunan 0.159 W/mK ve daha önce geliştirilmiş matematiksel modelleme ile bulunan 0.147 W/mK değeri ile **3512 no'lu** numuneden elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Kitre, Kompozit Malzeme, Gözeneklilik, Isıl İletkenlik Katsayısı, Atık Mermer Tozu, SEM Analizi

ABSTRACT

**PUMICE AGGREGATES OF MARBLE DUST AND ANALYSIS OF WASTE
TRAGACANT MIXED CEMENT BASED COMPOSITE MATERIAL
PROPERTIES OF ENGINEERING**

In this research; pumice aggregate, waste marble dust and tragacanth added engineering properties of cement-based composite materials were investigated. Weight 10%, 30% and 50% of 0-2 mm, pumice aggregate 2-4 mm and 4-8 mm grain size, 10% and 20% obtained by passing the 0.25 mm sieve waste marble dust, 0%, 0.5% and 1% in tragacanth and CEMI 42.5 N type composite building material has been prepared using portland cement. Thermal conductivity of the composite samples prepared above, water absorption, compressive strength, abrasion loss, density, high-temperature, freeze-thaw tests were conducted. Also the results using a mathematical model previously developed to determine the thermal conductivity was found theoretically. Found these theoretical results were compared with experimental results. Microstructures of the composite samples no. from 3512 was examined using SEM analysis.

Pumice aggregate amount of the produced samples, the particle size, tragacanth amount increases and decreases waste marble powder quantity thermal conductivity, compressive strength, high-temperature and density decrease, abrasion loss, freeze-thaw and water absorption it was seen.

Experimentally, the lowest thermal conductivity of 0.159 W / mK and with the improved mathematical modeling 0.147 W / mK is observed with values obtained from samples no. 3512.

Key words: Pumice, Tragacanth, Composite Materials, Porosity, Thermal Conductivity, Coefficient, Waste Marble Powder, SEM analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Pomza taşının oluşum mekanizması	10
Şekil 2.2. Pomza agregasının gözenekli yapısı	11
Şekil 2.3. Pomzanın genel kimyasal bileşim oranları	11
Şekil 2.4. Asidik ve bazik pomza örnekleri	12
Şekil 2.5. 0-2, 2-4, 4-8 mm olarak boyutlandırılmış pomza agregaları	16
Şekil 4.1. Toz kitre	22
Şekil 4.2. Türkiye’de yetişen geven bitkisi	24
Şekil 5.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli	29
Şekil 5.2. Numunelerin elemanter hücre kesiti	29
Şekil 5.3. Elemanter hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması	33
Şekil 6.1. 0.25 mm’lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu	45
Şekil 6.2. Kitrenin süzüldükten sonraki görünümü	46
Şekil 6.3. Playwood kalıplara dökülmüş numuneler	49
Şekil 6.4. Isıl iletkenlik katsayısının ölçülmesi için hazırlanan 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalar ile 0.25 mm elekten geçirilmiş atık mermer tozu ve %0- %0.5- %1 kitreli deney numuneleri	50
Şekil 6.5. Basınç dayanımı ve aşınma kaybı deneyleri için 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalar, 0.25 mm’lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu ve kitre karışımları ile hazırlanmış deney numuneleri	50
Şekil 6.6. Isıl iletkenlik katsayısını ölçme cihazı	53
Şekil 6.7. Hassas tartı aleti	54
Şekil 6.8. Basınç dayanımı deney cihazı	55
Şekil 6.9. Böhme aleti	56
Şekil 6.10. Yoğunluk ölçüm cihazı	57
Şekil 6.11. Yüksek sıcaklık testlerinde kullanılan fırın	58
Şekil 6.12. Donma-çözülme deneylerinde kullanılan soğutucu	59
Şekil 6.13. JEOL JSM 7001F taramalı mikroskobu	59
Şekil 6.14. Kitrenin numune içerisinde oluşturduğu boşluk ve çatlaklar	60
Şekil 6.15. Numune içerisindeki elementlerin spectrum eğrisi	61

Şekil 6.16. Kitrenin numune içerisindeki dağılımı	62
Şekil 7. 1. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim	67
Şekil 7.2. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim	68
Şekil 7.3. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim	69
Şekil 7.4. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı	70
Şekil 7.5. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı	71
Şekil 7.6. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı	72
Şekil 7.7. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim	75
Şekil 7.8. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim	78
Şekil 7.9. Pomza, atık mermer tozu ve kitre miktarı farklı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin proziteye bağlı değişimi	80
Şekil 7.10. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi	85
Şekil 7.11. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi	86
Şekil 7.12. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi	87
Şekil 7.13. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak su emme oranındaki değişimi	89
Şekil 7.14. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi	92
Şekil 7.15. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi	93

Şekil 7.16. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi	94
Şekil 7.17. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak basınç dayanımı değişimi	96
Şekil 7.18. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi	97
Şekil 7.19. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi	98
Şekil 7.20. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi	99
Şekil 7.21. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak aşınma kaybı değişimi	101
Şekil 7.22. Yüksek sıcaklık etkisindeki 0-2mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim	105
Şekil 7.23. Yüksek sıcaklık etkisindeki 2-4mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim	105
Şekil 7.24. Yüksek sıcaklık etkisindeki 4-8mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim	106
Şekil 7.25. Donma-çözülme sonrası 0-2mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim	108
Şekil 7.26. Donma-çözülme sonrası 2-4mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim	108

Şekil 7.27. Donma-çözülme sonrası 4-8mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm’lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim 109



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Türkiye'nin dünya pomza endüstrisindeki yeri	14
Tablo 3.1. Mermer üretim aşamalarına göre oluşan atıklar	18
Tablo 3.2. Atık mermer tozlarının sanayide kullanım alanları ve oranları	20
Tablo 4.1. Bazı geven türlerinin şeker bileşenleri	21
Tablo 5.1. Elemanter hücre bileşenlerine ait ısı dirençlerinin matematiksel ifadeleri	33
Tablo 5.2. Sıfır gözenekli pomza ve %0.5- %1 kitre katkılı çimento bileşiminin ısı iletkenlik katsayıları	36
Tablo 5.3. Pomza ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm^3)	40
Tablo 5.4. 300 K sıcaklığında bazı gazların yoğunlukları ve ısı iletkenlik katsayıları	41
Tablo 5.5. Modeldeki bileşenlerin ısı iletkenlik katsayıları	42
Tablo 6.1. Pomzanın fiziksel özellikleri	43
Tablo 6.2. Pomzanın kimyasal özellikleri	44
Tablo 6.3. Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri	45
Tablo 6.4. Mermerin kimyasal özellikleri	45
Tablo 6.5. Kitrenin kimyasal, termal ve iletkenlik analiz özellikleri	46
Tablo 6.6. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler	47
Tablo 6.7. Numunelere ait 1000 cm^3 karışım için malzeme miktarları (g)	51
Tablo 7.1. Üretilen kompozit numunelere ait deneysel ve teorik ısı iletkenlik katsayıları ..	66
Tablo 7.2. Numunelere ait su emme deney sonuçları	84
Tablo 7.3. Numunelere ait basınç dayanımı ve aşınma kaybı oranı sonuçları	91
Tablo 7.4. Numunelere ait 400°C , 600°C ve 800°C sonrası basınç dayanımı (MPa) deney sonuçları	104
Tablo 7.5. Numunelere ait donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (MPa) deney sonuçları	107

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Hacimsel kitre yüzdesi, (%)
B	: Hacimsel atık mermer tozu yüzdesi, (%)
C	: Hacimsel pomza yüzdesi, (%)
Gr	: Grashof sayısı, $((g.\beta(T_1-T_2).R^3)/\nu^2)$
k_p	: Sıfır gözenekli pomzanın ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
k_{mt}	: Atık mermer tozunun ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
$k_{\check{c}}$	: Çimentonun ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
k_{ef}	: Numunenin efektif ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
k_g	: Gözenek içi gazın ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
k_k	: Kitrenin ısı iletkenlik katsayısı, (W/mK)
Pr	: Prandtl sayısı, (ν/α)
R	: Elektriksel direnç, (m^2K/W)
Ra	: Rayleigh sayısı, $(=Gr.Pr)$
t	: Isıtma süresi, (h)
T	: Sıcaklık, (K)
V	: Toplam hacim, (m^3)
W	: Numunenin ağırlığı, (g)
α	: Isı yayınma katsayısı, (m^2/s)
ε	: Siyah cismin ışı nım katsayısı
ρ	: Yoğunluk, (g/cm^3)
ρ_k	: Pomza ve mermer tozu matrislerinin yoğunluğu, (g/cm^3)
ρ_{kitre}	: Kitre yoğunluğu, (g/cm^3)
$\rho_{bağ}$	: Kitre ve çimento bağlayıcılarının yoğunluğu, (g/cm^3)
ρ_{pomza}	: Sıfır gözenekli pomza yoğunluğu, (g/cm^3)
ρ_{mt}	: Sıfır gözenekli atık mermer tozu yoğunluğu, (g/cm^3)
$\rho_{pomza\ matrisi}$	: Sıfır gözenekli pomza matrisinin yoğunluğu, (g/cm^3)
σ	: Stefan-Boltzman sabiti, $(5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4)$
σ_b	: Numunenin basınç dayanımı, (kg_f/cm^2)
ν	: Kinematik viskozite, (m^2/s)
ϕ	: Gözeneklilik oranı (%)

KISALTMALAR LİSTESİ

Ç	: Çimento
K	: Kitre
QTM-D2	: Isıl İletkenlik Katsayısı Ölçüm Aleti (Shotherm)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
YSA	: Yapay Sinir Ağları



1. GİRİŞ

Dünya genelinde giderek artan nüfus yoğunluğu, kaynak tüketimi ve çevre kirliliğinin gezegenimizin ekolojisini olumsuz yönde etkilediği açıktır. Yapı sektörü doğadaki malzeme kaynaklarının %50'sinden, enerji tüketiminin %40'ından ve toplam atığın %50'sinden sorumludur [1]. Bu durum dünya nüfusunun artmasına paralel olarak artan bina sayısı nedeniyle daha da artacaktır ve eko sistemin telafi edilemez bir şekilde zarar görmesine neden olacaktır. Doğal kaynak akışının önemli miktarda azalması, insan neslini ve doğada yaşayan diğer canlıların geleceğini tehlikeye sokmaktadır [1].

Eko sisteme olan zararı en aza indirebilmek için ekolojik malzeme kullanımının artması gerekmektedir. Ekolojik yapı malzemesi, üretim ve kullanım sırasında az enerji tüketen, hem enerji kullanımı hem de içinde bulundurabileceği zararlı maddelerle çevreye ve dolayısıyla yaşam sağlığına ve ekolojiye en düşük düzeyde zarar veren, uzun ömürlü ve kolay tamir edilebilen, yenilenebilen ve geri dönüşebilen malzemelerdir. Bu yüzden ekolojik malzeme kullanılmasının teşvik edilmesi, her geçen gün azalan ve yenilenemeyen kaynakların korunmasına, kaynakların veya atık maddelerin akıllıca kullanılmasına ve böylelikle doğal eko sistemin korunmasına yardımcı olacaktır [2].

Kaynakların ve hammaddelerin insan ihtiyaçları için kullanılırken atıkların doğayı bozmaması eko sistemin korunması ile sağlanır [2].

İnsanların temel ihtiyaçlarından olan barınma ve ısınma konusunda, depremlere dayanıklı ve daha az enerji tüketen binaların yapılması ön plana çıkmaktadır. Depreme dayanıklı binalar için düşük yoğunluklu yani hafif betonların kullanılması gerekmektedir. İçerisine düşük yoğunluklu agregalar katılarak üretilen hafif betonların yoğunluğu, 0.8 g/cm^3 ile 2 g/cm^3 arasındadır. Hafif betonların, düşük yoğunluk, düşük ısı iletkenlik katsayısı değeri ve mimari esneklik özelliklerinden ötürü kullanılması ve araştırılması her geçen gün artmaktadır. Isı ve ses yalıtımı gibi üstün özelliklere de sahip olan hafif betonlar, sağladıkları enerji tasarrufu ve konfor nedeniyle normal betonlara nazaran önemli avantajlara sahiptir. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak çimento içerisine farklı agregaların katılması üzerine yoğunlaşmıştır [2].

Hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılan malzemelerden biri de pomzadır. Doğal ve yerel bir malzeme olan pomza, yapı elemanı üretiminde ülkemiz için önemli bir hammaddedir.

Pomza madeni Türkiye’de 1983 yılında pomza ihracatı yapılmaya başlanarak kullanılmaya başlanmıştır [3].

Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı 0.280 kcal/mh°C olarak verilmektedir. Pomza ile yapılarda; kapalı mekânların iç sıcaklıklarını istenilen düzeyde tutabilmek, dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma soğutma işlemlerinde kullanarak enerji tasarrufu sağlamak, çevre sorunlarını çözmek, hava kirliliğini azaltmak ve en önemlisi ısı yalıtımı önlemleri almak önemlidir. Pomza, dokular arasında hava boşlukları (genleşme) fazla olduğu için yumuşak malzemedir. Nem tutucudur. İçindeki gözenekler dolayısıyla nemden çabuk etkilenir. Nemli ortamda yoğunluğu artar. Bu nedenle nemsiz kuru ortamda kullanılmalıdır. Ateşe ve sıcaklığa karşı dayanıklı bir malzemedir. Pomzanın bünyesinde aspest yoktur. Pomza; kaba sıvada, asmolen yapımında, briket ve tuğla yapımında ve tarımda kullanılır. Pomzalar binaların teraslarında ısı ve ses yalıtımı için de kullanılır. En az 10 cm kalınlığında ve üzerine etiper çimento ile karıştırılarak harç haline getirilip teraslara serilebilir [3].

Pomza ile hafif beton üretiminde bazı tedbirler alınarak mukavemeti bir miktar artırılabilir [4].

Yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek mukavemet, ekonomiklik gibi özelliklerinden dolayı pomza bloğun ülkemiz inşaat sektöründeki pazar payı son 10 yıl içinde 4 kat artmıştır [5].

Yapılarda pomza blok kullanımı sonucunda geleneksel yapı malzemelerine oranla %35 - %45 civarında ısı tasarrufu sağlanmaktadır. Pomza bloğun ısı yalıtım özelliği, bloğu oluşturan pomza agregası ve karışımın özelliklerinin bir fonksiyonu olan blok geometrisi ile yakından ilişkilidir [6].

Hafif agregalardan üretilen beton blokların düşük yoğunluk, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangına karşı dayanıklılık ve deformasyonla ilgili özelliklerinden dolayı önemli avantajları vardır. Betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle yapı elemanlarının kendi ağırlığı azaltılıp kesitleri küçültülebilir ve bu şekilde zati (ölü) yüklerin azaltılmasıyla ısı iletkenlik katsayısı küçültülüp ses yutuculuğu artabilmektedir [7].

Bununla birlikte teknolojik ve ekonomik değeri olan mermer atıklarının değerlendirilmesi de ülkemizin çevreye ve geri dönüşüm stratejilerine uyumu açısından önem arz etmektedir. Atık ürünlerin depolanması ya da doğal çevreye atılması, çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olabilmektedir. Değişik sanayi kollarında kullanım alanı bulabilen atık mermer tozları, alternatiflerinin yerine

kullanıldığı takdirde çok daha ucuz bir girdi olabilmektedir. Mermer fabrikalarında üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte ve çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır. Mermer atıkları inşaat sektöründe; sıva numune karışımlarında, mozaik üretiminde, kaplama ve döşemelerde, kireç üretiminde, mıcır olarak, dolgu malzemesi olarak, paledyen olarak karayolu ve demir yollarında kullanım alanları bulunmaktadır.

1.1. Literatür Araştırması

Yaptığım çalışmayla ilgili literatürde yapılan araştırmada, konuya ve materyallere benzer çalışmaların bir kısmı aşağıda özet olarak verilmiştir.

Açıkgenç vd. [8], atık mermer tozu kullanılarak üretilmiş farklı karışım oranlarına sahip KYB karışımlarının bileşenlerinden yola çıkarak, beton numunelerinin dayanım özelliklerini tahmin eden bir YSA (Yapay Sinir Ağları) modellemeye çalışmışlardır. Karışım oranları YSA'ya giriş olarak verilmiş ve çıkış olarak 28 günlük basınç dayanımlarının alınması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda başarılı olan YSA modelinin, beton tasarımı için kullanılabilecek yöntemler arasında yer alması gerektiğini vurgulamışlardır.

Türker vd. [9], atık mermer tozlarının çimentonun hidratasyonu ve mikro yapısı üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada %5-%30 atık mermer tozu katkılı üretilen dört adet çimentonun 2 ve 28 gündeki SEM görüntüleri ile basınç dayanımları, priz süreleri ve normal kıvamlarını incelemiştir. Sonuçlar mermerli çimentolardaki reaksiyon ürünlerinin kalsit kristallerinin çevresinde birikmeye meyilli olduğunu ve CH morfolojisinin Portland çimentosundan tamamen farklı olduğunu belirtmiştir. 2, 7 ve 28 günde yapılan testlerde çimentodaki atık mermer tozu artışı ile dayanımın azaldığı ve dayanım kaybının erken yaşlarda daha az olduğu açıklanmıştır. Ayrıca çimentodaki atık mermer tozu miktarının artışının priz sürelerini artırdığı belirtilmiştir.

Rogers [10], yapılarda ısı yalıtımının etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında ısı yalıtımını enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle yakıt maliyetini düşürdüğünü ve ilk yatırım maliyetini karşılayacağını belirtmiştir.

Çuhadaroğlu [11], brikete fındikkabuğunun eklenmesi ile ısı iletkenliğinin nasıl değiştiğini araştırmış ve farklı oranlarda eklenen fındikkabuğunun biriketin ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğünü belirtmiştir.

Nait-Ali vd. [12], yaptıkları çalışmada, birbirine bağlanmış iki fazın etkin ısı iletkenlik katsayısını hesaplamada uygulanabilecek ve “etkin ortam” kavramını kullanan bir denklem önermişlerdir.

Soykan ve Özel [13], polimer beton teknolojisinde mermer atığının agrega olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada mermer atığını 7 adet elek aralığında ayırmış ve atık mermer tozunu polyester esaslı reçineyle karıştırarak beton üretmişlerdir. Numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. En yüksek fiziksel ve mekanik özellikler 0.075-0.150 mm aralığındaki tane boyutundaki atık mermer tozunun faz malzeme olarak kullanıldığı numunelerden elde edilmiştir.

Demirboğa ve Gül [14], pomza ile üretilen hafif betonda, çimento yerine uçucu kül kullanılmasının ısı geçirgenliğine etkisini araştırmış ve uçucu kül kullanımının hafif betonun ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Şimşek [15], hafif beton üretiminde Karaman maden şehrinin doğusundan temin ettiği pomza agregası ile değişik oranlarda çimento ve ince agrega kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çimento ve ince agrega oranlarını yüzde olarak azaltarak, yerine Soma B Termik Santrali uçucu külü karıştırmıştır. Çalışmasında elde ettiği karışımlarla bulunduğu bu yapı malzemesinin ekonomik durumunu tespit etmiştir.

Kavas [16], geleneksel yöntemlerle kalsiyum alümina çimentosu üretimi yapılırken kalsiyum kaynağı olarak kullanılan kireç hammaddesi yerine atık mermer tozu ve alüminyum kaynağı olarak kullanılan boksit cevheri yerine de alüminyum hidroksit kullanarak üretim şemasını değiştirmiştir. Bu sayede ocaktan ham madde üretme, nakliye, kırma, öğütme ve eleme gibi süreçler, kullanılan ham maddelerin daha önce bir takım süreçlerden geçmiş ham maddeler olması nedeni ile doğrudan kalsiyum alümina çimentosu üretimine başlanabilmiş ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Serin [17], pomza agregası ve diatomit kullanarak çeşitli yoğunluklarda hafif beton bloklar elde etmiştir. Bulduğu hafif beton blokların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini normal beton bloklarlarıinkiyle karşılaştırmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde ettiği pomzalı ve diatomitli beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılmasının uygun olmayacağını, ara bölme duvar elemanı veya yalıtım blokları olarak kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Ağırdır [18], pomza agregasının hafif beton blok üretiminde ısı geçirgenlik özelliğinin iyi olduğunu araştırmış ve yapılarda yakıt maliyetinin azaltılması için Konya Altınapa pomza agregasını değişik oranlarda kullanarak hafif beton bloklar üretmiştir.

Çalışmasının sonucunda kullanmış olduğu pomza agregasının ısı tasarrufu sağladığı ve yapılarda yakıt maliyetini düşürdüğünü belirtmiştir.

Gennaro vd. [19], İtalyanın güneyindeki Campanian Ignimbrie bölgesindeki toprak oluşumunu, endüstriyel bir atık olan ve porselen yüzeylerin parlatılmasında kullanılan bir çeşit çamuru farklı oranlarda karıştırarak genleşebilen bir malzeme üretmişlerdir. Üretim aşamasında farklı sıcaklıklar, üç farklı çamur oranı, döner ve sabit tipte fırınlar kullanmışlardır. Bu farklı parametreler ile üretilen numunelerin yoğunluk ve kimyasal yapılarını araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarını üretim maliyeti ve atık değerlendirme yönünden incelemişlerdir.

Lea ve Straddling [20], kalsiyum hidroksitin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kirece (CaO) dönüştüğünü ve soğutulduktan sonra kirecin hidratasyonda genleşmesiyle ısıtma süresinde suyun betonda ciddi zararlara yol açabileceğini belirtmişlerdir.

Kars [21], Türkiye’de üretilen briketlerin ısı davranışlarını incelediği çalışmada pomza agregalı blokların ısı iletkenlik katsayısının standartlarda verilen değerlerden daha düşük olduğunu belirlemiştir. Blok düzeyi konstrüksiyonların oluşturulmasında, pomzanın bu özelliğinden dolayı tuğla ve benzeri yapı bileşenlerinden daha iyi ısı yalıtımlı olduğunu ifade etmiştir.

Gündüz vd. [22], çeşitli atık mermer tozu ile katkılı Portland çimentosunu değişik dozajlarda karıştırarak, elde edilen numunelerin farklı kür sürelerindeki tekno-mekanik özelliklerini araştırmışlardır.

Oğuz ve Türker [23], pomza agregası ile üretilen betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, dozajı arttırmaları ve su-çimento oranını azaltmaları durumunda basınç dayanımının arttığını belirtmişlerdir. Yarı hafif ve hafif betonların yük taşıyıcı elemanlarda kullanılmaması gerektiğini vurgulamışlardır.

Uysal vd. [24], farklı dozajlardaki çimento ve hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranında bims agregası ile numuneler hazırlamışlardır. Numunelerin bims oranıyla yoğunluk ve ısı iletkenlik değişimlerini incelemişler, sonuçta çimento dozajının azalmasıyla ısı iletkenliğinin ve yoğunluğun azaldığını belirtmişlerdir.

Özdeniz [25], biriketler üzerinde araştırmalar yapmış ve dış duvar bileşeni olarak yeni bir briket tasarımı geliştirerek yapı fiziği ve maliyeti açısından incelemiştir. Elde edilen briketin sıcak, soğuk, yağmurlu, rüzgarlı ve her türlü iklim şartlarında, geleneksel ve gelişmiş yapım tekniklerinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Biçer vd. [26], yapılarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla Karaman ilinde bulunan geniş rezervlere sahip pomza üzerine çalışma yapmışlar ve pomzanın yapı malzemesi olarak kullanılması halinde yapılardaki ısı değişimlere karşı yalıtım özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir.

Benazzouk vd. [27], çimentoya atık lastik parçalarını hacimsel olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Karışımlara atık lastik eklemek numune yoğunluklarını azaltmıştır. Numunelerin ısı iletkenlikleri ölçülmüş, geliştirilen modelle sonuçlar mukayese edilmiştir. Karışımlardaki atık lastik oranının artmasıyla ısı iletkenliğinin düştüğü, teorik sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğu vurgulanmış, atık lastiklerin yeniden ekonomiye kazandırılabilceği önerilmiştir.

Lau ve Anson [28], %1 oranında çelik lifle güçlendirilmiş betonların farklı sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra dayanım özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, artan maksimum sıcaklık ve yangından önce artan ilk doygunluk yüzdesi ile birlikte beton dayanımında bir azalma olduğunu göstermiştir. %1 oranında çelik lif katılması durumunda yangın ve çatlama dayanımlarında artış gözlenmiştir.

Luikov vd. [29], gözenekli malzemelerin ısı iletim katsayıları konusunda çalışmalar yapmışlardır. Gözenekli malzemelerin içyapılarının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbiri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek ısı iletkenlik katsayısının tespiti için bir denklem geliştirmişlerdir. Yazarlar bu denklem sonuçlarının deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Grangjean vd. [30], iki boyutlu kare matris içinde disk biçimli ikinci faza sahip malzemenin etkin ısı iletkenlik katsayısını veren ifadeyi elde etmiştir.

Bjorneklett vd. [31], çok ya da az birbirine bağlanmış elips şekilli gözenekler için Bruggeman ifadesini genişletmişlerdir. Bu son model, özellikle ince kolonsal şekilli ve ısı akış yönüne dik olarak yönelmiş gözeneklerin bulunduğu kaplamalar içindir.

Collishaw ve Evans [32], gözenekli bir katının etkin ısı iletkenlik katsayısını hesaplamak için bazı ifadeleri yeniden incelemişlerdir. Herbir durumda ele alınan ifade, katı matris içindeki gözenek fazlarının dağılımıyla ilgili mikro yapının geometrik olarak basitleştirilmesini esas almaktadır. Gerçek mikro yapının geometrik olarak basitleştirilmesi yaklaşımı seçilen modelin doğruluğunu tanımlamaktadır.

Wyrall vd. [33], nemli ve kuru olan numunelerin deneysel sonuçlarını incelemişler ve iki fazlı gözenekli yapı malzemelerinin etken ısı iletkenliklerini literatürdeki dokuz farklı modelle hesaplayıp sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Muntohar ve Hantoro [34], yaptığı çalışmada atık mermer tozunu üç farklı zemin numunesi içerisinde % 0, 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 ağırlık oranlarında karıştırarak, Atterberg limitleri, proctor ve permeabilite deneyleri yapmışlardır. Grafiksel olarak nispi eğilimler görüldü de belirgin bir sonuç elde edememişlerdir.

Wang vd. [35], iki formlu yapılar için literatürdeki beş temel ısı iletkenlik modelini çeşitli şekillerde birleştirerek yeni denklemler türetmişlerdir. Seri, Paralel, Maxwell-Eucken 1, Maxwell-Eucken 2 ve Etkin Ortam Teorisi modellerini kendi aralarında uyarlayarak bulmuş oldukları yeni denklemin karmaşık yapılar için uygulanabilir olduğunu söylemişlerdir.

Samantray vd. [36], iki fazlı malzemelerin etkin ısı iletkenlik katsayılarını hesaplamak için türetilmiş ifadeleri incelemişler ve gözeneklilik oranının düşük olduğu yapılar için Maxwell ifadesini, gözeneklilik oranının fazla olduğu durumlar için Bruggeman, Raghavan, Hashin-Shtrikman ifadelerini kullanmışlardır. Yüksek gözenekliliğe sahip malzemelerde analitik modelin seçimi düşük gözenekliliğe sahip (<%20) malzemelere göre daha kritiktir. İki fazlı sistemlerin boyutsuz ısı iletkenlik katsayısının (k_{ef}/k_{em}), en başta gözenek-matris ısı iletkenlik katsayıları oranı (k_g/k_m) ve malzeme içerisindeki gözeneklerin hacimsel yoğunluğuna bağlı olduğunu görmüşlerdir.

Başer ve Çokca [37], şişen zeminleri atık mermer tozu ve atık kireçtaşı tozu ile iyileştirme konusunu ele almış ve her iki atık malzemeden de %5 ile %30 arasında değişen karışımlar hazırlamışlardır. Bu numuneler üzerinde hidrometre, Atterberg limitleri, özgül ağırlık, serbest şişme oranı, serbest şişme deneyleri yapılmış ayrıca 7 ve 28 günlük kürlü numuneler üzerinde de serbest şişme deneyleri yapmışlardır. Her iki atık malzeme de atık malzeme oranı arttıkça şişme oranında düşme gözlenmiştir, ayrıca kür ile birlikte şişme oranlarının azaldığı hatta azalma miktarının %58'lere ulaştığı görülmüştür.

Biçer [38], uçucu kül ile çimento ve kireç bağlayıcıları kullanarak üretilen numuneler için 300 K sıcaklığında, k_s / k_g değerinin 1-100 aralığında, gözenek çaplarının $(60-80) \times 10^{-6}$ m mertebelerinde ve birbiri ile temas etmeyen, rastgele dizilmiş gözenekler ihtiva eden katı malzemeler için ısı iletkenlik katsayısını belirlemiş ve denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğunu da göstermiştir.

Yıldız [39], Afşin-Elbistan ve Soma termik santral külleri ile bağlayıcı olarak polipropileni değişik oranlarda karıştırarak yeni bir yalıtım malzemesi elde etmiştir. Bulmuş olduğu rastgele dizilmiş gözenekler ihtiva eden söz konusu yalıtım malzemesi için

deneysel ısı iletkenlik katsayısını belirlemiş ve denklem sonuçlarıyla deneysel sonuçların kıyaslamasını yapmıştır.

Cömert vd. [40], çalışmalarında uçucu kül, atık mermer tozu ve atık kum katkılarını iki farklı doğal zemine ilave etmişlerdir. Zemin-atık karışımlarının farklı karışım oranlarında, optimum su içerikleri ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneler kür sürelerine tabi tutulmuş ve serbest basınç dayanımları ve tane boyutu dağılımları bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre iki farklı doğal zemine, atık malzemelerden %40 ilave edildiğinde numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları açısından yol alt temelinde kullanılabileceği belirlenmiştir. Numunelerde serbest basınç dayanımı açısından optimum yüzdelere ise %20 uçucu kül, %5-10 atık mermer tozu ve %5 atık kum olduğu bulunmuştur.

Devicioğlu ve Biçer [41], değişik oranlardaki genleştirilmiş kil agregası ve değişik oranlarda kireç-çimento bağlayıcısı ile numuneler hazırlayıp numunelerin ısı iletkenliği ve mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır.

Çanakçı vd. [42], Gaziantep yöresine ait kireç taşının ısı iletkenliğini araştırmışlardır. Numunelerin yoğunluk, porozite, su emme oranı ve nem miktarıyla ısı iletkenliğinin değişimlerini incelemişlerdir. Sonuçlarda, nem miktarı ve su emme oranının artmasıyla ısı iletkenliğinin arttığını, yoğunluk ile ısı iletkenlik arasında çok iyi bir bağlantının olduğunu söylemişlerdir.

Huat vd. [43], tarafından yapılan çalışmada % 0, 10, 20, 30, 40 olarak atık mermer tozu oranlarının artırımı ile çalışmadaki belirsizliğin nedeni anlaşılmış; bu oranlarda dahi değişimin küçük miktarlarda olduğu, çok yüksek oranlarda olmadığı belirlenmiştir. Küçük oranlardaki deneysel analizler istenilen sonuçları veremezken, yüksek oranlarda (%10, 20, 30, 40) kullanılan atık mermer tozu atıklarının ise daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

ACI araştırma komitelerinin raporlarında [44] döşeme ve yol betonlarının aşınmaya dayanıklılığı etraflıca araştırılmış, beton köprü ve yollarda kayganlığa karşı direncin artırılması için yüzeyin pürüzlendirilmesi ve aşınmanın azaltılması gereği vurgulanmıştır.

Koçyiğit [45], değişik kombinasyonlarda pomza agregası, kireç ile birlikte çimento kullanarak yeni bir yapı malzemesi üretmiş, üretilen numunelere ısı iletkenlik ve mekanik deneyler yapmış, matematiksel bir modelleme geliştirerek deneysel sonuçlar ile matematiksel modellemeye çıkan sonuçları kıyaslamışlardır.

1.2. Çalışmanın Literatürdeki Önemi

Literatürde pomza agregasının ve atık mermer tozunun kullanımıyla ilgili çeşitli araştırmalar mevcuttur. Bunlardan biri pomza, numunelerin ısı özelliklerini iyileştirmek, zati yükleri azaltmak için farklı şekillerde kullanılmıştır. Diğer bir çalışmada ise pomza, atık mermer tozu ve diğer agrega çeşitleri birlikte kullanılarak numuneler üretilmiş, üretilen numunelerin gözeneklerine yalıtım özellikli köpük malzemeler yapıştırılarak ısı yalıtımı sağlanmaya çalışılmıştır.

Atık mermer tozunun agrega olarak kullanılabilirliği ve farklı oranlarda kullanımı sonucu kompozit türü yeni yapı malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca atık mermer tozu ve pomza agregasının birlikte kullanımıyla, yangında, ısı, ses yalıtımında ve mekanik zorlanmalar altında oluşturacağı etkiler araştırılmıştır.

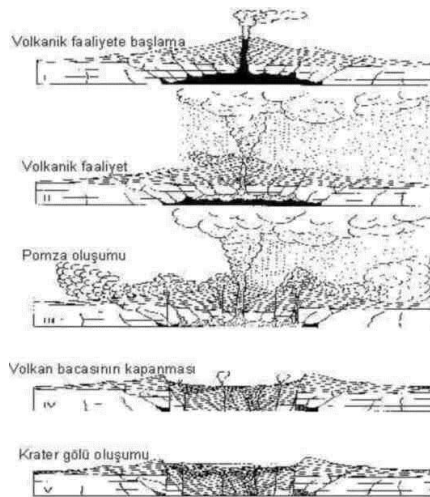
Bu çalışmada, literatürden farklı olarak doğal bir reçine olan kitre, atık durumdaki mermer tozu ve pomza agregasının birlikte kullanılmasıyla, üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısı, su emme, basınç dayanımı, aşınma kaybına karşı göstereceği dayanıklılık, yoğunluk, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımı araştırılmıştır. Deneylerde kullanmış olduğumuz kitrenin doğal ve yöresel bir reçine olması, ısı iletkenlik katsayısının düşük olması, üretilmek istenen numuneler içerisinde değişik oranlarda etkisinin ne olduğu ve farklı oranlardaki pomza agregası ile davranışı incelenmiş, atık mermer tozu ikamesi ile de numunelerin hem ısı iletkenliği hem de dayanımları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. POMZA AGREGASININ TANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Doğal hafif agrega olarak nitelendirilen pomza taşından kırma, eleme ve boyutlandırma ile elde edilmiş farklı tane boyutlarındaki malzemeye pomza agregası adı verilmekte olup kısaca pomza denilmektedir [46,47].

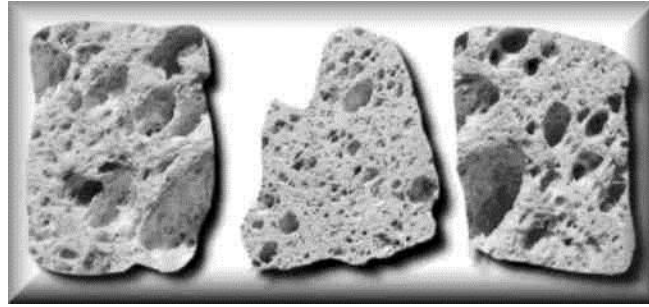
Pomzayı tanım olarak açıklamak gerekirse; volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş silikat esaslı, amorf yapıda, camsı, süngerimsi görünümlü, birim hacim ağırlığı küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan doğal bir volkanik kayadır. Dilimizde sünger taşı, hışır taşı, topuk taşı gibi adlar alan bu kayaç, İngilizce’de pumice (iri taneli) veya pumicite (ince taneli), Almanca’da pomza (iri taneli) veya pomzatein (ince taneli), Fransızca’da ponce ve İtalyanca’da ise ponza olarak bilinmektedir [46,48]. Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Tükçe’de pomza, ponza, pümis ve pümisit gibi terimlerle ifade edilir [49].

Bir başka tanıma göre pomza, birbiriyle bağlantısız boşluklu, süngerimsi, silikat esaslı, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş (Şekil 2.1), fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, birim hacim ağırlığı 1 g/cm^3 ’ten küçük, gözenekli ve camsı bir kayadır [50, 51, 52, 53]. Endüstriyel kullanım açısından tanımlandığında ise; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş fiziksel ve kimyasal özelliklere karşı dayanıklı, zararsız, uzun ömürlü, ısı ve ses yalıtım özelliği sağlayan, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, camsı özelliğe sahip volkanik bir kayaç olarak da tanımlanabilir [46].



Şekil 2.1. Pomza taşının oluşum mekanizması [53]

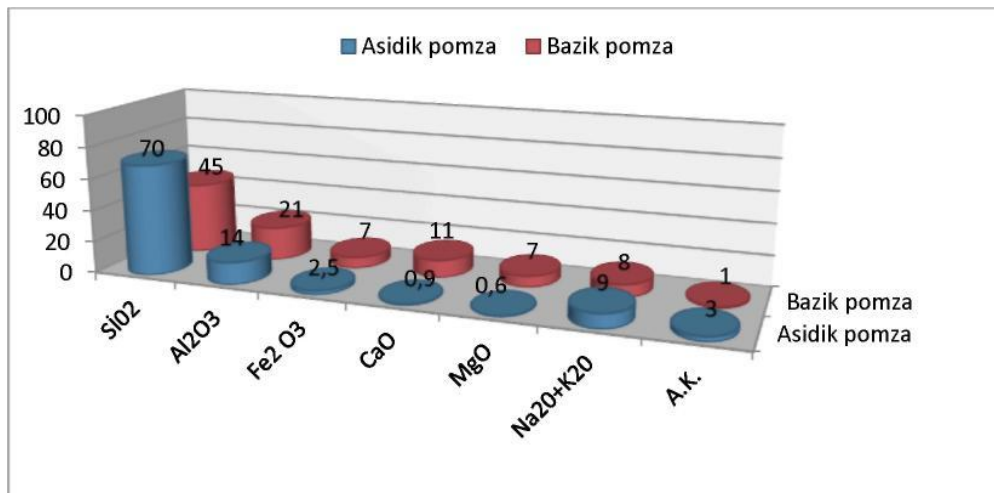
Pomza, oluşumu sırasında bünyesindeki gazların ani olarak dışarı çıkması ve hızlı bir şekilde de soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir [53]. Bir anlamda pomza, volkanik tüf olup erimiş halde iken absorbe ettiği gazların soğuma sırasında kütesinden ayrıldığı boşluklu (Şekil 2.2) bir malzemedir [54]. Genelde gözenekler arasının bağlantısız olması ve gözeneklerin yarı açık veya kapalı olmasından dolayı geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir [55,56].



Şekil 2.2. Pomza agregasının gözenekli yapısı [54]

Pomzanın kimyasal bileşimi, bulunduğu yöreye göre bazı farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak %75'e varan silis (SiO_2) içeriğine (Şekil 2.3) sahiptir [49,57]. Pomza, volkanik oluşum mekanizmasının asidik ve/veya bazik oluşu ve meydana gelen kayacın yapısal özelliğine göre iki türe ayrılabilir [46,47]. Bunlar;

- Asidik karakterli pomza
- Bazik karakterli pomza



Şekil 2.3. Pomzanın genel kimyasal bileşim oranları [51]

Yeryüzünde en yaygın bulunan ve kullanım türü geniş olan asidik pomza, beyaz ve kirli renge (Şekil 2.4) sahip olanıdır. Bazik pomza ise siyahımsı renkteki pomza türüdür [58].

Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksektir ve inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda da kullanımı bulunmaktadır. Her iki pomza türü de oluşum sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi hızlı bir şekilde terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmışlardır [58].



Şekil 2.4. Asidik ve bazik pomza örnekleri [51]

Pomza uluslararası birçok alanda yıllardır kullanılan, volkanik kökenli, endüstriyel bir hammaddedir. Ancak ülkemizde yapı sektöründe kullanımı çok eski değildir. Doğal yapısı sayesinde ses ve ısı izolasyonu sağlayarak ciddi oranda enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Alternatifi olan gaz beton ve benzeri yapı elemanlarına göre ekonomik oluşu nedeniyle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmaktadır [47]. Endüstriyel bir hammadde olan pomza, 50’den fazla sektörde amacına göre ya ana hammadde ya da katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır [59].

