

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

**KİTRE KATKILI GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALI BETONLARIN
ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Atilla G. DEVECİOĞLU

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. Yaşar BİÇER

MART-2012

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

**KİTRE KATKILI GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALI BETONLARIN
ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Atilla G. DEVECİOĞLU

01220201

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Şubat 2012
Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Mart 2012**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüsamettin BULUT (H.Ü)

Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)

Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Nevin ÇELİK (F.Ü)

MART-2012

ÖNSÖZ

İnsanlığın temel ihtiyacı olan barınma ve ısınma, dünyada hala en önemli sorunlardan birisidir. Depreme dayanıklı, enerjiyi en az düzeyde tüketen ve yaşanabilir yapılar yapmak her zaman araştırılması gereken konular olacaktır. Genleştirilmiş killer, üstün özellikleri sayesinde, gelişmiş ülkelerde geçen yüz yılın başından beri kullanılıyor olmasına rağmen, Türkiye’de son on yılda araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalarda yeterli düzeyde değildir. Doğal bir reçine olan kitre, sanayinin birçok alanında kullanılmasına rağmen inşaat sektöründe kullanılabilirliği araştırılmamıştır. Bu çalışmada, betonda agrega olarak genleştirilmiş kil ve bağlayıcı olarak çimento ile birlikte kitre kullanılarak, depreme dayanıklı hafif beton özelliğinde ve enerji tasarrufu sağlayan yeni kompozit bir yapı malzemesi üretilmiştir. Çalışmanın ileride yapılacak çalışmalara yol gösterici ve faydalı olmasını temenni ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerinden dolayı, genleştirilmiş killerin temin edildiği Avusturya Liapor firmasına, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Başkanlığına, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi yapı eğitimi bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Cevdet Ekinci’ ye, Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği’ ne, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü öğretim üyeleri, Yrd. Doç. Dr. Vedat Oruç’ a, Doç. Dr. Orhan Çakır’ a, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne, Prof. Dr. Ebru Akpınar’ a, Yrd. Doç. Dr. Nevin Çelik’ e, aileme ve çok kıymetli danışmanım Prof. Dr. Yaşar Biçer’ e teşekkürlerimi sunarım.

Atilla G. DEVECİOĞLU

Elazığ-2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VII
TABLoların LİSTESİ	IX
SEMBOLLERİN LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. GENLEŞTİRİLMİŞ KİLLER	12
3.1 Genel Bilgiler	12
3.2 Genleşen Killer	14
3.2.1 Genleştirilmiş Kilin Üretimi	16
3.2.2 Genleştirilmiş Killerin Durumu	18
3.2.3 Genleştirilmiş Killerin Kullanım Alanları	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. ISIL İLETKENLİĞİN TEORİK İNCELENMESİ	27
5.1 Gözenekli Malzemenin Isıl İletkenliği ve Yapılan Kabuller	27
5.2 Matematiksel Modelleme	28
5.3 Porozitenin Bulunması	36
5.4 Modelde Kullanılan Isı İletim Katsayılarının Bulunması	39
5.5 Numunelerin Hacim Ağırlık Oranı İlişkisi	40
5.6 Bir Numunenin Isı İletim Katsayısının Modelden Bulunması	41
6. DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER	46

6.1	Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Ön Hazırlık	46
6.2	Deney Numunelerinin Hazırlanması	47
6.3	Isıl İletkenlik Deneyi	48
6.3.1	Isıl İletkenlik ölçme Cihazı ve Çalışma Yöntemi	49
6.4	Hacimsel Özgül Isı Deneyi	50
6.5	Basınç Dayanımı Deneyi	52
6.6	Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi	54
6.7	Ultra Ses Geçiş Deneyi	61
6.8	Aşınma Deneyi	62
6.9	İşlenebilirlik	64
7.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	67
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR		94
EKLER		100
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışmada, genleştirilmiş kil agregası, doğal bir reçine olan kitre ve çimentonun farklı oranlarda karışımı ile hem depreme dayanıklı hem de enerji tasarrufu sağlayan hafif betonun üretilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel numunelerde, 0-2, 2-4 ve 4-8 mm tane çaplı genleştirilmiş kil agregası, çimento ile ağırlıkça %20, %40, %60 ve %80 oranında karıştırılmıştır. Karışımlara ayrıca ağırlıkça %0.5, %1, %1.5 oranında kitre eklenmiştir. Karşılaştırma yapmak için üretilen kitre katkısız numunelerle birlikte toplam 48 adet numune üretilmiştir. Kullanılan genleştirilmiş killer Liapor firmasından temin edilmiştir. Çalışmada CEM IV/B 32.5 R tipi puzolanik çimento ve yaprak kitre kullanılmıştır. Üretilen numunelere ısı iletim katsayısı k , hacimsel özgül ısı c_p , basınç dayanımı f_{ck} , su emme, kuruma hızı, aşınma oranı ve ultrases geçiş hızı deneyleri uygulanmıştır. Isı iletim katsayısının teorik olarak tespiti için matematiksel bir model geliştirilerek, deneysel sonuçlarla mukayese edilmiştir. Teorik hesaplamaların, deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Numunelere eklenen kitre miktarı arttıkça, ısı iletim katsayısı ve basınç dayanımı düşmektedir. En düşük ısı iletim katsayısı 0.133 W/mK ile 4-8 mm tane çapına sahip, %80 genleştirilmiş kil agregası içeren ve %1.5 kitre katkılı numunede olduğu görülmüştür. 0-2 mm tane çaplı, %20 genleştirilmiş kil katkılı numunelerde, kitre katkısız numune ile %0.5 kitre katkılı numunenin ısı iletim katsayıları arasında %21 oranında fark bulunmuştur. %20 oranında genleştirilmiş kil agregası içeren ve %0.5 kitre katkılı numunenin yoğunluğu 1.8 g/cm^3 gibi çok düşük bir değer bulunmuştur. Bu yoğunluk değeriyle numune hafif beton sınıfına girmektedir. En yüksek basınç dayanımı 22.3 MPa ile %20 genleştirilmiş kil agregası içeren kitre katkısız numunelerin sahip olduğu görülmüştür. Numunelerin su emme oranı kritik değer olan %30 sınırının üzerinde veya çok az altında çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş Kil, Kitre, Isıl İletkenlik, Hafif Beton

SUMMARY

Analysis of Thermal and Mechanical Properties of Tragacanth Additive Expanded Clay Aggregate Concretes

In this study, production of lightweight concrete, which is both earthquake resistant and energy saving, was aimed by mixing of expanded clay, natural resin tragacanth and cement with different ratios.

0-2 mm, 2-4 mm and 4-8 mm grain diameter expanded clays were mixed with cement by weight of 20%, 40%, 60% and 80% for the experimental samples. The tragacanth was also added to the mixtures by weight of 0.5%, 1%, 1.5%. For making comparison, 48 samples produced totally with and without tragacanth. The expanded clays used in study were obtained from Liapor Company, Austria. CEM IV / B 32.5 R type pozzolanic cement and leaf tragacanth were used in the study. The thermal conductivity k , volumetric specific heat c_p , compressive strength f_{ck} , water absorption, drying rate, wear rate and ultrasonic experiments were applied on samples. A mathematical model was developed to determine thermal conduction coefficient theoretically and it was compared to the experimental results. It was seen that theoretical calculations agreed with the experimental results.