2.1. Pomzanın Özellikleri

Pomza, yüksek oranda ve birbirleriyle bağlantılı olmayan gözenekler içeren, % 50’ye yakın nem suyu bulunduran ve dolayısıyla nemi alındığında özgül ağırlığı 0.5 g/cm^3 ’e kadar düşebilen, toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve ses yalıtkanlığına, uygun basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip ve özel kimyasal bileşimi olan doğal bir malzemedir. Tipik pomza gözenekleri 1 mm’den küçüktür. Bazik pomzalarda ise gözenekler daha iridir. Pomzalar, gözenekli yapılarından dolayı yüksek

poroz yapıya sahip olmalarına karşın, gözeneklerinin birbiriyle bağlantılı olmamalarından dolayı düşük geçirgenliğe sahiptirler ve bu nedenle su üzerinde çok uzun süre yüzebilirler. % 2-3 gibi bir neme sahip olduklarında çok zor kırılmalarına karşın sıfır rutubette kolay kırılırlar. Sertlikleri esasen toz halde önemlidir. Pomza, kayaç olarak sert olmasa da toz malzeme olarak çeliği aşındıracak sertliğe sahiptir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan, bazik karakterli pomzalarda da alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranlarda bulunması nedeni ile diğer endüstri alanlarında kullanım alanı bulabilmektedir. Strüktür yapıda bulunan gözenekler, matriks yapıda yer alan bileşenler ile sınırları çok iyi belirlenmiş bir durumda olup, gözenek cidarları ikincil kuvars kristalleşmeleri ile camsı görünümde bir zarla çevrelenmiştir. Bu olgu, pomza gözenek karakteristiğinin en belirgin özelliklerinden birisi olmaktadır. Diğer önemli bir özellik ise, matriks yapıda gözenek yüzdesinin toplam strüktür yapı içerisindeki dağılım oranı ve geometrik form şekillerinin belirgin oluşudur. Pomza strüktür yapısında, gözenekler arasındaki et kalınlığının değişiminin, kayacın dayanımına etkisi kaçınılmaz bir olgudur. Bu konu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, boşluklar arası et kalınlıklarının artmasının, kayacın basınç dayanım değerini arttırdığını göstermiştir. Pomza taşının yüksek gözenekli bir yapıya ve bağlantısız boşluklu bir strüktüre sahip olduğu, üzerine gelen ses şiddetinin büyük bir kısmının sönmölendirilerek ses yalıtımı özelliği gösterdiği bilinen bir gerçektir [60].

2.2. Pomza Sektörünün Türkiye ve Dünyadaki Yeri

Dünyanın en önde gelen ham pomza üreticisi ülkeleri; İtalya, Yunanistan, Türkiye, Almanya, ABD, Fransa ve İzlanda'dır. Bu ülkelere son yıllarda Çin, Kanada, Yeni Zelanda, Endonezya gibi ülkeler de girmiştir. Pomza, gelişen dünya endüstrisinde halen elliden fazla endüstriyel alanda farklı amaçlarla kullanım imkanı bulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, pomza üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular neticesinde, bu sayı her geçen gün hızla artmaktadır [60].

Dünyada pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, yaklaşık 10 farklı renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir. Ülkemizde üretilen (yaklaşık 1.250.000 ton/yıl) pomzanın yurt içinde tüketim miktarının tamamına yakını inşaat sektöründe, hafif yapı elemanı üretiminde

kullanılmaktadır. Çok az bir oranda tekstil sektörü ve ziraat sektöründe kullanımı yanında, farklı endüstriyel alanlarda doğrudan veya yarı mamul olarak kullanımı bulunmaktadır. Ülkemizde 2003 yılında üretilen pomzanın %12.16'lık kısmı ham olarak yurt dışına ihraç edilmiş iken, bu değer 2004 yılında %15.92 ölçeğine yükselmiştir. Dolayısıyla, 2004 yılında Türkiye pomza ihracatı 2003 yılına göre %31'lik bir artış göstermiştir. Bu da, ülkemizde pomza sektöründe yer alan üretici kuruluşların madencilik faaliyetlerindeki bir gelişmenin sonucu olmuştur. Ancak, Türkiye'nin dünya pomza sektörlerinde hammadde olarak yer alma oranlarına bakılacak olursa, arzu edilen ve ülke ekonomisine yüksek katma değer sağlayan ölçütlere henüz ulaşamadığı da görülebilmektedir. Bu olgu, Tablo 2.1'de sunulmuştur [61].

Tablo 2.1. Türkiye'nin dünya pomza endüstrisindeki yeri [61]

Sektörler	Dünya Pomza Tüketimi (%)	Türkiye'nin Dünya Pomza Tüketimindeki Payı (%)
İnşaat Sektörü	72	8
Tekstil Sektörü	5	65
Ziraat Sektörü	4	5
Kimya Sektörü	7	3
Diğer Sektörler	12	2

Bu tablodan da görüldüğü gibi, dünya pomza tüketiminin büyük bir kısmını inşaat sektörü kapsamaktadır. Ancak, bu tüketimde ülkemizin yer alma oranı, yüksek rezerv potansiyelimize rağmen dünya ticaretinde olması gereken yerde değildir. Bu da göstermektedir ki, Türkiye henüz inşaat sektörü açısından dünya pomza ticaretindeki yerini yeterince alamamıştır. Bu da, pomzanın yeterli tanıtımı ve ülke içi üretim maliyetlerinin düşürülerek dış rekabet şansının artırılması ile sağlanabilecektir.

2.3. Pomzanın Endüstriyel Uygulama Alanları

Pomza farklı endüstri dallarında yaygın kullanım imkânı bulmaktadır. Pomzanın kullanıldığı başlıca endüstri dalları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- İnşaat - Yapı endüstrisinde,
- Tekstil endüstrisinde,
- Kimya endüstrisinde,
- Ziraat-Tarım endüstrisinde,
- Kişisel bakım-kozmetik endüstrisinde,
- Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda

Dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Bununla beraber dünyada pek çok endüstri alanının vazgeçilmez hammadde kaynağı olmasına rağmen ülkemizde tekstil sektörü haricindeki endüstri alanlarında durum farklılık arz etmektedir [61].

2.4. Pomzanın Kompozit Türü Yapı Malzemesi İçerisinde Agrega Olarak Kullanımı

Hafif yapı malzemelerine verilen önemin artmasına paralel olarak, pomzaların düşük yoğunlukları, yüksek ısı ve ses izolasyonu, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve işçilikten tasarruf gibi üstün özelliklerinden dolayı yapı endüstrisinde kullanım alanı giderek artmaktadır.

Pomza, normal kum ve çakılın 1/3-2/3'ü kadar yoğunluğa sahip olup aynı durum pomza ile yapılan karışımlarda da görülür. Pomzalı yapı malzemeleri diğer yapı malzemelerine göre çok daha hafif olmaları nedeniyle taşınma, kullanım ve işçilikte önemli tasarruf sağlar. Ülkemizde yaşanan depremler sonrasında pomza agregalarının kullanımı giderek önem kazanmaktadır [60]. Pomzalı yapı malzemelerinin kullanılması ile temele aktarılan yük azalır ve deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterir. Pomza kullanılarak yapılarda inşaat demirinden yaklaşık %17 oranında tasarruf sağlanır. Isı yalıtım malzemeleri, beraber kullanıldığı diğer yapı malzemeleriyle ve yapı kabuğuyla uyumlu, insan sağlığına zararlı etkileri olmayan, yapı fiziki ve yapı biyolojisi kurallarına uygun, çevreye uyumlu, zararsız, mimari ve estetik beklentileri bozmayan, uygulaması pratik ve temini kolay malzemeler olmalıdır. Pomza, ısı yalıtım malzemesi olarak bütün bu beklentileri karşılamakta ve yangına dayanıklılık açısından da %20'ye varan oranda daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca pomza ısı ve ses yalıtkanı olarak normal yapı malzemelerinden 4 kat fazla izolasyon kalitesi sağlayarak yaşanan mekanlarda büyük çapta enerji tasarrufu ve ses yutuculuğu sayesinde ses denetiminde önemli avantajlar

sağlar.

Pomza karayollarında dolgu maddesi ve kaplama olarakta kullanılır. Şekil 2.5'te görüldüğü üzere çeşitli eleklerden geçirilerek veya titreşime tabi tutularak pomza kayaçları boyutlandırılmıştır. Bu boyutlandırmanın amacı pomza kayaçlarının kompozit yapı içerisinde mekanik özelliklerini arttırmaktır. Tane boyutu arttıkça kompozit yapının dayanımı azalmaktadır [60].



Şekil 2.5. 0-2, 2-4, 4-8 mm olarak boyutlandırılmış pomza agregaları

Şonuç olarak; pomza ve ince malzemesi kullanılarak kumlu karışımlarla karşılaştırmalı dayanım, yanma, donma ve ısıl iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonuılarından pomza ince malzemesi kullanılarak yapılan sıvanın;

- Kum ile yapılan sıvaya göre 2 kat fazla basını dayanımına sahip olduğu,
- Yangından sonra kum sıvaya göre 5 kat fazla basını dayanımı gösterdiği,
- Dondan sonra kum sıvaya göre 3 kat fazla basını dayanımına-sahip olduğu,
- Kum sıvaya göre ısıl iletkenliği yarı yarıya dűşűk olduğu ve yaklaşık 3-4 kat ısı ve ses tasarrufu sağladığı saptanmıştır [62].

3. MERMER

Mermerlerin kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda magnezyum karbonat ve silisyum dioksit, ayrıca pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renklidirler. Fakat yabancı maddelerin ve özellikle madensel oksitlerin tesiriyle sarı, pembe, kırmızı, mavimsi, esmer ve siyah renkli olabilmektedirler. Bünyelerinde bazen rastlanan değişik renklerdeki damarlar, taşlara hayranlık uyandıran bir görüntü kazandırdığı gibi, kıymetlerini de arttırmakta; dekorasyon ve süsleme işlerinde özellikle bu çeşit mermerler tercih edilmektedir [63].

Özellikle yukarıda belirtilen “hakiki (kristalin) mermerler” dünya üzerinde ağırlıklı olarak Alp Kuşağı, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan ve Hindistan (Himalayalar)’dan Çin’e kadar uzanan alanda bulunmaktadır. Ayrıca metamorfik masifler içinde yer alan mermerler, masiflerin bulunduğu yerlerde (Kanada, İsveç, Anadolu, Urallar-Sibirya, Güney Afrika, Güney Amerika ve Avustralya) görülmektedir [63].

“Ticari” anlamda ve ismini mermerin bulunduğu yerlerden, renkten ve mermerin bizzat kalitesinden alan mermerler ise, kesilip parlatılabilen her çeşit taşı kapsamaktadır. Bu tanımlama içindeki hakiki mermerin yanında, iyi parlatılabilen kalker, traverten, serpantin, oniks mermeri, dolomit, granit, diyabaz, bazalt, arduvaz, kumtaşı, tektonik breş ve konglomera da yer almaktadır [63].

3.1. Mermer Atıkları

3.1.1. Mermer Atıklarının Oluşumu

Blokların veya kesilebilir boyuttaki molozların ocaklardan çıkarılması esnasında oluşan irili ufaklı parçaların yanı sıra; blokların mermer işleme tesislerinde mamul hale getirilmesi esnasında oluşan bütün mermer plaka parçaları ve tozları “mermer artığı” olarak değerlendirilmektedir [64]. Mermer üretim aşamalarına göre oluşan atık miktarları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Mermer üretim aşamalarına göre oluşan atıklar [64]

Kayıplar	Net Mermer Üretimi	Mermer Ocak Atığı	Mermer İşleme Atıkları	Silim – Parlatma Atıkları	Toplam Atık	Üretilmiş Mermer Rezervi
%	30	50	15	5	70	100

3.1.2. Ocaklarda Oluşan Atıklar

Ocaklarda bulunan mermerler, doğal bir kaya halindedirler. Ocak kazı ekipmanlarıyla blok mermer üretimi yapılırken kesme işlemi esnasında az miktarda mermer kırıntısı ve tozu oluşmaktadır. Bunların da ocak içerisinde dağılması ve kirlenmesi nedeniyle fazla bir önem taşımadığı tespit edilmiştir [65].

Ocakta ana kütleden koparılan ve çok iri boyutlarda olan blokların sayılanması (belirli ebatlarda blok elde edilmesi için alt, üst ve yanlardan kesilmesi) esnasında “kapak” adı verilen parçalar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, mermer ocağında bulunan arızalar, faylar ve benzeri nedenlerden dolayı, blok üretimi yapılırken ortaya çıkan ve blok elde edilemeyen iri boyuttaki molozlar açığa çıkmaktadır. Bunlara ocak pasası denilmektedir. Mermer ocaklarında oluşan bu atıklar, ocakların kenarlarında biriktirilerek kendi haline terk edilmekte, mozaik yapımında kullanılmak üzere, isteyen firmalara çok düşük fiyatlarla satılmaktadır [65].

3.1.3. Fabrikalarda Oluşan Atıklar

Fabrikalarda bloklardan belirli ebatlarda plakalar elde edilmektedir. Başlangıçta bu plakaların boyutları uygun ölçülerde olmadığından, ebatlandırma esnasında kenarlarından parçalar açığa çıkmaktadır. Bununla birlikte blok ve plakalarda bulunan çatlak veya kırıklardan dolayı plakalar kırılmakta ve böylece küçük boyutlarda parça plaka atıklar oluşmaktadır. Mermercilikte bunlara “paledyen” adı verilmektedir [64,65].

Elmas soketli, dairesel testereli taş kesme makinelerinde (S/T); bloklardan plaka elde edilmesi esnasında, blokların alt kısımlarından açığa çıkan ve plaka mermer elde edilmesi mümkün olmayan iri boyuttaki mermer atıkları oluşmaktadır. Bunlardan zaman zaman mutfak taşı evyesi elde edilmektedir. Mermerciler için en önemli sorunlardan birisi; mermerin kesilmesi esnasında makinelerin kesme işlemini yapan testerelerin ağzından

ıkan çok k boyuttaki mermer tozu atıkların oluşumudur [64,66].

Kesme işlemi sulu olarak yapıldığından, açığa çıkan tozlar su ile birlikte taşınmakta ve çökeltme havuzlarında toplanmakta ya da yeni yöntem uygulanan çökeltme tanklarında susuzlaştırılıp presleme makinelerinde sıkıştırılarak kek haline getirilmektedir. Her iki halde de açığa çıkan atıklar, presleme makinelerinde sıkıştırılarak kek haline getirilmektedir ve doğaya atılmaktadır [65,66].

3.1.4. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Değerlendirildiği Yerler

Mermere artan talebi karşılamak amacıyla, ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin sayısında bir artış gözlenmektedir. Bunun doğal sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözünde evrecilik ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının yaygınlaştığı grlmektedir [67].

Dünyada kullanılan kaynakların hızla tükenmesi, çeşitli uluslararası kuruluşları, kaynakların nasıl verimli kullanılacağı, kullanılmakta olan kaynaklardan maksimum verimin nasıl sağlanacağı konularında çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınma “şu anki ihtiyaçlarımızı karşılarken, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme potansiyelini tehlikeye atmamalıdır” [68].

Atık sahalarına atılan malzemelerin değerlendirilebilirliği üzerine yapılan literatür çalışmaları, mermer işleme tesis atıklarının yapı malzemesi olarak kullanımı haricinde, farklı boyut fraksiyonlarına indirilmiş toz atıkların, mimaride süsleme hammaddesi, dolgu malzemesi ve/veya tarımsal amaçlı katkı malzemesi gibi kullanımını göstermektedir. Mermer atıkları, parça boyutu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Birinci rn, iri boyutlu parça mermer atıkları, ikinci ürün ise kolloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm’ye ulaşabilen kesim toz artığı olmaktadır. Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. İri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilme, toz atıklar ise direkt olarak farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkanı bulunmaktadır. Her iki tür atığın değerlendirildiği alanlar bulunmaktadır.

Parça mermer atıklar; beton agregası, döşeme plağı agregası, sıkıştırılmış yol zemini, baraj+inşaatlarda dolgu malzemesi, demir yolu zemin malzemesi, paledyen-yerdşeme malzemesi ve benzeri yerlerde değerlendirilebilmektedir [69]. Toz mermer

atıklar; zirai kireçtaşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı, yem ve mineralli besinler, sıva katkı malzemesi, çimento üretimi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, asit nötrleştirmede, cam üretiminde, kağıt üretiminde, şeker rafinasyonunda, baca gazından kükürdün gideriminde kullanılmaktadır [69]. Mermer tozlarının sanayide kullanım oranı ve miktarı ile ilgili Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığının 1997 yılı verileri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Atık mermer tozlarının sanayide kullanım alanları ve oranları [68]

KULLANIM ALANI	% CaCO ₃	Üretim Miktarı (ton)
Seramik	5 - 6	300.000
Plastik	30 - 45	560.000
Çimento	15 - 20	28.550.000
Gübre	50 - 80	3.500.000
Kanatlı Hayvan Yemi	10 – 12.50	927.000
BB ve KB Hayvan Yemi	5 - 7	1.450.000
Boya	Tespit Edilemedi	130.000
Gazete Kağıdı	2 - 6	140.000
Kitap Kağıdı	5 - 40	90.000
Ambalaj Kağıdı	20 - 25	28.000
Sigara Kağıdı	35 - 40	5.400

4. KİTRE

Baklagiller (*Leguminosae*) familyasından geven ya da keven (*Astragalus*) denilen dikenli bitkiden, doğal olarak sızan veya gövdesinin çizilmesiyle sızdırılan reçinenin doğal şartlarda kurutulmasıyla elde edilen bir tür zamktır [70,71].

Kitre binlerce yıldan beri bilinmektedir. Yiyecek kimyası literatüründe, geven öz suyundan elde edilen kurutulmuş zamk diye tanımlanır. 2000'den fazla geven türü olmasına rağmen en çok kitre ticareti, *Astragalus gummifer* ve *Astragalus microcephalus* türünden yapılır. Kitre elde edilen geven türleri, Güney Batı Asya'da Pakistan'dan Yunanistan'a kadar geniş bir coğrafyada yetişir [72].

4.1. Kitrenin Yapısı

Kitre; çok dallı, heterojen, hidrofilik, karbonhidrat bir polimerdir. Metoksi grupları da içerebilir. Moleküler ağırlığı yaklaşık 840.000 dalton'dur. Biraz asidik bir polisakkarit olup, eser miktarda nişasta ve selüloz içeren karmaşık bir yapısı vardır. Kitre, asidik hidrolizden sonra, monosakkarit olan; galaktoz, ksiloz, arabinoz, ramnoz gibi şekerler ile galakturonik asit üretirler. Farklı yerlerden elde edilen kitrelerde hidroliz sonunda farklı şekerler üretilir. İçeriğindeki yüksek oranlı fucose, klisoz, galakturonik asid ve metoksi gruplarından dolayı yüksek vizkozite özelliği gösterirler [72]. Kitre elde edilen bazı geven türlerinin şeker türleri ve miktarları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bazı geven türlerinin şeker bileşenleri [72]

	A.	A. Gossypinus	A. Rahensis	A. Compactus	A. Fluccosus
<i>Microcephalus</i>					
Arabinoz	35	1	51	7	23
Ksiloz	19	32	11	21	24
Gulukoz	10	1	13	2	0
Fukoz	9	23		35	8
Galaktoz	2	1	7	2	7
Ramnoz	1	1		1	0
Galakturonik asit	21	37	9	30	21

Kimyasal olarak kitre iki kısımdan oluşur [73]. Birinci kısım trangakantik asit ya da bassorin denilen maddeden oluşur. Bu kısım kitrenin yaklaşık %60 ile %70' ni oluşturur ve suda çözünmez. Bu kısım suda şişer ve jel kıvamını alır. İkinci kısım, trangakantin denilen ve suda çözülen küçük kısımdır. Suda erimeyen ve şişen trangakantik asid, kitrenin asidik kısmı olup, magnezyum, potasyum ve kalsiyum katyonlarıyla ilişkilidir [72].

4.2. Kitrenin Üretimi

Kitre, Haziran ve Temmuz aylarında toplanır. Geven bitkisinin kökleri açılarak gövdeye rahat ulaşım sağlanır. Kök ile gövde arasında kalan bölüm bir bıçak yardımıyla 2-3 yerden çizilir. Çizikler 1 cm civarındadır. Toplama işlemi 10 gün sonra başlar. Bu sürede gövdedeki çiziklerden geven bitkisinin reçinesi akar. Akan bu reçine havayla temas ettikten sonra kurur ve sertleşir. Kurumuş reçine kitre adıyla kalitesine göre sınıflandırılır. İlk akan kitre beyaz ve şeffaf olup, birinci kalite olarak anılır. Bu kitre türüne fiyor denir.



Şekil 4.1. Toz kitre

15 gün sonra, çizik yerlerinden yeniden akan kitre toplanır. Bu akan kitre sarımtırak renkte olup ikinci kalite olarak adlandırılır. Doğal ortamda, kuş, böcek ve doğa şartlarından dolayı bazen bitkinin gövdesinde yaralanmalar olur. Bu durum neticesinde reçine doğal olarak gövdeden sızar ve üzerinde birikebilir. Bu ürüne firde denir [74].

Kitre elde edilen gevenler, en çok Türkiye, İran, Kafkasya ve Afganistan civarlarında yetişirler [75]. Türkiye’de üretilen yaprak kitrelerin renkleri, beyaz, sarı ve kahverengi olarak farklılık göstermektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere yaprak kitre bir

elektrik motoru ile öğütölerek toz haline getirilmiştir.

4.3. Kitrenin Kullanım Alanları

Başlıca kullanım alanı gıda ve ilaç sektörüdür. Birçok hazır gıda maddesinde kıvam arttırıcı olarak kullanılır. Gıda kodeksine göre kitre zmkı E413 numarasıyla emülgatörler ve kıvam arttırıcılar bölümünde tanımlanmaktadır. İyi asit dengesi, doğal emilim ve uzun raf ömrüyle gıda sektöründe tercih edilir [72]. Dondurma, pasta, sos, şerbet ve puding imalatında kullanılır. Ayrıca reçel, şekerleme, unlu mamuller, gıda dolgu maddeleri, salata sosları ve alkolsüz içeceklerde de kullanılmaktadır [76].

İlaç sektöründe yaygın olarak pastil imalatında kullanılır. Kolloid özelliğinden dolayı süspansiyon, emülsiyon ve draje üretiminde de tercih edilir. Tanımlanmış yan etkisi yoktur.

Bilinen diğer kullanım alanları; kozmetik, tekstil ve boya endüstrisidir [76]. Ayrıca ebru sanatında kıvam arttırıcı olarak kullanılır.

4.4. Geven Çeşitleri

Geven bitkisinin, yetiştiği bölgelere göre farklılık gösteren yaklaşık 2000 türü vardır [77]. Türkiye’de yaklaşık 400 geven bitkisi türü bulunmaktadır [75]. Anadolu’da çalı kümeleri halinde çok sık rastlanan bu bitkiler dağlık kırsal kesimde yakacak ve hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Geven bitkisi kısa boylu, dik gövdeli, sık dallı, sık dikenli çok yıllık bir bitkidir. Çalı tipindeki geven türlerinde yapraklar flama şeklindedir. Yaşlandıkça yaprakları dökölür. Orta damar sert diken şeklinde bitki üzerinde kalır. Çiçekleri pembe, kırmızı ve sarımsı renklidir. Çiçekleri 5 dişli ve 2 dudaklı olup, kelebek şeklindedir. Kümeler halinde 850 ile 3000 m yükseklikte bulunurlar [78].



Şekil 4.2. Türkiye’de yetişen geven bitkisi [79]

Türleri farklı olmasına rağmen Şekil 4.2’de görüldüğü gibi Türkiye’de yetişen geven bitkilerinden yaprak yapıları benzerlik göstermektedir. Yerel isim olarak Boz Geven ya da Kara Geven denen, *Astragalus microcephalus*, karasal Anadolu ikliminde yaşayan, çalı türünde, genellikle Orta ve Doğu Anadolu Bölgesi’nde bulunan kitre elde etmede kullanılan türdür [74,79]. Ak Geven, Püs Geveni, Zamk Geveni gibi yerel isimleri olan *Astragalus gummifer*, orman, mera, bozkır ve tepe yamaçlarında yetişir. Çok yıllık ve çalı tipindedir. Tomurcukları toprağa yakın odunsu gövdelidir. 30 ile 60 cm boyuna kadar uzayabilen, genellikle de yatay yayılan kümeler halinde bulunur. Yaprakları koyu yeşil renkte 3-10 mm uzunluğunda, 2-5 mm genişliğindedir. Çiçekleri başak şeklinde olup aynı dal üzerinde 30 ile 50 çiçek oluşabilir. Tohumları 2-4 mm boyutlarında olup oval bir yapıya sahiptir. Orta ve Doğu Anadolu’da yaygındır [72, 80]. Kitre elde edilen türdendir.

Kurt Geveni olarak bilinen *Astragalus kurdicus*, kayalık yamaçlarda yetişen, çok yıllık, çalı türünde bir bitkidir. Endemik olmayan bu tür, 1400 ile 2900 m yüksekliklerde yetişip, yaz aylarında çiçeklenir. Güneydoğu Anadolu’da sıkça görülen, kitre elde edilen türdür [72,80].

İran kitresi elde edilen, *Astragalus gossypinus*, 500-1000 m yükseklikte türeyen, çok yıllık çalı biçimli bir bitkidir. Endemik olmayan, Türkiye’de Güney Anadolu ve Güney Doğu Anadolu’nun uç bölgelerinde yetişen bir bitkidir [80]. İran’da, kitre üretiminde sıkça kullanılan türdür [73].

Altın geven olarak bilinen *Astragalus aureus*, taşlı yamaçlarda ve dağlık bölgelerde yetişen, çok yıllık, çalı tipinde bir türdür. Endemik olmayan bir tür olup 2100- 3300 m gibi çok yüksek yerlerde yetişirler. Doğu ve Kuzeydoğu Anadolu en çok görüldüğü bölgelerdir. Orta Asya kökenli bir bitkidir [80]. Anadolu’da kitre elde edilen türlerdendir [78].

Çok yıllık, çalı tipindeki *Astragalus compactus*, bozkırlar ve tepelik yamaçlarda görülürler. Endemik bir tür olup Orta ve Doğu Anadolu'nun kuzeyinde görülürler. Kitre elde edilen türlerdendir [76].

Keçi Geveni olarak bilinen *Astragalus angustifolius*, kayalık, taşlık, kurak yamaçlarda yetişen, çok yıllık bir bitkidir. Bahar ve yaz aylarında çiçeklenir. Orta, Güney ve Batı Anadolu'da görülür [80,81].

Şişik Geven yerel adlı *Astragalus anthylloides*, bozkır ve kayalıklarda yetişen, çok yıllık otsu bir bitkidir. 17 ile 25 cm boylarına ulaşır, bahar ve yaz aylarında pembe çiçekler verir. Karasal Anadolu ikliminde olan Orta Anadolu Bölgesi'nde sık görülür [80,81].

Kısa Kanatlı Geven yerel adlı *Astragalus brachypterus*, ekilmiş tarla ve dağlık bölgelerde yetişen çok yıllık çalı türündeki bitkidir. 7 ile 15 cm boyuna erişebilen, yaz aylarında mor ve pembe çiçekler veren, endemik bir bitkidir. Orta, Kuzey ve Doğu Anadolu'da 600 ile 2100 m civarında görülürler [80,81].

Kıvrık Geven yerel adlı *Astragalus campylosema*, kayalık yamaçlar ve çalılıklarda yetişen çok yıllık endemik bir türdür. Yaz aylarında çiçeklenir. Orta, Doğu ve Güney Anadolu'da görülür. İran ve Orta Asya kökenlidir [80,81].

Meyan Yapraklı Geven olarak bilinen *Astragalus Glycyphyllos*, orman kenarları, kayalık yerler, kıyılar ve çalılıklarda yetişen çok yıllık endemik olmayan türdür. Yaz aylarında sarı çiçekler açar. Kuzey ve Kuzeybatı bölgelerimizde görülür. Avrupa ve Sibirya kökenlidir [80,81].

Sert Tüylü Geven yerel adlı *Astragalus hirsutus*, çam ormanları, otlaklar ve kalkerli çalılık alanlarda yetişen çok yıllık, endemik otsu bir türdür. Yaz aylarında sarı çiçekler açarlar. Kuzey, Güney Batı, Orta ve Doğu Anadolu'nun dış kısımlarında görülürler [80,81].

Şeffaf Pullu Geven yerel adlı *Astragalus hyalolepis*, alpin çalılıklar ve taşlı yamaçlarda yetişen çok yıllık otsu endemik olmayan türdür. 1600 ile 2400 m gibi yüksek yerlerde yetişirler. Yaz aylarında çiçek verirler. Kuzeydoğu ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde rastlanırlar [80,81].

Kayseri Geveni yerel adlı *Astragalus karamasicus*, bozkır ve çorak alanlarda yetişir. Çok yıllık otsu endemik bir türdür. Yaz aylarında mor renkli çiçekler açarlar. Boyları 10 ile 20 cm civarında olur. Türkiye'nin orta bölgelerinde kuzeyden güneye kadar olan coğrafi alanda görülürler [80,81].

Tavşan Kuyruğu Geveni yerel adlı *Astragalus lagurus*, bozkırlar, dağlar ve yüksek meralarda yetişen çok yıllık çalı türünde bir bitkidir. Yaz aylarında sarı çiçekler açar.

Kuzeybatı bölgelerinde 1200 ile 2900 m civarında görülürler [80,81].

Küçük Kanatlı Geven yerel adlı *Astragalus micropterus*, 850 ile 1900 m civarında, taşlı, kayalık yamaçlarda yetişen çok yıllık otsu, endemik bir türdür. Yaz aylarında pembe renkli çiçekler açarlar. Orta Anadolu'da görülmekte olup, İran ve Orta Asya kökenlidir [80,81].

Çamsı Geven yerel adlı *Astragalus pinetorum*, çamlı koruluklar, alpin çalılıklar ve taşlı yamaçlarda yetişen, çok yıllık, otsu ve endemik bir türdür. Yaz aylarında sarı çiçekler açar. Orta, Güney ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde görülür [80,81].

Laz Geveni denilen *Astragalus ponticus*, kuru kıyılar, tarlalar ve yol kenarlarında yetişen, çok yıllık, otsu ve endemik olmayan bir bitkidir. 75 ile 150 cm boylarında olup yaz aylarında çiçek verirler. Daha çok Kuzey, Orta ve Doğu Anadolu Bölgeleri'yle Batı Akdeniz coğrafyasında görülürler [80,81].

Kuş Tüyü Geveni yerel adlı *Astragalus ptilodes*, 500 ile 700 m yüksekliklerde yetişen, çok yıllık çalı türünde bir bitkidir. 15- 30 cm boyunda olup, yaz aylarında beyaz çiçekler açar. Kuzey ve Batı Anadolu ile Ege Adaları'nda görülürler [80,81].

Sert Yapraklı Geven yerel adlı *Astragalus strictifolius*, yüksek alanlarda yetişen, çok yıllık, çalı türünde bir bitkidir. 10- 20 cm boylarında olup, endemik olmayan ve yaz aylarında çiçek veren bir türdür. Doğu Anadolu'da görülmekte olup, İran ve Orta Asya kökenlidir [80,81].

Tabanı Odunsu Geven olarak adlandırılan *Astragalus xylobasis*, şistli yamaçlar ve çayırlarda yetişen, çok yıllık, otsu ve endemik bir türdür. Yaz aylarında pembe çiçek açarlar. 20 ile 35 cm boylarına ulaşabilirler. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yetişir [80,81].

Kitre katıldığı ürüne yüksek vizkozite kazandırır. Kokusu yoktur, rengi karışım için uygundur [72].

5. GÖZENEKLİ MALZEMELERİN ISIL İLETKENLİK KATSAYILARININ TAYİNİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME

Gözenekli malzemeler, çeşitli endüstrilerde geniş kullanım alanları nedeniyle üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir araştırma alanıdır. Bu malzemeler gerek üretim süreci gerekse kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle kapalı veya açık boşluklardan oluşan maddelerdir. Gözenek boyutlarına göre mikro gözenekli, mezo gözenekli ve makro gözenekli malzemeler; malzemenin yapısına göre katı gözenekli malzemeler, taneli malzemeler ve lifli malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada, pomzaların gözenek boyutları atık mermer tozunun ikamesine rağmen 1 mm'den küçük olduğundan mikro gözenekli katı malzemeler esas alınarak inceleme yapılmıştır [64].

Gözenekli malzemelerin birim hacim ağırlığı ρ , malzemelerin mekanik dayanımlarında, su ve buhar geçirimsizliğinde ve ısı iletkenlikte önemli bir göstergedir. Bu fiziksel büyüklük, boşluk miktarı ve sürekli fazın kimyasal yapısı ile ilgilidir. Boşluk oranı porozite (ϕ) arttıkça iletkenlik azalır, dolayısı ile birim hacim ağırlığı azalan malzemenin yalıtkanlık değeri artar, çünkü hareketsiz hava $k_h = 0.023$ W/mK değeri ile çok iyi bir yalıtıcıdır [64].

Boşluklardaki gazın türüne göre malzemenin ısı iletkenlik katsayısının değiştiği, örneğin poliüretan köpüklerde boşlukların freon-12 gazı ile doldurulması durumunda köpüğün ısı iletkenlik katsayısının, 0.033 W/mK'den 0.016 W/mK değerine düştüğü görülmüştür [64]. Boşluklu malzemelerde sürekli fazı oluşturan maddenin kimyasal bileşimi, serbest elektron bulunması, kristal veya amorf yapılı olması, ısı iletkenliği etkiler. Örneğin serbest elektron içeren metal ve alaşımları ısıyı çok iyi iletirken, serbest elektron içermeyen seramikler, camlar ve polimerler daha az iletirler. Isı iletkenlikte bunlardan başka malzemenin sıcaklığı, nem oranı, yüzey özellikleri, rengi, yapılarında bulunan maddelerin özellikleri ve hacimsel oranlar da etkilidir. Gözeneksiz yapı malzemelerine uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik bağıntıları, gözenekli yapı malzemelerine uygulayarak, analitik olarak incelemek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak malzemenin herhangi bir elemanter hücre yapısı incelenip, yapının tümü hakkında fikir edinilebilir.

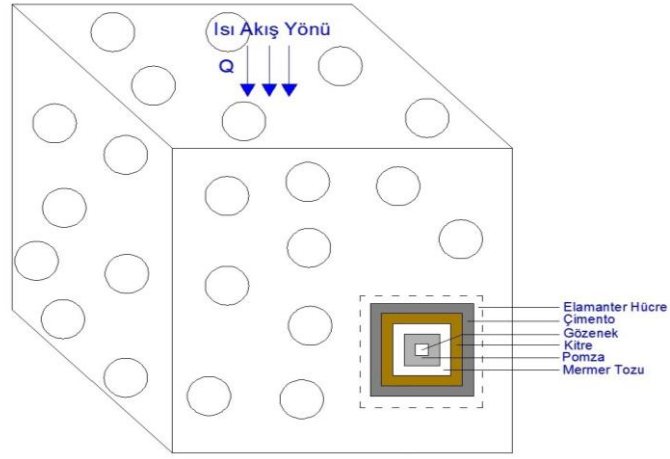
5.1. Gözenekli Malzemelerde Yapılan Kabuller

Gözenekli katı malzemelerde de ısı geçişi bilindiği gibi iletim, taşınım ve ışınlımla olur. Bu ısı transferi yöntemleri dikkate alınarak gözenekli katı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısının tayininde teorik bir model oluşturmak için aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Yapılan kabuller;

1. Gözenekli malzemeden geçen ısı, kondüksiyonla (iletim), konveksiyonla (taşınım) ve radyasyonla (ışınım) gerçekleşir. Bu çalışmada, pomzaların gözenek boyutları, atık mermer tozunun ikamesine rağmen 1 mm'den küçük olduğu, dolayısıyla $Ra = Gr Pr < 10^{-3}$ olacağından, doğal taşınım oluşmadığı, ısı iletim yoluyla geçtiği kabul edilmiştir.
2. Radyasyonla ısı transferi, Stefan-Boltzman kanununa göre $Q_{is} = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$ denklemi ile verilir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \cong T_2$) radyasyon yoluyla ısı geçişi ihmal edilecektir.
3. Isı geçişi sürekli rejimde ve tek boyutlu olduğundan ayrıca diğer yöndeki ısı geçişleri ihmal edilmiştir. Gözenek şekilleri düzensiz ve kompleks geometrik şekle sahiptir. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.
4. Malzeme yapısında rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

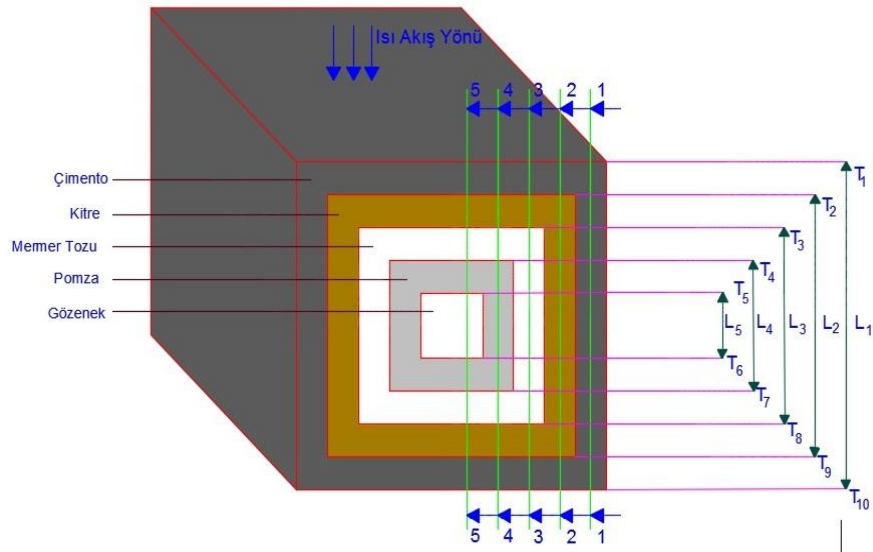
Değişik ısı iletkenlik katsayısı değerlerine sahip malzemelerden oluşan heterojen bir yapının ortalama ısı iletkenliğine efektif ısı iletkenliği denir. Gözenekli katı malzemelerin efektif ısı iletkenliği; porozite, katı malzemenin ısı iletkenliği, gözenek içi gazın ısı iletkenliği, yoğunluk gibi birçok parametrenin bir fonksiyonudur [82].

Gözenekli katı malzemelerde genel olarak gözenek şekilleri, bilinen geometrik şekillere uymaz. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise malzemenin porozitesi o kadar büyük çıkar. Gözenekler, yapıda genellikle rastgele ve irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için Şekil 5.1'deki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir.



Şekil 5.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli [45]

Şekil 5.1’de görülen elemanter hücreye ait dikey kesit resmi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde elemanter hücreye ait sol ve sağ yan matris tabakaları olan çimento 1 numaralı eleman, kitre tabakası ile alt ve üst matris olan çimento tabakaları 2 numaralı eleman, atık mermer tozu tabakası ile alt ve üst matris olan kitre ve çimento tabakaları 3 numaralı eleman, pomza tabakası ile alt ve üst matris olan atık mermer tozu, kitre ve çimento tabakaları 4 numaralı eleman, gözenek ile alt ve üst matris olan pomza, atık mermer tozu, kitre ve çimento tabakaları 5 numaralı eleman olarak düşünülebilir [45].



Şekil 5.2. Numunelerin elemanter hücre kesiti [45]

Elemanter hücrenin kesitinin gözenek, pomza (matris-katı), atık mermer tozu, kitre ve çimento olmak üzere 5 tabakadan oluştuğu ve ısı akış yönü elemanter hücrenin düşey

hatlarına paralel olduğu kabul edilmiştir. Fourier ısı iletkenlik kanununa göre tek boyutlu ısı iletkenlik ifadesi;

$$Q = -kA(dT/dx) \quad (5.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin integrali alınarak,

$$Q = \frac{T_{sic} - T_{soğ}}{(1/kA)L} \quad (5.2)$$

yazılabilir. Burada L / kA ifadesi ısı direnç olup R ile gösterilirse,

$$Q R = T_{sic} - T_{soğ} \quad (5.3)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem elemanter hücre kesitine uygulanırsa;

(1) no'lu kesit için;

$$T_1 - T_{10} = Q_1 R_{1Ç} = Q_1 R_{1eş} \quad (5.4)$$

(2) no'lu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_2 R_{2Ç}$$

$$T_2 - T_9 = Q_2 R_{2K}$$

$$T_9 - T_{10} = Q_2 R_{2Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_{10} = Q_2 (R_{2Ç} + R_{2K} + R_{2Ç})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_2 (2R_{2Ç} + R_{2K})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_2 (R_{2eş}) \quad (5.5)$$

(3) no'lu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_3 R_{3Ç}$$

$$T_2 - T_3 = Q_3 R_{3K}$$

$$T_3 - T_8 = Q_3 R_{3Mt}$$

$$T_8 - T_9 = Q_3 R_{3K}$$

$$T_9 - T_{10} = Q_3 R_{3Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_{10} = Q_3 (R_{3Ç} + R_{3K} + R_{3Mt} + R_{3K} + R_{3Ç})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_3 (2R_{3Ç} + 2R_{3K} + R_{3Mt})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_3 R_{3eş} \quad (5.6)$$

(4) no'lu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_4 R_{4Ç}$$

$$T_2 - T_3 = Q_4 R_{4K}$$

$$T_3 - T_4 = Q_4 R_{4Mt}$$

$$T_4 - T_7 = Q_4 R_{4P}$$

$$T_7 - T_8 = Q_4 R_{4Mt}$$

$$T_8 - T_9 = Q_4 R_{4K}$$

$$T_9 - T_{10} = Q_4 R_{4Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_{10} = Q_4 (R_{4Ç} + R_{4K} + R_{4Mt} + R_{4P} + R_{4Mt} + R_{4K} + R_{4Ç})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_4 (2R_{4Ç} + 2R_{4K} + 2R_{4Mt} + R_{4P})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_4 R_{4eş} \quad (5.7)$$

(5) no'lu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_5 R_{5Ç}$$

$$T_2 - T_3 = Q_5 R_{5K}$$

$$T_3 - T_4 = Q_5 R_{5Mt}$$

$$T_4 - T_5 = Q_5 R_{5P}$$

$$T_5 - T_6 = Q_5 R_{5G}$$

$$T_6 - T_7 = Q_5 R_{5P}$$

$$T_7 - T_8 = Q_5 R_{5Mt}$$

$$T_8 - T_9 = Q_5 R_{5K}$$

$$T_9 - T_{10} = Q_5 R_{5Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_{10} = Q_5 (R_{5Ç} + R_{5K} + R_{5Mt} + R_{5P} + R_{5G} + R_{5P} + R_{5Mt} + R_{5K} + R_{5Ç})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_5 (2R_{5Ç} + 2R_{5K} + 2R_{5Mt} + 2R_{5P} + R_{5G})$$

$$T_1 - T_{10} = Q_5 R_{5eş} \quad (5.8)$$

eşitliği elde edilir. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için;

$$Q = k_{efs} A \frac{T_1 - T_{10}}{L} = \frac{T_1 - T_{10}}{L / k_{efs} A} = \frac{T_1 - T_{10}}{R_{eş}} \quad (5.9)$$

bağıntısı yazılabilir. Şekil 5.2’de kesit görünümü verilen elemanter hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle;

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (5.10)$$

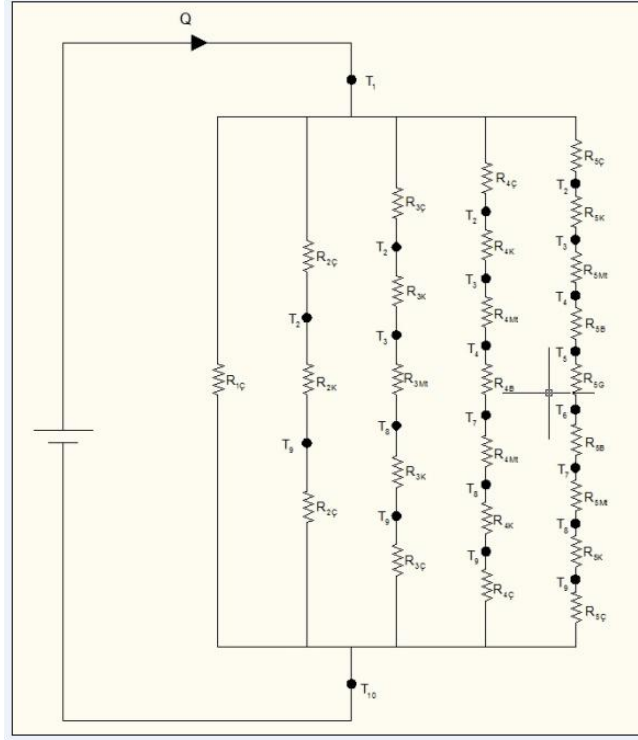
şeklinde yazılır. (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8) numaralı denklemlerden Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , Q_5 değerleri çekilip (5.10) numaralı denklemde yerine konulursa,

$$\frac{T_1 - T_{10}}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_{10}}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_{10}}{R_{2eş}} + \frac{T_1 - T_{10}}{R_{3eş}} + \frac{T_1 - T_{10}}{R_{4eş}} + \frac{T_1 - T_{10}}{R_{5eş}} \quad (5.11)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifadenin iki tarafındaki $(T_1 - T_{10})$ değerleri yok edilirse,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{1eş}} + \frac{1}{R_{2eş}} + \frac{1}{R_{3eş}} + \frac{1}{R_{4eş}} + \frac{1}{R_{5eş}} \quad (5.12)$$

bağıntısı bulunur. Bu eşitlik Şekil 5.3’te gösterilen ve Şekil 5.2’ye ait elemanter hücre kesitinin elektriksel benzeşim devre şemasından dirençlerin, paralel bağlı ifadesidir. Bu elemanter hücre için Tablo 5.1’de 1 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi çimento matrisi için belirlenmiş, 2 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi kire matrisi için belirlenmiş, 3 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi atık mermer tozu matrisi için belirlenmiş, 4 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi pomza matrisi için belirlenmiş, 5 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi gözenek içi gazların matrisi için belirlenmiştir [45].



Şekil 5.3. Elemanter hücre bileşenleri ısıl dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması

Tablo 5.1. Elemanter hücre bileşenlerine ait ısıl dirençlerin matematiksel ifadeleri [45]

1	$R_{1Ç} = \frac{L_1}{k_Ç(L_1^2 - L_2^2)}$	$R_{2Ç} = \frac{(L_1 - L_2)}{2k_Ç(L_2^2 - L_3^2)}$	$R_{3Ç} = \frac{(L_1 - L_2)}{2k_Ç(L_3^2 - L_4^2)}$	$R_{4Ç} = \frac{(L_1 - L_2)}{2k_Ç(L_4^2 - L_5^2)}$	$R_{5Ç} = \frac{(L_1 - L_2)}{2k_ÇL_5^2}$
2		$R_{2K} = \frac{L_2}{k_K(L_2^2 - L_3^2)}$	$R_{3K} = \frac{(L_2 - L_3)}{2k_K(L_3^2 - L_4^2)}$	$R_{4K} = \frac{(L_2 - L_3)}{2k_K(L_4^2 - L_5^2)}$	$R_{5K} = \frac{(L_2 - L_3)}{2k_KL_5^2}$
3			$R_{3Mt} = \frac{L_3}{k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)}$	$R_{4Mt} = \frac{(L_3 - L_4)}{2k_{Mt}(L_4^2 - L_5^2)}$	$R_{5Mt} = \frac{(L_3 - L_4)}{2k_{Mt}L_5^2}$
4				$R_{4P} = \frac{L_4}{k_P(L_4^2 - L_5^2)}$	$R_{5P} = \frac{(L_4 - L_5)}{2k_PL_5^2}$
5					$R_{5G} = \frac{L_5}{k_GL_5^2}$

Elektriksel benzeşim devresinin seri bağlı dirençleri toplanarak eşdeğer dirençleri aşağıdaki şekilde yazılır.

$$R_{1eş} = R_{1Ç}$$

$$R_{2eş} = 2R_{2Ç} + R_{2K}$$

$$R_{3eş} = 2R_{3Ç} + 2R_{3K} + R_{3Mt}$$

$$R_{4eş} = 2R_{4Ç} + 2R_{4K} + 2R_{4Mt} + R_{4P}$$

$$R_{5eş} = 2R_{5Ç} + 2R_{5K} + 2R_{5Mt} + 2R_{5P} + R_{5G}$$

Bu eşdeğer dirençler (5.12) eşitliğinde yerine konur ve ara işlemler yapılırsa (5.13) ve (5.14) eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eş}} &= \frac{1}{\frac{L_1}{k_Ç(L_1^2 - L_2^2)}} + \frac{1}{\frac{(L_1 - L_2)}{k_Ç(L_2^2 - L_3^2)} + \frac{L_2}{k_K(L_2^2 - L_3^2)}} + \frac{1}{\frac{(L_1 - L_2)}{k_Ç(L_3^2 - L_4^2)} + \frac{(L_2 - L_3)}{k_K(L_3^2 - L_4^2)} + \frac{L_3}{k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)}} \\ &+ \frac{1}{\frac{(L_1 - L_2)}{k_Ç(L_4^2 - L_5^2)} + \frac{(L_2 - L_3)}{k_K(L_4^2 - L_5^2)} + \frac{(L_3 - L_4)}{k_{Mt}(L_4^2 - L_5^2)} + \frac{L_4}{k_P(L_4^2 - L_5^2)}} \\ &+ \frac{1}{\frac{(L_1 - L_2)}{k_Ç L_5^2} + \frac{(L_2 - L_3)}{k_K L_5^2} + \frac{(L_3 - L_4)}{k_{Mt} L_5^2} + \frac{(L_4 - L_5)}{k_P L_5^2} + \frac{L_5}{k_G L_5^2}} \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eş}} &= \frac{k_Ç(L_1^2 - L_2^2)}{L_1} + \frac{k_K k_Ç(L_2^2 - L_3^2)}{k_K(L_1 - L_2) + k_Ç L_2} + \frac{k_K k_Ç k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)}{k_K k_{Mt}(L_1 - L_2) + k_Ç k_{Mt}(L_2 - L_3) + k_K k_Ç L_3} \\ &+ \frac{k_K k_Ç k_{Mt} k_P(L_4^2 - L_5^2)}{k_K k_{Mt} k_P(L_1 - L_2) + k_Ç k_{Mt} k_P(L_2 - L_3) + k_Ç k_K k_P(L_3 - L_4) + k_Ç k_K k_{Mt} L_4} \\ &+ \frac{k_K k_Ç k_{Mt} k_P k_G L_5^2}{k_K k_{Mt} k_P k_G(L_1 - L_2) + k_Ç k_{Mt} k_P k_G(L_2 - L_3) + k_Ç k_K k_P k_G(L_3 - L_4) + k_Ç k_K k_{Mt} k_G(L_4 - L_5) + k_Ç k_K k_{Mt} k_P L_5} \end{aligned} \quad (5.14)$$

Diğer taraftan (5.9) denkleminde $R_{eş}$ ifadesi (5.15) şeklinde yazılıp,

$$R_{eş} = \frac{L_1}{k_{efs} A} = \frac{L_1}{k_{efs} L_1^2} = \frac{1}{k_{efs} L_1} \quad (5.15)$$

(5.15) eşitliğinde yerine konulur ve ara işlemler yapılırsa,

$$k_{efs} = \frac{1}{R_{es} L_1} \quad (5.16)$$

$$k_{efs} = \frac{k_{\zeta}(L_1^2 - L_2^2)}{L_1^2} + \frac{k_K k_{\zeta}(L_2^2 - L_3^2)}{k_K L_1(L_1 - L_2) + k_{\zeta} L_1 L_2} + \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)}{k_K k_{Mt} L_1(L_1 - L_2) + k_{\zeta} k_{Mt} L_1(L_2 - L_3) + k_K k_{\zeta} L_1 L_3} \\ + \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt} k_P(L_4^2 - L_5^2)}{k_K k_{Mt} k_P L_1(L_1 - L_2) + k_{\zeta} k_{Mt} k_P L_1(L_2 - L_3) + k_{\zeta} k_K k_P L_1(L_3 - L_4) + k_{\zeta} k_K k_{Mt} L_1 L_4} \quad (5.17)$$

$$+ \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt} k_P k_G L_5^2}{k_K k_{Mt} k_P k_G L_1(L_1 - L_2) + k_{\zeta} k_{Mt} k_P k_G L_1(L_2 - L_3) + k_{\zeta} k_K k_P k_G L_1(L_3 - L_4) + k_{\zeta} k_K k_{Mt} k_G L_1(L_4 - L_5) + k_{\zeta} k_K k_{Mt} k_P L_1 L_5} \\ k_{efs} = k_{\zeta} \left[1 - (L_2/L_1)^2 \right] + \frac{k_K k_{\zeta}(L_2^2 - L_3^2)}{k_K L_1^2 \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} L_1^2 (L_2/L_1)} \\ + \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)}{k_K k_{Mt} L_1^2 \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} k_P L_1^2 \left[(L_2 - L_3)/L_1 \right] + k_K k_{\zeta} L_1^2 (L_3/L_1)} \\ + \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt} k_P(L_4^2 - L_5^2)}{k_K k_{Mt} k_P L_1^2 \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} k_{Mt} k_P L_1^2 \left[(L_2 - L_3)/L_1 \right] + k_{\zeta} k_K k_P L_1^2 \left[(L_3 - L_4)/L_1 \right] + k_{\zeta} k_K k_{Mt} L_1^2 (L_4/L_1)} \quad (5.18)$$

$$\frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt} k_P k_G L_5^2}{k_K k_{Mt} k_P k_G L_1^2 \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} k_{Mt} k_P k_G L_1^2 \left[(L_2 - L_3)/L_1 \right] + k_{\zeta} k_K k_P k_G L_1^2 \left[(L_3 - L_4)/L_1 \right] + k_{\zeta} k_K k_{Mt} k_G L_1^2 \left[(L_4 - L_5)/L_1 \right] + k_{\zeta} k_K k_{Mt} k_P L_1^2 \left[L_5/L_1 \right]}$$

$$k_{efs} = k_{\zeta} \left[1 - (L_2/L_1)^2 \right] + \frac{k_K k_{\zeta}(L_2^2 - L_3^2)/L_1^2}{k_K \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} (L_2/L_1)} \\ + \frac{k_K k_{\zeta} k_{Mt}(L_3^2 - L_4^2)/L_1^2}{k_K k_{Mt} \left[1 - (L_2/L_1) \right] + k_{\zeta} k_{Mt} \left[(L_2 - L_3)/L_1 \right] + k_K k_{\zeta} (L_3/L_1)}$$

$$+ \frac{k_K k_{\zeta} k_{M_t} k_P (L_4^2 - L_5^2) / L_1^2}{k_K k_{M_t} k_P [1 - (L_2 / L_1)] + k_{\zeta} k_{M_t} k_P [(L_2 - L_3) / L_1] + k_{\zeta} k_K k_P [(L_3 - L_4) / L_1] + k_{\zeta} k_K k_{M_t} (L_4 / L_1)} \quad (5.19)$$

$$\frac{k_K k_{\zeta} k_{M_t} k_P k_G L_5^2 / L_1^2}{k_K k_{M_t} k_P k_G [1 - (L_2 / L_1)] + k_{\zeta} k_{M_t} k_P k_G [(L_2 - L_3) / L_1] + k_{\zeta} k_K k_P k_G [(L_3 - L_4) / L_1] + k_{\zeta} k_K k_{M_t} k_G [(L_4 - L_5) / L_1] + k_{\zeta} k_K k_{M_t} k_P (L_5 / L_1)}$$

bağıntıları elde edilir.

$$L_2^3 / L_5^3 = A \quad (\text{Kitre Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$L_3^3 / L_5^3 = B \quad (\text{Atık mermer Tozu Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$L_4^3 / L_5^3 = C \quad (\text{Pomza Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$L_1^3 / L_5^3 = \phi \quad (\text{Gözenek oranı=Gözenek Hacmi/Toplam Hacim})$$

değerleri (5.20) eşitliği yerine konulur ve matematiksel işlemler yapılırsa gözenekli katı malzemenin ısı iletkenlik katsayısını veren bağıntı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$k_{efs} = k_{\zeta} k_K k_{M_t} k_P k_G \left[\frac{1}{k_K k_{M_t} k_P k_G} (1 - A^{2/3}) + \frac{(A^{2/3} - B^{2/3})}{k_K k_{M_t} k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\zeta} k_G A^{1/3}} \right. \quad (5.20)$$

$$+ \frac{B^{2/3} - C^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\zeta} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_{\zeta} k_G B^{1/3}} + \frac{C^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\zeta} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_{\zeta} k_G (B^{1/3} - C^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_{\zeta} k_G C^{1/3}} + \left. \frac{\phi^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\zeta} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_{\zeta} k_G (B^{1/3} - C^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_{\zeta} k_G (C^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_P k_{\zeta} \phi^{1/3}} \right]$$

(5.20) no'lu denklem gözenekli katı malzemeler için bulunmuştur. Dolayısıyla katı yapı oluşturulamayan numuneler için bu denklem kullanılamaz. Tablo 5.2'de numunelerin teorik modelleme için toz haldeki pomza agregasının ısı iletkenlik katsayısı ve değişik oranlarda kitre katkılı çimento numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı ölçülmüştür.

Tablo 5.2. Sıfır gözenekli pomza ve %0.5- %1 kitre katkılı, mermer tozu-çimento bileşiminin ısı iletkenlik katsayıları

Numuneler	Isıl İletkenlik Katsayısı (k)W/mK	Numuneler	Isıl İletkenlik Katsayısı (k)W/mK
Toz Haldeki Pomza	0.12	Ç-K _{0.5} -M	0.318
		Ç-K ₁ -M	0.281

Bu çalışmada, hesaplama için farklı tane boyutlarında değişik gözenek şekline sahip pomza agregası, atık mermer tozu, kitre ile bağlayıcı olarak farklı oranlarda çimento kullanılarak yalıtım özellikli, mukavemet kazandırılmaya çalışılmış, kompozit türü ve rastgele gözenekli yapı malzemeleri üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin ısı iletkenlik katsayısı, su emme, basınç dayanımı, aşınma kaybı, yoğunluk, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve bu malzemelerin kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

5.2. Porozitenin Bulunması

Porozite sıfıra yakın veya hemen hemen bire yakın bir değer alabilir. Boyutsuz bir büyüklüktür. Gözenekliliğin mikroskobik olarak ölçülmesi veya farklı malzeme bileşenlerinden oluşan bir ortamda gözenek dağılımının bulunması çok zordur. Gerçek gözeneklilik ölçümü, ışığın veya elektromanyetik gama ışınlarının malzeme içinden geçerken zayıflamasının tespiti ile gerçekleştirilebilir [45].

Gözenekli malzemeler, gözenek içindeki durgun havanın ısı iletkenliğe karşı direnç göstermeleri nedeniyle yalıtım özelliğine sahiptirler. Gözeneklilik oranı arttıkça malzemenin ısı iletkenlik katsayısı küçülmektedir. Bu nedenle malzemelerdeki gözeneklilik oranı oldukça önem taşımaktadır [45].

Gözenekli bir maddenin gözenek oranı (ϕ), gözenek hacminin toplam hacme oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür.

$$\phi = \text{Gözeneklerin hacmi} / \text{Toplam hacim}$$

Gözenek hacmi V_G , katı kısmının hacmi V_K ve toplam hacim V ile gösterilirse,

$$V_G + V_K = V \quad (5.21)$$

yazılabilir. (4.21) eşitliğinin her iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$\frac{V_G}{V} + \frac{V_K}{V} = 1 \quad (5.22)$$

denklemini elde edilir.

V_K / V yalnız bırakılıp, tanım gereği $V_G / V = \phi$ gözeneklilik oranı ifadesi kullanılırsa;

$$\begin{aligned} V_K / V &= 1 - (V_G / V) = 1 - \phi \\ (\rho / \rho_K &= V_K / V = 1 - \phi) \end{aligned} \quad (5.23)$$

yazılır.

Numunenin kütlesi;

$$\begin{aligned} \rho V &= \rho_K V_K & \rho V &= \rho_{pomza} V_{pomza} + \rho_{mt} V_{mt} + \rho_{bağ} V_{bağ} \\ \rho &= (\rho_{pomza} V_{pomza} + \rho_{mt} V_{mt} + \rho_{bağ} V_{bağ}) / V \end{aligned} \quad (5.24)$$

şeklinde yazılabilir.

V = Numune hacmi

V_K = Sıfır gözenekli numunenin yani katı kısmın hacmi

olduğuna göre;

$$\begin{aligned} V &= V_{pomza} + V_{mt} + V_{bağ} \\ V_{pomza} &= V - (V_{mt} + V_{bağ}) \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$V_{mt} = V - (V_{pomza} + V_{bağ}) \quad (5.26)$$

$$V_{bağ} = V_K - (V_{mtmatrisi} + V_{pomzamatrisi}) \quad (5.27)$$

(5.27) denklemi, (5.25) denkleminde yerine koyulursa;

$$V_{pomza} = V - [V_{mtmatrisi} + V_K - (V_{mtmatrisi} + V_{pomzamatrisi})] \quad (5.28)$$

denkemi elde edilir.

Hacimce pomza oranı; $C = \frac{V_{pomzamatrisi}}{V}$ ve

Hacimce atık mermer tozu oranı; $B = \frac{V_{mtmatrisi}}{V}$ olduğuna göre;

Gözenekli numunenin yoğunluğunu tespit etmek için (5.24) denkleminde (5.27) ve (5.28) denklemleri yerine yazılırsa;

$$\rho = \rho_{pomza}(V - V_K - V_{pomzamatr\acute{s}i})/V + \rho_{mt} V_{mtmatr\acute{s}i}/V + \rho_{bağ}(V_K - V_{pomzamatr\acute{s}i} - V_{mtmatr\acute{s}i})/V$$

ara işlemler yapılırsa;

$$\rho = \rho_{pomza}(\phi + C) + \rho_{mt} B + \rho_{bağ} [(1 - \phi) - (B + C)] \quad (5.29)$$

denklemini elde edilir.

$$\phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_K} \quad \text{ifadesinde (5.29) denklemini yerine konursa gözeneklilik oranı (5.30)}$$

denklemindeki gibi bulunmuş olur.

$$\phi = \frac{\rho_K - C(\rho_{pomza} - \rho_{bağ}) - \rho_{bağ} - B(\rho_{mt} - \rho_{bağ})}{\rho_K + \rho_{pomza} - \rho_{bağ}} \quad (5.30)$$

Bu denklemde; $\rho_{bağ} = \rho_{kitre+çimento}$ dur. Bu değer deney sonucu bulunmuştur.

5.3. Numunelerin Hacim-Ağırlık Oranları İlişkisi

Ağırlık= yoğunluk x hacim x yerçekimi ivmesi şeklindedir. Pomza, atık mermer tozu ve kitrenin ağırlıklarını bulmak için,

$$W_{kitre} = \rho_{kitre} V_{kitre} g$$

$$W_{mt} = \rho_{mt} V_{mt} g$$

$$W_{pomza} = \rho_{pomza} V_{pomza} g$$

$$W = \rho V g$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler taraf tarafa bölünürse;

$$\frac{W_{kitre}}{W} = \frac{\rho_{kitre}}{\rho} \cdot \frac{V_{kitre}}{V}$$

$$\frac{W_{mt}}{W} = \frac{\rho_{mt}}{\rho} \cdot \frac{V_{mt}}{V}$$

$$\frac{W_{pomza}}{W} = \frac{\rho_{pomza}}{\rho} \cdot \frac{V_{pomza}}{V} \quad (5.31)$$

ifadesi elde edilir. Eşitliğin sol tarafının pay ve paydası W numune ağırlığına, sağ tarafının pay ve paydasını V numune hacmine bölerek,

$$\frac{V_{kitre}}{V} = A = \text{Hacimce kitre oranı}$$

$$\frac{V_{mt}}{V} = B = \text{Hacimce atık mermer tozu oranı}$$

$$\frac{V_{pomza}}{V} = C = \text{Hacimce pomza oranı}$$

dönüşümleri (5.31) denklemlerinde yerlerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} A &= \frac{V_{kitre}}{V} = \frac{\rho}{\rho_{kitre}} \cdot \frac{W_{kitre}}{W} \\ B &= \frac{V_{mt}}{V} = \frac{\rho}{\rho_{mt}} \cdot \frac{W_{mt}}{W} \\ C &= \frac{V_{pomza}}{V} = \frac{\rho}{\rho_{pomza}} \cdot \frac{W_{pomza}}{W} \end{aligned} \quad \text{denklemleri elde edilir.} \quad (5.32)$$

Bu çalışmada 4-8 mm tane boyutlu, %50 pomza, %10 atık mermer tozu ve %1 kitre içeren **(3512 kodlu)** numunede düşük yoğunluk, en düşük ısıl iletkenlik katsayısı dolayısıyla en yüksek gözeneklilik oranı tespit edilmiştir.

Porozitenin bulunması için gerekli yoğunluklar, deneysel yöntemler ve literatürden elde edilen bilgilerle Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Pomza ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm³)

Malzemeler	0-2 mm tane boyutlu pomza agregası	2-4 mm tane boyutlu pomza agregası	4-8 mm tane boyutlu pomza agregası	Kitre	Atık mermer tozu	Çimento
Yoğunluk(g/cm ³)	0.924	0.841	0.697	1.8	2.8	3.1

0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalara ait yoğunluk değerleri, pomza ve atık

mermer tozu karışımına ait yoğunluk değerleri deney yapılarak Isomet cihazından alınmıştır. Atık mermer tozuna ait $\rho_{mt}=2.8 \text{ g/cm}^3$ değeri literatürden bulunmuştur [83].

5.4. Modelde Kullanılan Isıl İletkenlik Katsayıları

Numune içerisinde bulunan gözeneklerde, pomza ve atık mermer tozunun oluşumu sırasında açığa çıkan, pomza ve atık mermer tozunun genişlemesine sebep olan gazlar bulunmaktadır. Pomza ve atık mermer tozunun kimyasal yapısından dolayı, ani sıcaklığa maruz kalan pomza ve atık mermer tozu gözeneklerinde O_2 , CO_2 ve N_2 gazı bulunmaktadır. Bu gazlara ait oda sıcaklığında (300 K) muhtelif gazlara ait ısı iletkenlik katsayıları ve yoğunlukları Tablo 5.4’te verilmiştir [39, 84].

$$k_G=(k_{CO_2}+k_{N_2}+k_{O_2})/3=(0.0165+0.0267+0.0262)/3=0.0231(W/mK) \quad (5.33)$$

Çalışmada kullanılan pomza ve atık mermer tozunun ısı iletkenlik katsayılarının tespiti için, sıfır poroziteli hale getirilmiş pomza ve atık mermer tozu her biri ayrı bir şekilde suyla karıştırılarak kalıplara konmuş ve basınç altında sıkıştırılmıştır. 28 gün oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Formüllerde kullanılan kitle+çimento bağlayıcıları da aynı şekilde hazırlanarak yapılmış ve daha sonra ölçülmüştür. Bu harçlar kalıplara dökülüp numunelerin yoğunlukları belirlenmiş, daha sonra İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Laboratuvarlarında ısı iletkenlik katsayıları tespit edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Tablo 5.4. 300 K sıcaklığında bazı gazların yoğunlukları ve ısı iletkenlik katsayıları [39,83]

Gaz	Yoğunluk (g/cm^3)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
CO	1.138	0.0252
CO_2	1.797	0.0165
N_2	1.142	0.0262
O_2	1.300	0.0267
H_2	0.081	0.1820
Hava	1.777	0.0264

Modelde kullanılan ısı iletkenlik katsayıları Tablo 5.5'te verilmiştir. Bu değerlerden k_K , k_P ve $k_Ç$ ölçüm sonucunda, k_{Mt} ve k_G literatürden alınmıştır [45,86].

Tablo 5.5. Modeldeki bileşenlerin ısı iletkenlik katsayıları

	$k_Ç$	k_K	k_P	k_{Mt}	k_G
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.450	0.155	0.12	0.690	0.0231

6. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, karışım oranları ve deney metotları hakkında bilgiler verilmektedir.

6.1. Pomza Agregası

Numunelerin hazırlanması amacıyla, Van ili Erciş ilçesi Kocapınar yöresine ait pomzalar elekten geçirilerek 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlarında olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Kullanılan pomza agregasının fiziksel ve kimyasal özellikleri, Tablo 6.1 ve Tablo 6.2`de verilmiştir.

Tablo 6.1. Pomzanın fiziksel özellikleri [45]

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık griden, kirli beyaza.
Kristal Şekli	Amorf (Kristal şekli yok)
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5 – 6.0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0.32 – 0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1.9- 2.65
Porozite (%)	45 - 70
Rötre (mm/m)	2
Isıl İletkenlik Katsayısı (kcal/mh°C)	0.12 – 0.20
Isınma Isısı (cal/gr.°C)	0.24 – 0.28
Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70
Buhar Diffüzyon Katsayısı	5 – 10

Tablo 6.2. Pomzanın kimyasal özellikleri [45]

Kimyasal Özellikler	
PH	7 – 7.3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	≤ 0.15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	≤ 2.9
Uçucu Madde (Ağırlıkça %)	Yok
Asitlerle Etkileşim (*)	Yok
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ergime Derecesi (°C)	900
(*) Pomza sadece hidroflorik asit ile etkileşerek toksik silikon tetraflorit gazı çıkarır.	
Kimyasal Bileşenler	
Bileşim	
Silisyumdioksit (SiO ₂)	70
Alüminyumoksit (Al ₂ O ₃)	14
Demiroksit (Fe ₂ O ₃)	2.5
Kalsiyumoksit (CaO)	0.9
Magnezyumoksit (MgO)	0.6
Sodyumoksit +Potasyumoksit (Na ₂ +K ₂ O) (Na ₂ O)	9
Ateş Zaiyatı (A.Z.)	3

6.2. Atık Mermer Tozu

Çalışmada atık mermer tozu katkısı olarak, Diyarbakır Beden Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. tarafından üretilen mermer türünün üretimleri sırasında açığa çıkan sulu atıklar kurutulup öğütülerek kullanılmıştır. Atık mermer tozu olarak kullanılacak ürünün elde edildiği mermer malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 6.3'te, Tablo 6.4'te de kimyasal özellikleri verilmiştir. Şekil 6.1'de deneylerde kullanılan 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu görülmektedir.

Tablo 6.3. Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri [83]

Mohs Sertliği	3.3-4.2
Shore Sertliği	51
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm³)	2.8
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.66
Görünür Gözeneklilik (%)	1.79
Tek Eksenli Basınç Day. (MPa)	92.6
Çekme Dayanımı (MPa)	8.31
Eğilme Dayanımı (MPa)	12.85
Darbe Dayanımı (MPa)	1.1

Tablo 6.4. Mermerin kimyasal özellikleri [83]

SiO₂	28.35
Fe₂O₃	9.70
CaCO₃	58.73



Şekil 6.1. 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu

6.3. Kitre

Geven bitkisinden elde edilen yaprak kitre malzemesi piyasadan 200 g'lık poşetlerde alınmıştır. Yaprak kitre, daha iyi ve hızlı bir erime için, elektrik motorlu bir öğütücü ile toz hale getirilmiştir. Toz kitre piyasada kilogramı 150,00 TL olup ebru malzemeleri satan yerlerden kolaylıkla temin edilebilmektedir. Yapılan ön çalışmalarda yaklaşık 5 litre su içinde 100 gr kitrenin tam olarak eriyebildiği tespit edilmiştir. Hassas teraziyle tartılan 100 gr toz kitre, 5 litrelik su kabına konarak üzerine beher ile 2 litre su eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 1 gün boyunca belli aralıklarda devam ettirilmiştir. Kitrenin iyice parçalanıp şişmesinden sonra karışıma 1-2 saat aralıklarla, beher ile 1 litre su eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir. 5 litre suyun tamamlanmasıyla kitre karışımı, 2 defa süzölmüş ve başka bir kaba aktarılmıştır [45]. Şekil 6.2'de deneylerde kullanılan kitrenin su içerisinde eriyip süzöldükten sonraki görünümü görülmektedir. Kullanılan kitreye ait kimyasal özellikler Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Kitrenin kimyasal, termal ve iletkenlik analiz özellikleri

Elementer Analiz	%C; 65.77 %N; 0.25 %S; 11.78 %H; - %O; -	Dumas Metoduna göre bu sonuçlar elde edildi.
Termal Analiz	116°C'ye kadar yapı kararlıdır (Hiçbir kütleli kayıp yok) 226-327 °C arası %94.5'lik kısmı bozularak kütle kaybına yol açmıştır.	
İletkenlik	284µS/cm (27 °C)	



Şekil 6.2. Kitrenin süzöldükten sonraki görünümü

6.4. Çimento

Numunelerin hazırlanmasında çimento olarak Diyarbakır Ölmezler Çimento Fabrikası'nda üretilen ile CEM I 42.5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler (%)	
SO ₃	2.69	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.1
MgO	2.1	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3749
CI	0.005	Priz Başlangıcı (Dakika)	161
Serbest Kireç	0.5	Priz Sonu (Saat)	04.20
Çözünmeyen Kalıntı	0.26	Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29.6
Kızdırma Kaybı	1.58	Hacim Sabitliği (mm)	0.4
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	-	2Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22.4
		7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39.4
		28 Günlük Basınç Dayanımı	51

6.5. Su

Deneylerde karışım suyu olarak TS EN 1008'de belirtilen standartlara uygun olarak Diyarbakır şehir şebeke suyu kullanılmıştır [85].

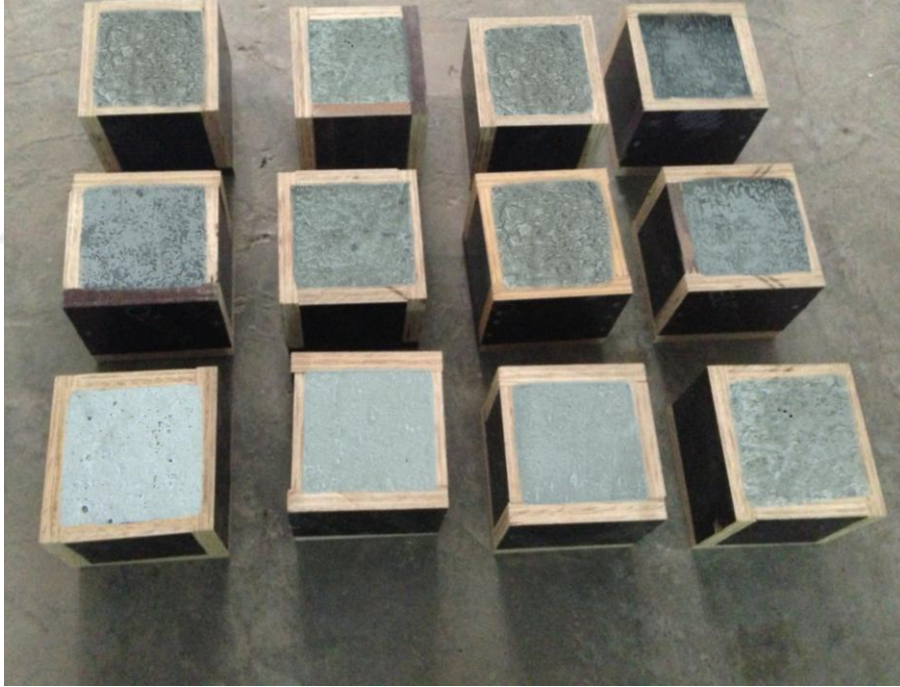
6.6. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Karışım Oranları

Numuneler Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında hazırlanmıştır. Üretilen numuneler kompozit türü yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilip çıkan deney sonuçlarına göre kullanım alanları belirlenmiştir. Numunelerin hazırlanması için yapılan karışımların içerisine; ağırlıkça %10, %30, %50 oranlarında ve 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlarında üç grup olarak toplanan pomza agregaları, %10 ve %20 oranlarında 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, %0, %0.5 ve %1 oranlarında kiret ve çimento katılmıştır. Pomza, atık mermer tozu ve çimento karışımına kiret suda çözülmüş haliyle eklenmiştir.

Çalışmalara başlamadan önce numuneler kodlanmıştır. Kodlamada 4 basamaklı rakam sistemi kullanılmıştır. Kodun ilk rakamı tane boyutunu, ikinci rakamı pomza yüzdesini, üçüncü rakam atık mermer tozu yüzdesini ve dördüncü rakam da kitre yüzdesini göstermektedir.

Kodlamanın ilk hanesine, pomza tane boyutu 0-2 mm için “1”, 2-4 mm için “2”, 4-8 mm için “3” yazılmıştır. Kodlamanın ikinci hanesine, pomza agregası ağırlıkça %10 için “1”, %30 için “3” ve %50 için “5” yazılmıştır. Kodlamanın üçüncü hanesine, atık mermer tozu ağırlıkça %10 için “1” ve %20 için “2” yazılmıştır. Son haneye karışımdaki kitre ağırlıkça %0.5 için “1”, %1 için “2” ve kitre katılmayan numuneler için de “0” yazılmıştır. Kodlamalar Ek-2’de topluca gösterilmiştir.

Her seriden numune hazırlamak için karışım oluşturulurken, önce gerekli miktarda pomza ve atık mermer tozu hassas teraziyle ölçek kabında tartılarak, karışım kovaasına konulmuştur. Aynı işlem çimento için de yapılarak o seri için gerekli miktarda çimento kaba eklenmiştir. Üç malzeme mala yardımıyla karıştırılmıştır. Son olarak karışıma hesaplanan miktarda kitre-su karışımı eklenmiştir. Karışımlar yaklaşık 3 dakika karıştırılmıştır. Şekil 6.3’te görüldüğü gibi karışımların ısı iletkenlik katsayısını, su emme ve yoğunluklarını belirlemek için ısı iletkenlik katsayısını ölçen aletin probunun ölçüleri esas alınarak 20x60x150 mm ebatlarında, basınç dayanımını, aşınma kaybını, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımını ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımını belirlemek için de 100x100x100 mm ebatlarındaki plywood kalıplara dökülmüştür. Numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra çıkarılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin karışım oranları Tablo 6.7’de verilmiştir.

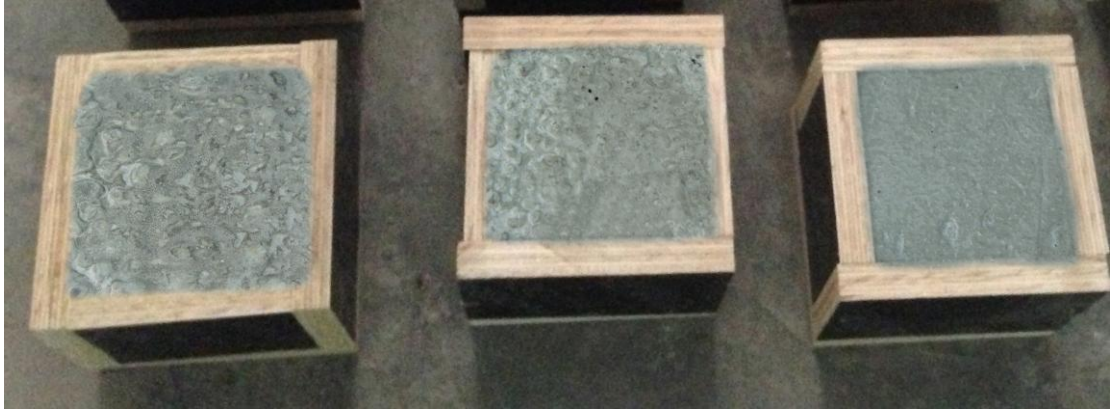


Şekil 6.3. Playwood kalıplara dökülmüş numuneler

Şekil 6.4'te kalıptan çıkarılmış halde görülen numuneler, oda sıcaklığında 28 gün bekletilerek, ölçümler için hazır hale getirilmişlerdir. Şekil 6.5'te de basınç dayanımı, aşınma kaybı, yüksek sıcaklık sonrası ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyleri için 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalar, 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu ve kitle karışımları ile hazırlanmış deney numuneleri görülmektedir.