As a result, both thermal conduction coefficient and the compressive strength decreased as the amount of tragacanth increased. The lowest thermal conduction coefficient was measured to be 0.133 W / mK for 4-8 mm grain diameter with 80% expanded clay aggregates and 1.5% tragacanth additive. For the 0-2 mm grain diameter samples with 20% expanded clay aggregates, the difference in thermal conduction coefficient between the tragacanth-free and 0.5% tragacanth additive samples was found to be 21%. The density of the sample with 20% expanded clay aggregate and 0.5% tragacanth was determined as low as 1.8 g/cm³. The sample can be classified as lightweight concrete because of this density value. It was seen that the highest compressive strength value was 22.3 MPa for the samples of 20% expanded clay aggregate without tragacanth additive.

Key words: Expanded Clay, Tragacanth, Thermal Conductivity, Lightweight Concrete

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Genleştirilmiş kil.....	14
Şekil 3.2. Sinterlenmiş kabuk ve iç yapı.....	16
Şekil 3.3. Genleştirme işlemi.....	17
Şekil 3.4. Agregaların hacimsel mukayesesi.....	19
Şekil 4.1. Yaprak kitre.....	22
Şekil 4.2. Türkiye’ de yetişen geven bitkisi.....	24
Şekil 5.1. Malzemenin mikroskop altındaki görüntüsü.....	28
Şekil 5.2. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli.....	29
Şekil 5.3. Elemanter hücre kesiti	29
Şekil 5.4. Elemanter hücre bileşenlerinin elektriksel benzeşim devresi.....	32
Şekil 6.1. Suda eritilmiş kitre a)süzülmemiş b)süzülmüş.....	46
Şekil 6.2. Kalıp içindeki numuneler	48
Şekil 6.3. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı	49
Şekil 6.4. Isıl iletkenlik ve hacimsel özgül ısı ölçüm cihazı.....	50
Şekil 6.5. Basınç dayanımı test cihazı.....	52
Şekil 6.6. Etüv cihazı.....	55
Şekil 6.7. Hassas terazi.....	56
Şekil 6.8. Ultrases geçiş hızı cihazı.....	61
Şekil 6.9. Aşınma deneyi cihazı.....	63
Şekil 6.10. Boya uygulanmış numuneler a) plastik boya b) sentetik boya c) akrilik boya d) su bazlı silikonlu e) plastik boya.....	66
Şekil 6.11. Numunelerin işlenebilirliği a) çivi ve vida uygulaması b) kanal ve delik açma uygulaması.....	66
Şekil 7.1. Tane çapına göre genleştirilmiş kil oranıyla ısı iletim katsayısının değişimi a) 0-2 mm tane çaplı b) 2-4 mm tane çaplı c) 4-8 mm tane çaplı.....	68
Şekil 7.2. Genleştirilmiş kil miktarıyla ısı iletim katsayısı değişimi a) kitre katkısız b) %0.5 kitre katkılı c) %1 kitre katkılı d) %1.5 kitre katkılı.....	70

Şekil 7.3. Kitre miktarıyla ısı iletim katsayısı değişimi a) %20 genleştirilmiş kil katılmış numunelerin b) %40 genleştirilmiş kil katılmış numunelerin c) %60 genleştirilmiş kil katılmış numunelerin d) %80 genleştirilmiş kil katılmış numunelerin.....	71
Şekil 7.4. Gözeneklilik oranının ısı iletim katsayısı değişimi a) 0-2 mm tane çaplı b) 2-4 mm tane çaplı c) 4-8 mm tane çaplı	73
Şekil 7.5. Kitre miktarıyla hacimsel özgül ısı değişimi a) %20 GKA b)%40 GKA c) %60 GKA d) %80 GKA	74
Şekil 7.6. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması a) 0-2 mm tane çaplı %0.5 kitreli b) 0-2 mm tane çaplı %1 kitreli d) 0-2 mm tane çaplı %1.5 kitreli	76
Şekil 7.7. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması a) 2-4 mm tane çaplı %0.5 kitreli b) 2-4 mm tane çaplı %1 kitreli d) 2-4 mm tane çaplı %1.5 kitreli	78
Şekil 7.8. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması a) 4-8 mm tane çaplı %0.5 kitreli b) 4-8 mm tane çaplı %1 kitreli d) 4-8 mm tane çaplı %1.5 kitreli	79
Şekil 7.9. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının sapma oranları.....	80
Şekil 7.10. Basma mukavemetinin kitre miktarıyla değişimi) %20 GKA numuneler b)%40 GKA numuneler c) %60 GKA numuneler d) %80 GKA numuneler.....	81
Şekil 7.11. Çekme mukavemetinin kitre miktarıyla değişimi) %20 GKA numuneler b)%40 GKA numuneler c) %60 GKA numuneler d) %80 GKA numuneler.....	83
Şekil 7.12. Su emme oranlarının kitre miktarıyla değişimi a) %20 GKA numuneler b)%40 GKA numuneler c) %60 GKA numuneler d) %80 GKA numuneler.....	85
Şekil 7.13. Kuruma oranlarının kitre miktarıyla değişimi a) %20 GKA numuneler b)%40 GKA numuneler c) %60 GKA numuneler d) %80 GKA numuneler.....	86
Şekil 7.14. Sonik hızın kitre miktarıyla değişimi a) %20 GKA numuneler b)%40 GKA numuneler c) %60 GKA numuneler d) %80 GKA numuneler.....	88
Şekil 7.15. Aşınma oranlarının kitre miktarıyla değişimi (a) 0-2 mm tane çaplı (b) 2-4 mm tane çaplı (c) 4-8 mm tane çaplı.....	90

TABLolarIN LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Genleşen killerin kimyasal bileşenleri	15
Tablo 3.2. Bazı bölgelerdeki killerin genleşme oranları	19
Tablo 4.1. Bazı geven türlerinin şeker bileşenleri	32
Tablo 5.1. Elemanter hücreye ait bileşenlerin ısı dirençlerinin matematiksel ifadeleri.	33
Tablo 5.2. Modeldeki bileşenlerin yoğunlukları	39
Tablo 5.3. 300 K sıcaklıktaki bazı gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları	39
Tablo 5.4. Modeldeki bileşenlerin ısı iletim katsayıları	40
Tablo 5.5. Numunelere ait özellikler	44
Tablo 6.1. Numunelerin deneysel hacimsel özgül ısıları ve ısı iletim katsayıları	51
Tablo 6.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	53
Tablo 6.3. Çekme dayanımı sonuçları	54
Tablo 6.4. Su emme deneyi sonuçları	57
Tablo 6.5. Kuruma hızı deneyi sonuçları	59
Tablo 6.6. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları	62
Tablo 6.7. Aşınma deneyi sonuçları	64