Şekil 6.4. Isıl iletkenlik katsayısının ölçülmesi için hazırlanan 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalar ile 0.25 mm elekten geçirilmiş atık mermer tozu ve %0- %0.5- %1 kitreli deney numuneleri



Şekil 6.5. Basınç dayanımı, aşınma kaybı, yüksek sıcaklık sonrası ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyleri için 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomzalar, 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu ve kitre karışımları ile hazırlanmış deney numuneleri

Tablo 6.7. Numunelere ait 1000 cm³ karışım için malzeme miktarları (g)

	Numune Kodları	Pomza (g)	Mermer Tozu (g)	Çimento (g)	Kitre (g)	Su (g)
(0-2) mm Tane Boyutlu Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu, Çimento ve Kitre Çözeltisi	1110	92,4	280	1240	*	575
	1111	92,4	280	1240	14,26	561
	1112	92,4	280	1240	28,52	546
	1120	92,4	560	1085	*	607
	1121	92,4	560	1085	14,11	593
	1122	92,4	560	1085	28,22	579
	1310	277,2	280	930	*	624
	1311	277,2	280	930	12,09	612
	1312	277,2	280	930	24,17	600
	1320	277,2	560	775	*	641
	1321	277,2	560	775	11,94	629
	1322	277,2	560	775	23,87	617
	1510	462,7	280	620	*	658
	1511	462,7	280	620	9,91	648
	1512	462,7	280	620	19,82	638
	1520	462,7	560	465	*	675
	1521	462,7	560	465	9,76	665
	1522	462,7	560	465	19,52	655
(2-4) mm Tane Boyutlu Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu, Çimento ve Kitre Çözeltisi	2110	84,1	280	1240	*	583
	2111	84,1	280	1240	14,22	569
	2112	84,1	280	1240	28,44	555
	2120	84,1	560	1085	*	615
	2121	84,1	560	1085	14,07	601
	2122	84,1	560	1085	28,14	587
	2310	252,3	280	930	*	632
	2311	252,3	280	930	11,96	620
	2312	252,3	280	930	23,92	608
	2320	252,3	560	775	*	649
	2321	252,3	560	775	11,81	637
	2322	252,3	560	775	23,62	626
	2510	420,5	280	620	*	666
	2511	420,5	280	620	9,70	656
	2512	420,5	280	620	19,41	647
	2520	420,5	560	465	*	683
	2521	420,5	560	465	9,55	674
	2522	420,5	560	465	19,11	664
(4-8) mm Tane Boyutlu Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu Çimento ve Kitre Çözeltisi	3110	69,7	280	1240	*	598
	3111	69,7	280	1240	14,15	584
	3112	69,7	280	1240	28,3	569
	3120	69,7	560	1085	*	630
	3121	69,7	560	1085	14	616
	3122	69,7	560	1085	28	602
	3310	209,1	280	930	*	647
	3311	209,1	280	930	11,75	635
	3312	209,1	280	930	23,49	623
	3320	209,1	560	775	*	664
	3321	209,1	560	775	11,6	652
	3322	209,1	560	775	23,19	641
	3510	348,5	280	620	*	681
	3511	348,5	280	620	9,34	671
	3512	348,5	280	620	18,69	662
	3520	348,5	560	465	*	698
	3521	348,5	560	465	9,19	689
	3522	348,5	560	465	18,39	679

6.7. Isıl İletkenlik Katsayısını Ölçme Deneyi

Isıl iletkenlik katsayısı ölçümünde çeşitli metotlar kullanılmaktadır. En yaygın olanları, geçici durumda ve kararlı durumda olanlarıdır. Kararlı durumda ölçüm yöntemleri arasında en çok, muhafazalı sıcak plaka yöntemi tercih edilir.

Geçici durumda ölçüm yöntemlerinden bazıları, Angstrom yöntemi, Flash yöntemi ve sıcak tel yöntemidir. Sıcak tel yöntemi, bir boyutlu radyal ısı akışı modeline dayanmaktadır [86].

Numunelerin ısı iletkenlik katsayısı ölçümleri, geçici rejimde ölçme yapan sıcak tel (HotWire) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedenleri; yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının kolay olarak ölçülebilmesi, numunenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletkenlik katsayılarının ölçülmesi, ısı iletkenlik katsayısı ölçülen malzemenin yapısının heterojen olması, ısı iletkenlik katsayısının kısa sürede hassas olarak saptanabilmesi şeklinde sıralanabilir [45].

Bu çalışmada, ısı iletkenlik katsayılarının ölçümünde Şekil 6.6'da görülen DIN51046'ya göre geliştirilmiş, hot-wire (sıcak tel) yöntemi ile çalışan Shotherm QTM-D2 aleti kullanılmış ve geçici rejimde, ısı iletkenlik katsayısı ölçülmüştür. Bu yöntem ile büyük üretilen numunelerin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik oluşturmadan gerçek ısı iletkenlik katsayısı ölçülebilmektedir. Bu yöntemin levha tipi ısı iletkenlik katsayısı ölçme yönteminden farkı, ısı iletkenlik katsayısı ölçülen ortamın heterojen yapılı olması durumunda bile ölçümün yapılabilmesidir [87]. Bu yöntemle ölçme duyarlılığı ($\pm 5\%$ +1 digit), ölçme aralığı ise 0.02-10 W/mK olarak verilmektedir.



Şekil 6.6. Isıl iletkenlik katsayısını ölçme cihazı

Bu yöntemde ütü şekline benzeyen ısıtıcı tel ve bu tele orta noktasından dokunacak şekilde lehimlenmiş termoeleman, üretilen numunenin üzerine konur. Üstteki örnek yalıtılmış ve ısıl iletkenlik katsayısı bilinen bir plaka (prob), alttaki örnek ise ısıl iletkenlik katsayısı ölçülecek olan numunedir [88].

Cihazın ölçüm sonuçlarının doğruluğu için, her 10 ölçümde bir kalibrasyon yapılmıştır. Bu işlem için ısıl iletkenlik katsayısı bilinen referans plakalar ile ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen ısıl iletkenlik katsayısı değeri, referans plakanın ısıl iletkenlik katsayısı değerinin $\pm \% 5$ 'i içinde ise ölçüm doğru kabul edilir ve sapma miktarı ölçülen ısıl iletkenlik katsayılarına ilave edilir.

6.8. Su Emme Deneyi

Bu deneyin amacı, su ile direk temasta olacak yapı malzemelerinde donma sonucu, bünyelerinde buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacim mevcudiyetinin araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye, donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Numuneler üzerine yapılan su emme deneylerinde birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir.

Kritik rutubet miktarı, hacmin yaklaşık olarak %30'udur. Bundan daha az oranda rutubet bulunduran malzeme dursa da hasara uğramamaktadır. Rutubet miktarının %30'un üstünde olması halinde ise malzemede don hasarı olacaktır. Bu hasarlar malzeme yüzeyinde tozlanma ve kabuk halinde dökülme, çatlama veya toplam kütlenin dağılması

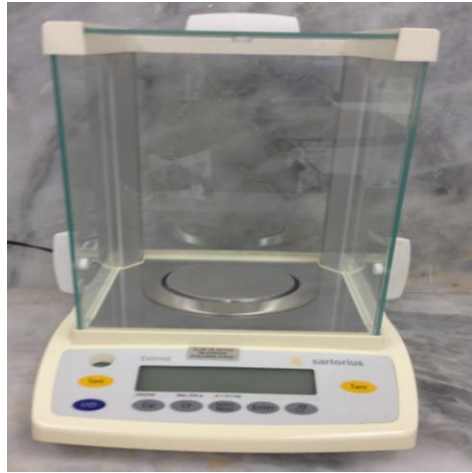
şeklinde görülür. Bu bakımdan bu çalışmada göz önüne alınan yeni kompozit malzemelerin su emme oranlarını tespit etmek önem taşımaktadır [45].

Su emme deneyi yapılırken önce deney numuneleri $(105\pm5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak, ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutulmuştur. Bu şekilde değişmez ağırlığa getirilmiş numuneler üzerindeki tozlar, bir fırça ile temizlendikten sonra 0.1 g duyarlılıkta tartılarak, kuru numune ağırlıkları (W_k) tespit edilmiştir. Bu şekilde kurutulmuş numuneler, oda sıcaklığında ve numune yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar derinlikte su bulunan kaba yerleştirilmiştir. Bir saat sonra numuneler yarıya kadar ikinci saatin sonunda da $\frac{3}{4}$ 'ü su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Deneylerin başlangıcından 24 saat sonra numuneler tamamen su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir [45]. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler, ıslatılarak sıkılmış bir bez parçası ile silinip bekletilmeden 0.1 gr duyarlılıktaki terazide tartılmıştır ve su emdirilmiş ağırlıklar bulunmuştur (W_d). Bu iki ağırlığın oranı alınarak su emme yüzdesi aşağıdaki ifade ile % olarak 6.11 formülü ile hesaplanmıştır.

$$\text{Su Emme \%} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (6.11)$$

Su emme deneylerinin sonucunda görüldüğü gibi numunelerin bazılarının su emme miktarı TS EN 1097-6'da belirtilen %30 standart kritik değerin çok altında kalmaktadır [89].

Numuneler Şekil 6.7'de görülen hassas teraziyle tartılarak kuru ağırlığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.7. Hassas tartı aleti

6.9. Basınç Dayanımı Deneyi

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyleri Ele International marka cihaz, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksenli kuvvet uygulayabilen özelliktedir. Şekil 6.8’de basınç dayanım test cihazı görülmektedir.



Şekil 6.8. Basınç dayanımı deney cihazı

Deneye tabi tutulacak numunenin, kuvvete maruz kalan birbirine paralel yüzeylerinin pürüzsüz ve düz olması gerekmektedir. Cihazın alt çenesi sabit, üst çenesi basınç kuvvetini gerçekleştiren hareketli yapıdadır. Cihaz çalıştırdıktan sonra, üst çene yavaşça numuneye doğru hareket eder ve artan miktarda numuneye kuvvet uygulanır. Numunenin kırıldığı anda basınç kuvveti durur ve ekranda en son kuvvet kN cinsinden okunur. Ölçüm sonucunda, kırılan parça test bölümünden çıkarılmış, cihaz reset edilerek diğer ölçüme geçilmiştir. Okunan değerler numunelerin, alanına oranlanarak, basınç dayanım değerleri tespit edilmiştir.

6.10. Aşınma Kaybı Deneyi

Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi, üretilen numunelerin hacimlerinde ya da kalınlıklarında meydana gelen kaybın ölçülmesi ile yapılır. Bu çalışmada üretilen numunelerdeki sürtünme yolu ile aşınma kaybının bulunmasında, ağırlık azalmasının

ölçülmesi tercih edilmiş ve Şekil 6.9’da gösterilen Böhme aleti ile yapılmıştır. Böhme aleti yaklaşık 750 mm çapında bir disk, dakikada 30 devir dönmesini sağlayan bir motor, devir sayısını gösteren numaratör ve her 22 devir tamamlandığında motoru otomatik olarak durduran bir mekanizmaya sahiptir [45]. Bu çalışmada sürtünme şeridine 20g standart zımpara tozu serpilmiş ve üretilen numuneler çelik manivela aracılığı ile yükleme koluna 6 kg yüklenmiş ve cihaz çalıştırılıp disk harekete geçirilmiştir. Her 100 devir sonunda duran disk üzerindeki zımpara tozları temizlenmiş ve diğer numunelerin aşınma kaybı tespiti için diske tekrar 20g zımpara tozu serpilmiştir [45]. Cihazdan çıkan numune orta sertlikte bir kıl fırça ile temizlenmiş ve 0.1g duyarlılıkta tartılarak son ağırlık bulunmuştur.



Şekil 6.9. Böhme aleti

6.11. Yoğunluk Deneyi

Numunelerin yoğunluklarının tespiti, Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğal Taşlar Laboratuvarı’nda bulunan Applied Precision firmasının Isomet 2104 model ısı transfer analiz cihazıyla yapılmıştır. Cihaz, özellikle yapı elemanları, doğal taş ve toprağın

termofiziksel özelliklerinin tespiti için geliştirilmiştir. Cihaz, sıcak tel yöntemine göre çalışmaktadır. Katı maddeler için yüzey, sıvı ve yumuşak maddeler için iğne tip problara sahiptir. Problar ölçüm aralıklarına göre değiştirilebilmektedir. Isıl iletkenlik katsayısını %5, hacimsel özgül ısıyı %15 ve kompozit malzemelerin yoğunluklarını %10 hassasiyetle ölçebilmektedir [41].

Ölçüm sonucunda, cihaz ekranında yoğunluk, ısıl iletkenlik katsayısı, hacimsel özgül ısı, ısıl yayılım ve sıcaklıklar aynı anda görülmektedir. Deneyler her numune için en az üç defa, numunenin farklı yerlerinde yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması çalışmada kullanılmıştır. Ölçüm cihazı Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10. Yoğunluk ölçüm cihazı

6.12. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Baradan [90], 250°C'nin altındaki sıcaklıklarda betonun dayanımının etkilenmediğini belirtmiştir. Literatürdeki çoğu çalışmaya göre 250°C sıcaklıkların üzerinde numuneler etkilenmeye başlamaktadırlar. TS EN 1363-2'ye uygun olarak numuneler üzerinde yüksek sıcaklık deneyi yapılmıştır [91]. Bu çalışmada 100mm x 100mm x 100mm boyutlarındaki numuneler, F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Laboratuvarında bulunan ısınma hızı 6°C /dakika olan 1200°C kapasiteli Protherm HLF 150 laboratuvar tipi fırında (Şekil 6.11), 1 saat süre ile 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz

bırakılmıştır. Hedef sıcaklıkta 1 saat süre çalışan fırın daha sonra otomatik olarak kapanmış ve numuneler fırın içerisinde yaklaşık $2^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık soğuma hızı ile oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Tüm numunelere yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.



Şekil 6.11. Yüksek sıcaklık testlerinde kullanılan fırın

6.13. Donma-Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyi ASTM C 666'ya uygun olarak $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ donma, oda sıcaklığında $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ suda çözülme şeklinde yapılmıştır [92]. Hazırlanan numuneler, suya doygun hale getirilerek dondurucu içerisine yerleştirilmiştir. -20°C sıcaklıkta dondurucuda bekletildikten sonra, numuneler $+20^{\circ}\text{C}$ oda sıcaklığında çözülmeye bırakılmıştır. Donma-çözülme 1 çevrim olarak kabul edilmiş ve numunelere 30 çevrim uygulanmıştır. Bu donma-çözülme işlemi tekrarlandıktan sonra, numuneler $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kütleye ulaşana kadar etüvde kurutulmuş, daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulup deneylere tabi tutulmuştur. Şekil 6.12'de numunelerin donma-çözülme etkisinin tespiti için kullanılan soğutucu görülmektedir. Tüm numunelere donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.



Şekil 6.12. Donma-çözülme deneylerinde kullanılan soğutucu

6.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

SEM analiz çalışması, Fırat Üniversitesi FÜEM laboratuvarı bünyesinde JEOL JSM 7001F Taramalı mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan SEM cihazı Şekil 6.13’te gösterilmiştir.

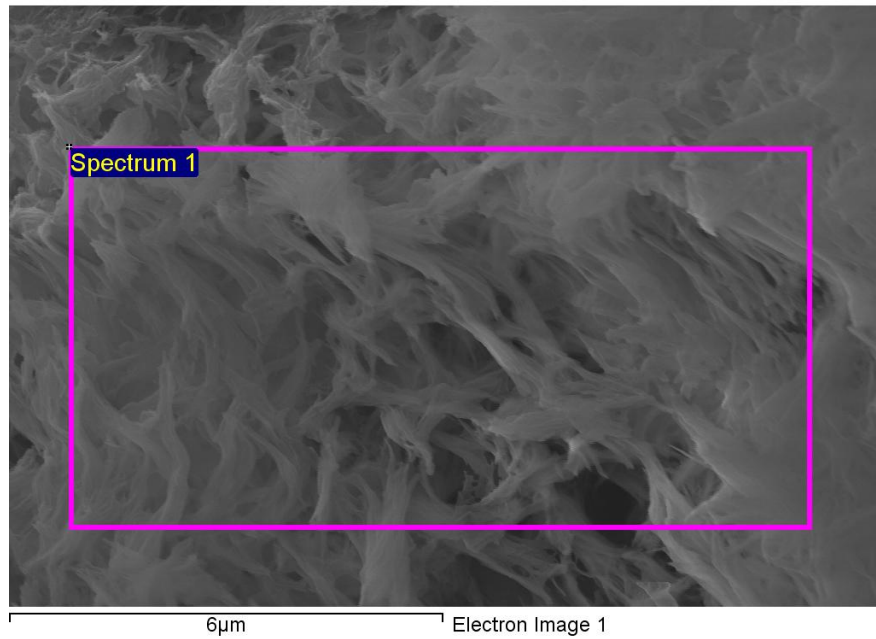


Şekil 6.13. JEOL JSM 7001F taramalı mikroskobu

Elektron mikroskobu 0.25 mm çapında bir elektron akımı demetini yönlendirip örnek üzerine gönderen bir sistemdir. Bu işlem elektron tabancaları denilen manyetik mercekler yardımıyla olur.

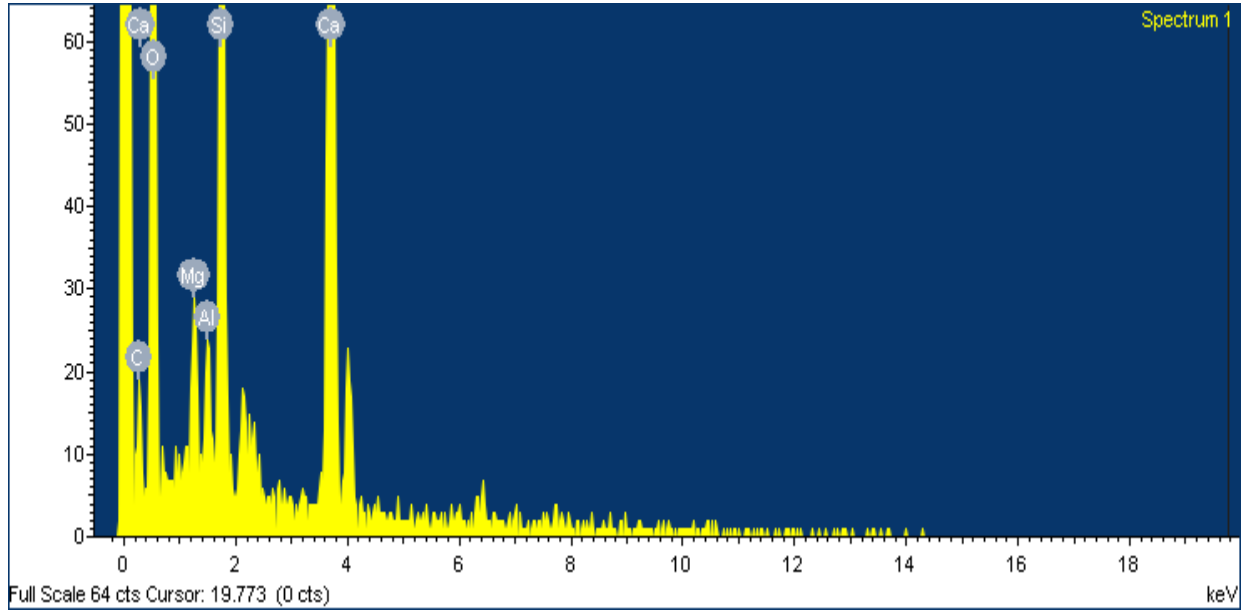
Elektron bombardımanına uğramış malzeme içerisinde uyarılan element atomları, X ışınları ile uyarılmada olduğu gibi ikincil flüoresans X-ışınları yayarlar. Bu nedenle sistem, gerçekte bir X-ışınları flüoresans spektrometresidir; ancak bu yöntemde X ışını tüpü yerine elektron tabancası kullanılır.  zeri parlatılmış ve kaplanmış inceleme yapılacak numune parçası ya da parlatma işlemi yapılmamış bir numune parçası sisteme bağlı bir mikroskop yardımı ile incelenir. İnceleme esnasında numune yatay ve düşey ekseninde hareket ettirilerek istenilen yapılar ya da oluşan fazlar detaylı bir şekilde incelenir. İncelemesi yapılan numunenin istenilen noktası analiz edilebilir [93].

Bu  alı ma kapsamında elde edilen numunelerin içyapılarının incelenmesi amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri yapılmıştır. SEM analizi sırasında, elektron mikroskobunda bulunan **3512 no'lu** numuneye 10-20 kV hızlandırılmış elektron bombardımanı uygulanarak numune yüzeyi hakkında detaylı bir topografik çalışma yapılmıştır.



Şekil 6.14. Kitrenin numune içerisinde oluşturduğu boşluk ve çatlaklar

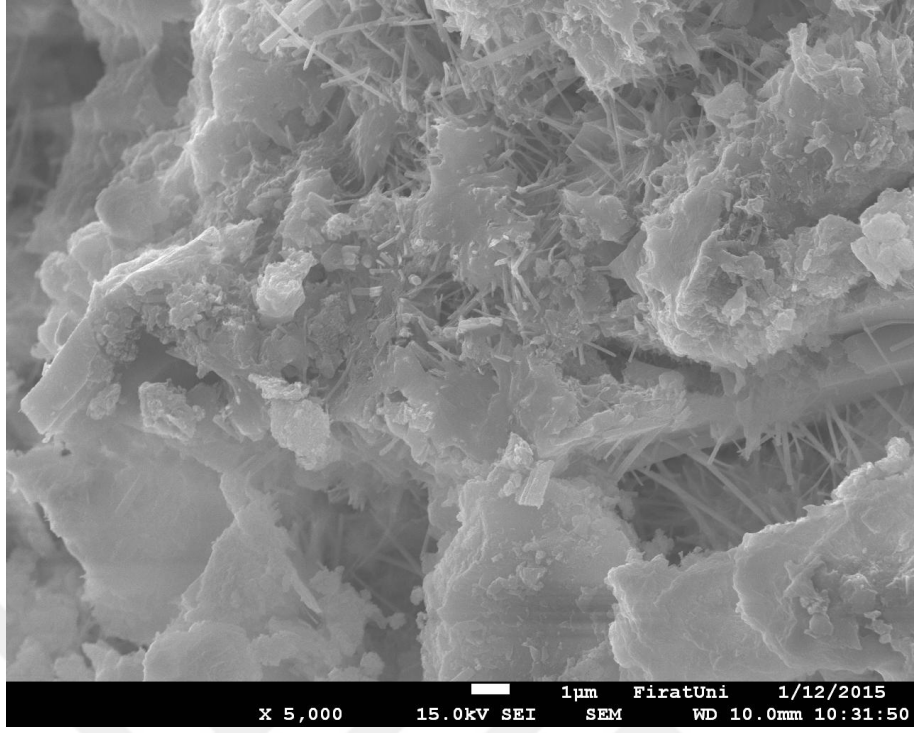
Label : Spectrum 1
 Collected : 12-Jan-2015 03:01 PM
 Livetime (s) : 49.99
 Real time (s) : 52.20
 Detector : ADD
 Window : SATW
 Tilt (deg) : 0.0
 Elevation (deg) : 35.0
 Azimuth (deg) : 0.0
 Magnification : 10000 X
 Accelerating voltage (kV) : 15.00
 Process time : 5



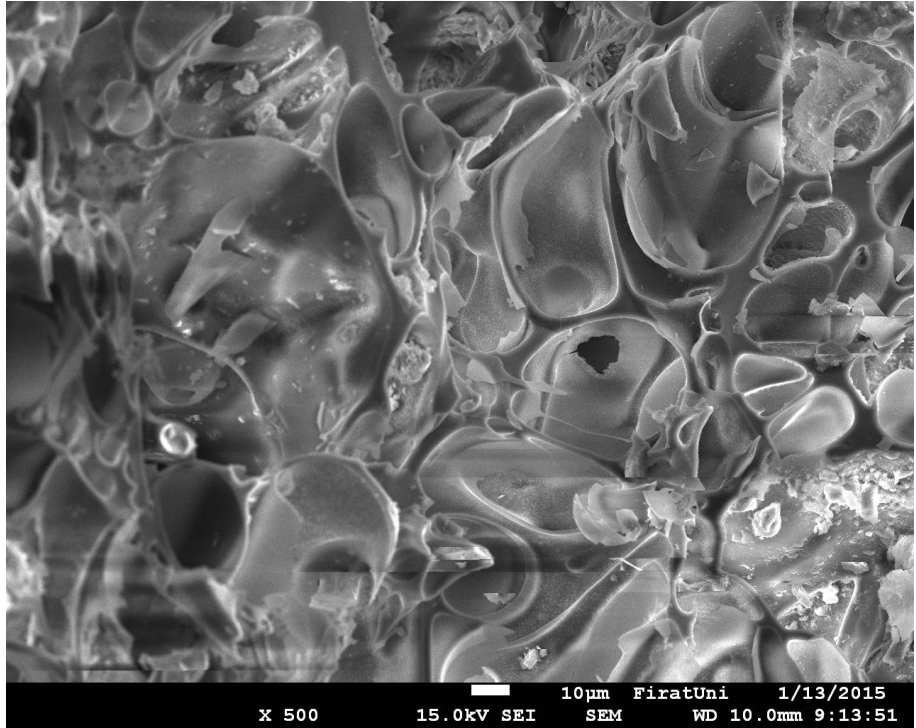
Şekil 6.15. Numune içerisindeki elementlerin spectrum eğrisi

Spectrum processing :
 Peak possibly omitted : 2.135 keV
 Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 5
 Standard :
 C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
 O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
 Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	11.95	18.96
O K	50.99	60.70
Mg K	1.82	1.42
Al K	1.15	0.81
Si K	9.37	6.36
Ca K	24.72	11.75
Totals	100.00	



(a)



(b)

Şekil 6.16. Kitrenin numune içerisindeki dağılımı

Şekil 6.15'te **3512 no'lu** numunenin içerisindeki elementlerin spectrum eğrisi ve Şekil 6.14, 6.16 (a) (b)'de **3512 no'lu** numunenin SEM fotoğraflarında yoğun kitre miktarı oranından dolayı numune içerisindeki porozitenin arttığı görülmektedir. Kitre; malzemeler arasında birbirine bağlanmış olarak görülmektedir. Numune içerisinde yoğun kitre miktarıyla oluşan lifin, pomza ve atık mermer tozu ile yeterli aderansı sağlayamaması, boşlukların artmasına neden olmuştur. Bu durum, numunelerin mukavemet özelliklerinde azalma ve ısı iletkenlik özelliklerinde iyileşmelere neden olmuştur.



7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, çeşitli tane boyutlarında ve farklı oranlarda pomza agregası, 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş farklı oranlarda atık mermer tozu, farklı oranlarda çimento ve kitre bağlayıcılarıyla karıştırılarak numuneler hazırlanmış, yalıtım özellikli ve de mukavemet kazandırılmaya çalışılmış kompozit türü yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin ısı iletkenlik katsayısı, su emme, basınç dayanımı, aşınma kaybı, yoğunluk, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve donma-çözülme sonrası basınç dayanımı özellikleri üzerine araştırılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

7.1. Isıl İletkenlik Katsayısı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

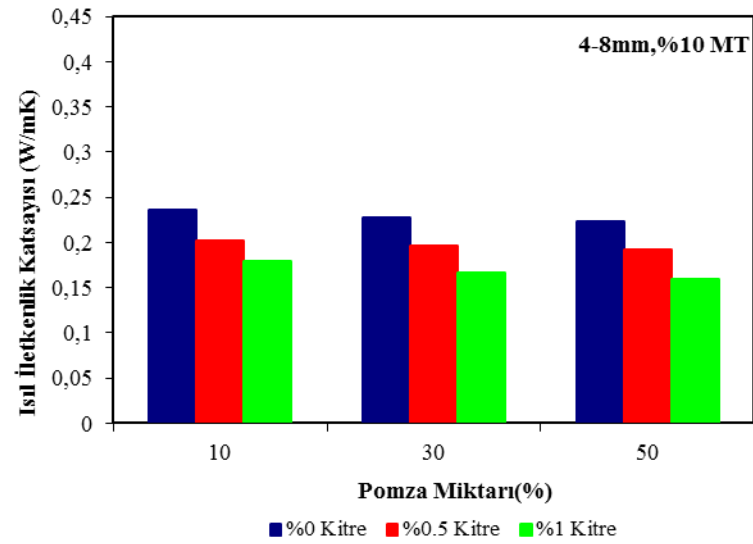
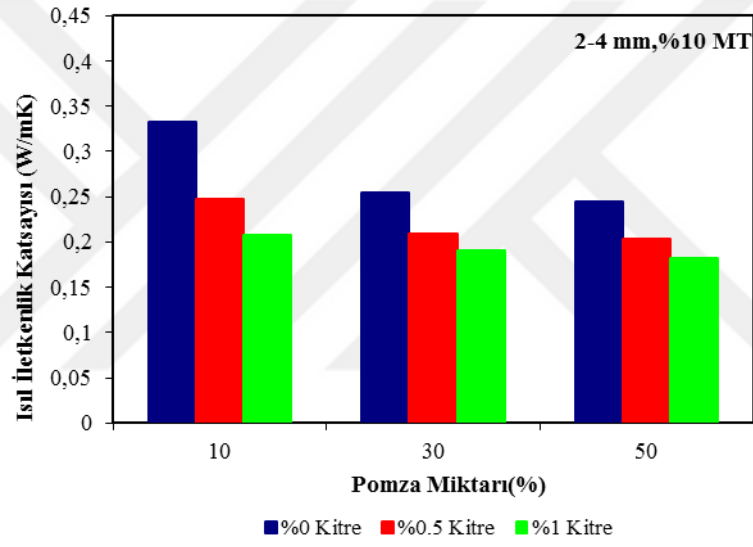
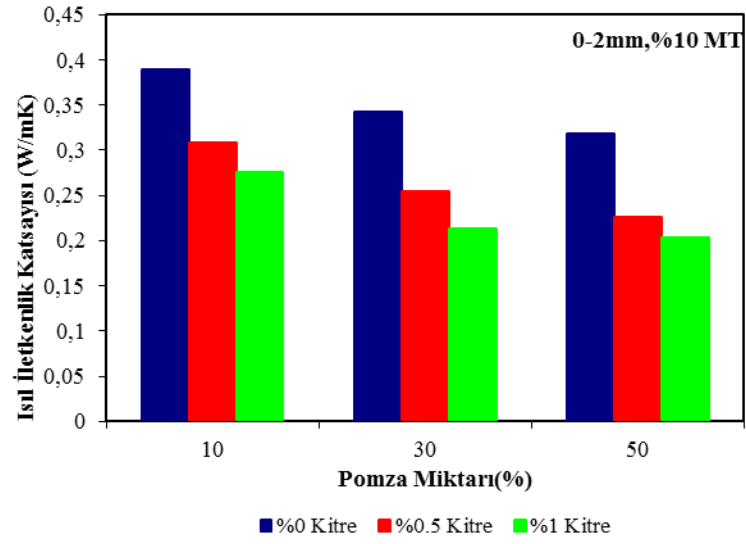
Isıl iletkenlik katsayısının tespiti için her numunede, farklı yerlerden en az üç defa ölçüm alınmış, alınan ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamaları çalışmada kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 7.1'de verilmiştir.

Numune içerisindeki pomza miktarı yüksek olan numunelerde, pomza tane boyutunun artıp atık mermer tozu miktarının azaltılmasıyla gözeneklilik oranı artacağından Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de görüldüğü gibi ısı iletkenlik katsayısının küçülmesine neden olmuştur. Atık mermer tozunun artması numune içerisindeki boşlukları doldurduğu için ısı iletkenlik katsayısını arttırmış, basınç dayanımını azaltmıştır. Hazırlanan numunelere katılan kitre oranının arttırılmasıyla ısı iletkenlik katsayısı daha da küçülmüştür. Bunun en önemli sebebi pomzaların gözenekli yapısı ve kitrenin düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olmasıdır. Diğer bir nedeniye, sıvı haldeki kitrenin kuruma sonunda yapısındaki hava dolu gözenekleri de beraberinde karışıma taşınması ve yapay gözenekler oluşturmasıdır. Bu çalışmada en küçük ısı iletkenlik katsayısı 0.159 W/mK ile 4-8 mm tane boyutlu ve ağırlıkça %50 oranında pomza, ağırlıkça %10 oranında atık mermer tozu ve ağırlıkça %1 kitre katkılı **3512** numaralı numuneye aittir. En büyük ısı iletkenlik katsayısı ise 0.446 W/mK ile 0-2 mm tane boyutlu, ağırlıkça %10 oranında pomza, %20 oranında atık mermer tozu içeren ve içerisinde kitre bulunmayan **1120** numaralı numuneye aittir. Numune bünyesinde kullanılan atık mermer tozu ve çimento miktarı arttıkça pomza tane boyutu ve miktarındaki azalmaya bağlı olarak daha düşük gözenekli numuneler üretilecektir. Atık mermer tozunun ısı iletkenlik katsayısı literatürde 0.690 W/mK ve çimentonun ısı

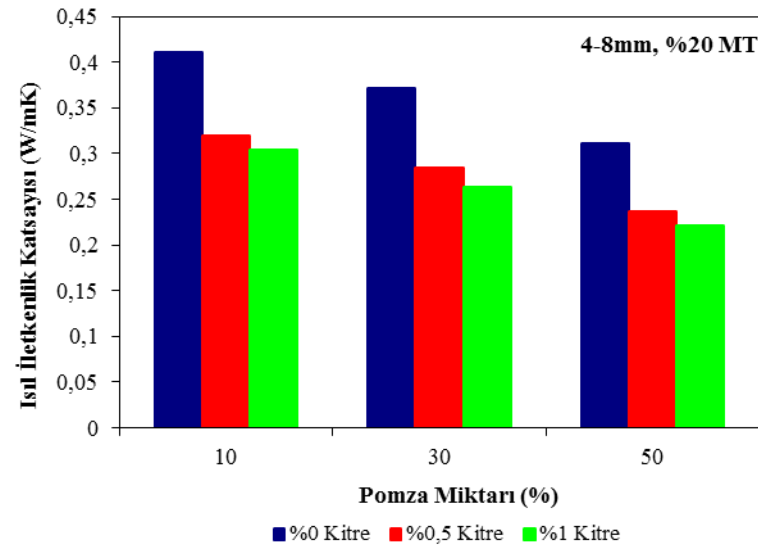
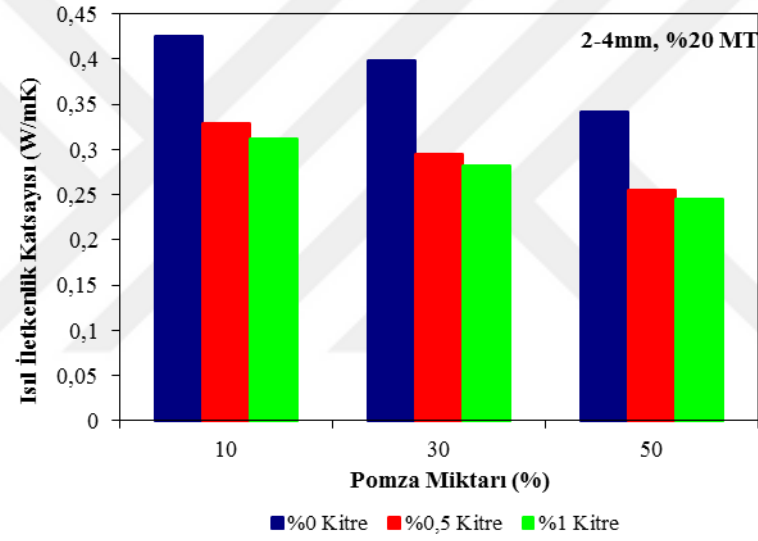
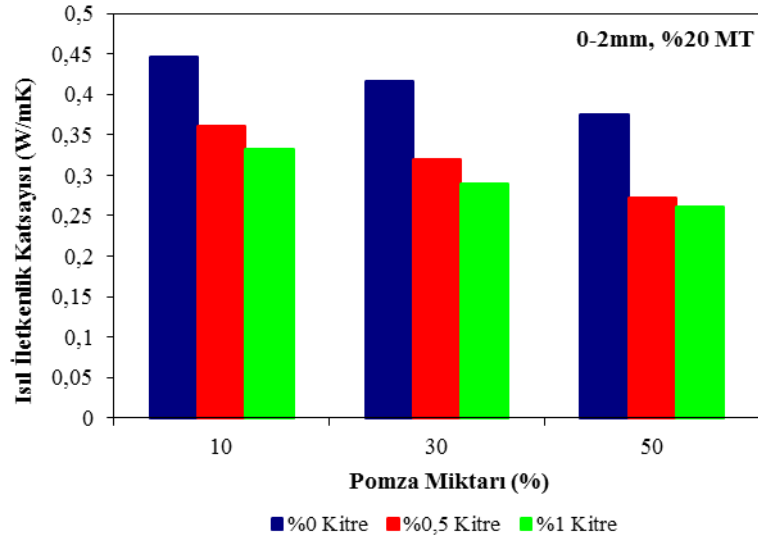
iletkenlik katsayısı ölçüm sonucunda 0.450 W/mK düzeyindedir. Atık mermer tozu ve çimentonun ısı iletkenlik katsayısı büyük ve dayanım değerleri karışım oranlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı üretilen numunelerin nerede kullanılmak istendiğı ve kullanım yerine uygun istenen mekanik ve işleme özellikleri çok iyi belirlenmelidir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu, ağırlıkça %10, %30 ve %50 oranında pomza agregaları ve 0.25 mm tane boyutlu ağırlıkça %10 ve %20 oranında atık mermer tozu numunelerinde, numune bünyesindeki pomza, kitre ve atık mermer tozu miktarına bağı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim gösterilmiştir. Pomza tane boyutu, miktarı ve kitre oranının artması ve atık mermer tozu miktarının azalması gözenek miktarını artırırken ısı iletkenlik katsayısının küçülmesini sağlamıştır. Ayrıca yine bu grafiklerde, kitrenin ısı iletkenlik katsayısını küçültmesine olan etkisi de görülmektedir.

Tablo 7.1. Üretilen kompozit numunelere ait deneysel ve teorik ısı iletkenlik katsayıları

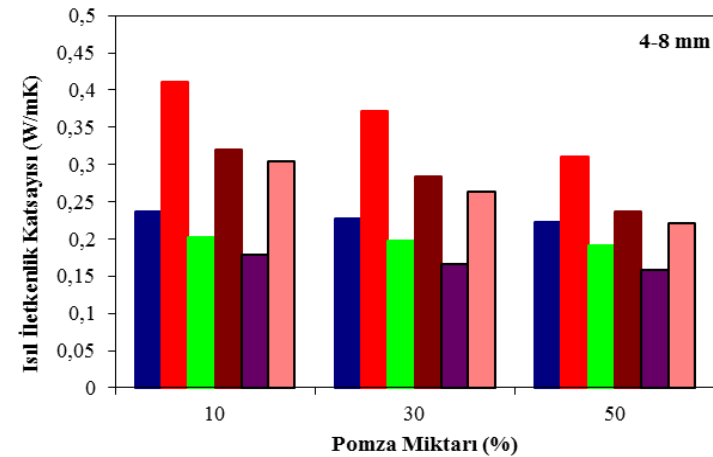
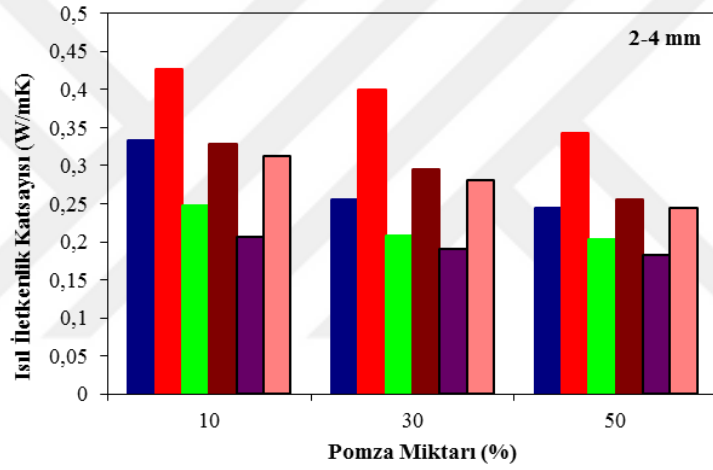
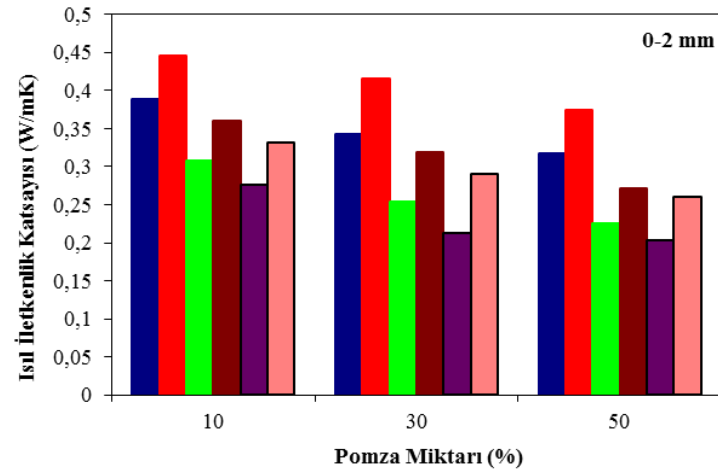
Numune Kodu	Yoğunluk(g/cm ³)	Porozite	Deneysel ısı iletkenlik katsayıları (k)(W/mK)	Teorik ısı iletkenlik katsayıları (k)(W/mK)	Sapma(%)
Kitre katkısız numuneler					
1110	1.789	0.305	0.389	0.291	9.80
1310	1.567	0.321	0.342	0.280	11.27
1510	1.517	0.352	0.318	0.267	15.20
1120	1.889	0.251	0.446	0.410	8.73
1320	1.678	0.271	0.416	0.375	10.92
1520	1.583	0.293	0.375	0.334	12.30
2110	1.611	0.414	0.333	0.245	7.30
2310	1.489	0.442	0.255	0.234	9.10
2510	1.439	0.465	0.245	0.208	17.70
2120	1.661	0.339	0.426	0.402	5.90
2320	1.567	0.392	0.399	0.352	13.30
2520	1.517	0.408	0.342	0.298	14.81
3110	1.567	0.478	0.236	0.221	6.98
3310	1.444	0.515	0.228	0.207	10.22
3510	1.339	0.526	0.223	0.188	18.50
3120	1.556	0.439	0.411	0.376	9.34
3320	1.461	0.499	0.371	0.319	16.23
3520	1.422	0.509	0.311	0.254	22.43
(%0.5)Kitre katkılı numuneler					
1111	1.639	0.311	0.308	0.223	6.88
1311	1.539	0.329	0.254	0.204	9.76
1511	1.394	0.368	0.226	0.192	12.49
1121	1.694	0.259	0.361	0.328	9.76
1321	1.556	0.283	0.320	0.287	11.43
1521	1.456	0.299	0.272	0.238	14.23
2111	1.444	0.421	0.248	0.197	10.48
2311	1.406	0.450	0.209	0.182	14.57
2511	1.283	0.477	0.203	0.173	17.34
2121	1.550	0.348	0.329	0.304	8.35
2321	1.478	0.404	0.296	0.255	15.92
2521	1.378	0.415	0.255	0.215	18.37
3111	1.206	0.485	0.202	0.191	5.61
3311	1.100	0.521	0.197	0.184	7.19
3511	1.028	0.532	0.192	0.171	11.67
3121	1.239	0.448	0.320	0.293	8.91
3321	1.161	0.504	0.285	0.244	16.37
3521	1.078	0.513	0.237	0.195	21.32
(%1)Kitre katkılı numuneler					
1112	1.500	0.317	0.276	0.187	10.32
1312	1.400	0.338	0.213	0.181	11.93
1512	1.256	0.379	0.203	0.167	15.32
1122	1.556	0.263	0.332	0.305	8.72
1322	1.417	0.294	0.290	0.258	12.45
1522	1.317	0.303	0.261	0.227	14.76
2112	1.306	0.429	0.207	0.182	7.87
2312	1.267	0.461	0.191	0.168	13.56
2512	1.144	0.488	0.182	0.156	16.53
2122	1.411	0.353	0.312	0.286	9,15
2322	1.339	0.417	0.282	0.239	17.65
2522	1.239	0.423	0.245	0.206	18.94
3112	1.067	0.492	0.179	0.169	5.67
3312	0.961	0.528	0.167	0.155	7.43
3512	0.889	0.579	0.159	0.147	9.47
3122	1.100	0.457	0.304	0.264	15.11
3322	1.022	0.511	0.264	0.225	17.28
3522	0.939	0.521	0.221	0.177	24.79



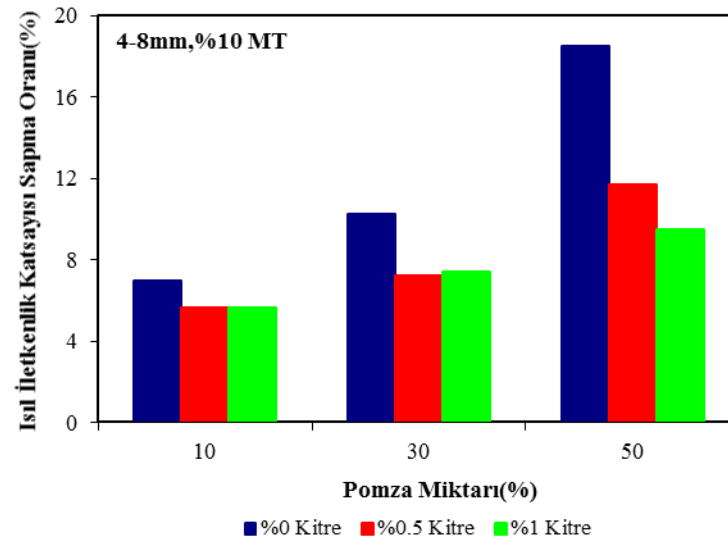
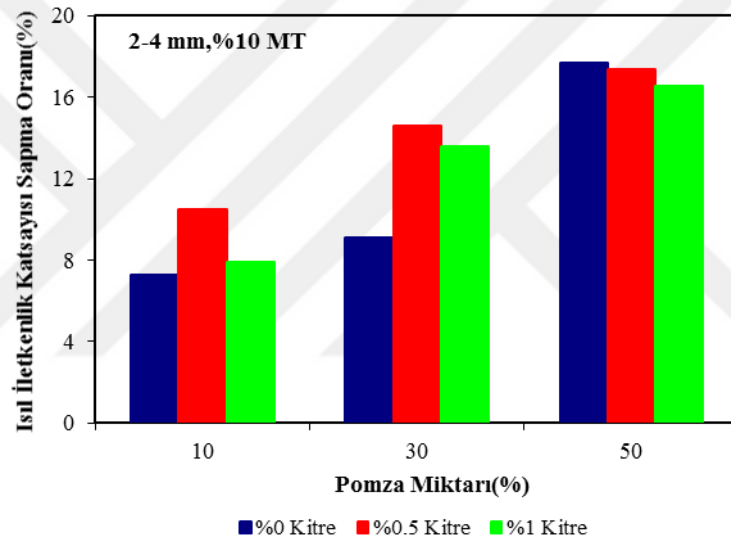
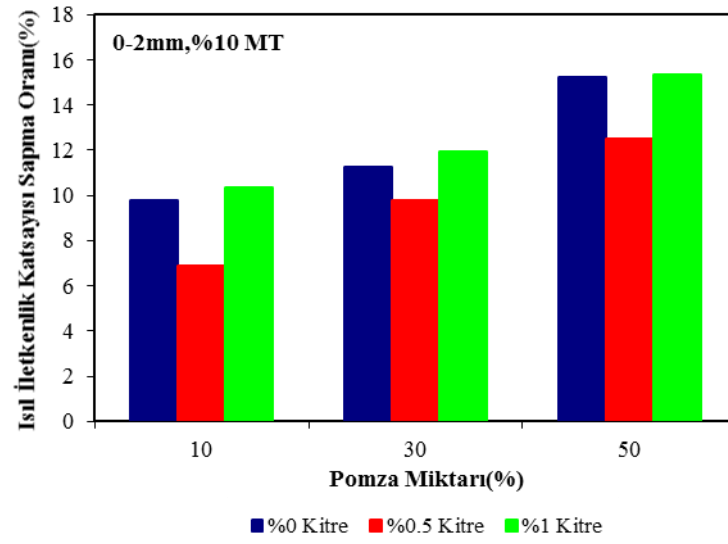
Şekil 7. 1. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitle miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim



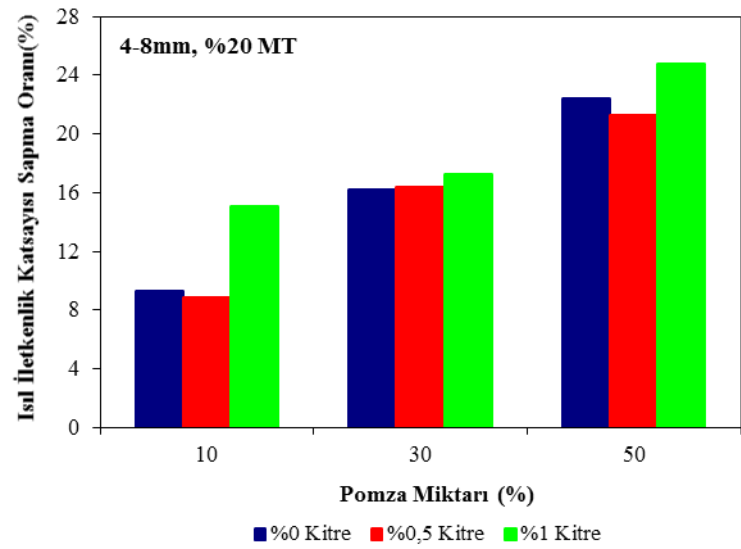
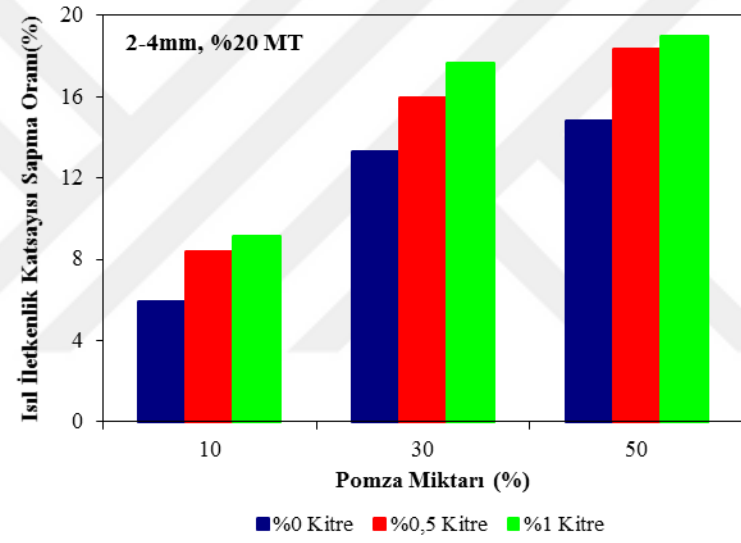
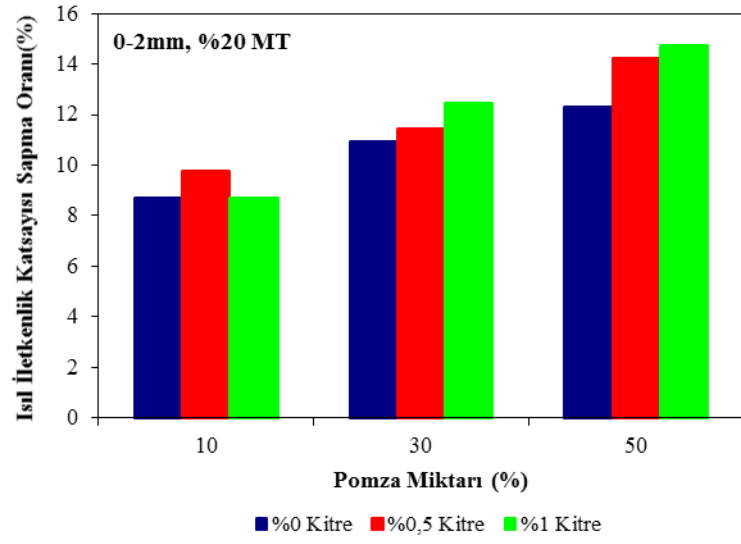
Şekil 7.2. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim



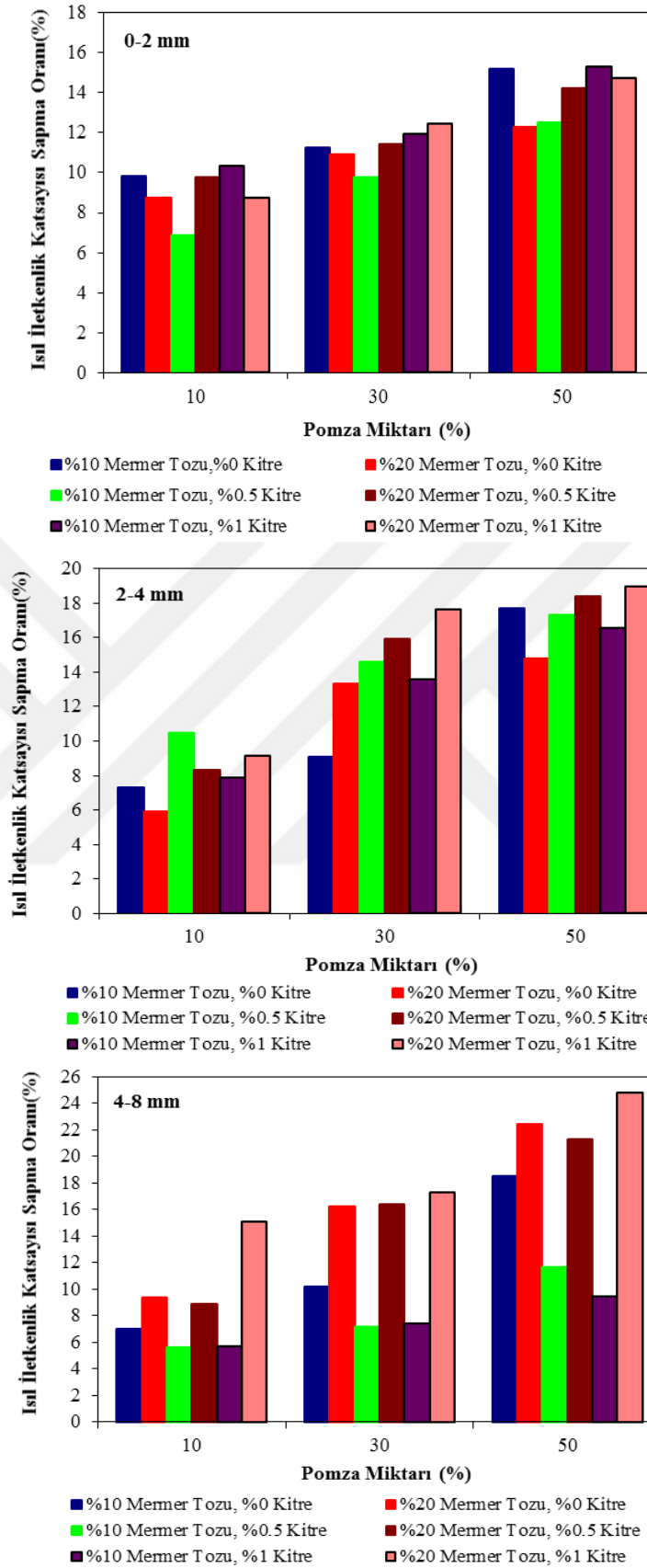
Şekil 7.3. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim



Şekil 7.4. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı

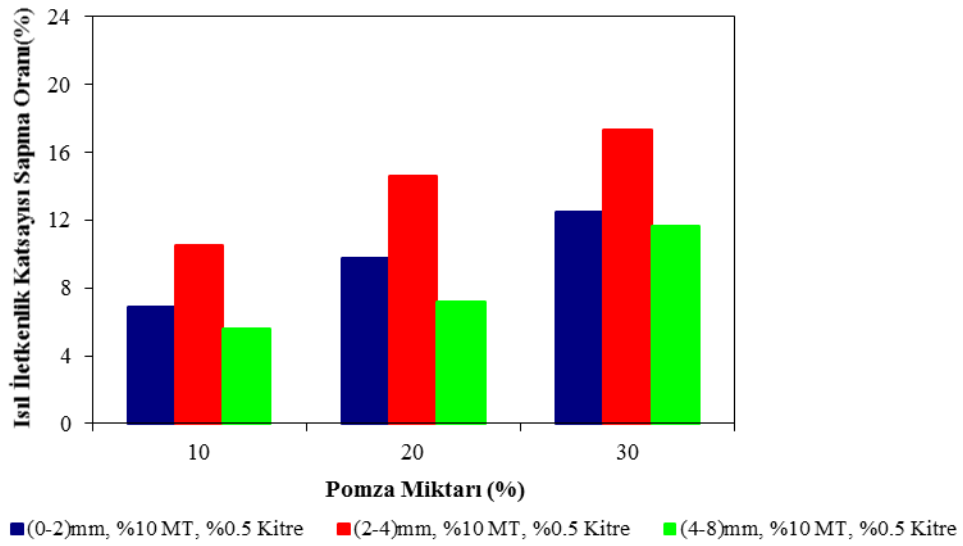
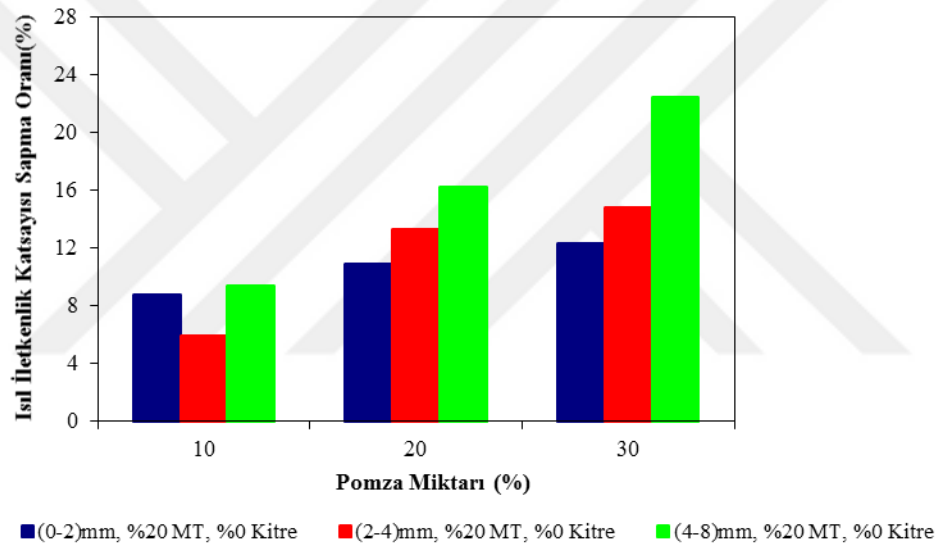
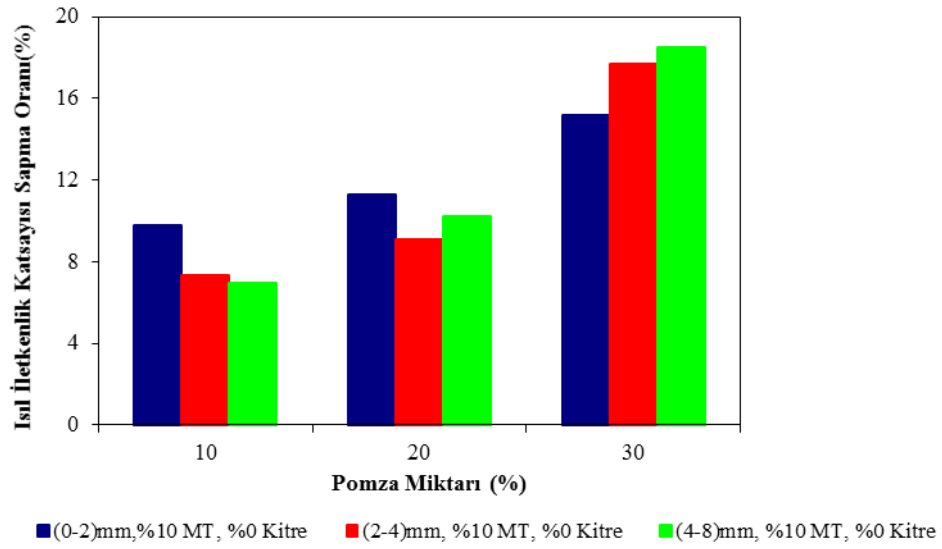


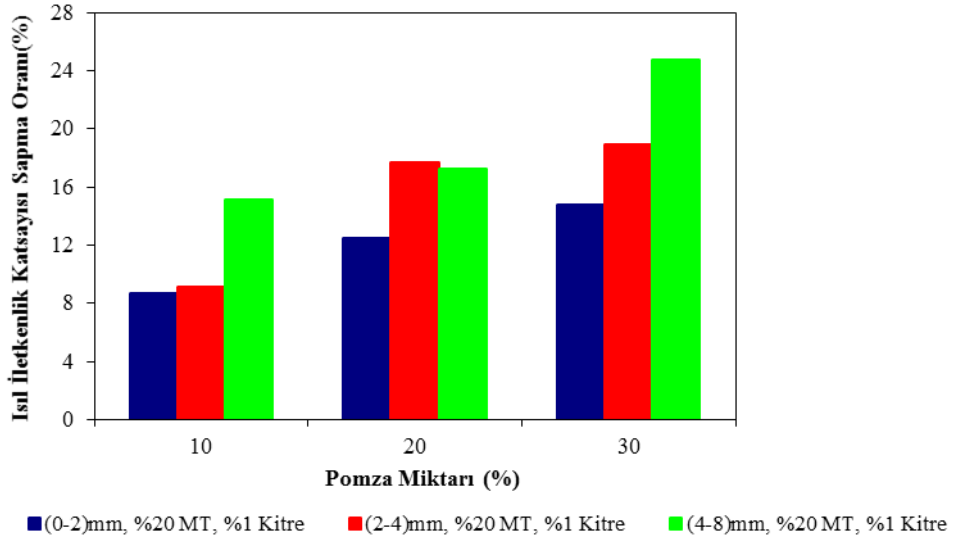
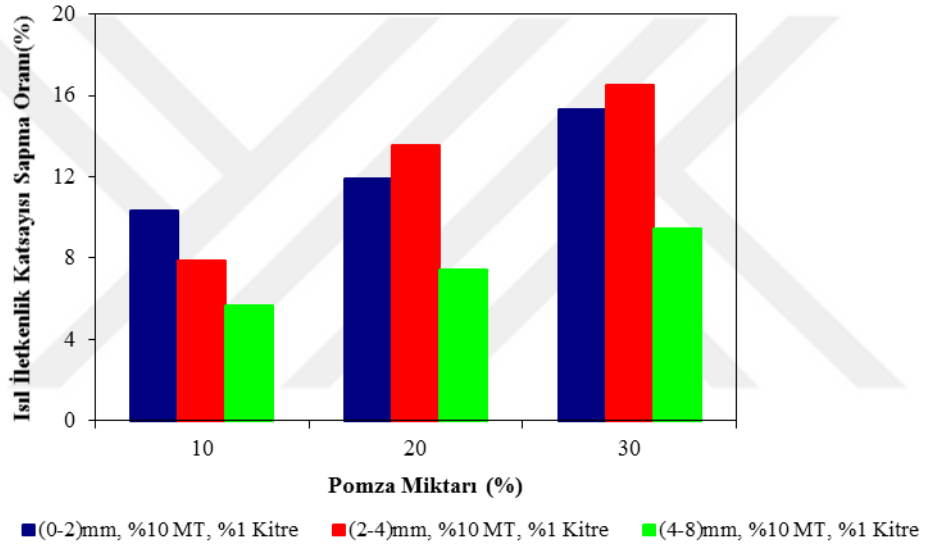
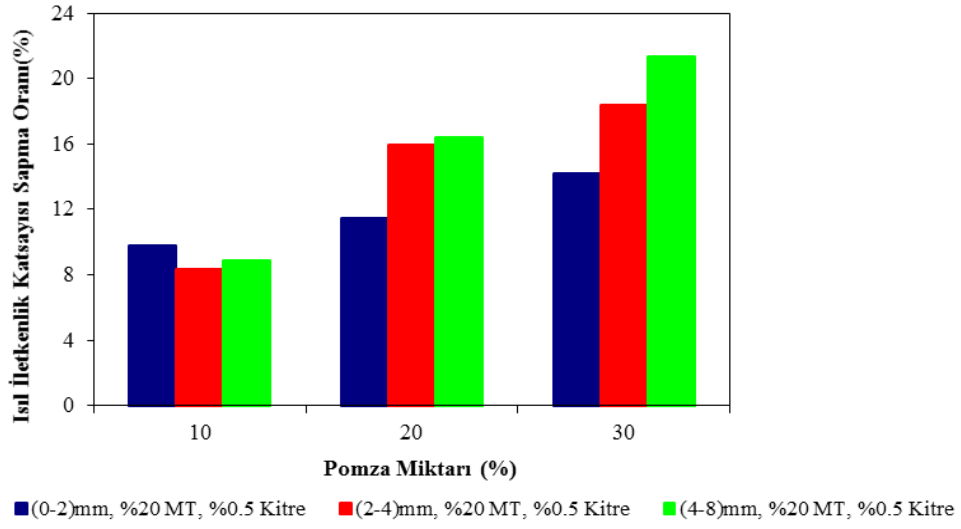
Şekil 7.5. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı



Şekil 7.6. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı

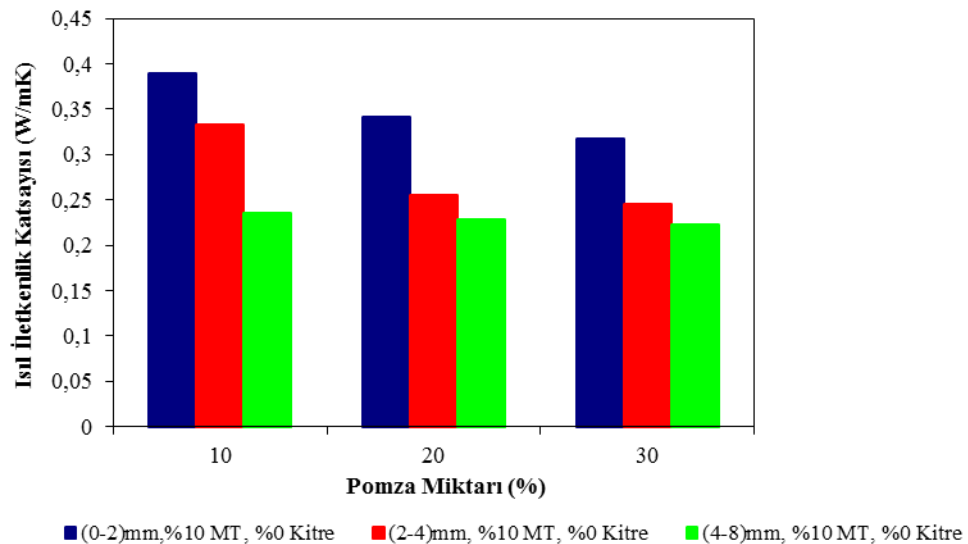
Şekil 7.3'te de numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim gösterilmiştir. Şekil 7.4, Şekil 7.5'te % 10 ve % 20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak deneysel ve teorik bulunan ısı iletkenlik katsayısındaki sapma oranı ve Şekil 7.6'da ise numunelerin içerisindeki atık mermer tozuna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayılarının teorik ve deneysel sonuçlarının sapma oranı kıyaslanarak gösterilmiştir. Teorik ve deneysel sonuç karşılaştırılmasında sonuçların birbirine yakın olduğu görölmektedir. Bazı numunelerde deneysel sonuçların teorik denklem sonuçlarından büyük çıkmasının nedenleri; denklemin kuruluşunda yapılan kabuller, malzeme bünyesinde nem olmadığı fakat gerçekte numunelerin kuruma sırasında bünyelerinde nem kalabileceği, kuruma sonrası yapay gözeneklilik oranındaki artış, ölçüm hataları ve küçük gözeneklerin bir kısmının dolu olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

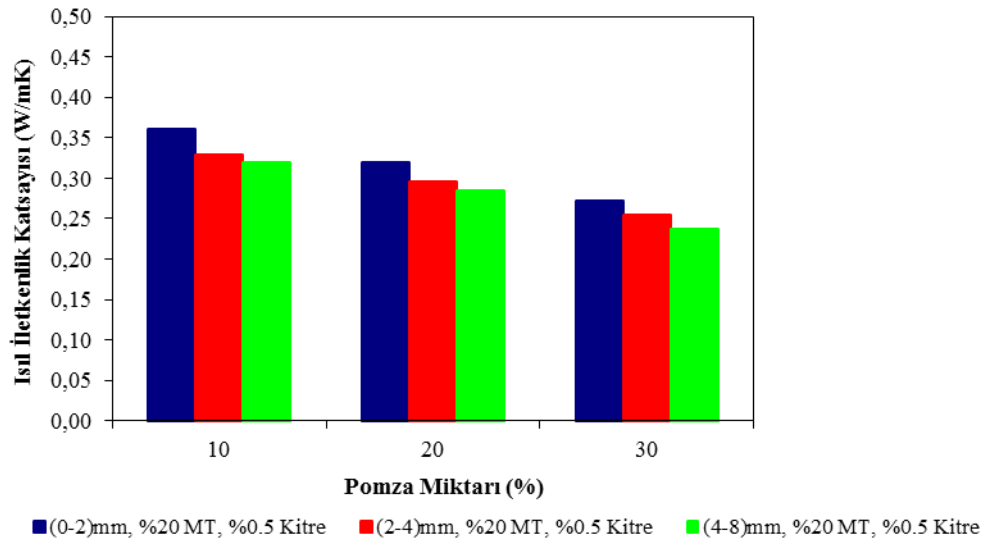
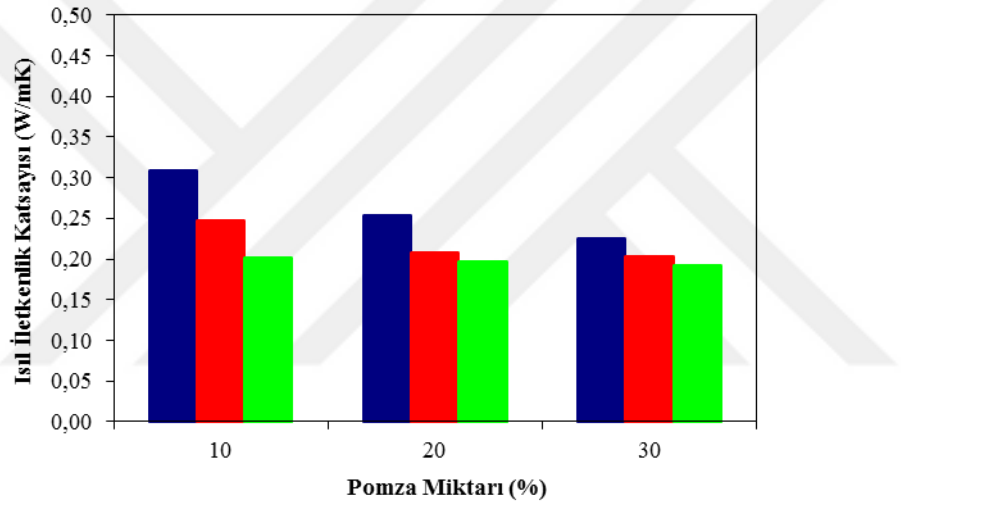
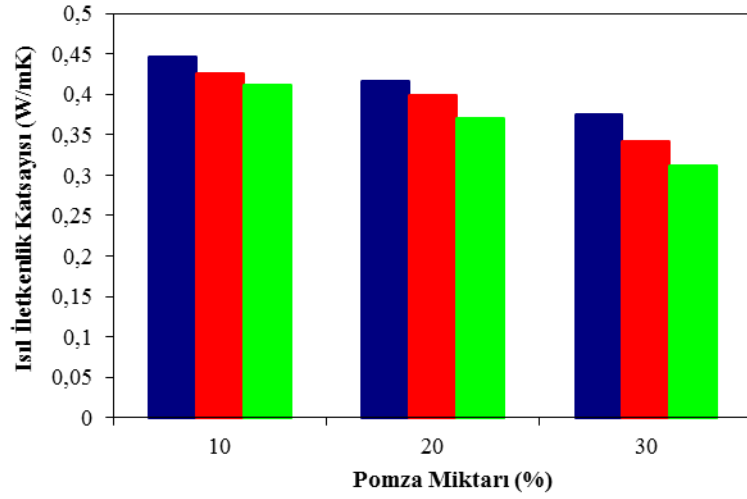


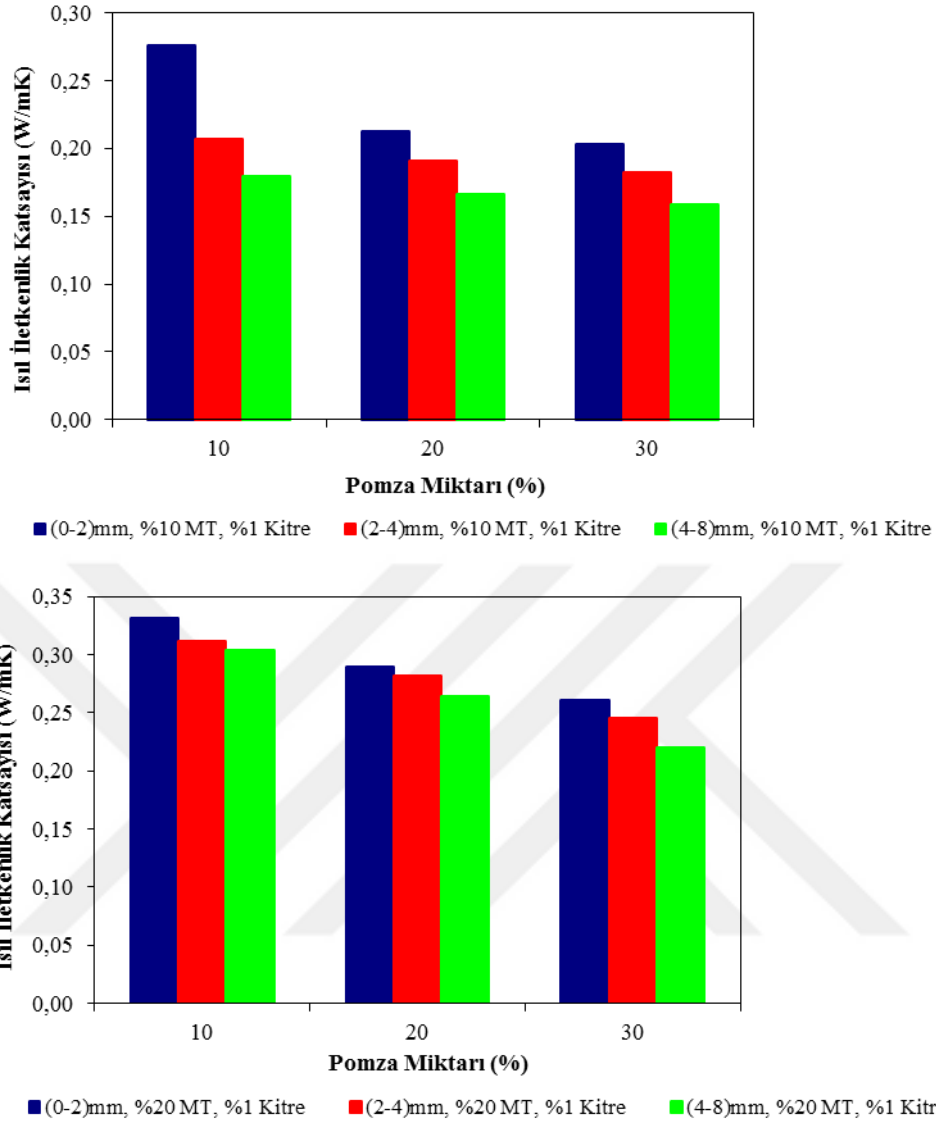


Şekil 7.7. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim

Şekil 7.7’de görüldüğü gibi karışımda kullanılan atık mermer tozu oranı değiştirilmeksizin kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri küçülmektedir. Aynı şekilde Şekil 7.6’da görüldüğü gibi kitre miktarı sabit tutularak karışımda kullanılan atık mermer tozu oranı arttığında ısı iletkenlik değeri büyümektedir. Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayıları teorik ve deneysel açıdan incelendiğinde deneysel bulgular teorik bulgulara göre kitre ve atık mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak yaklaşık %5.61 ile %24.79 aralığı oranında değişim göstermiştir. Ancak kitre kullanılmaksızın üretilen numunelerde ısı iletkenlik katsayısı atık mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak deneysel bulguları, teorik bulgulardan %5.90 ile %22.43 aralığına kadar büyümektedir. Bu durumlar kuruma sonrası bünyede kalan nemden kaynaklanmaktadır. Kitre miktarı arttıkça 0-2, 2-4 ve 4-8 mm tane boyutlu pomzalı numunelerin ısı iletkenlik katsayıları arasındaki fark büyümekte bunun aksine 0-2, 2-4 ve 4-8 mm tane boyutunda numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarı arttıkça ısı iletkenlik katsayıları arasındaki fark küçülmektedir. 0-2 mm tane boyutlu pomza ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletkenlik katsayıları arasındaki fark % olarak hesaplandığında %6.88 ile %14.23 ve %1 kitreli numunelerin %8.72 ile %15.32, 2-4 mm tane boyutlu pomza ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletkenlik katsayıları arasındaki fark % olarak hesaplandığında %8.35 ile % 18.37 ve %1 kitreli numunelerin %7.87 ile %18.94, 4-8 mm tane boyutlu pomza ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletkenlik katsayıları arasındaki fark yüzde olarak hesaplandığında %5.61 ile % 21.32 ve % 1 kitreli numunelerin %5.67 ile %24.79 aralığında olduğu tespit edilmiştir.