SEMBOLLER LİSTESİ

k	: Isı iletim katsayısı, (W/mK)
a	: Isıl yayılım, (m^2/s)
T	: Sıcaklık, (K, C)
t	: Zaman, (s)
A	: Alan (m^2)
Q	: Isı iletim miktarı, (W)
f_{ck}	: Basınç dayanımı (MPa)
f_{ctk}	: Çekme dayanımı (MPa)
Ra	: Rayleigh sayısı
Gr	: Grashof sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
E_b	: Siyah cisim yayılma enerjisi (W/m^2)
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti (W/m^2K^4)
ε	: Siyah cismin ışıyım yayma katsayısı
R_g	: Gazın ısıl direnci (K/W)
R_t	: Kitrenin ısıl direnci (K/W)
R_k	: Kilin ısıl direnci (K/W)
$R_{\check{c}}$	: Çimentonun ısıl direnci (K/W)
L	: Elamanter hücrenin karakteristik uzunluğu (m)
$L_{\check{c}}$	: Elamanter hücredeki çimento katmanının karakteristik uzunluğu (m)
L_t	: Elamanter hücredeki kitre katmanının karakteristik uzunluğu (m)
L_k	: Elamanter hücredeki kil katmanının karakteristik uzunluğu (m)
L_g	: Elamanter hücredeki gözeneğin karakteristik uzunluğu (m)
k_{etk}	: Etken ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_g	: Gazın ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_t	: Kitrenin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_k	: Kilin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{\check{c}}$	: Çimentonun ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$R_{e\check{s}}$	: Eşdeğer ısıl direnç (K/W)
Φ	: Porozite
ζ	: Genleştirilmiş kil hacmi/toplam hacim
μ	: Kitre hacmi/toplam hacim
ρ	: Numunenin yoğunluğu (g/cm^3)
ρ_s	: Numunenin katı kısmının yoğunluğu (g/cm^3)
ρ_b	: Bağlayıcı yoğunluğu (g/cm^3)
ρ_k	: Genleştirilmiş kil yoğunluğu (g/cm^3)
$\rho_{kilmatri\check{s}i}$	: Toz haldeki kilin yoğunluğu (g/cm^3)
V	: Numunenin hacmi (cm^3)
V_s	: Numunenin katı kısmının hacmi (cm^3)
V_b	: Bağlayıcı hacmi (cm^3)
V_g	: Gözenek hacmi (cm^3)
V_k	: Genleştirilmiş kil hacmi (cm^3)
c_p	: Hacimsel özgül ısı (J/m^3K)
W_d	: Numunenin kuru ağırlığı (g)
W_w	: Numunenin su emdirilmiş ağırlığı (g)

W_1 : İlk ağırlık (g)
 W_2 : Son ağırlık (g)
 W_k : Kil ağırlığı (g)

KISALTMALAR

GKA : Genleştirilmiş kil agregası

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve istenilen yaşam konforu ile enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu ihtiyacı, mevcut enerji kaynakları çok yakın bir gelecekte karşılayamaz hale gelecektir. Bu durumun en önemli belirtisini son on yıl içinde petrol fiyatlarında olan artış göstermektedir. Enerji talebindeki artışların nedenlerinin başında eski doğu bloğu ülkelerinin serbest piyasa ekonomisine geçmesi, Çin ve Hindistan gibi nüfusu bir milyarın üzerindeki ülkelerin ekonomilerinin hızla büyümesi gelmektedir. Büyüyen ve tüketen bu büyük nüfus enerjiye olan talebi de arttırmaktadır. Günümüzde dayanıklı tüketim malları, otomotiv ve iletişim sektöründeki ucuzlama beraberinde enerjiye olan bağımlılığı da arttırmaktadır.

Türkiye’ de üretilen elektrik enerjisinin % 65.2’ si termik santrallerden, % 32’ si hidroelektrik, % 0.2’si jeotermal ve % 2.7’ si rüzgar santrallerinden elde edilmektedir [1]. Bu tabloya göre ürettiğimiz elektrik enerjisinin yarıdan fazlası fosil yakıt kaynaklarıyla ve düşük verimle çalışan santrallerle karşılanmaktadır. Bu durum enerjinin daha verimli kullanılmasını ülkemiz için zorunlu hale getirmektedir.

Enerji üretimini fosil yakıtlara dayandırmanın, dışa bağımlılığı arttırması dışında çevreye verdiği zararlar da irdelemek gerekir. Yanma sonucu oluşan zararlı atık gazlar, insanlar ve çevre üzerinde orta ve uzun vadede büyük sorunlar yaratacaktır. Hatta sanayileşmeyle başlayan sürecin sonuçları günümüzde iklimlerin değişmesi, buzulların erimesi ve bazı canlı türlerinin yok olması sonucunu doğurmuştur.

Enerjiyi etkin ve verimli olarak üretmenin ve tüketmenin çeşitli yolları vardır. Üretim aşamasında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, daha verimli üretim yolları geliştirmek enerji üretiminde çalışılması gereken konulardır. Enerjiyi tüketirken de dikkatli olunmalı ve enerjinin en etkin şekilde kullanılması sağlanmalıdır.

Türkiye’ de yapılarda tüketilen enerjinin %82’ si ısınma amaçlı kullanılmaktadır [2]. Bu büyük enerji tüketimini standartlara uygun yalıtımla azaltmak mümkündür. Yapılarda kullanılacak yalıtım ile yakıt giderlerini % 50’ye varan oranlarda azaltılabilir.

İnsanlar için diğer bir önemli hususta yaşadıkları alanların depremlere karşı dayanıklı olmasıdır. Depreme dayanıklı yapılar yapabilmenin önemli faktörlerinden birisi, yapılarda basınç dayanımı yüksek betonlar kullanmaktır. Meydana gelen depremlerde oluşan hasar ve yıkımların önemli bir nedeni, düşük basınç dayanımlı

beton kullanılmasıdır [3]. Basma dayanımı yüksek beton kullanırken binanın mevcut ağırlığının da artmaması gerekir. Deprem sırasında yapıyı zorlayan yükler yapının ağırlığıyla doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple yapı ne kadar hafif olursa, deprem sırasında o kadar az bir yüklerle zorlanacaktır. Betonarme bir yapının ağırlığını azaltmak için, yapı bileşenlerinin olabildiğince hafif malzemeden yapılması gerekir [4, 5]. Binanın ağırlığını azaltıp, aynı zamanda basma dayanımı yüksek beton üretmenin yolu hafif beton kullanmaktır. Hafif beton, etüv kurusu yoğunluğu 0.8- 2 kg/dm³ arasında olan betonlardır. Hafif betonlar hafif agregalardan oluşur. Hafif agregalar doğal ya da suni olarak elde edilebilirler [6]. Pomza (bims), volkanik tüf, perlit, vermikülit gibi maddeler, doğal olarak elde edilen hafif agrega malzemeleridir. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil, genişletilmiş perlit gibi maddeler ise yapay olarak üretilen ve hafif agrega olarak kullanılan malzemelerdir. Hafif agrega olarak kullanılan malzemeler, genişleme sonunda hacimleri ilk hacmin 2- 20 katı kadar artabilir [7, 8].

Bu çalışmanın amacı, depreme dayanıklı yeni bir hafif beton olacak ve yapılardaki ısı kayıplarını en aza indirecek bir yapı malzemesinin fiziksel ve ısı özelliklerini araştırmaktır. Bu amaç için agrega olarak üç farklı tane çaplı genişletilmiş kil ve bağlayıcı olarak da doğal bir reçine olan kitre ile çimento kullanılmıştır. Farklı oranlarda karıştırılarak kullanılan bu malzemelerle yeni beton numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin, ısı ve mekanik özellikleri TS standartları doğrultusunda araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmayla ilgili literatürde yapılan araştırmada, konuya ve materyallere benzer çalışmalar sunulmuştur. Bunların bir kısmı aşağıda özet olarak verilmiştir.

Subaşı, 0-2, 2-4 ve 4-8 mm çaplı genleştirilmiş kil ve doğal kumla yaptığı hafif beton bloklarının bazı mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çimento dozajı 350, 400 ve 450 kg/m³ olan üç farklı karışimli hafif beton üretmiştir. Sonuç da genleştirilmiş kil kullanarak 1.7 kg/m³ yoğunluğa ve 41.27 MPa basınç dayanımına sahip taşıyıcı hafif beton üretmenin mümkün olduğunu ve böylece yapı ağırlığını azaltarak yapının depremden dolayı göreceği hasar miktarının azalacağını belirtmiştir. Ayrıca 350 kg/m³ dozajlı hafif betonun % 17 ile en fazla görünür boşluk oranına sahip olduğu bu yüzdende ultra ses geçiş hızının 3.27 km/sn ile en düşük numune olduğunu belirtmiştir [9].

Topçu ve Canbaz, kilden üretilmiş kullanılmayan kiremit atıklarının, beton agregası olarak kullanılmasını incelemişlerdir. C20 kalitesinde beton üretmek için 350 ve üzeri dozlu karışımlarda iri agrega yerine bu malzemenin kullanılabileceğini belirtmişler, ayrıca ısı yalıtımında kullanılmasını önermişlerdir [10].

Subaşı, yaptığı çalışmada uçucu kül ve genleştirilmiş kil kullanarak yüksek mukavemetli hafif betonun, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada 350, 400 ve 450 kg/m³ dozlardaki çimentoya, 0, 10, 20 ve %30 oranlarında uçucu kül, belirli oranda kum ve üç farklı tane boyutuna sahip genleştirilmiş kil eklenerek numuneler hazırlanmıştır. En yüksek basınç dayanımı 450 kg/m³ çimento ve %10 uçucu küle sahip numunelerde bulunmuş ve çimento yerine %10 oranında uçucu kül konarak çimentodan tasarruf edileceği ve hafif beton üretilbileceği sonucuna varılmıştır [11].

Yılmaz, termik santral uçucu külü ile doğal reçine olan kitreyi, çimentoyla farklı oranlarda karıştırarak, düşük yoğunluklu ve düşük ısı iletim katsayılı beton üretmeyi amaçlamıştır. Numunelerinde kitreyi, hacmin %0.5, %1, %1.5 oranlarında kullanmıştır. Ayrıca kitre katkısız numuneler üreterek, sonuçları kitre katkılı numunelerle karşılaştırmıştır. %1.5 kitre katkılı numunede ısı iletim katsayısını 0.142 W/mK olarak ölçmüştür. %0.5 ve %1 kitre miktarlı numunelerde basma ve çekme dayanımı artmakta iken %1.5 kitreli numunelerde bu değerlerin düştüğünü görmüştür. Üretilen

malzemelerin daha çok iç sıva ve sandviç bölme duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini söylemiştir [12].

Bartolini vd, genleştirilmiş killerle bağlayıcı olarak epoksi reçinesini karıştırmışlardır. Üretilen aglomerlerin hem ses yalıtım özelliğini hem de mekanik dayanımlarını incelemişlerdir. Ayrıca yoğunluk ve porozite özellikleri de ölçülmüştür. Akustik ölçüm için 50, 75, 100 ve 125 mm yüksekliğinde silindirik numuneler, mekanik özelliklerin ölçümü için 200x12x12 mm ve 33x15x20 mm ebatlarında dikdörtgen şekilli numuneler üretmişlerdir. Ölçümler sonucunda düşük yoğunluklu, iyi ses absorpsiyonu sağlayan ve yüksek mekanik dayanımlı, kolay hazırlanabilen yeni bir aglomer malzeme yapmışlardır [13].

Campione ve Mendola, fiber takviyeli hafif beton numuneleri üzerinde çalışmışlardır. Fiber takviyesine ek olarak, enine ve spirial etriyelerle güçlendirilmiş, silindir ve prizmatik örnekler hazırlamışlardır. Beton hafifletmek için birinci gruba bims ikinci gruba genleştirilmiş kil eklemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda genleştirilmiş kil katkılı fiber takviyeli betonun, bims katkılı fiber takviyeli betona göre gerilme yük eğrilerinin daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca hafif beton yapıların daha kırılğan olduğunu söylemişlerdir. Sonuçlarını literatürle mukayese etmişlerdir [14].

Gennaro vd, İtalya' nın güneyindeki Campanian Ignimbrite bölgesindeki toprak oluşumunu, endüstriyel bir atık olan ve porselen yüzeylerin parlatılmasında kullanılan bir çeşit çamur ile farklı oranlarda karıştırarak genleşebilen bir malzeme üretmişlerdir. Üretim aşamasında döner ve sabit tipte fırınlar, farklı sıcaklıklar (1220-1380 °C) ve üç farklı toprak/çamur oranı kullanmışlardır. Bu farklı parametreler için üretilen numunelerin yoğunlukları ve kimyasal yapıları araştırılmış, sonuçlar İtalya' da üretilen genleştirilmiş kil malzemesiyle kıyaslanmıştır. Sonuçlarda yeni üretilen malzemelerin özellikleri genleştirilmiş kile yakın olmakla beraber, onlar kadar iyi olmadığı söylenmiştir. Araştırmacılar sonuçları üretim maliyetleri ve atık değerlendirme yönünden de incelemişlerdir [15].

Mueller vd, aynı çalışmada genleşme özelliğine sahip, Rusya' daki zeolit kayalar ile inşaat artıklarından genleşmiş agrega üretimini araştırmışlardır. İlk kısımda zeolit kayalardan öğütülerek elde edilen maddeye, genleştirmeyi arttırmak için %15, %20 ve %25 oranlarında soda külü edilmiş ve kül fırında pişirilmiştir. İkinci kısımda duvar yıkıntılarından elde edilen molozlar öğütülmüş ve içine yine genleştirmeyi arttırıcı %1

ve %3 oranında silikon karbür (SiC) eklenerek genleşebilen agrega numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin yoğunlukları, poroziteleri, su emme oranları ve basınç dayanımları incelenmiştir. Molozlardan elde edilen hafif agregadan üretilen beton ile geliştirilmiş kil agregasından üretilen beton basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı iletkenlik yönünden mukayese edilmiştir. Yoğunluğu düşük olan geliştirilmiş kil agregalı betonun, ısı iletkenliği ve basınç dayanımı da diğer numuneden düşük bulunmuştur. Yeni üretilen hafif agreganın atık malzemeden elde edilmesi çevre ve ekonomi için kazanç sağlayacağı yazarlar tarafından önerilmiştir [16].

Frattolillo vd yaptıkları çalışmada, sıva ve harçların ısı iletkenliğinin nem içeriğiyle nasıl değiştiğini deneysel olarak araştırmışlardır. Genleştirilmiş kil, Napoli tüfü ve silisli kumla hazırladıkları numunelerin içine hidroforik maddeler katarak, sıva içindeki nem durumunu modellemeye çalışmışlardır. Aynı agregalarla hem hidroforik ajanlı hem de hidroforik ajan koymadan belirli ebatlarda numuneler üretmişlerdir. Üretilen numunelerin ısı iletkenliğinin yanında, diğer fiziksel özelliklerden buhar geçirgenliği ve kılcallık artışı da incelenmiştir. Sonuçlarda, agrega ve bağlayıcının ısı iletkenliğine önemli ölçüde etki ettiğini, hidroforik ajan katkılı numunelerin, katkısız olanlardan daha düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu ve bu oranın özellikle yüksek nem değerlerinde görüldüğünü söylemişlerdir. Buhar geçirgenliği ölçümlerinde hidroforik numuneler, su geçirmeme yönünde daha iyi sonuçlar vermiştir [17].