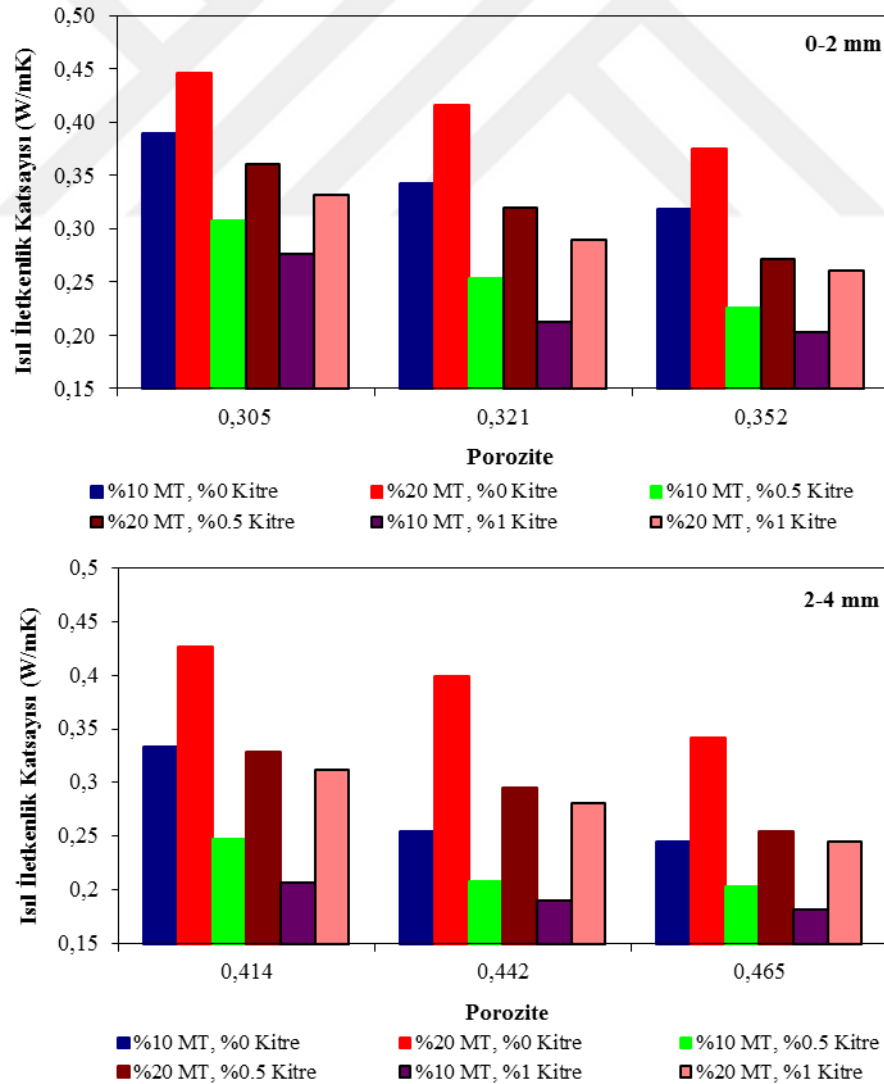


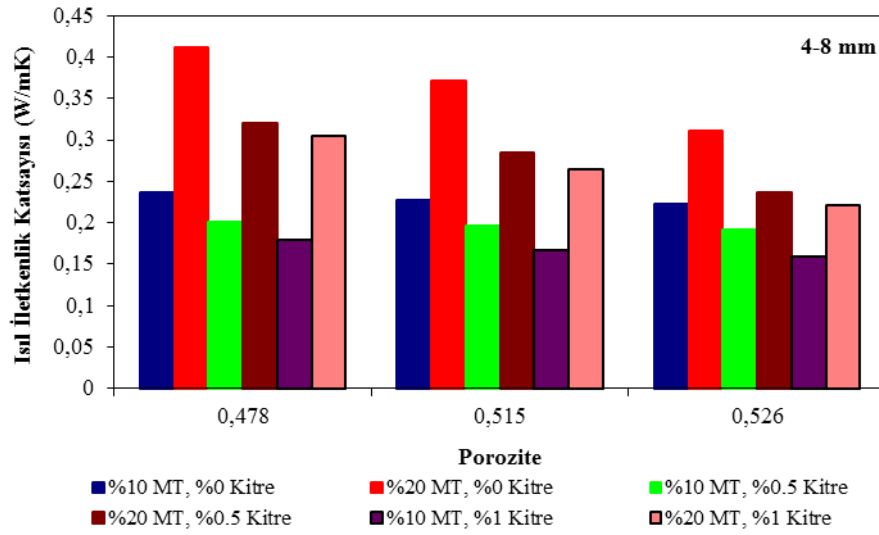
Şekil 7.8. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısındaki değişim

Şekil 7.8’de değişik tane boyutlu ve aynı kitre oranlı numunelere ait ısı iletkenlik katsayıları incelendiğinde kitre miktarı artıp atık mermer tozu miktarı azaldıkça ısı iletkenlik katsayısının düştüğü görülmektedir.

Şekil 7.3’te de görüldüğü üzere 4-8 mm tane boyutlu ağırlıkça %50 oranında pomza, ağırlıkça %10 oranında atık mermer tozu ile üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısının daha düşük tane boyutlu ve ağırlıkça daha fazla miktarda atık mermer tozu ile üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısından düşük olmasının sebebi 4-8 mm tane boyutlu numunelerin daha düşük tane boyutlu pomzalarla üretilen numunelere kıyasla atık mermer tozu miktarının azaltılmasıyla daha yüksek gözenekliliğe ve daha küçük yoğunluğa sahip olmasıdır. Numune bünyesinde yüksek orandaki gözenek miktarı ve

gözenek içerisindeki gazların ısı iletkenlik katsayısının küçük olması üretilen numunelerin ısı iletkenliğinin düşük olmasını sağlamaktadır. Bu gözeneklerin fazlalığı daha düşük yoğunlukta numune üretilmesini sağlamaktadır. Ancak bu durum nemli ortamlarda gözeneklerdeki gazların su ya da su buharı ile yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu da gözenek içerisinde bulunan gazlara göre ısı iletkenliği yaklaşık 20 kat büyük olan su miktarına bağlı olarak malzemenin ısı iletkenliğini artırır. Bu değişimler direkt numunenin yoğunluk değişimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aşağıda Şekil 7.9’da farklı oranlarda pomza, atık mermer tozu ve kitre ile üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin poroziteye bağlı değişimi gösterilmiştir. Atık mermer tozu miktarı arttıkça yoğunluk artmakta ve porozite azalmaktadır.





Şekil 7.9. Pomza, atık mermer tozu ve kitre miktarı farklı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğin porziteye bağlı değişimi

7.2. Deney Numunelerinin Isıl İletkenlik Katsayısının Sayısal Çözümü

Numunelerin teorik olarak ısı iletkenlik katsayısı ve gözeneklilik oranının hesabı için numuneyi oluşturan malzemelerin hacimsel ve ağırlık oranları ilişkisi, yoğunlukları ve ısı iletkenlik katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle aşağıdaki örnekte **3512** numunesinin ısı iletkenlik katsayısı ve gözeneklilik oranı hesaplanmış olup bu hesap tüm numuneler için uygulanabilir. Pomza ve atık mermer tozu matrislerine ait yoğunluk değeri olan $\rho_k = 1.987 \text{ g/cm}^3$ Isomet cihazından alınmıştır.

3512 numunesinin ısı iletkenlik katsayısı ve gözeneklilik oranı hesabı için;

$$\begin{aligned}
 W_{\text{kitre}} &= 18.69\text{g} & \rho_{\text{kitre}} &= 1.8 \text{ g/cm}^3 & \rho_k &= 1.987 \text{ g/cm}^3 \\
 W_{\text{mt}} &= 280\text{g} & \rho_{\text{mt}} &= 2.8 \text{ g/cm}^3 & \rho_{\text{bağ}} &= 0.985 \text{ g/cm}^3 \\
 W_{\text{pomza}} &= 348.5\text{g} & \rho_{\text{pomza}} &= 0.697 \text{ g/cm}^3 \\
 W &= 1929.19\text{g} & \rho &= 0.889 \text{ g/cm}^3 \text{ (3512 no'lu)}
 \end{aligned}$$

Bu değerler denklem 5.29'da kullanılırsa,

$$\frac{W_{kitre}}{W} = \frac{\rho_{kitre}}{\rho} \cdot \frac{V_{kitre}}{V} = \frac{18.69}{1929.19} = \frac{1.8}{0.889} \cdot \frac{V_{kitre}}{V}$$

$$A = \frac{V_{kitre}}{V} = 0.0048 \text{ bulunur.}$$

$$\frac{W_{mt}}{W} = \frac{\rho_{mt}}{\rho} \cdot \frac{V_{mt}}{V} = \frac{280}{1929.19} = \frac{2.8}{0.889} \cdot \frac{V_{mt}}{V}$$

$$B = \frac{V_{mt}}{V} = 0.046 \text{ bulunur.}$$

$$\frac{W_{pomza}}{W} = \frac{\rho_{pomza}}{\rho} \cdot \frac{V_{pomza}}{V} = \frac{348.5}{1929.19} = \frac{0.697}{0.889} \cdot \frac{V_{pomza}}{V}$$

$$C = \frac{V_{pomza}}{V} = 0.230 \text{ bulunur.}$$

Gözeneklilik oranının tayini için aşağıdaki denklem kullanılıp yukarıdaki değerler yerine yazılırsa;

$$\phi = \frac{\rho_K - C(\rho_{pomza} - \rho_{bağ}) - \rho_{bağ} - B(\rho_{mt} - \rho_{bağ})}{\rho_K + \rho_{pomza} - \rho_{bağ}}$$

$$\phi = \frac{1.987 - 0.230(0.697 - 0.985) - 0.985 - 0.046(2.8 - 0.985)}{1.987 + 0.697 - 0.985} = 0.579 \text{ olarak}$$

hesaplanır.

Isıl iletkenlik katsayısının tayini için;

$$k_K = 0.155 \text{ W / mK} \quad A = 0.0048$$

$$k_{Mt} = 0.690 \text{ W / mK} \quad B = 0.046$$

$$k_p = 0.12 \text{ W / mK} \quad C = 0.230$$

$$k_{\zeta} = 0.450 \text{ W / mK} \quad \phi = 0.579$$

$$k_G = 0.0231 \text{ W / mK}$$

$$k_{efs} = k_{\phi} k_K k_{M_t} k_P k_G \left[\frac{1}{k_K k_{M_t} k_P k_G} (1 - A^{2/3}) + \frac{(A^{2/3} - B^{2/3})}{k_K k_{M_t} k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\phi} k_G A^{1/3}} \right. \\ \left. + \frac{B^{2/3} - C^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\phi} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_G k_{\phi} B^{1/3}} \right. \\ \left. + \frac{C^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\phi} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_{\phi} k_G (B^{1/3} - C^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_G k_{\phi} C^{1/3}} \right. \\ \left. + \frac{\phi^{2/3}}{k_{M_t} k_K k_P k_G (1 - A^{1/3}) + k_{M_t} k_P k_{\phi} k_G (A^{1/3} - B^{1/3}) + k_K k_P k_{\phi} k_G (B^{1/3} - C^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_{\phi} k_G (C^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_{M_t} k_K k_P k_{\phi} \phi^{1/3}} \right]$$

$k_{efs} = 0.147 \text{ W/mK}$ elde edilir.

3512 kodlu numuneye ait deneysel ısı iletkenlik katsayısı **0.159 W/mK** olarak tespit edilmiştir. Aynı numuneye ait teorik ısı iletkenlik katsayısı yukarıdaki işlem aşamalarından sonra **0.147 W/mK** olarak belirlenmiştir. Sonuçta deneysel olarak ölçülen değerlerle, cebirsel denklemin verdiği sonuçların birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

7.3. Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

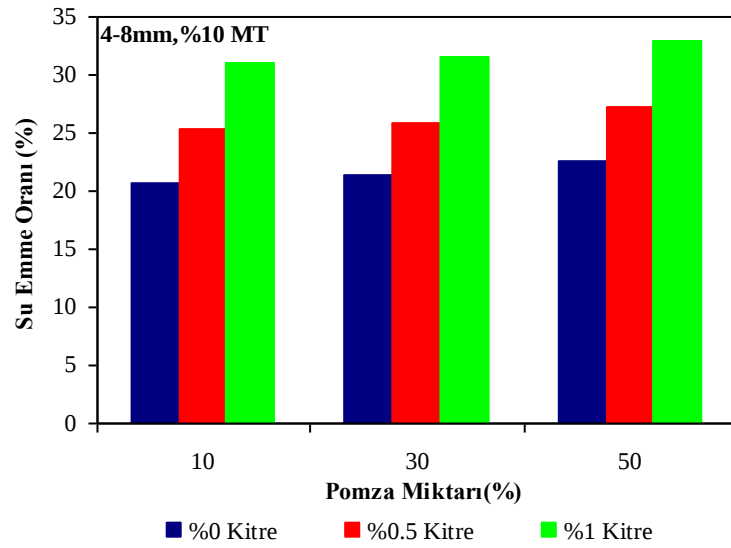
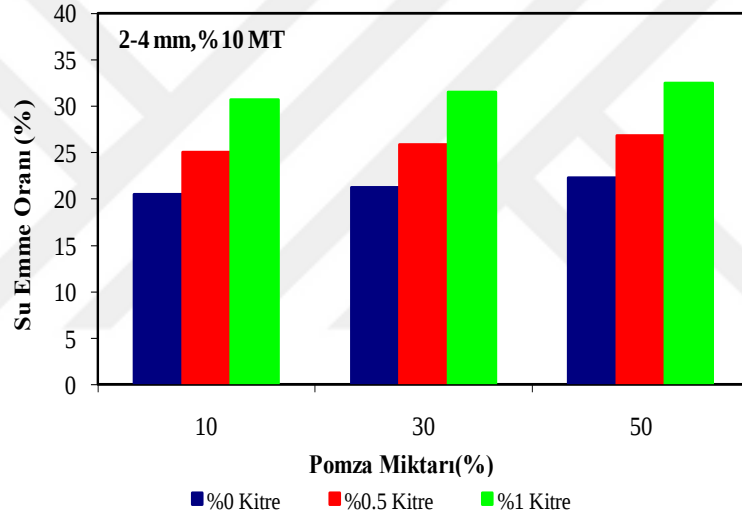
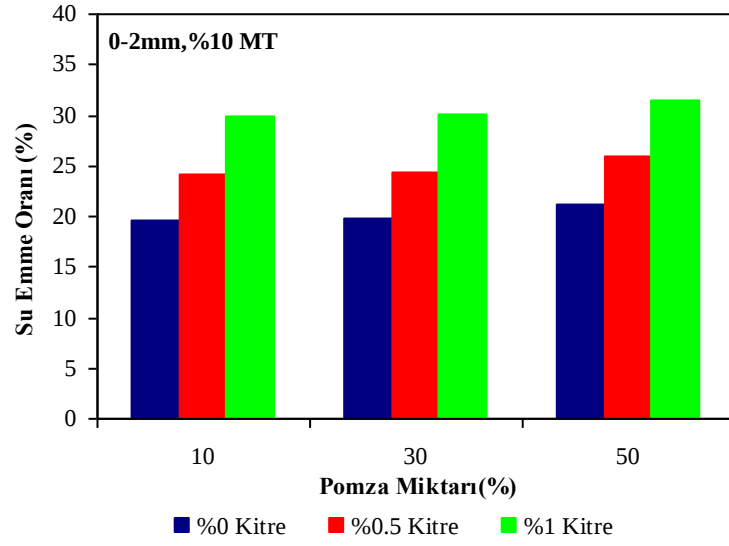
Üretilen numunelerin bazılarının su emme oranları kritik değer %30'un üzerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle numunelerin bünyesinde bulundurduğu su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donma meydana getirecektir. Su donduğunda hacimde %9 oranında bir artış meydana gelir. Buradan da anlaşılabileceği üzere donma olayı malzemelerde, bünyesinde tuttuğu su miktarına bağlı olarak belirgin bir ölçüde genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşmenin sonunda ise malzemelerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar, biraz daha genişlemekte ve bu durum, malzemenin su absorbe etme kapasitesinde artışa sebep olmaktadır. Donma-çözülme olayının tekrarı neticesinde malzeme yüzeyinde önemli derecede çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Ayrıca bu durum malzemenin dayanımının azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilmektedir. Numunelere ait su emme deney sonuçları Tablo 7.2'de verilmiştir. Üretilen numuneler, boşluklu bir yapıya sahip olup kullanılan pomza tane boyutu, pomza miktarı ve atık mermer tozu miktarına bağlı olarak gözeneklilik oranı, tüm yapı içerisinde değişim göstermektedir. Bu durum, numuneler su ile temas ettiğinde bu boşluklarda suyun

tutulmasına imkân sağlayarak su emme kapasitesini ve numunelerin su emme değerlerini arttırmaktadır. Şekil 7.10, Şekil 7.11 ve Şekil 7.13'te 0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomza numunelerinin pomza tane boyutu, miktarı ve kitre miktarındaki değişime göre su emme oranları incelendiğinde pomza tane boyutu, miktarı ve kitre miktarı arttıkça su emme oranı artmaktadır. Şekil 7.12'de ise numune bünyesinde atık mermer tozu miktarı arttıkça su emme oranı azalmaktadır.

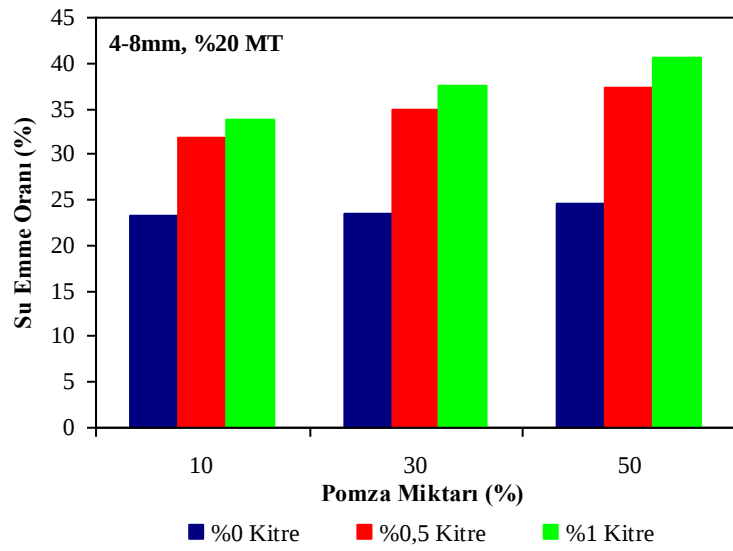
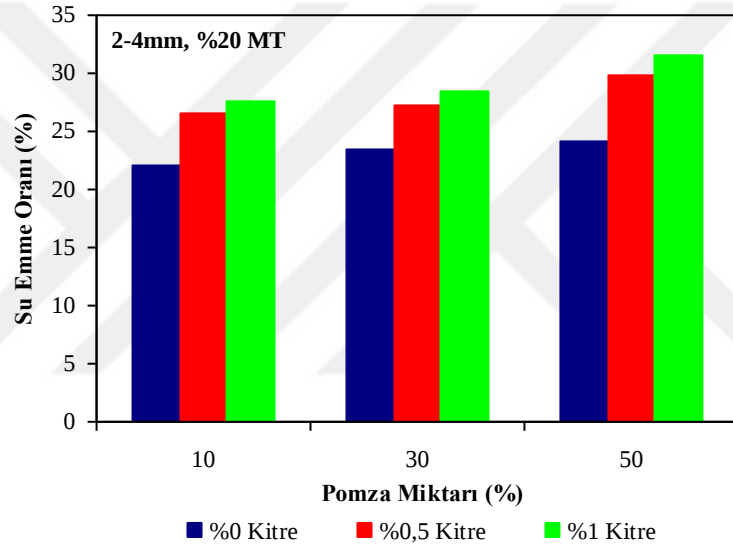
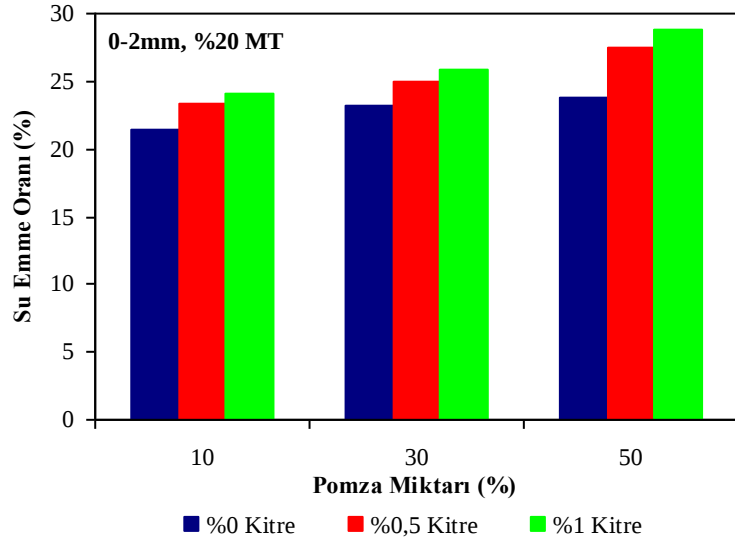


Tablo 7.2. Numunelere ait su emme deney sonuçları

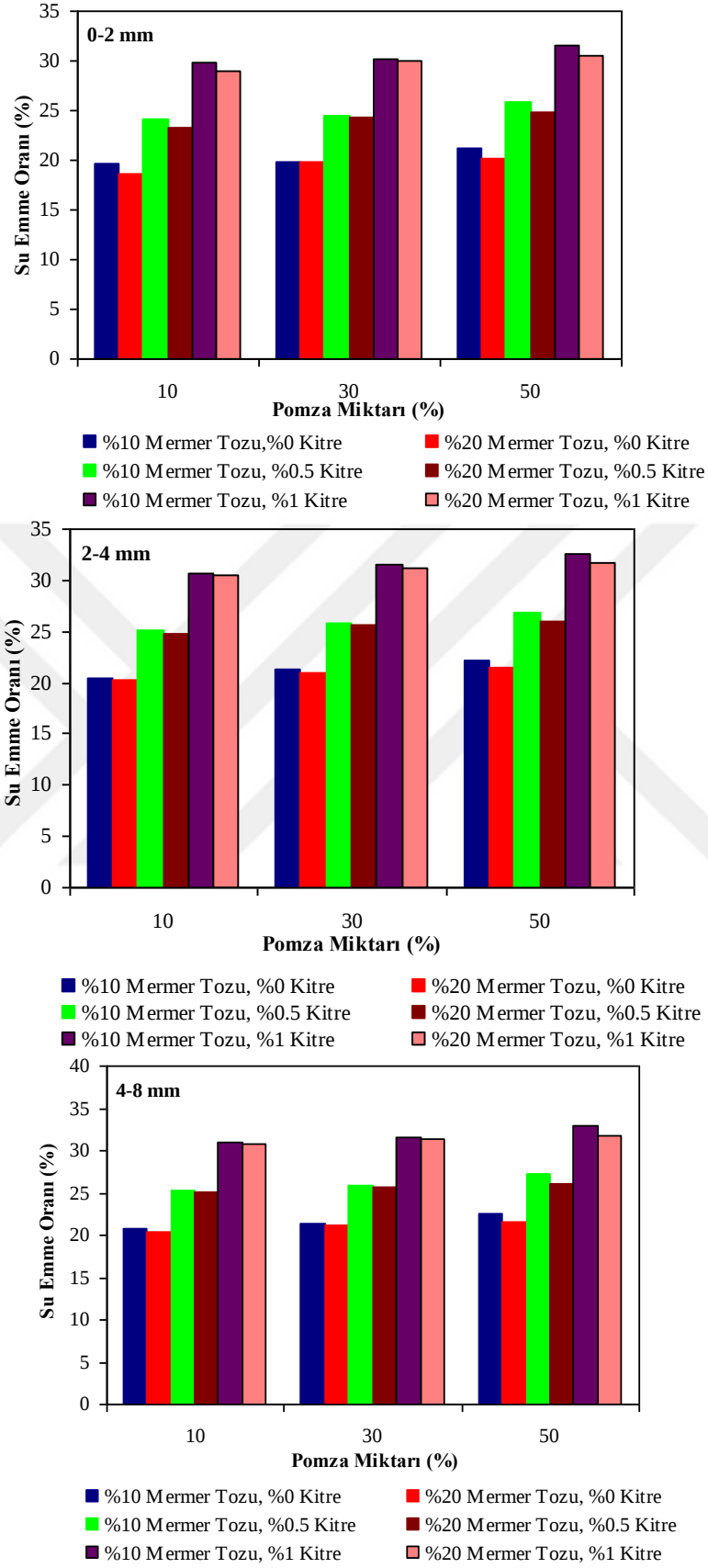
Numune Kodu	Numunelerin Kuru Ağırlığı (gr)	20.dk	40.dk	1.saat	2.saat	3.saat	24.saat	Su emme oranı(%)
Kitre katkısız numuneler								
1110	340	375	382	386	389	392	407	19.57
1310	290	329	334	336	338	340	348	19.85
1510	275	312	321	326	329	331	333	21.26
1120	302	331	344	351	355	357	358	18.63
1320	282	321	329	332	334	335	338	19.76
1520	273	313	321	324	326	327	328	20.17
2110	322	354	371	376	379	386	388	20.48
2310	279	315	322	334	335	337	338	21.25
2510	270	309	317	322	328	330	330	22.26
2120	299	338	341	345	357	359	359	20.19
2320	276	321	328	331	332	333	334	20.98
2520	263	305	311	313	315	316	319	21.43
3110	285	325	335	339	340	342	344	20.70
3310	260	303	308	311	312	313	315	21.30
3510	256	306	310	312	313	314	314	22.64
3120	268	310	315	319	320	322	323	20.49
3320	259	302	307	311	312	313	314	21.14
3520	241	284	289	291	292	293	293	21.50
(%0,5) Kitre katkılı numuneler								
1111	305	352	368	373	375	377	379	24.17
1311	277	315	337	339	340	341	345	24.45
1511	251	296	305	309	313	316	316	25.86
1121	280	313	338	340	341	342	345	23.23
1321	262	304	317	321	322	323	326	24.36
1521	248	298	303	307	308	309	309	24.77
2111	295	334	355	359	364	366	369	25.08
2311	260	312	319	321	323	325	327	25.85
2511	231	286	290	291	292	293	293	26.86
2121	279	311	339	341	344	346	348	24.79
2321	253	296	311	314	316	317	318	25.58
2521	217	263	269	270	271	272	273	26.03
3111	266	302	321	328	330	331	333	25.30
3311	209	251	256	259	261	262	263	25.90
3511	194	240	241	242	243	245	247	27.24
3121	223	265	270	274	277	278	279	25.09
3321	198	239	241	246	247	249	249	25.74
3521	185	227	229	230	230	231	233	26.10
(%1) Kitre katkılı numuneler								
1112	280	324	351	358	360	362	364	29.84
1312	252	298	315	321	323	325	328	30.12
1512	226	276	289	292	296	297	297	31.53
1122	255	298	321	325	327	328	329	28.90
1322	237	292	297	301	307	307	308	30.03
1522	223	273	285	287	289	290	291	30.44
2112	270	319	341	349	352	352	353	30.75
2312	235	281	296	303	304	307	309	31.52
2512	206	263	268	270	270	271	273	32.53
2122	254	291	312	319	330	331	331	30.46
2322	228	275	289	295	297	298	299	31.25
2522	192	238	243	250	250	251	253	31.70
3112	241	288	308	314	315	316	316	30.97
3312	184	234	239	240	240	241	242	31.57
3512	169	219	223	224	224	225	225	32.91
3122	198	251	253	255	256	257	259	30.76
3322	173	221	224	225	226	226	227	31.41
3522	160	201	206	208	209	210	211	31.77



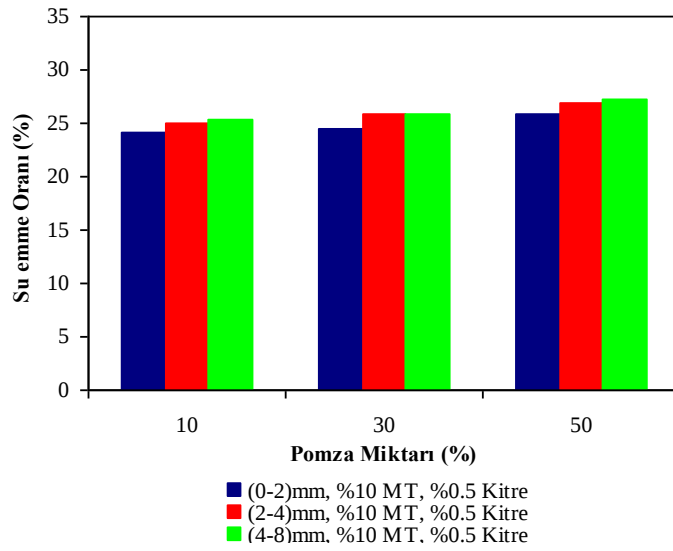
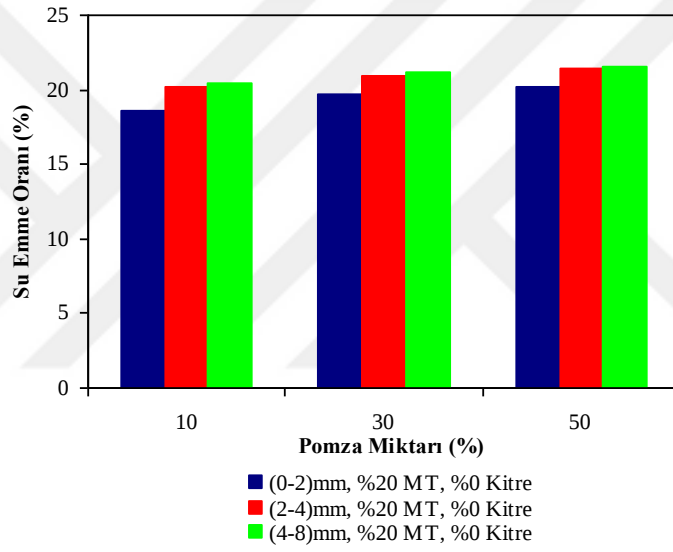
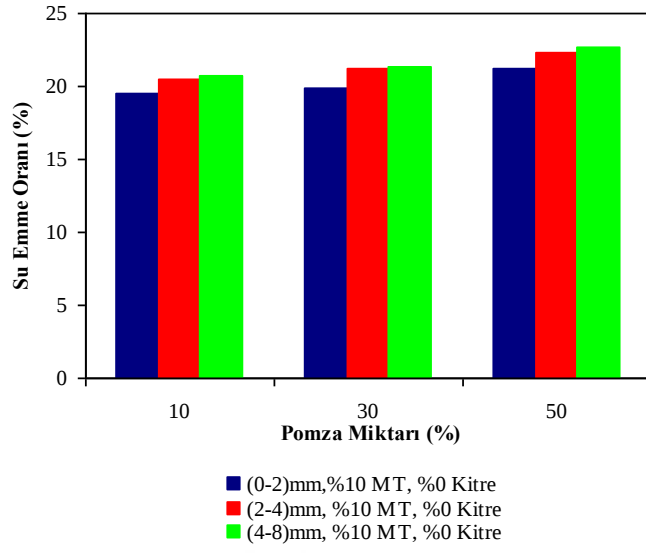
Şekil 7.10. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi

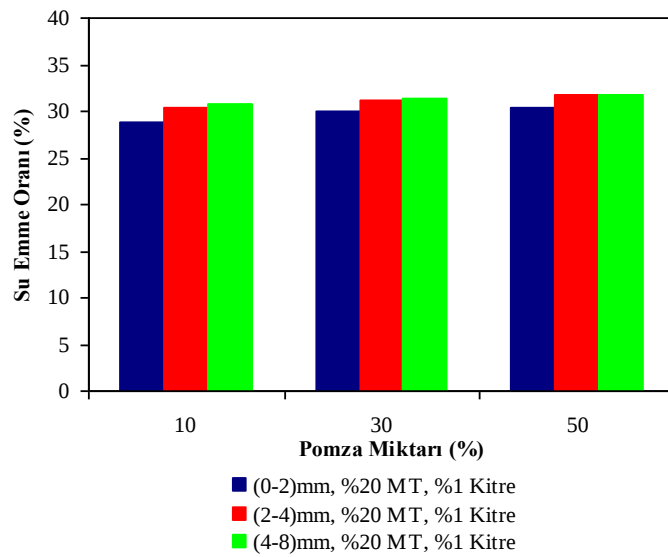
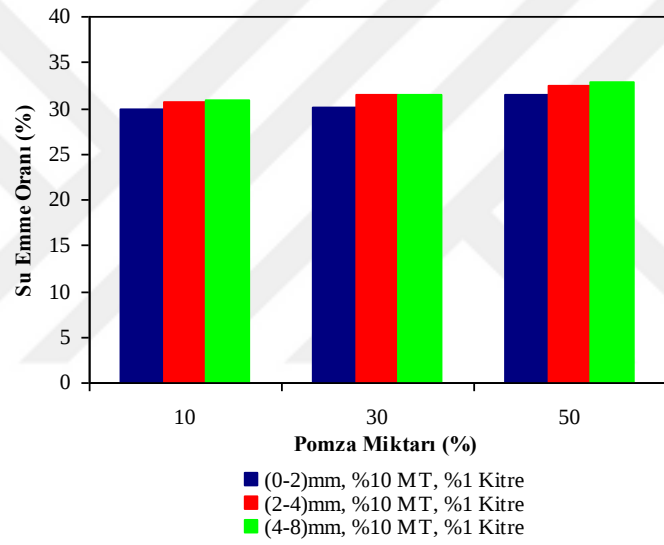
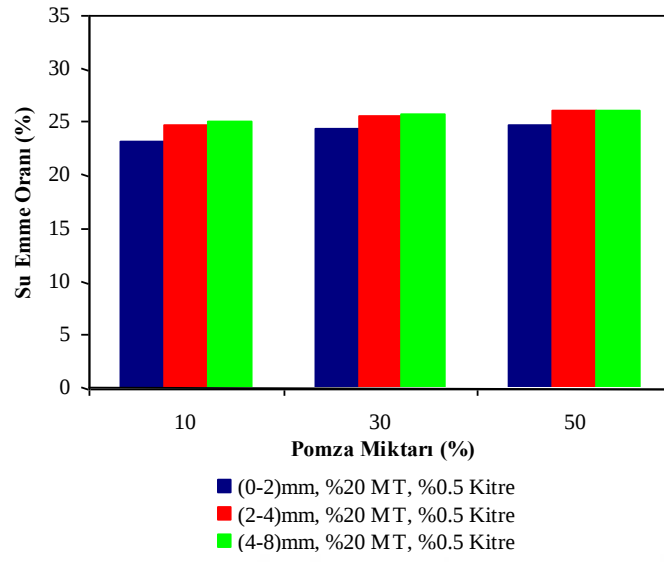


Şekil 7.11. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi



Şekil 7.12. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak su emme oranındaki değişimi





Şekil 7.13. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak su emme oranındaki değişimi

Su emme grafiklerinden görüleceği üzere üretilen 0-2 mm tane boyutlu numunelerin su emme oranı %18.63 - %22.64, 2-4 mm tane boyutlu numunelerin su emme oranı %23.23 - %27.24 ve 4-8 mm tane boyutlu numunelerin su emme oranı ise %28.90 - %32.53 aralığında değişmektedir.

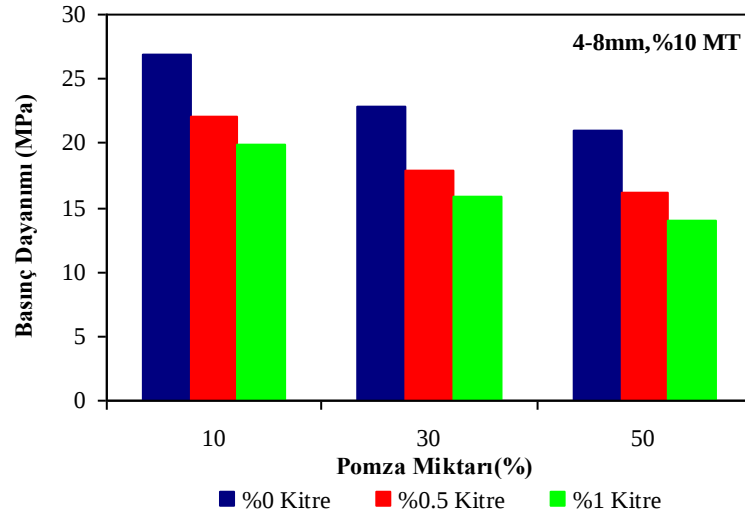
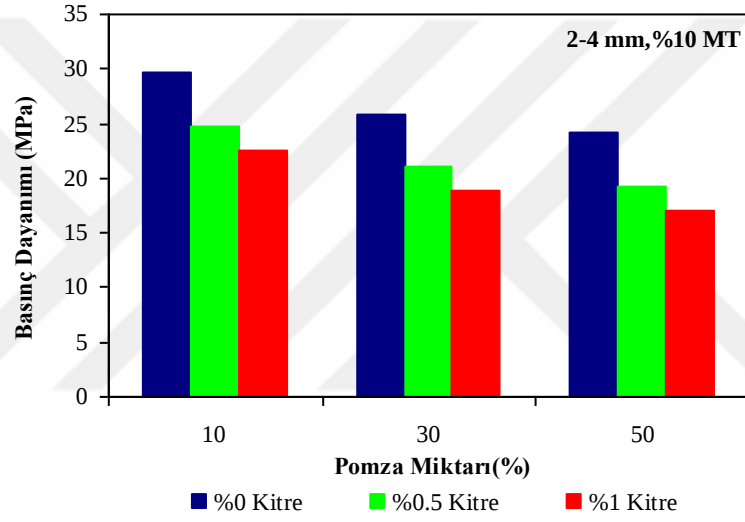
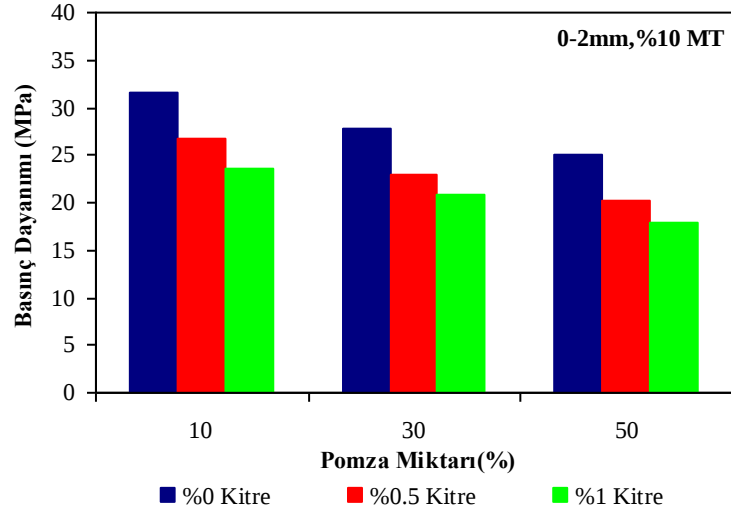
7.4. Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomza, atık mermer tozu ve kitre-çimento bağlayıcılı numunelerin basınç dayanımları Tablo 7.3'te verilmiş olup söz konusu tablo incelendiğinde 0-2 mm tane boyutlu numunelerde basınç dayanımı 17.36 – 31.67 MPa, 2-4 mm tane boyutlu numunelerde basınç dayanımı 15.97 - 29.60 MPa ve 4-8 mm tane boyutlu numunelerde ise basınç dayanımı 13.47 – 26.95 MPa aralığında değişmektedir. Her üç tip için de numune bünyesinde atık mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımı azalmaktadır. Numune bünyesinde kullanılan kitre miktarına bağlı olarak basınç dayanımı düşüş göstermektedir.