Fakhfakh vd, Tunus' ta 12 farklı bölgeden elde ettikleri kil ve marn taşı ham maddeleriyle geliştirilmiş hafif agrega üretmişlerdir. Daha fazla genleşme ve düşük sıcaklıkta üretim için numunelere çeşitli oranlarda kuvars kumu ve motor yağı eklemişlerdir. 1180 °C de hazırlanan numunelerin, mekanik dayanım, görünür yoğunluk, su emme ve genleşme miktarları ölçülmüştür. Ölçülen değerler ticari olarak Fransa ve Portekiz' de satılan geliştirilmiş killerle mukayese edilmiştir. Karşılaştırmada, kum ve motor yağı eklenerek hazırlanan numunelerin ticari olarak satılan geliştirilmiş killerden, karşılaştırılan yönler açısından daha iyi olduğu görülmüştür [18].

Ke vd geliştirilmiş kil ve şistli agregalarla ürettikleri hafif betonların mekanik özelliklerinin, kullanılan agrega yüzdesi ve özellikleriyle nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Bulgularda, agreganın etkisinin sadece parça yoğunluğuyla değil, kabuk kalınlığı ve porozite yüzdeside ilgili olduğunu söylemişlerdir. Yoğunluğu 1000 kg/m³ ten az olan numunelerin, elastisite modülleri ve basınç dayanımları agreganın hacimsel

yüzdesi ile çok fazla etkilidir. Yoğunluğu 1430 ve 1570 kg/m³ olan numunelerde hacimsel yüzdenin artması elastisite modülünün azaltmış ancak basınç dayanımını etkilememiştir [19].

Alduaij vd, sıcak kıyı bölgelerde ısı iletimini azalttığı ve çevreye duyarlı olduğu için, hafif yapı malzemeleri üretmek üzere çalışma yapmışlardır. Hafif beton üretmek için üç farklı agregayı, farklı oranlarda karıştırıp numuneler hazırlamışlardır. Genleştirilmiş kil, tuğla kırıkları ve çakıl taşı agregalarından oluşan beton numunelerin, yoğunluk, basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi özellikleri incelenmiştir. Sonuçlarda en düşük yoğunluğa en yüksek basınç dayanımı değerine sahip olan karışımın genleştirilmiş kil ile yapılan numuneler olduğu görülmüştür. Sıcak kıyı bölgelerinde bu tür yapı malzemesinin kullanılmasının enerji korunumu ve çevre etkileri yönünden gerekliliği önerilmiştir [20].

Topçu ve Işıkdag, düşük ısıl iletkenliğe sahip yapı elmanı geliştirmeye çalışmışlardır. Bunun için, kilden yapılan tuğlanın içerisine belirli oranlarda perlit eklemişlerdir. Perlit ve kil yüzdeleri ters orantılı olarak artıp azalmaktadır. Hazırlanan numuneler 950 °C’ de pişirilmiştir. Perlit yüzdesine bağlı olarak, ağırlık, çökme, basınç dayanımı ve ısıl iletkenlik katsayısını ölçmüşlerdir. Karışım içindeki perlit miktarı arttıkça, basınç dayanımı, birim ağırlık ve ısıl iletkenlik kat sayısı azalmaktadır. Optimum değerler, basınç dayanımı için %30 perlit katkılı numunede oluşmuştur. Bu orandaki perlitli karışımın ısıl iletkenlik kat sayısı 0.185 kcal/m h°C’ dir. Yazarlar kilden üretilen tuğlalara belli oranlarda perlit eklemenin düşük ısı iletim kat sayılı tuğla üretmek için uygun olduğunu söylemişlerdir [21].

Lo vd, genleştirilmiş kil agregasıyla üretilen hafif betonun, agreganın su emme oranıyla değişen mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemişlerdir. Çalışmada Çin’de üretilen genleştirilmiş kil agregaları, beton karışımın içine katılmadan önce 30 dakika ve 60 dakika suda bekletilmiştir. Su emdirilen ve emdirilmeyen agregalardan üretilen hafif beton numuneleri slump ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Numunelerin taramalı elektron mikroskopuyla kesit görüntüleri çalışmada yer almıştır. 7 ve 28 günlük testler sonucunda, 60 dakika su emdirilmiş numunelerin en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür [22].

Gennaro vd, Napoli sarı tufünden hafif beton üretiminde kullanılmak üzere genleştirilmiş agrega üretmek için araştırmalar yapmışlardır. Öğütülen tüfler döner fırınlarda 1350 °C’ ye kadar 3-4 dakika pişirilmiştir. Üretilen agregaların, tane

yoğunluğu, ağırlık kaybı, su emme oranı ve parçacık dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir. Üretilen numunelere bağlayıcı olarak kum ve çimento katılarak, hafif beton blokları üretilmiş ve basınç dayanımları incelenmiştir. Ayrıca genleştirilmiş kil agregası kum ve çimento karışımında üretilen beton numunelerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 1-7 mm tane çapındaki tüften üretilen agrega ile üretilen beton numunenin, 3-8 mm tane çaplı genleştirilmiş kil agregasıyla üretilen beton numunesinden % 26 daha iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür. 1-15 mm tane çaplı tuf agregası, 3-8 mm tane çaplı genleştirilmiş kil agregasıyla üretilen numunelerle aynı basınç dayanımına sahiptir. Yazarlar yeni ürettikleri agreganın genleştirilmiş kil agregasıyla benzer özellikler taşıdıklarını söylemişlerdir [23].

Pioro ve Pioro, geliştirdikleri imalat yöntemiyle, genleşmeyen killerden, genleşebilen kil üretmeyi amaçlamışlardır. Bunun için yeni bir imalat yöntemi tasarlamışlardır. Böylece kendiliğinden genleşmeyen kil ham maddesinden yoğunluğu 160-850 kg/m³ arasında olan ve basınç dayanımı 0.78-14.4 MPa olan genleştirilmiş kil agregaları üretilbileceğini söylemişlerdir [24].

Gonzalez-Corrochano vd, nehir yatağındaki çakıl ocağı toprağı, kanalizasyon arıtma tesisi katı atıkları ve kil karışımıyla yapay hafif agrega üretimini incelemişler, sonuçları genleştirilmiş kil agregasıyla mukayese etmişlerdir. Ham maddeler belirli oranlarda karıştırılarak, farklı sıcaklık ve farklı ısıtma sürelerinde döner fırınlarda ısıtılmışlardır. Ayrıca sadece çakıl ocağı toprağı ve kil karışımıyla numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin, yoğunluk, kimyasal yapı, görünür yoğunluk ve basınç dayanımı gibi özellikleri araştırılmıştır. Bulgularda, %75 çakıl ocağı toprağı, %25 katı atık çamurundan üretilen ve 1255 °C' de 15 dakika ısıtılan numunenin basınç dayanımının en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Yazarlar üretilen yapay agregaların, tarım, filtrasyon ve prefabrik yapılarda kullanılabileceğini söylemişlerdir [25].

Rossignolo vd, genleştirilmiş kil agregasıyla sağlam prefabrik yapı elemanlarının üretimini araştırmışlardır. Farklı tane çaplarındaki genleştirilmiş kil, kum, çimento ve silis karışımından numuneler üretmişlerdir. Üretilen numunelerin yoğunluk, çekme dayanımı, elastisite, basma dayanımı ve deformasyon özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlarda, karışım içindeki çimento oranı en yüksek olan numunenin 7 günlük basınç dayanım değeri en yüksek çıkmıştır [26].

Niedzwiedzka, atmosfere açık beton yapı elemanların içindeki nemden dolayı oluşan donma ve çözülme döngülerinde, betonda meydana gelen hasarları incelemek için bir

Çalışma yapmışlardır. Çalışmada, sabit imento/su oranına, farklı oranlarda kum, granit, bazalt, genleştirilmiş kil ve silis katılmıştır. Genleştirilmiş kil agregaları karışıma katılmadan 24 saat süreyle suda bekletilmiştir. Numunelerin kme, yoğunluk, basınç dayanımı ve porozite değerleri ölçülmüştür. Boras metoduna göre yapılan donma çözülme deneyine göre en optimum değerler 2-4 mm tane çaplı genleştirilmiş kil agregalı numunede grlmştr. Aynı numunenin 28 günlük basınç dayanımı sonucu 76,7 MPa' dır. Sonuçlarda düşük su/imento oranlarında genleştirilmiş kil katkılı betonların sıradan betonlardan, donma çözülme şartlarında daha iyi özellikler gösterdiği söylenmiştir [27].

Vasina vd farklı çaplardaki genleştirilmiş kili, imento, yakıt külü ve akışkanlaştırıcı katkı maddesiyle karıştırarak, numunelerin akustik performansını incelemişlerdir. Ayrıca akustik performans için bir model geliştirip, sonuçları mukayese etmişlerdir [28].

Demirboğa ve Gl yaptıkları çalışmada, agrega olarak genleştirilmiş perlit karışımlarına farklı oranlarda silis dumanı ve uçucu kül ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Numunelerin imento dozajının sabit tutarak, karışımlara %1.5 oranında akışkanlaştırıcı eklemişlerdir. Sonuçlarda tüm numunelerin yoğunluklarının azaldığını, 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde artış olduğunun söylemişlerdir. Isı iletkenlik değerlerinde silis dumanı ve uçucu kül miktarının artmasıyla, azalma olduğunu belirtmişlerdir [29].

Uysal vd, agrega olarak hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranında bims ile farklı dozajlardaki çimentoyla numuneler hazırlamışlardır. Numunelerin bims oranıyla yoğunluk ve ısı iletkenlik değişimlerini incelemişler, sonuçta imento dozajının azalmasıyla ısı iletkenliğin ve yoğunluğun azaldığını söylemişlerdir [30].

Çanakçı vd yaptıkları çalışmada Gaziantep yöresine ait kireç taşının ısı iletkenliğini araştırmışlardır. Numunelerin yoğunluk, porozite, su emme oranı ve bünyedeki nem miktarıyla ısı iletkenliğin değişimlerini incelemişlerdir. Sonuçlarda, nem miktarı ve su emme oranını artmasıyla ısı iletkenliğin arttığını, yoğunlukla ısı iletkenlik arasında çok iyi üstel bir bağıntı olduğunu söylemişlerdir [31].

Biçer vd tarafından, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlarının, ısı ve mekanik özellikleri üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır [32, 33, 34].

Heterojen ve çok bileşenli malzemelerin ısı iletkenliğini tespit etmek için literatürde çok sayıda model bulunmaktadır. Bu modellerin çoğu, Maxwell, seri ve paralel model gibi temel modellerden türetilmekte veya deneysel olarak elde edilmektedir. Modellemede, gözenek yapısı gözenekteki fazlar, gözenek büyüklüğü, açık yada kapalı gözenek ve gözenek oranı gibi bir çok parametrenin tam olarak bilinmesi gerektiğinden, problemin zorluğu daha iyi anlaşılabilir. Ayrıca modelin, önerilen uygulama yeri ve aralığı da dikkate alınmalıdır [35].

Luikov vd, efektif ısı iletkenlik tahmini için bir ifade geliştirmişler ve bu ifadeyi

$$k = k_s \left[\frac{1}{1/\left(\frac{h}{L}\right)^2 + A} + \left(\frac{k_g}{k_s}\right) \left(1 - \left(\frac{h}{L}\right)\right)^2 + \frac{2}{1 + (h/L) + \left[1/(k_g/k_s)(h/L)\right]} \right] \quad (2.1)$$

denklemleriyle vermişlerdir. Sonuçların, 300-400 K sıcaklık aralığında, %35-98 porozite değerlerinde, gözenek çaplarının 4-5 mm geçmeyen ve gözenek içi gazların hava ve su buharı karışımı olduğu kabulüyle, deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu söylemişlerdir. Yaklaşık 100 farklı malzeme için bu karşılaştırmayı yapmışlardır [36].

Dul'nev, katı yapı ılı ve bitişik gözenekli, iki bileşenli malzemeler için ısı iletkenliği,

$$k_{ef} = k_s \left[\left(\frac{h}{L}\right)^2 + \frac{k_g}{k_s} \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2 + \frac{2 \frac{k_g}{k_s} \frac{h}{L} \left(1 - \frac{h}{L}\right)}{1 - \frac{h}{L} \left(1 - \frac{k_g}{k_s}\right)} \right] \quad (2.2)$$

ifadesiyle vermiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, geniş bir sıcaklık aralığında ve gözeneklilik oranı %50'nin altındaki seramik malzemeler için deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu söylemiştir [37].

Bıçer, termik santral uçucu külleri ile çeşitli bağlayıcılar kullanarak yapay gözenekli malzemeler üretmiştir. Geliştirdiği cebirsel ifadeyle ısı iletim katsayısını;

$$k_{ef} = k_s \left[\left(\frac{h}{L} \right) \left(2 - \left(\frac{h}{L} \right) \right) + \frac{\left(1 - \frac{h}{L} \right)^2}{\left(\frac{h}{L} \right) \left[1 - \left(\frac{k_s}{k_g} \right) \right] + \left(\frac{k_s}{k_g} \right)} \right] \quad (2.3)$$

ifadesiyle vermiştir. Deney sonuçları ile geliştirilen matematiksel model sonuçlarının mukayesesini yapmış ve sonuçların uyumlu olduğunu söylemiştir [38].

Yıldız, uçucu kül ve polipropilenleri değişik kombinasyonlarda karıştırarak, yeni bir ısı yalıtım malzemesi geliştirmiştir. Deneysel sonuçları, geliştirdiği;

$$k_{ef} = k_p k_f k_g \left\{ \frac{1}{k_p k_f} (1 - Z^{2/3}) + \frac{Z^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_g k_f (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_g k_f (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_g k_f \phi^{1/3}} \right\} \quad (2.4)$$

denklemlerle mukayese etmiş, sonuçların uyumlu olduğunu söylemiştir [39].