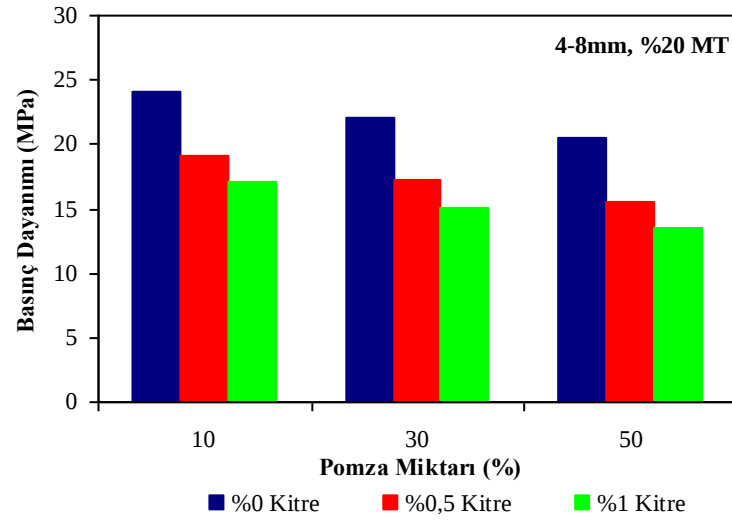
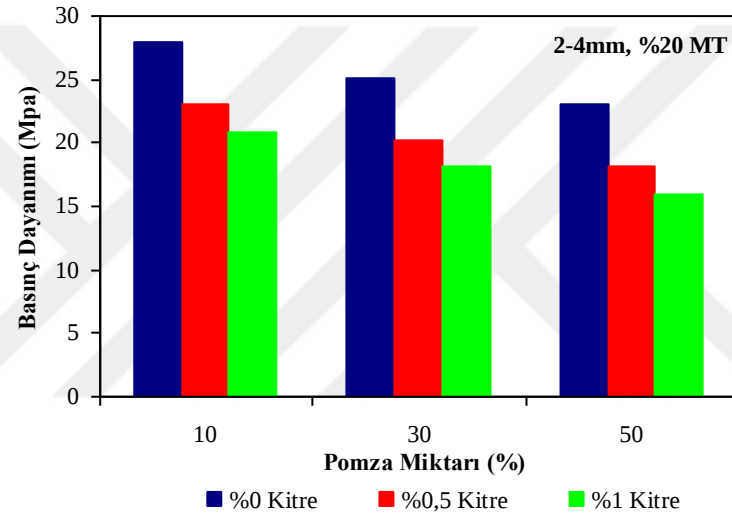
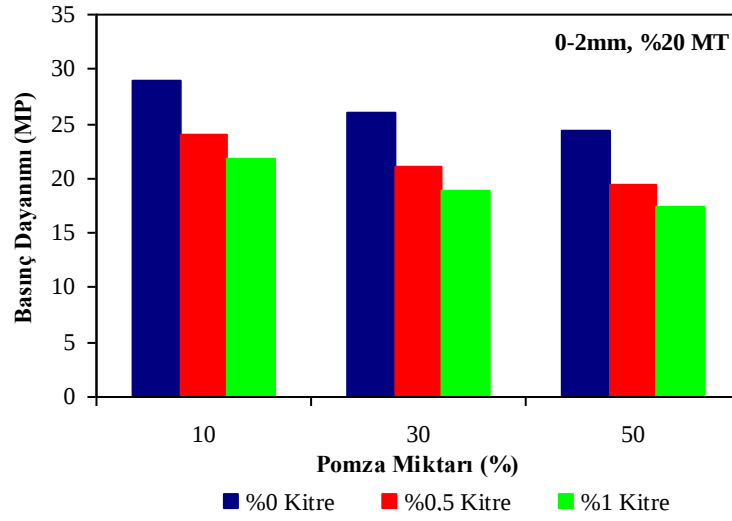
0-2, 2-4, 4-8 mm tane boyutlu pomza agregaları, 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş farklı oranlardaki atık mermer tozu ile farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcılı numunelere ait basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'e pomza ve kitre miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Bu durum kitrenin tüm numune içerisinde yapay gözenek oluşturmaları ve pomzanın gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.16 incelendiğinde numune bünyesinde bulunan atık mermer tozu miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Bu durum düşük tane boyutundaki atık mermer tozunun numune içerisindeki gözenek oranını arttırıp mukavemet değerlerini azaltmaktadır. Şekil 7.17 incelendiğinde pomza tane boyutunun artması ile numunelerin basınç dayanımı azalmaktadır.

Tablo 7.3. Numunelere ait basınç dayanımı ve aşınma kaybı oranı sonuçları

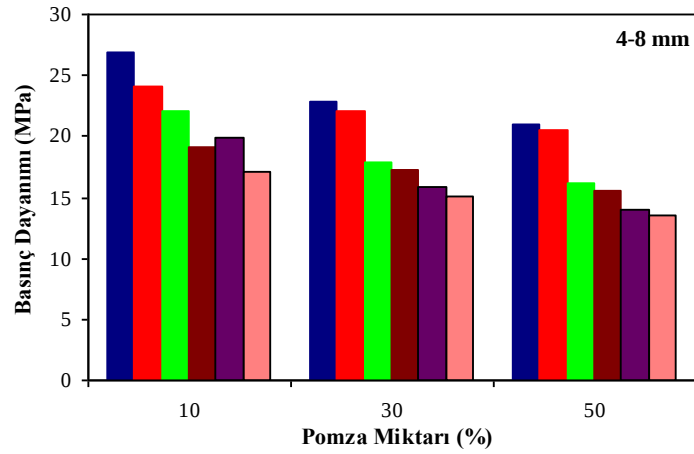
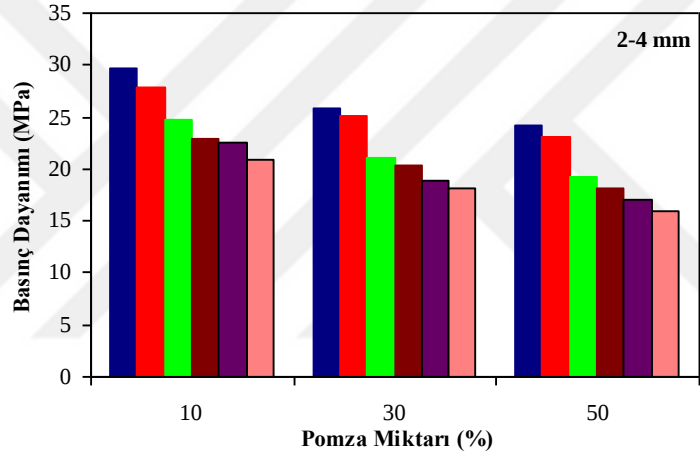
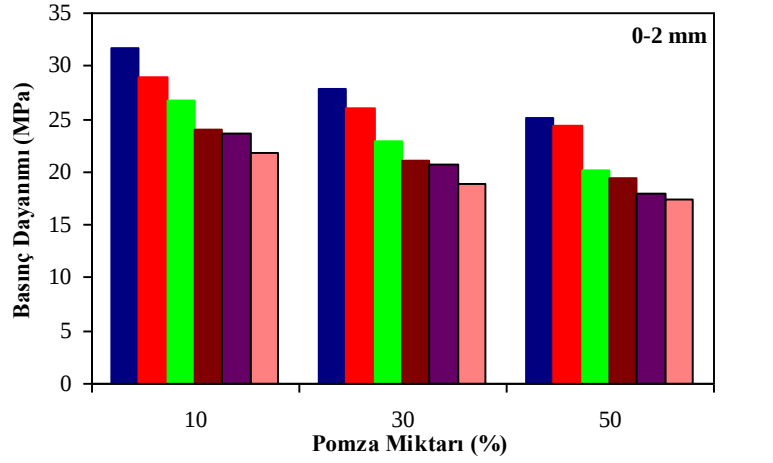
Numune Kodu	Basınç Dayanımı(Mpa)	Aşınma Kaybı Oranı(%)
Kitre katkısız numuneler		
1110	31.67	0.65
1310	27.82	0.82
1510	25.05	1.01
1120	28.94	0.75
1320	26.01	0.92
1520	24.41	1.11
2110	29.60	0.74
2310	25.92	0.94
2510	24.10	1.15
2120	27.90	0.81
2320	25.18	0.96
2520	23.02	1,24
3110	26.95	0.88
3310	22.87	1.27
3510	21.01	1.42
3120	24.09	1.20
3320	22.12	1.36
3520	20.52	1.55
(%0.5)Kitre katkılı numuneler		
1111	26.75	0.87
1311	22.90	1.04
1511	20.13	1.23
1121	24.02	0.97
1321	21.09	1.14
1521	19.49	1.33
2111	24.68	0.96
2311	21.00	1.16
2511	19.18	1.37
2121	22.98	1.03
2321	20.26	1.18
2521	18.10	1.46
3111	22.03	1.10
3311	17.95	1.49
3511	16.09	1.64
3121	19.17	1.42
3321	17.20	1.58
3521	15.60	1.77
(%1)Kitre katkılı numuneler		
1112	23.62	1.05
1312	20.77	1.22
1512	18.00	1.41
1122	21.89	1.15
1322	18.96	1.32
1522	17.36	1.51
2112	22.55	1.14
2312	18.87	1,34
2512	17.05	1.55
2122	20.85	1.21
2322	18.13	1.36
2522	15.97	1.64
3112	19.90	1.28
3312	15.82	1.67
3512	13.96	1.82
3122	17.04	1.60
3322	15.07	1.76
3522	13.47	1.95



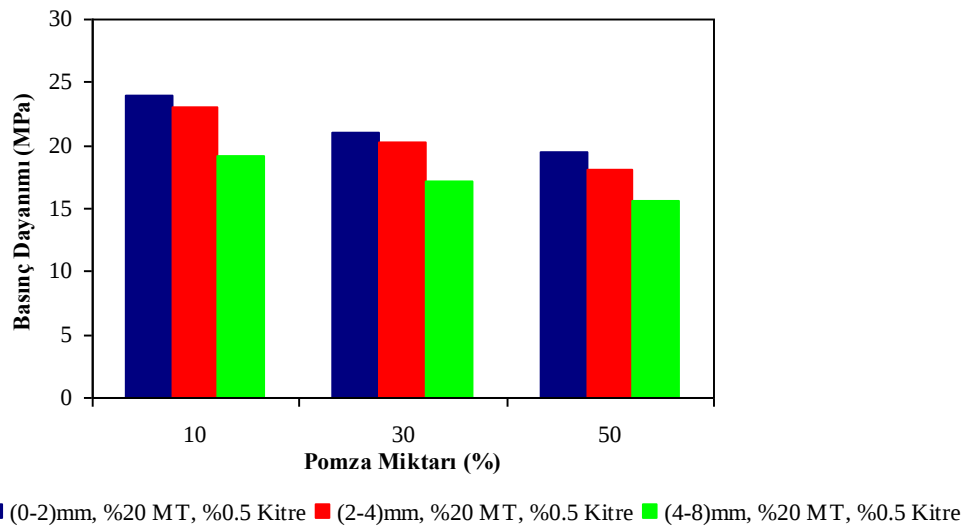
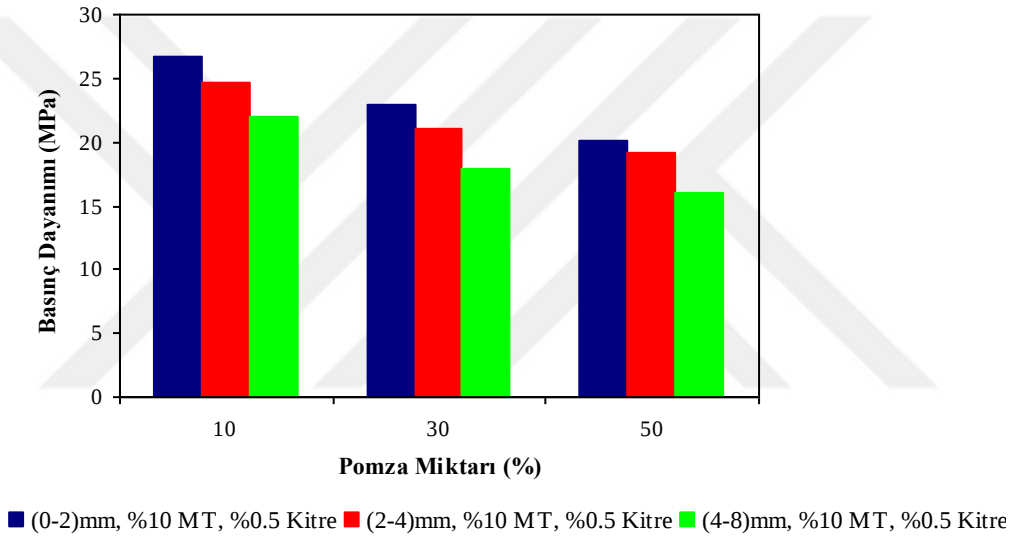
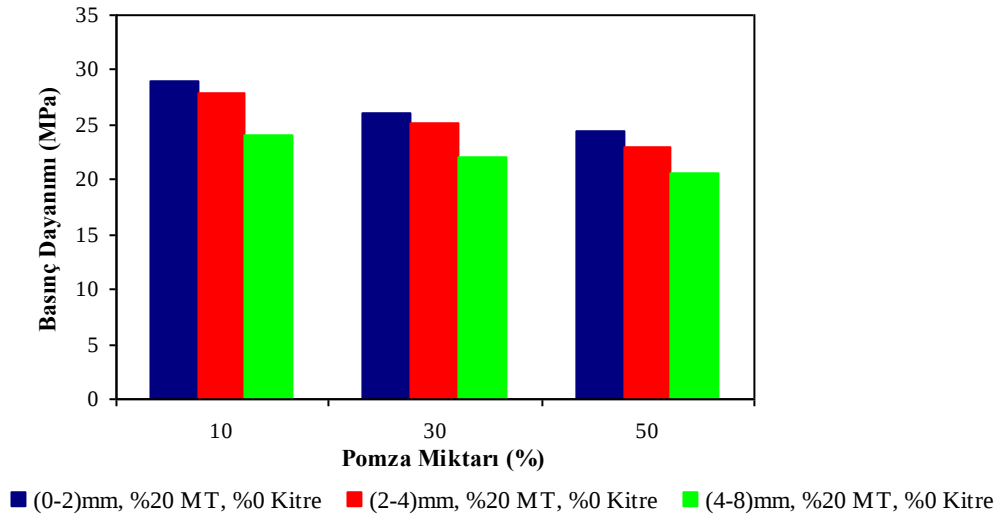
Şekil 7.14. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitle miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi

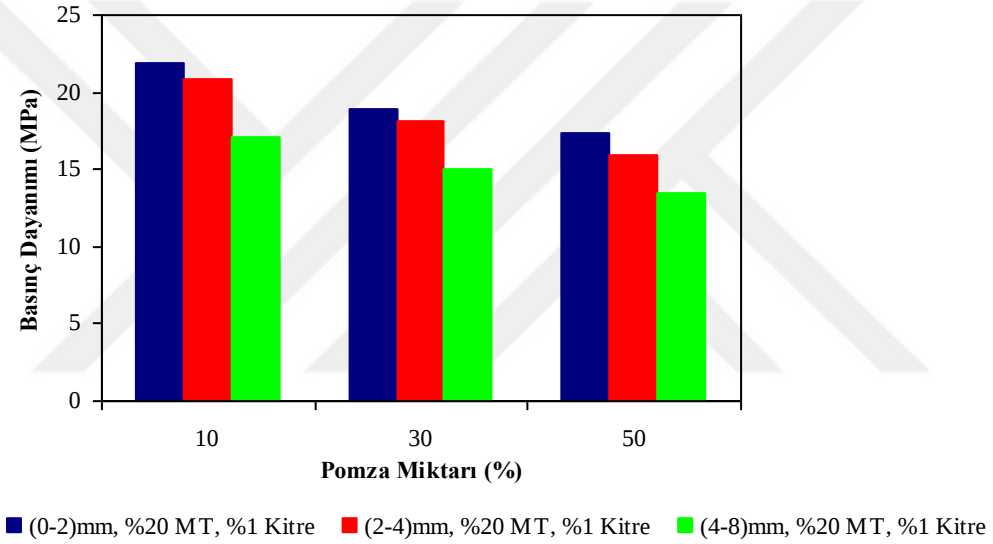
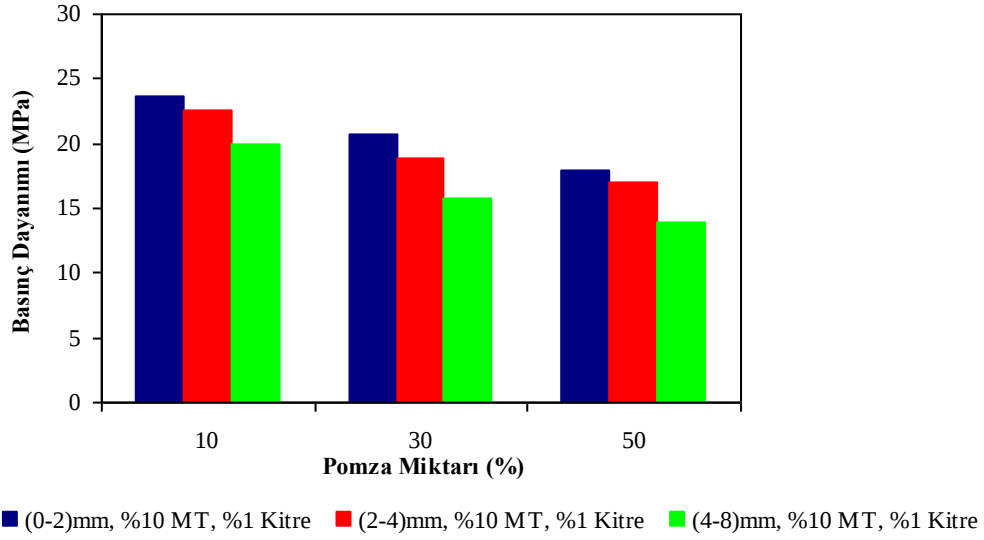


Şekil 7.15. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi



Şekil 7.16. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi

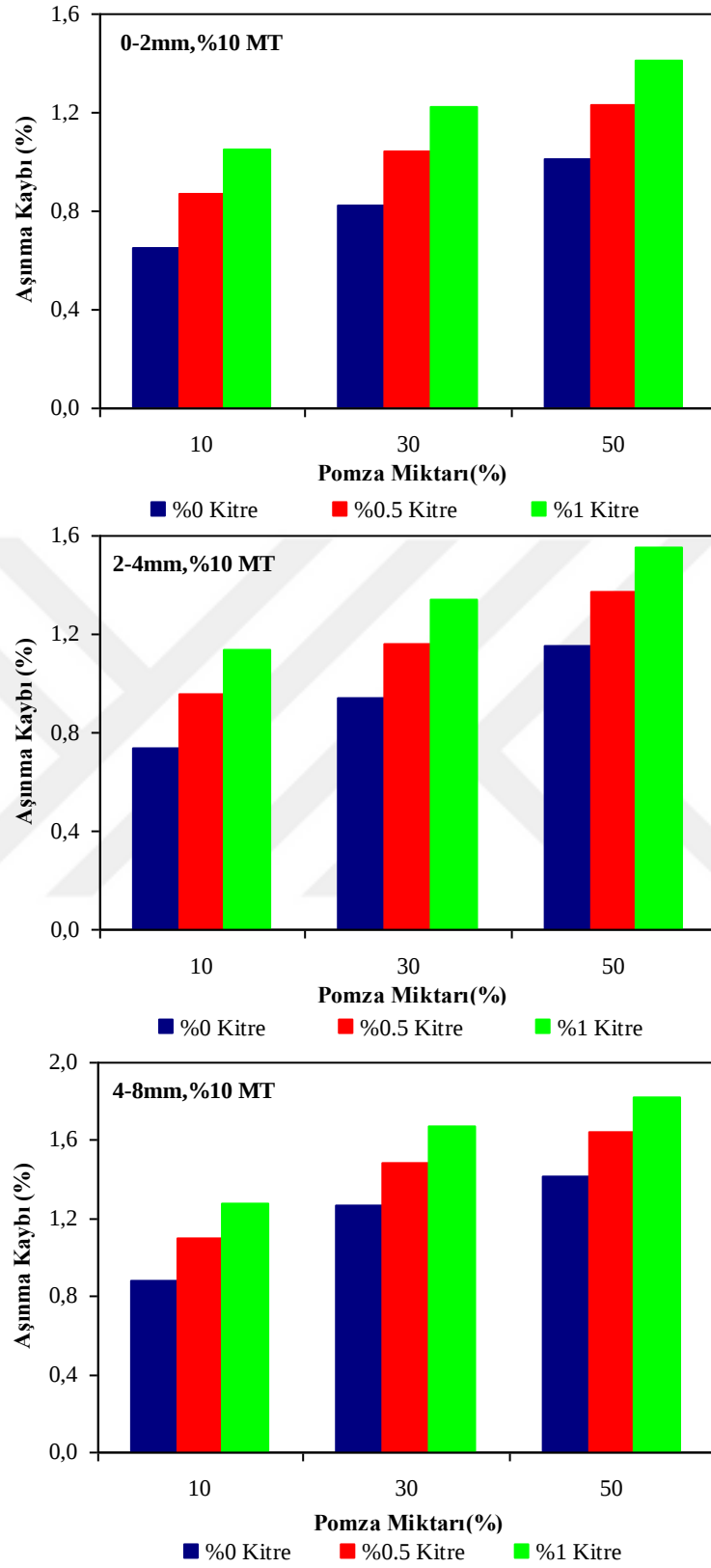




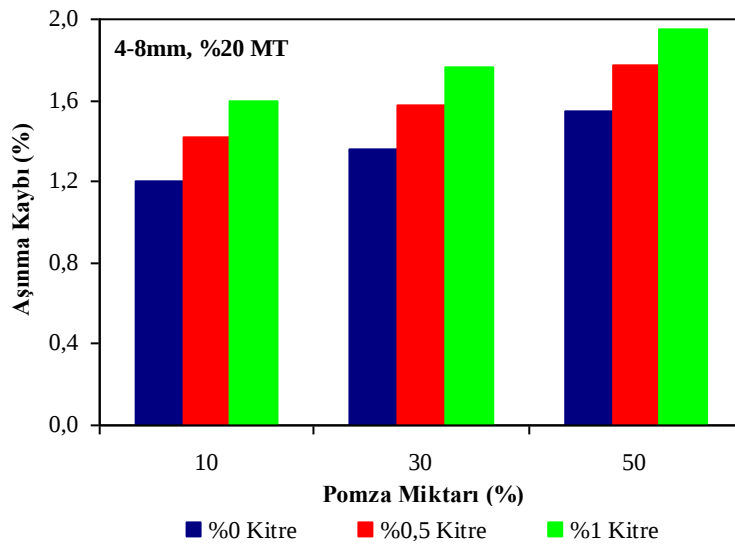
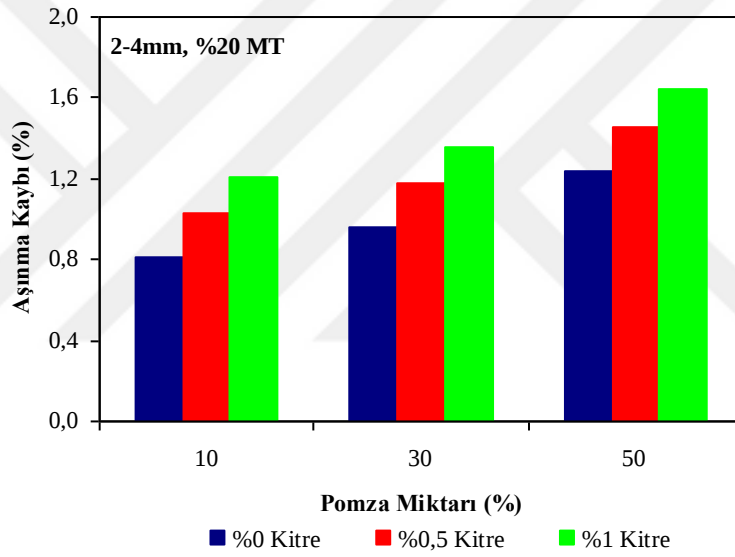
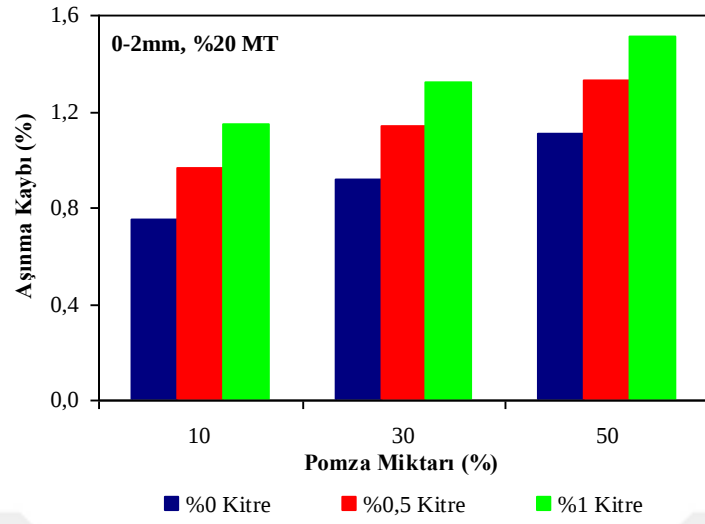
Şekil 7.17. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak basınç dayanımı değişimi

7.5. Aşınma Kaybı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

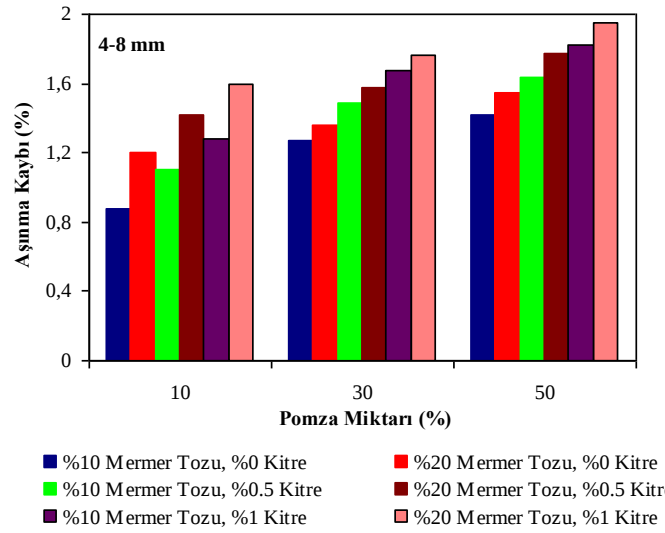
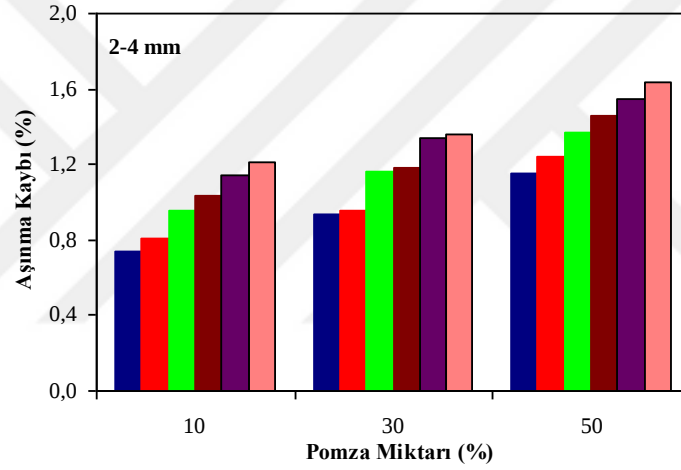
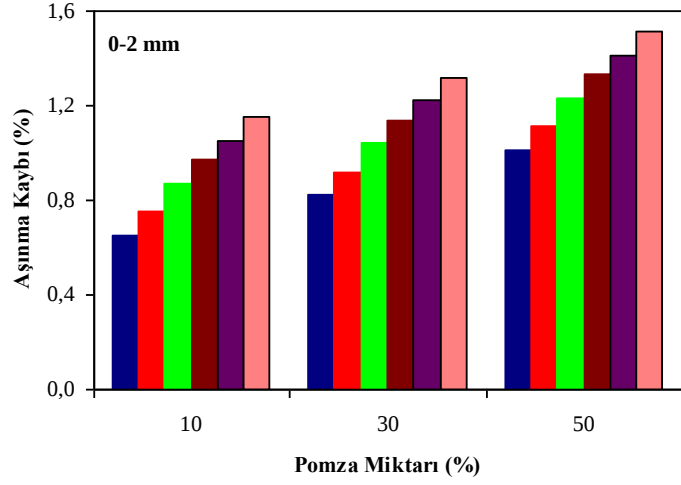
Böhme yöntemi ile ve TS 699 ile TS 2824 yöntemlerine uygun olarak aşınma kayıpları belirlenmiştir [94,95]. Böhme yöntemi ile sertleşmiş kompozit türü numunelerde sürtünme yolu ile aşınma kaybı deneyi TS 699'a uygun olarak yapılmış olup elde edilen sonuçlar TS 2824 esasına göre Tablo 7.3'te verilmiştir. TS 2824'e göre sürtünme yolu ile aşınma kaybı değeri 50 cm^2 'de ortalama 13 cm^3 'ten fazla ise numuneler aşınmaya karşı mukavemetsiz kabul edilir (TS 2824, 1989).



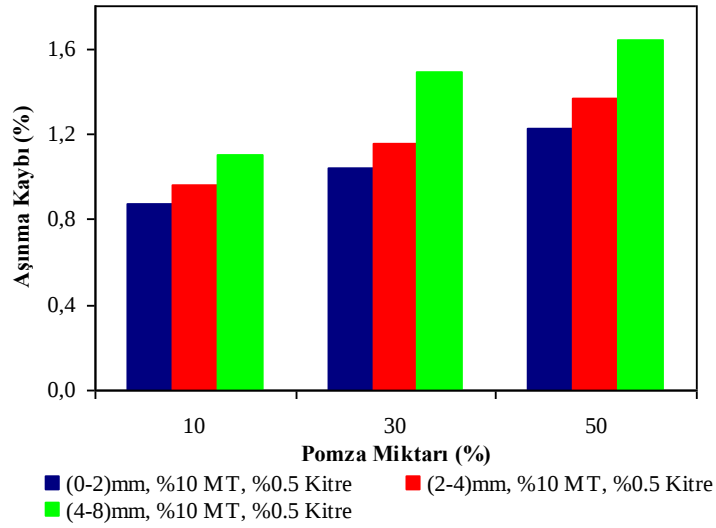
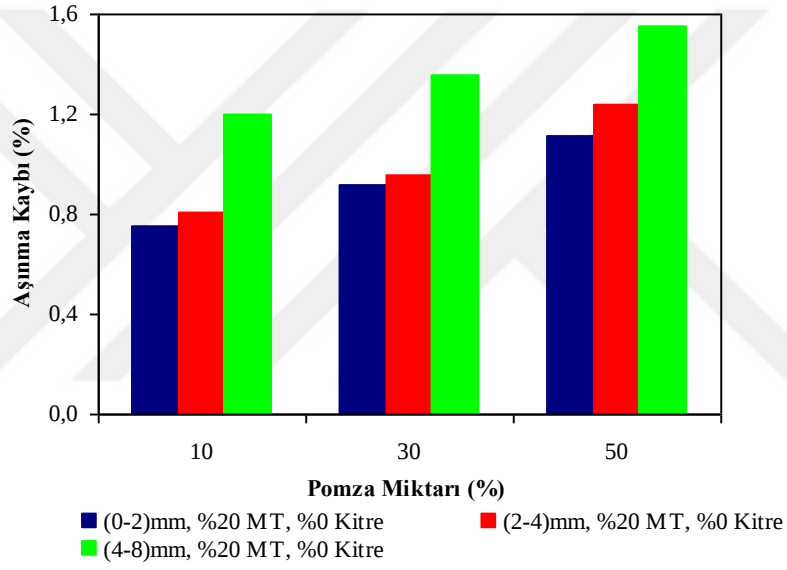
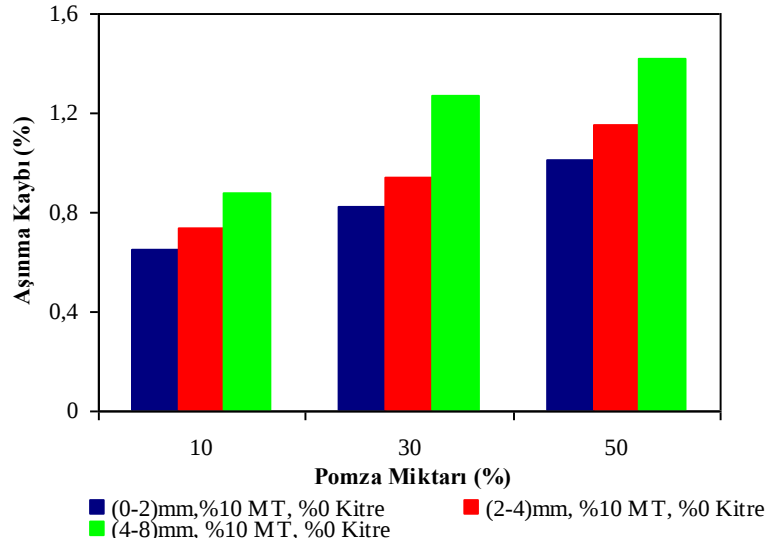
Şekil 7.18. %10 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitre miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi

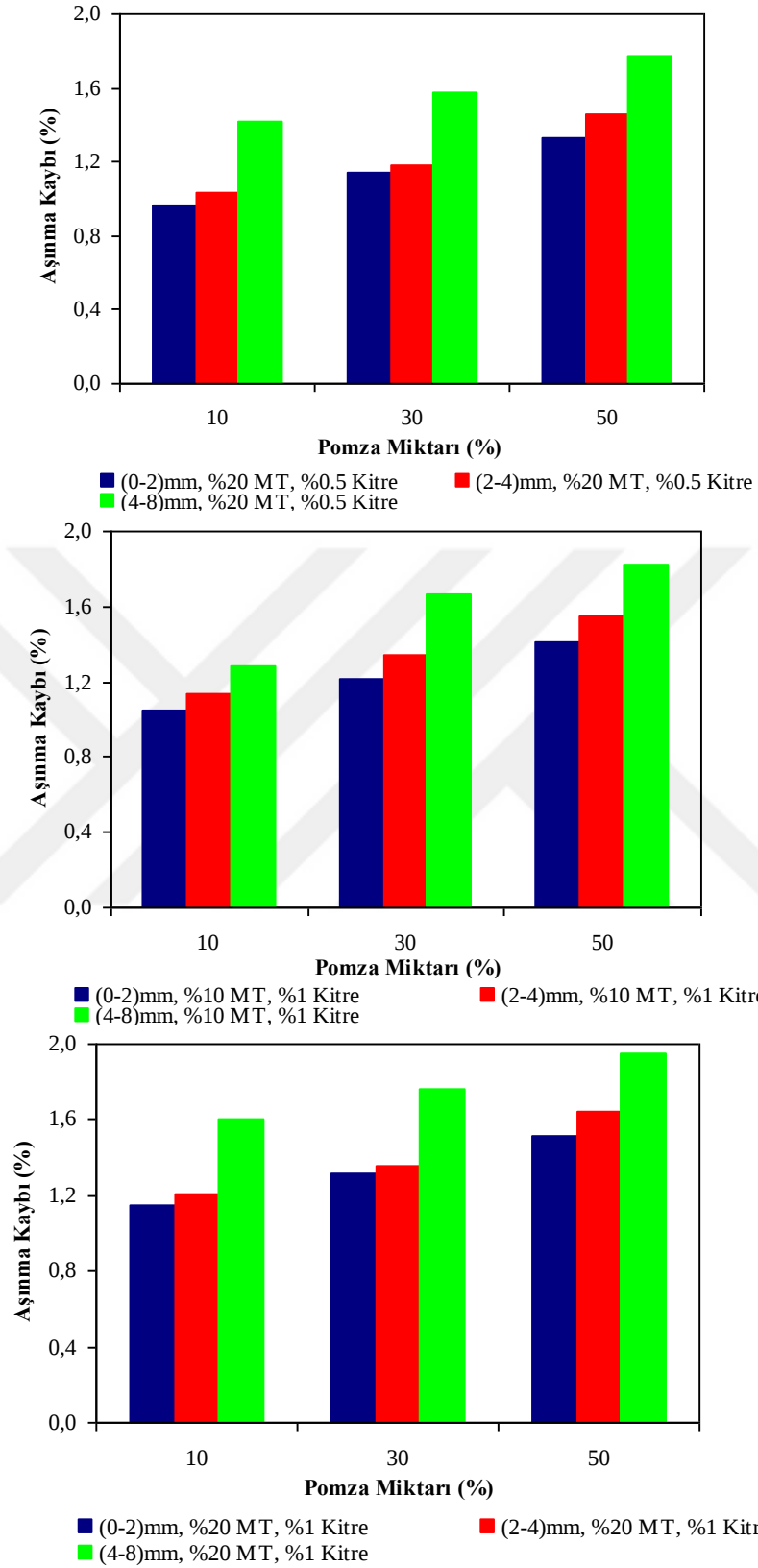


Şekil 7.19. %20 atık mermer tozu katkılı numunelerin pomza ve kitle miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi



Şekil 7.20. Numunelerin bünyesindeki atık mermer tozu miktarına bağlı olarak aşınma kaybı değişimi





Şekil 7.21. Numunelerin bünyesindeki pomza tane boyutuna bağlı olarak aşınma kaybı değişimi

Bu değerlendirmeye göre Tablo 7.3'teki sonuçlar, deneylerde kullanılan karışımardan pomza tane boyutunun büyük, atık mermer tozu miktarının ve kitre oranının fazla olduğu numunelerin aşınmaya dayanıklı olmadığını göstermektedir. Atık mermer tozu miktarının artmasıyla aşınmaya karşı dayanıklılığın azaldığı grlmektedir. Sürtünme ile aşınma kaybı Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20 ve Şekil 7.21'de karşılaştırılmış pomza, atık mermer tozu ve kitrenin sürtünme ile aşınma kaybı üzerine etkisi araştırılmıştır. Pomza tane boyutu 0-2, 2-4 ve 4-8 mm olan numunelerin, kitre oranı %1, pomza oranı % 50 ve atık mermer tozu oranının %20 olduğu numunelerin aşınmaya karşı dirençsiz olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7.18, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20 incelendiğinde pomza, kitre ve atık mermer tozu miktarı miktarı arttıkça aşınma kaybı artmaktadır. Şekil 7.21'de pomza tane boyutu arttıkça porozite arttığından aşınma kaybı artmaktadır. 0-2 mm tane boyutlu pomza agregaları ile oluşturulan numunelerin aşınma kaybı oranı 0.65 ile 1.51 arasında değişim göstermektedir. 2-4 mm tane boyutlu pomza agregaları ile oluşturulan numunelerin aşınma kaybı 0.74 ile 1.64 arasında değişim göstermektedir. 4-8 mm tane boyutlu pomza agregaları ile oluşturulan numunelerin aşınma kaybı 0.88 ile 1.95 arasında değişim göstermektedir.

7.6. Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneyisel çalışmalarda elde edilen numunelere ait basınç dayanımı değerleri Tablo 7.4'te verilmiştir. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerlerinin grafikleri Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'de verilmiştir.