Benazzouk vd 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 aşağıdaki modelle sonuçlar mukayese edilmiştir.

$$\frac{k_{eq}}{k_3} = 1 + \frac{\Theta}{\left(1 - \frac{\Theta}{3} \right) + \frac{1 + \frac{\delta}{3} \left(\frac{k_1}{k_2} - 1 \right)}{\frac{k_1}{k_2} - 1 - \frac{\delta}{3} \left(\frac{k_1}{k_2} - 1 \right) \left(\frac{2k_2}{k_3} + 1 \right)}} \quad (2.3)$$

Sonuçlarda, karışımlardaki atık lastik oranının artmasıyla ısı iletkenliğinin düştüğünü, teorik sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğunu söylemişler, atık lastiklerin yeniden ekonomiye kazandırılabilirliğini önermişlerdir [40].

Zumbrunnen vd, gözenekli katı malzemelerde, belirli bir geometriye sahip birim hücre için ısı iletkenlik modeli geliştirmişlerdir. Çeşitli gözenekli katıların ısı iletkenliğini, geniş bir sıcaklık aralığında ölçmek için bir deney düzeneği hazırlamışlardır [41].

Vysniauskas vd, seramik gibi yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğini sıcak tel yöntemiyle belirlemişlerdir [42].

Altun ve Böke, ısı engelleyici kaplamaların ısı iletkenliklerini, literatürdeki ısı iletkenliği veren ifadelerle hesaplamışlar, buldukları sonuçları hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarıyla mukayese etmişlerdir. Sonuçların hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarından %17 oranında farklı olduğunu tespit etmişlerdir [43].

Wyrwal vd, iki fazlı, gözenekli yapı malzemelerinin, etken ısı iletkenliklerini, literatürdeki dokuz farklı modelle hesaplamışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Nemli ve kuru olan numunelerin deneysel sonuçlarını incelemişlerdir [44].

Wang vd, iki formulu yapılar için literatürdeki beş temel ısı iletkenlik modelini, çeşitli şekillerde birleştirerek yeni denklemler türetmişlerdir. Seri, Paralel, Maxwell-Euken 1, Maxwell-Euken 2 ve Efektif Ortam Teorisi modelleri kendi aralarında uyarlanarak yeni denklemi karmaşık yapılar için uygulanabilirliğini söylemişlerdir [45].

Reddy ve Karthikeyan, iki fazlı malzemelerin ısı iletkenliğini tahmin etmek için düzenlenmiş parametre modelleri kullanmışlardır. Yeni geliştirilen matematiksel denklemler, birim hücre geometrisinden türetilmiştir. Modeller belli ısı iletkenlik ve konsantrasyon aralığında, tahmin yapmaktadır. Geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlar, standart modellerden elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiş, sonuçta geliştirilen katı kübik modelin, diğer modellerden daha iyi olduğu söylenmiştir [46].

Bu çalışmada ise agrega olarak farklı tane çaplarında genleştirilmiş kil, geven bitkisinden elde edilen, doğal bir reçine olan kitre ve çimento kullanılarak yeni bir malzeme üretilmiştir. Farklı genleştirilmiş kil oranlarıyla malzemenin hafif beton sınıfında olabilirliği değerlendirilmiştir. Hazırlanan kitre katkısız numunelerle karşılaştırmaya yapılmıştır. Üretilen numunelerin ısı ve mekanik özellikleri ile birlikte yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Geliştirilen matematiksel modelle ısı iletim katsayısı teorik olarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla mukayese edilmiştir.

3. GENLEŞTİRİLMİŞ KİLLER

3.1.Genel Bilgiler

Kil, binlerce yıldan beri insanoğlunun yararlandığı en önemli ve en eski ham maddelerden biridir. Günümüze kadar önemini hiç kaybetmemiştir. Güzel sanatlardan ileri teknolojik malzemelere kadar hayatın her alanında karşımıza çıkmaktadır [47,48]. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. İçerisinde az miktarda alkali ve toprak alkalileri mevcuttur. Killer su ile karıştırıldıklarında plastik şekil alırlar. Pişirildiklerinde sürekli sert kalırlar [49]. Kilin içerisinde, kalker, silis, mika ve demir oksit çokça bulunur. Bileşimindeki yanıcı maddelerden dolayı sarı, kırmızı ve kahverenginin tonlarında olabilir. Killer yapı itibariyle su çekme özelliğine sahiptir [50].

Kil mineralleri, sahip oldukları kimyasal ve fiziksel özellikler nedeniyle birçok alanda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Kağıt endüstrisinde, seramik ve vitrifiye üretiminde, çeşitli bitkisel yağların rafine edilmesi işleminde, bira, şarap ve meyve sularının ağartılmasında, radyoaktif atıkların ve atık suların temizlenmesinde, ilaç, parfüm, sabun, deterjan, lastik ve hatta plastik üretiminde kil mineralleri kullanılmaktadır [47].

Killer genelde altı grupta incelenirler. Bunlar;

- Kaolin
- Bağlama kili
- Şiferton
- Bentonit
- Fuller toprağı
- Diğer killer ve şeylerdir [49].

Kaolin, granit kayalardan oluşan, beyaz ve yumuşak bir kil türüdür. Granit kayalar feldspat minerallerini içerir. Sert olan granit kayalar, atmosfer ve magmanın sıcaklığının etkisiyle, ufalanır ve yumuşar. Böylece uzun süreçler sonucunda feldspat mineralleri kaoline dönüşür [51].

Bağlama killeri, organik malzemelerden, serisit mikalar ve kaolinit içeren, sedimanter kökenli killerdir. Genellikle kaolinitten daha ince tane boyuna sahiptirler [49]. İçeriklerinde %20-80 kaolinit, %10-25 mika ve %6-65 kuvars bulunur [52].

Yurdumuzda ateş killeri olarak da bilinen şifertonlar, detrital bir kil olarak tanımlanırlar. Düşük miktarda demir oksit, kireç, magnezyum ve diğer alkalileri içermektedirler [49].

Bentonit, tuf ve lavların kimyasal ayrışması veya bozulmasıyla oluşan, alüminyum ve magnezyum yönünden zengin bir çeşittir. Ağırlıklı olarak koloidal silis yapıda, yumuşak, gözenekli bir yapıda olup kolayca şekil verilebilir [53].

Fuller toprağı, yapısı içinde magnezyum, sodyum, kalsiyum gibi metal iyonları içeren, sulu alüminyum silikattır. Su içirme oranı diğer killerden farklıdır. Plastiklik özelliğine sahiptir. Sarı, yeşil, kahverengi renklerde olabilirler [54].

Kilin en önemli dört özelliğı, plastisite, kohezyon, büzölme ve renktir.

Plastisite özelliğı, toz haldeki kile yeteri miktarda su eklendiğı zaman işlenebilme ve şekillendirme özelliğinin kolaylaştırılmasıdır. Oysaki kum, su ile karıştırıldığı zaman herhangi bir plastik özellik kazanmaz. Kilin plastisite özelliğı kazanabilmesi için muhakkak surette su ile karıştırılması gereklidir. Su dışında hiçbir madde kile plastisite özelliğı kazandırmaz. Bu konuda yapılmış deneylerde birçok sıvı kullanılmışsa da hiç birisi ile bu özellik elde edilmemiştir [50].

Kohezyon özelliğı, kil hamurunun kuruduğı zaman, kendisine verilmiş olan şekli muhafaza etme kabiliyeti sağlar. Kum bu özelliğe sahip değildir. Kuruduktan sonra küçük bir darbe ile kendi kendine dağılır. Kilin kohezyona sahip olabilmesi için mutlaka su ile karıştırılması gereklidir. Su dışında kalan diğer sıvılarla kil kohezyon özelliğı kazanmaz [50].