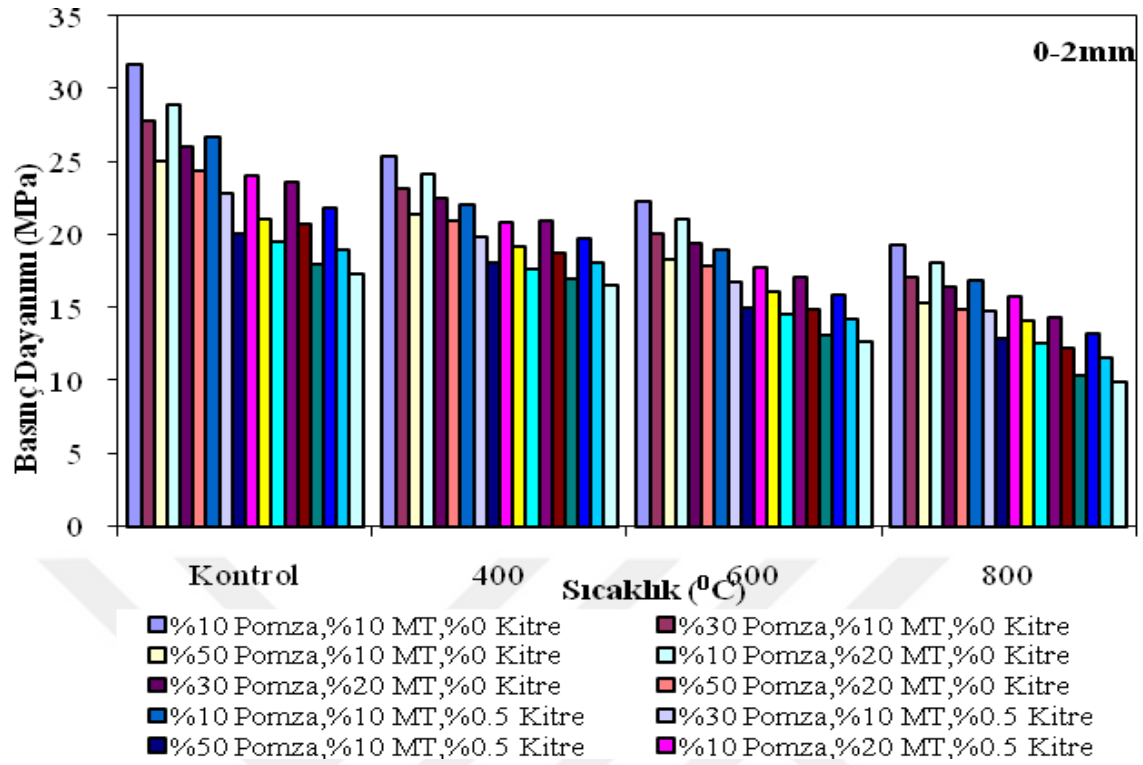
Deneyisel sonuçlar 20°C ile 400°C arasında değişen sıcaklıklarda basınç dayanımının korunabileceğini veya artabileceğini belirtmiştir [96,97]. Basınç dayanımındaki önemli kayıplar 400 ile 600°C arasında meydana gelmektedir. Basınç dayanımının çoğu 600 ile 800°C arası kaybedilmektedir [96,97]. Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'deki grafiklerde yüksek sıcaklık etkisi ile dayanımın azaldığı grlmştr. En yüksek basınç dayanımı değerini 400°C'de 0-2 mm tane boyutlu, %10 pomza, kitre katkısız ve %10 oranında atık mermer tozunun bulunduğu **1110** serisi alırken, en düşük basınç dayanımı değerini ise 800°C'de atık mermer tozunun **3522** serisi almıştır. 400°C sonrası numunelerin basınç dayanımı değerlerinde kontrol numunelerine göre % 24.7 600°C sonrası numunelerin basınç dayanımı değerlerinde kontrol numunelerine göre % 42.1 ve 800°C sonrası numunelerin basınç dayanımı değerlerinde kontrol numunelerine

göre % 64 gibi yüksek oranlarda azalma olmuştur. Gökçer B., Yıldız S., Keleştemur O, çalışmalarında yüksek sıcaklık etkisinde kalan harç numunelerinin basınç dayanımlarının azaldığını belirtmişlerdir [98].

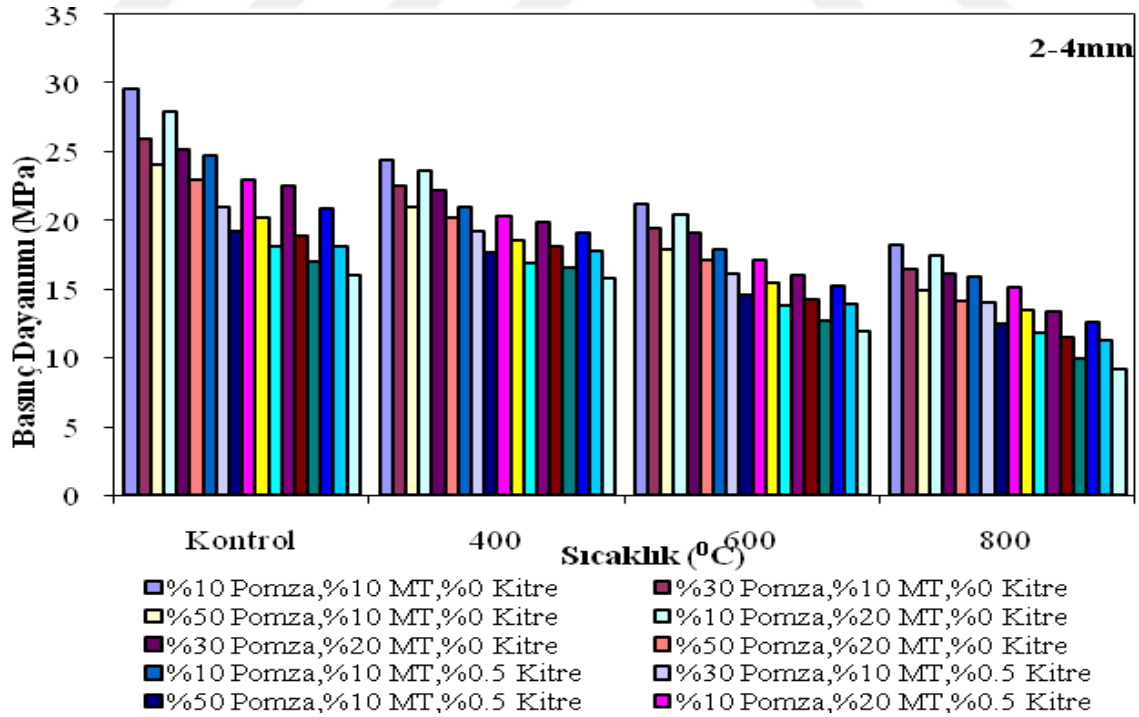


Tablo 7.4. Numunelere ait 400°C, 600°C ve 800°C sonrası basınç dayanımı (MPa) deney sonuçları

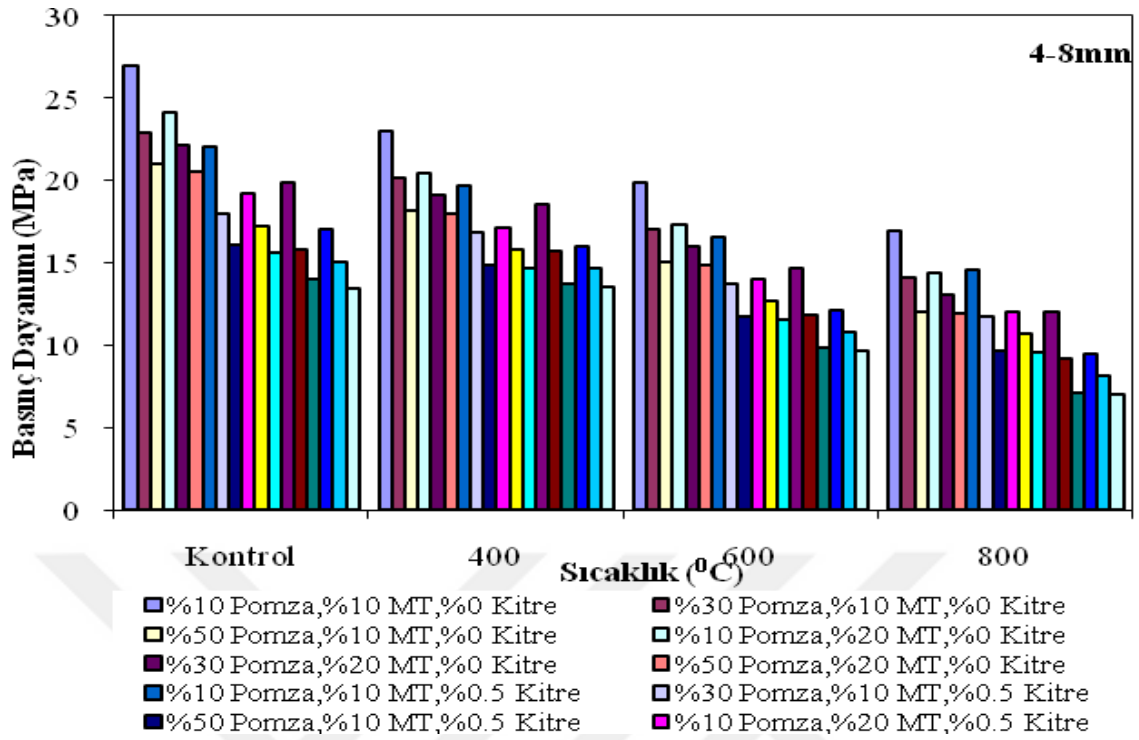
Numune Kodu	400°C	600°C	800°C
Kitre katkısız numuneler			
1110	25.40	22.28	19.30
1310	23.24	20.12	17.14
1510	21.42	18.30	15.32
1120	24.22	21.10	18.12
1320	22.56	19.44	16.46
1520	21.01	17.89	14.91
2110	24.35	21.23	18.25
2310	22.53	19.41	16.43
2510	20.97	17.85	14.87
2120	23.59	20.47	17.49
2320	22.24	19.12	16.14
2520	20.22	17.10	14.12
3110	23.02	19.90	16.92
3310	20.18	17.06	14.08
3510	18.16	15.04	12.06
3120	20.47	17.35	14.37
3320	19.12	16.00	13.02
3520	17.99	14.87	11.89
(%0.5) Kitre katkılı numuneler			
1111	22.08	18.96	16.94
1311	19.92	16.80	14.78
1511	18.10	14.98	12.96
1121	20.90	17.78	15.76
1321	19.24	16.12	14.10
1521	17.69	14.57	12.55
2111	21.03	17.91	15.89
2311	19.21	16.09	14.07
2511	17.65	14.53	12.51
2121	20.27	17.15	15.13
2321	18.56	15.44	13.42
2521	16.90	13.78	11.76
3111	19.70	16.58	14.56
3311	16.86	13.74	11.72
3511	14.84	11.72	9.70
3121	17.15	14.03	12.01
3321	15.80	12.68	10.66
3521	14.67	11.55	9.53
(%1) Kitre katkılı numuneler			
1112	20.96	17.09	14.38
1312	18.81	14.94	12.23
1512	16.98	13.11	10.40
1122	19.78	15.91	13.20
1322	18.12	14.25	11.54
1522	16.57	12.70	9.99
2112	19.91	16.04	13.33
2312	18.09	14.22	11.51
2512	16.53	12.66	9.95
2122	19.15	15.28	12.57
2322	17.80	13.93	11.22
2522	15.78	11.91	9.20
3112	18.58	14.71	12.00
3312	15.74	11.87	9.16
3512	13.72	9.85	7.14
3122	16.03	12.16	9.45
3322	14.68	10.81	8.10
3522	13.55	9.68	6.97



Şekil 7.22. Yüksek sıcaklık etkisindeki 0-2mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kiret-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.



Şekil 7.23. Yüksek sıcaklık etkisindeki 2-4mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kiret-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.



Şekil 7.24. Yüksek sıcaklık etkisindeki 4-8mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.

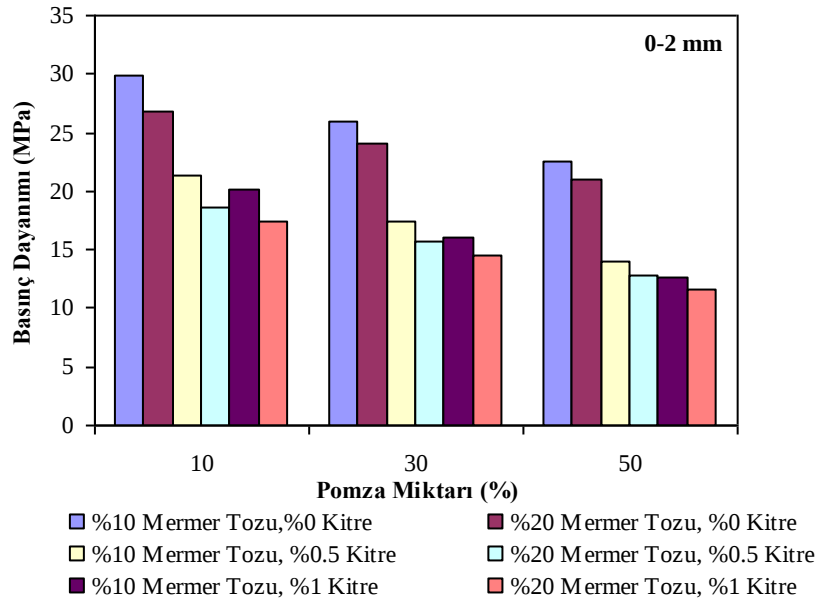
7.7. Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmalarda elde edilen numunelere ait basınç dayanımı değerleri Tablo 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'deki donma-çözülme sonrası numunelerin basınç dayanımındaki değişim grafiği verilmiştir.

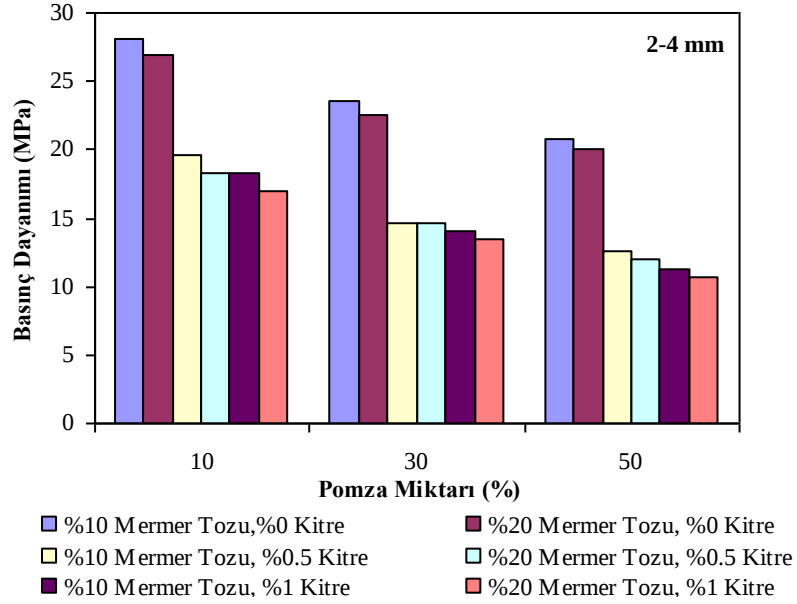
Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'deki grafiklerde atık mermer tozunun artmasıyla numune içerisindeki boşlukların dolduğu ve dolayısıyla numunelerin basınç dayanım değerlerinin de arttığı görülmüştür. Numunenin yapısındaki boşlukların azalması da basınç dayanımını arttırmıştır. Pomza tane boyutunun, miktarının, kitre miktarının ve atık mermer tozu miktarının artışı numunelerin basınç dayanımını düşürmüştür. Donma-çözülme sonrası numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine göre % 4.82 ile % 11.28 oranında azalma göstermiştir. Yıldız S., Demirel İ. H., ve Keleştemur O., çalışmalarında kırmataşla ürettikleri betonda, donma-çözülme etkisiyle basınç dayanımının düştüğünü belirtmişlerdir [99].

Tablo 7.5. Numunelere ait donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (MPa) deney sonuçları

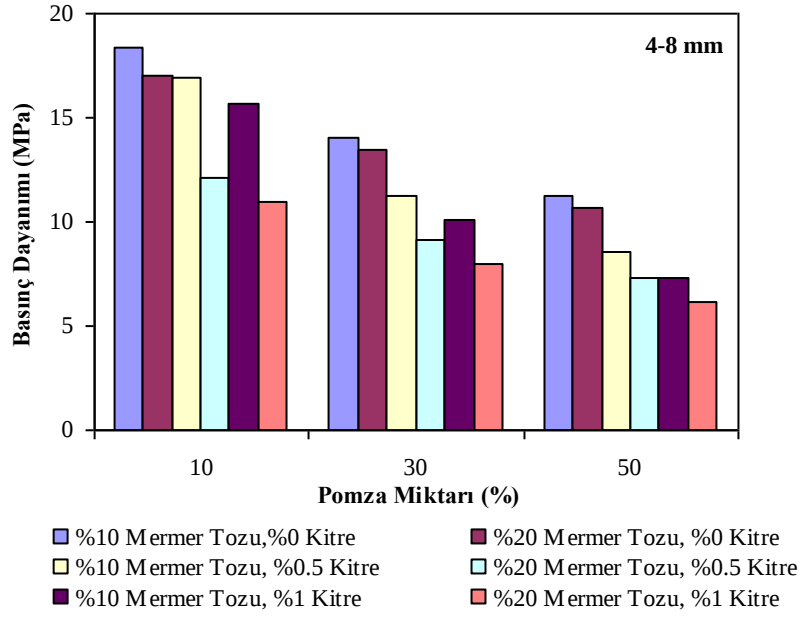
Numune Kodu	Basınç Dayanımı
Kitre katkısız numuneler	
1110	29.94
1310	25.89
1510	22.49
1120	26.88
1320	24.08
1520	21.07
2110	28.16
2310	23.61
2510	20.74
2120	26.86
2320	22.54
2520	20.03
3110	25.26
3310	19.24
3510	16.84
3120	20.25
3320	17.09
3520	15.30
(%0.5) Kitre katkılı numuneler	
1111	21.38
1311	17.34
1511	13.93
1121	18.56
1321	15.76
1521	12.79
2111	19.60
2311	14.69
2511	12.52
2121	18.31
2321	14.59
2521	11.93
3111	16.93
3311	11.29
3511	8.52
3121	12.08
3321	9.14
3521	7.35
(%1) Kitre katkılı numuneler	
1112	20.11
1312	16.07
1512	12.66
1122	17.33
1322	14.53
1522	11.64
2112	18.33
2312	14.06
2512	11,24
2122	17.04
2322	13.44
2522	10.71
3112	15.72
3312	10.14
3512	7.30
3122	10.93
3322	8.01
3522	6.20



Şekil 7.25. Donma-çözülme sonrası 0-2mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitle-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.



Şekil 7.26. Donma-çözülme sonrası 2-4mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitle-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.



Şekil 7.27. Donma-çözülme sonrası 4-8mm tane boyutlu ve farklı oranlardaki pomza agregaları ile 0.25mm'lik elekten geçirilmiş atık mermer tozu, farklı oranlardaki kitre-çimento bağlayıcıları ile hazırlanmış numunelerin basınç dayanımındaki değişim.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; hazırlanan kompozit numuneler üzerinde sırasıyla ısı iletkenlik, su emme, basınç dayanımı, aşınma kaybı, yüksek sıcaklık, donma-çözölme ve yoğunluk deneyleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Hazırlanan kompozit numuneler içerisindeki pomza agregası miktarı, tane boyutu, kitre miktarı arttıkça ve atık mermer tozu miktarı azaldıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. En düşük ısı iletkenlik katsayısının deneysel olarak 0.159 W/mK ve daha önce geliştirilmiş matematiksel modellemede ise 0.147 W/mK değeri ile **3512 no'lu** (4-8 mm tane boyutlu, ağırlıkça %50 oranında pomza, %10 oranında atık mermer tozu ve %1 oranında kitre katkı) numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Isı iletkenlik katsayılarının düşük çıkmasının nedeni, numune içerisindeki kitre miktarının, pomza tane boyutunun ve miktarının artmasıyla oluşan gözeneklerden dolayı porozitenin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu boşluklar SEM analizlerinde açıkça görölmektedir.

Homojen yapıya sahip olmayan bu tür malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının hesabı için daha önce geliştirilmiş olan cebirsel bir denklem kullanılmıştır. Bu denklemin verdiği teorik değerler ile numunelerin ölçülen ısı iletkenlik katsayıları değerleri karşılaştırılmış ve birbirine yakın değerler bulunmuştur. Bazı numunelerde deneysel sonuçların teorik denklem sonuçlarından büyük çıkmasının nedenleri; denklemin kuruluşunda yapılan kabuller, malzeme bünyesinde nem olmadığı fakat gerçekte numunelerin kuruma sırasında bünyelerinde nem kalabileceği, kuruma sonrası yapay gözeneklilik oranındaki artış, ölçüm hataları ve küçük gözeneklerin bir kısmının dolu olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hazırlanan kompozit numuneler içerisindeki pomza agregası miktarı, tane boyutu, ve kitre miktarı arttıkça ve atık mermer tozu azaldıkça; ısı iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı, donma-çözölme sonrası basınç dayanımı ve yoğunluk değerleri azalmış, aşınma kaybı ve su emme değerleri artmıştır. **3512 no'lu** (4-8 mm tane boyutlu, ağırlıkça %50 oranında pomza, %10 oranında atık mermer tozu ve %1 oranında kitre katkı) numunede su emme, aşınma kaybı ve donma çözölme miktarlarının en yüksek, ısı iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı, yoğunluk ve yüksek sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu görölmüştür. **1120 no'lu** (0-2 mm tane boyutlu, ağırlıkça %10 oranında pomza, %20 oranında atık mermer tozu ve %0 oranında

kitre katkılı) numunede ise su emme, aşınma kaybı ve donma çözülme miktarlarının en düşük, ısıl iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı, yoğunluk ve yüksek sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yapılarda ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanmak istenildiği takdirde çalışma içerisindeki en düşük ısıl iletkenliğe sahip karışım oranları tercih edilerek, yapılardaki sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi veya çatı yalıtım malzemesi olarak kullanılmasının uygun olacağını düşünmekteyim.



KAYNAKLAR

- [1] <http://ec.europa.eu/enterprise/construction/suscon/tgs/tg1/efcmfin.htm>.
- [2] **Ortak Geleceğimiz**, 1987. London: Oxford Üniv. Yayınları, *WCED Raporu*, <http://www.worldsummit2002.org/guide/brundtland.htm>.
- [3] **Gündüz, L.**, 1998. Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt 1, Süleyman Demirel Üniveristesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta.
- [4] **Postacioğlu, B.**, “Yapı Malzemesi Dersleri”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Sayı: 2022 İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, 1987.
- [5] **Kuş, H. ve Uzun, Ö.**, 2008. On – Site Investigations of Pumice Aggregate Concrete Block Wall Construction, The XXXVI IAHS World Congress on Housing Science, Paper 72, India.
- [6] **Gündüz, L., Davraz, M. ve Ortaçesme, H.**, 2005. “Bimsblok ve Isı Yalıtım Özellikleri”, Türkiye Pomza Sempozyumu, Isparta, 278-286.
- [7] **Neville, A.M.**, 1975. “Properties of concrete”, Pitman publishing, London, 606-607
- [8] **Açıkgeç, M., Alyamaç, K. E. ve İnce, R.**, 2012. Mermer Tozu İle Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Betonların Dayarım Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Belirlenmesi, International Construction Congress – ICOCNC2012, October 11-13, Isparta/Turkey.
- [9] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yağmoralı, A.**, 2003. Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayınları, Ankara, 76 s.
- [10] **Rogers, T.S.**, 1963. “Thermal Design of Buildings”, John Wiley&Sonc Inc, 95.
- [11] **Çuhadaroğlu, B.**, 2005. “Thermal conductivity alaysis of a briquette with additive hazelnut shells”, Building and Environment, 40, (7): 942-948.
- [12] **Nait –Ali, B., Haberkö, K., Vesteghem, H., Absi, J. ve Smith, D.S.**, 2006. “Thermal Conductivity of highly porous zirconia 2, Journal of the European Ceramic Society, vol.26, pp.3567-3574.
- [13] **Soykan, O. ve Özel, C.**, 2012. Mermer Tozu Tane Boyutunun Polimer Beton Özelliklerine Etkisi, International Construction Congress-ICOCNC2012, October 11-13, Isparta/Turkey.

- [14] **Demirboğa, R. ve Gül, R.**, 2003. “The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33, (5): 723-727.
- [15] **Şimşek, O.**, 1987. “Madenşehir (Karaman) doğusundaki pomza taşının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-9.
- [16] **Kavas, T.**, 2003. Atık mermer ve alüminyum hidroksit kullanarak refrakter çimento üretimi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 126s., Eskişehir.
- [17] **Serin, G.**, 1999. “Pomza’nın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 100.
- [18] **Ağırdır, L.M.**, 1989. “Altınapa bims agregasından TS 3234’e uygun hafif beton briket imali”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 69.
- [19] **Gennaro, R., Capepelletti, P., Cerri, G., Gennaro, M., Dondi, M., Graziano, S.F., Langella, A.**, 2007. Campanian Ignimbrite as raw material for lightweight aggregates, *Cement and Concrete Composites, Applied Clay Science*, 37, 115-126
- [20] **Lea, F.C. ve Straddling, R.**, 1922. The resistance to fire of concrete, and reinforced concrete, *Engineering*, 114, 2959, 342-344, 380-382.
- [21] **Kars, F.**, 1994. “Türkiye briketlerinin ısı davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 29.
- [22] **Gündüz, L., Saruışık, A., Davraz, M.U. ve Çankıran, O.**, 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt 1, SDÜ-ISBAS, 14-31, Isparta.
- [23] **Oğuz, C. ve Türker, F.**, 1997. “Pomza betonda fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler”, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 87.
- [24] **Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., Gül, R.**, 2004. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 845-848
- [25] **Özdeniz, B.M.**, 1996. “Yeni briket”, IX. Mühendislik Sempozyumu, Mimarlık Bildirileri, Isparta, 13-19.

- [26] **Biçer, Y., Pıhtılı, K. ve Ayhan, T.,** 1991. “Gözenekli katı malzemelerde ısı iletimi hesabı için kurumsal bir model”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 14: 4-9.
- [27] **Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., Queneudec, M.,** 2008. Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling, *Construction and Building Materials*, 22, 573-579
- [28] **Lau, A. ve Anson, M.,** 2006. Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*.
- [29] **Luikov, A.V., Shashkov, A.G., Vasiliev, L.L., Fraiman E.,** 1968. Thermal conductivity of porous systems. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 11, 117-140.
- [30] **Grangjean, S., Absi, J. ve Smith, D.S.,** 2006. “Numerical calculation to the Thermal Conductivity of Porous Ceramics Based on Micrographs”, *Journal of The European Ceramic Society*, Vol. 26, pp.2669-2676.
- [31] **Bjorneklett, A., Haukeland, L., Wigren, J. ve Kristiansen, H.,** 1994. “Effective Medium Theory And The Thermal conductivity of Plasma-Sprayed Ceramic Coatings”, *Journal of Material Science*, Vol.29, pp.403-4050.
- [32] **Collishaw, P.G. ve Evans, J.R.G.,** 1994. “An assessment of expressions for the apparent thermal conductivity of cellular materials”, *Journal of; Material Science*, Vol.29, pp.2261-2273.
- [33] **Wyrwal, J., Marynowicz, A., Swirska, J.,** 2008. Effective thermal conductivity of porous building materials-analysis and verification, *Bauphysik*, 30 (5), 320-327
- [34] **Muntohar, A.S. ve Hantoro, G.,** 2000. Influence of Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of a Clayey Subgrade. *EJGE*, Vol 5, pp. 19.
- [35] **Wang, J., Carson, J.K., North, M.F., Cleland, D.J.,** 2006. A new approach to modelling the effective thermal conductivity of heterogeneous materials, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 3075-3083
- [36] **Samantray, P.K., Karthikeyan, P. ve Reddy, K.S.,** 2006. “Estimating Effective Thermal Conductivity of Two – Phase Materials”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, pp. 4209-4219.

- [37] **Başer, O. ve Çokca, E.**, 2010. Şişen zeminlerin atık mermer tozu kullanılarak iyileştirilmesi, Zemin mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal kongresi, 143. s., İstanbul.
- [38] **Biçer, Y.**, 1990. Termik Santral Uçucu Küllerinin Değişik Bağlacıyı Kombinasyonlarda Isı İletim Özelliklerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [39] **Yıldız, T.**, 1998. “Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Değişik Kombinasyonlarda Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Metalurji ABD, Elazığ.
- [40] **Cömert A., Fırat S., Yılmaz G. ve Sümer M.**, 2010. Uçucu kül, mermer tozu ve atık kumun yol alt temel dolgusunda kullanımı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13.Ulusal Kongresi, İstanbul.
- [41] **Devecioğlu, A. ve Biçer, Y.**, 2012. "Kitre Katkılı Genleştirilmiş Kil Agregalı Betonların Isıl ve Mekanik Özelliklerinin Analizi".
- [42] **Çanakçı, H., Demirboğa, R., Karakoç, M.B., Şirin, O.**, Thermal conductivity of lime Stone from Gaziantep (Turkey), Building and Environment, **42**, 1777-1182
- [43] **Huat, B.B.K., Mail, S., ve Mohamed, T.A.**, 2005. Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils. Department of Civil Engineering, University Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia, American Journal of Applied Sciences 2 (7), 1113-1120.
- [44] **ACI Committee 201**, 1977. Guide to Durable Concrete Proceeding V:70 ACI Journal No: 12 pp 585-589
- [45] **Koçyiğit, F.**, 2012. "Kitre katkı bims ve çimento karışımlarının yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi." Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 122.
- [46] **Gündüz, L.**, 2005. İnşaat Sektöründe Bimsblok, Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma Merkezi, Isparta. Güner, M. S., 1999. Malzeme Bilimi – Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi (12.Baskı), Aktif Yayınevi, İstanbul.
- [47] **Toklu, K.**, 2009. Pomza Taşından Üretilen Bims Blok Kalitesinin Arttırılma Olanaklarının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [48] Köse, H., Köse, Ç., Pamukçu, Ç., Yalçın, N. ve Seçer, T., 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997, İzmir, Türkiye.
- [49] Serin, G., 1999. Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [50] Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., 2007. Buhar Kürü Uygulanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri, Politeknik Dergisi, Vol. 10, pp. 111-116.
- [51] Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [52] Anonymous, 2012a. Bims (Pomza) Nedir, <http://mezopotamyabims.com/bims.html>.
- [53] Anonymous, 2012b. Doğal Ponza Taşı, http://www.ponzatasi.com/dogal_ponza_tasi.html.
- [54] Ağrıdır, M.L., 1989. Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Biriket İmalatı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [55] Güzel, A., 1993. Pomza Katkılı Tuğla Üretimi ve Bu Tuğlaların Mekanik ve Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] Çevikbaş, A. ve İlgün, İ., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 13-19, Isparta.
- [57] Yanık, S., 2007. Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [58] Gündüz, L., 1998. "Pomza Teknolojisi, Pomza Karakterizasyonu", Cilt I, Isparta.
- [59] Varol, B., 2012. Pomza Sektör Raporu, www.ahi-ka.org.tr/upload/pdf/nevsehir/pomzaraporu2012.pdf.
- [60] Gündüz, L. ve Uğur, İ., 2000. Pomzadan Mamul Blok Elemanlarında Kayaç Parametreleri – Ses Akustiği İlişkisi Üzerine Teknik Bir Analiz, V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 205-215, Isparta.
- [61] Sezgin, M., Davraz, M. ve Gündüz, L., 2005. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 9-22, Isparta.
- [62] Özkan, Ş.G. ve Tuncer, G. 2001. "Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış", 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 118-19 Ekim.
- [63] Bilgin, M. ve Çakır, E., 1998. Mermer Araştırması, İstanbul Ticaret Odası.

- [64] <http://tr.wikipedia.org>.
- [65] **Yıldız, O.**, 1995. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [66] **Gökçer, B.**, 2013. Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Aşınma, Yüksek Sıcaklık ve Donma-Çözülme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [67] **Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. ve Saruışık, A.**, 1996. Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği, Isparta.
- [68] **D.İ.E.**, 1997. Madencilik ve Taşocakçılığı İstatistikleri, Ankara.
- [69] **Akbulut, H. ve Gürer, C.**, 2003. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanılarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları, Mersem 2003, Maden Mühendisleri Odası, Afyonkarahisar.
- [70] **TS 523**, Kitre, TSE, Ankara, 1967.
- [71] **Weiping, W.**, 2000. Taragacanth and karaya, Handbook of hydrocolloids, pp. 231-245, Eds. Pihillips, G.O., Williams, P.A., Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- [72] **Balaghi, S., Mohammadifar, M.A., Zargaraan, A., Gavligi, H.A. ve Mohammadi, M.**, 2011. Compositional analysis and theological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian Astragalus, *Food Hydrocolloids*, 25, 1775-1784.
- [73] **Baytop, T.**, 1959. Kitre zamkı, Erciyes dağında yapılmakta olan istihsal hakkında Türk Eczacılar Birliği Mecmuası, 1, 7-15.
- [74] www.saglikbilimi.com/kitre-zamki/, Kitre zamkı, 15 Ekim 2011.
- [75] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Geven,Geven>, 20 Ekim 2011
- [76] **Mohammadifar, M.A., Musavi, S.M., Amir, K. ve Williams, P.A.**, 2006, Solution properties of targacanthin (water – soluble part of gum tragacanth exudate from Astragalus gossypinus), *Biological Macromolecules*, 38, 31-39.
- [77] **Tanker, N., Koyuncu, M. ve Coşkun, M.**, 2004. Farmasötik Botanik Bitkiler, 15 Ekim 2011
- [78] www.dogaltedavi.net/gallery2/v/bitkiresimleri/Kitre_001.jpg.html, Şifalı Bitkiler, 15 Ekim 2011
- [79] <http://turkherb.ibu.edu.tr/>, Türkiye bitkileri veri servisi, 25 Ekim 2011.

- [80] **Yılmaz, Ş.**, 2010. Kitre bağlayıcılı termik santral uçucu yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [81] **Freidin, C.**, 2005. “Influence of Variability of Oil Shale Fly Ash on Compressive Strength of Cementless Building Compounds, Construction and Building Materials”, 19, 127-133.
- [82] **Doğan, A. ve Tekin, A.**, 1991. “Yağların Fiziksel Özellikleri”, A.Ü. Fen Bil. Enst. Seminer Notu, Ankara.
- [83] **Beden Mermer ve Maden İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.**
- [84] **Franco, A.**, 2007. An apparatus for the routine measurement of thermal conductivity of materials for building application based on a transient hot-wire method, Applied Thermal Engineering, 27, 2495-2504.
- [85] **TS EN 1008.** Suyun karma suyu olarak uygunluğunun tayini. Haziran 2013
- [86] http://www.applied.com/download/catalog/isomet_pc_en.pdf, Isomet Heat Transfer Analyzer Model 2104 User's guide. 20 Mart 2010.
- [87] **Mehta, P.K.**, 1986. Concrete, structure properties and materials, Printice Hall, USA 152-158.
- [88] **Vysniauskas, V.V. ve Zikas, A.A.**, 1988. “Determination Of Thermal Conductivity By The Hot Wire Technique”, Heat Transfer Soviet Research.
- [89] **TS EN 1097-6.** Agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Ankara.
- [90] **Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H.**, 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:298, ISBN: 975-441-189-1, İzmir.
- [91] **TS EN 1363-2.** Yangına Dayanıklılık Deneyleri – Bölüm 2: Alternatif ve ilave işlemler Ankara.
- [92] **ASTM C 666-92**, 1999. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Volume 04.02. Concrete and Aggregates. American Society.
- [93] **Kavas, T.**, 2003. Atık mermer ve alüminyum hidroksit kullanarak refrakter çimento üretimi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 126s, Eskişehir.
- [94] **TS 699.** Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları. Ankara.
- [95] **TS 2824.** Beton kaplama blokları-beton parkeler gerekli şartlar ve deney metotları.

- [96] **Chan, Y.N.S., Peng, G.F. and Anson, M.,** 1999a. Residual strength and pore structure of highstrength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperature, *Cement and Concrete Composites*, **21**, 23-27.
- [97] **Luo, X., Sun, W. and Chan, S.Y.N.,** 2000. Effect of heating and cooling regimes on residual strength and microstructure of normal strength and high-performance concrete, *Cement and Concrete Research*, **30**, 379-383.
- [98] **Gökçer, B., Yıldız, S. ve Keleştemur, O.,** 2012. “Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları”, *International Construction Congress-ICO CNC2012*, October 11-13, Isparta/Turkey.
- [99] **Yıldız, S., Demirli, İ.H., Keleştemur, O.,** 2006. Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözülme Altındaki Davranışları.383

EKLER

Ek.1. QTM cihazı ile ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının tesbiti

Malzeme	Ölçülen Değerler			Literatürdeki Değerler		
	Yoğunluk(g/cm ³)	T _{ort} (°C)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk(g/cm ³)	T _{ort} (°C)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
Dış Sıva Numunesi (Kaba)	1.856	31	1.173	1.6 1.8	20 20	0.93 1.163
İç Sıva Numunesi (İnce)	1.763	33	1.163	1.68 1.68	20 20	0.779 0.93
Alçılı İnce Sıva (Perlitli)	0.465	34	0.244	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Alçılı Kaba Sıva (Perlitli)	0.465	50.7	0.168	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Çimentolu Sıva (Perlitli)	0.672	51.3	0.173	0.7	20	0.244
Alçılı Blok (Perlitli)	1.047	40	0.372	0.9	20	0.221
Çimentolu Blok (Perlitli)	0.427	37.7	0.292	0.1046	20	0.3
Beton	2.5	27	1.42	2.272	24	1.512
Seramik Toprak	1.077	27.7	0.214	2	20	0.988
Stropor	0.016	26.3	0.0308	0.2	20	0.0395
Ytong	0.0617	38.7	0.18	0.8	20	0.383
Cam Yünü	0.15	33.7	0.034	0.2	20	0.0372
Tuğla Duvar	2.093	45.7	1.148	1.8-2.0	20	0.972
1510	1.517	30	0.318	-	-	-
1511	1.394	31	0.226	-	-	-
1512	1.256	31	0.203	-	-	-
2510	1.439	30	0.245	-	-	-
2511	1.283	30	0.201	-	-	-
2512	1.144	31	0.182	-	-	-
3510	1.339	30	0.223	-	-	-
3511	1.028	31	0.192	-	-	-
3512	0.889	30	0.159			
Toz Kitre		30	0.155	-	-	-

Ek.2. Numune Kodları

Kod	Tane Boyutu (mm)	Pomza Miktarı (%)	Atık Mermer Tozu Miktarı (%)	Kitre Miktarı (%)
1110	0-2	10	10	0
1310	0-2	30	10	0
1510	0-2	50	10	0
1120	0-2	10	20	0
1320	0-2	30	20	0
1520	0-2	50	20	0
1111	0-2	10	10	1
1311	0-2	30	10	1
1511	0-2	50	10	1
1121	0-2	10	20	1
1321	0-2	30	20	1
1521	0-2	50	20	1
1112	0-2	10	10	2
1312	0-2	30	10	2
1512	0-2	50	10	2
1122	0-2	10	20	2
1322	0-2	30	20	2
1522	0-2	50	20	2
2110	2-4	10	10	0
2310	2-4	30	10	0
2510	2-4	50	10	0
2120	2-4	10	20	0
2320	2-4	30	20	0
2520	2-4	50	20	0
2111	2-4	10	10	1
2311	2-4	30	10	1
2511	2-4	50	10	1
2121	2-4	10	20	1
2321	2-4	30	20	1
2521	2-4	50	20	1
2112	2-4	10	10	2
2312	2-4	30	10	2
2512	2-4	50	10	2
2122	2-4	10	20	2
2322	2-4	30	20	2
2522	2-4	50	20	2
3110	4-8	10	10	0
3310	4-8	30	10	0
3510	4-8	50	10	0
3120	4-8	10	20	0
3320	4-8	30	20	0
3520	4-8	50	20	0
3111	4-8	10	10	1
3311	4-8	30	10	1
3511	4-8	50	10	1
3121	4-8	10	20	1
3321	4-8	30	20	1
3521	4-8	50	20	1
3112	4-8	10	10	2
3312	4-8	30	10	2
3512	4-8	50	10	2
3122	4-8	10	20	2
3322	4-8	30	20	2
3522	4-8	50	20	2

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Diyarbakır'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı yerde tamamladım. 1996 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne ikincilikle girdim. 2000 yılında bölüm ikinciliğiyle mezun oldum. 2000-2002 yılları arasında Diyarbakır'da bulunan Öcal Müh. Mim. İnş. Elk. Nak. San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde, 2002-2004 yıllarında ise Sercanlar İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde İnşaat Mühendisi olarak çalıştım. 2007 yılında Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü'nde Kesin Hesap Mühendisi olarak göreve başladım. Şu anda Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Teknolojisi Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktayım. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansı bitirdim ve 2005 yılında doktora başladım. Evliyim ve iki çocuk annesiyim.