Büzölme yada diğer adıyla rötre, kilin su ile yoğrulup şekillendirildiğindeki haliyle kurumuş hali arasındaki hacimsel küçülmedir. Yani kil hamurunun kuruma sırasında hacmi küçülür. Kilin kurumasıyla meydana gelen rötre, kilin plastisite özelliğine bağlıdır. Rötre, kilin kuruması sırasında olduğu gibi pişirilme sırasında da devam eder. Rötre, plastisiteden sonra en önemli özelliktir [50].

Killer metal oksitlerle karışık bir şekilde bulunduklarından doğal olarak renklenmiş durumdadırlar. Kilin saf olması halinde rengi beyaz olur ve kaolen adını alır. Kilin rengi içinde bulunan maddeler hakkında fikir vermektedir [50].

3.2. Genleştirilmiş Killer

Doğal killer 1000 °C nin üzerinde ısıtıldıklarında, yapılarındaki gazların genişmesi sonucu içleri gaz dolu gözenekli bir yapı meydana getirirler. Bu killere genleştirilmiş killer denir [55]. Genleştirilmiş killer, ısıtılan döner fırınlarda ani olarak yüksek sıcaklığa maruz bırakılırlar. İşlem sonrası Şekil 3.1’ deki yapıyı alırlar.



Şekil 3.1. Genleştirilmiş kil

Doğal kilin minerolojik yapısına göre 1000 - 1300 °C arasında ısıtılan killer, ilk hacimlerinin 1.5 ila 6 katı kadar hacim artışı meydana getirebilirler [7]. Bunun yanında yoğunlukları yaklaşık olarak 320 ila 960 kg/m³ arasında değişmektedir [57]. Genleştirilmiş killer yapay bir madde olup, doğada genişmiş halde bulunmazlar. Doğada bulunan her kil genişmez. Genleşen kil üretmek için kullanılan ham maddeler erken sinterleşen kil, kumlu kil, killi şist, şeyl ve şifertondur [7].

Genleşme özelliği gösteren killerde, killerin kimyasal yapıları tam belirleyici olmamakla birlikte, genleşen kil özelliği gösteren killerin kimyasal ve fiziksel özellikleri şu şekildedir [8]:

- 2 mikrondan küçük tane oranı en az %35 olmalıdır
- Kaolinitin çok az olmalı veya olmamalıdır
- Kalsit-dolominitin %12 den, tercihen %5 ten az olmalıdır
- Fe₂O₃ miktarı %5 ila %10 arasında olmalıdır

- Al_2O_3 miktarı %12 ila %30 arasında olmalıdır
- SiO_2 miktarı %50 ila %78 arasında olmalıdır
- Fe, Na, K, Mg gibi elementlerin toplam miktarı %8 ila %25 arasında olmalıdır
- Organik karbon miktarı %0.6 ila %2.5 arasında olmalıdır

ayrıca sinterleme ve erime noktaları 1200 °C civarında ve birbirine yakın olmalıdır.

Günümüzde Avrupa’da bulunan deniz dibi killeri, acı su killeri, rüzgar erozyonuna bağlı Lös killeri, Jura killeri, Devoniyen yaşlı killi şistleri ve şifertonlar teknik olarak büyük ölçüde genleşme özelliğine sahip genleşen kil hammaddeleridir [7]. Bu genleşen kil hammaddelerinin her biri farklı sıcaklık ve sürede genleşirler. Sıklıkla kullanılan bu genleşen kil hammaddelerinin kimyasal bileşenleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Genleşen killerin kimyasal bileşenleri [8].

Kil Çeşitleri	Deniz Dibi Killeri	Lös Killeri	Jura Killeri	Devoniyen Killi Şistler	Şifertonlar
SiO_2 (%)	47.7	69.0	53.6	54.6	52.6
Al_2O_3 (%)	17.4	14.4	18.2	17.6	21.8
TiO_2 (%)	0.42	0.76	0.82	0.52	1.07
Fe_2O_3 (%)	7.6	5.55	5.1	6.9	9.9
CaO (%)	4.04	0.98	3.36	3.34	0.35
MgO (%)	3.60	1.61	3.20	4.0	2.96
K_2O (%)	3.04	2.07	3.35	3.58	6.07
Na_2O (%)	0.32	0.71	0.20	0.71	0.13
Kızdırma Kaybı (%)	15.05	5.11	11.59	7.81	5.05

Genleşen kil yapımı sırasında, genleşmeyi arttırmak ve hızlandırmak için, motorin, kok kömürü, alçı, pirit, limonit, kireç gibi maddeler katılmaktadır [59].

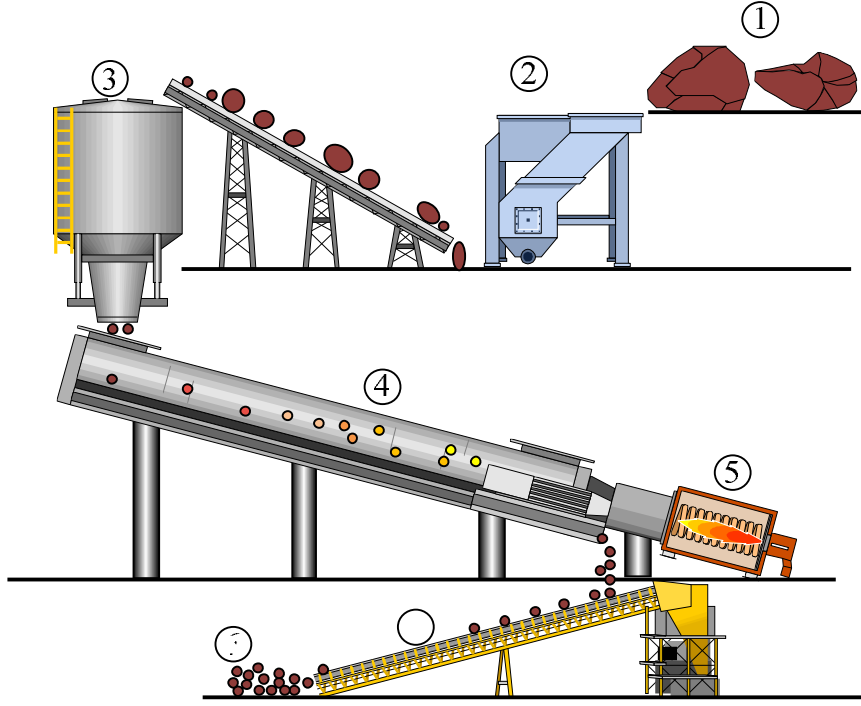
Genleşen killer 1000 °C’ nin üzerindeki ısıtılma sıcaklığında kapalı ve yarı kapalı gözenekler oluşturur [7, 8]. Bu sıcaklıkta dış yüzeylerinde Şekil 3.2 de görünen sinterleşmiş sert bir kabuk oluştururlar. Bu sinterlenmiş sert kabukları sayesinde agrega olarak kullanılan maddeler içinde basınç dayanımı en yüksek maddelerdendir.



Şekil 3.2. Sinterlenmiş kabuk ve iç yapı

3.2.1 Genleştirilmiş kilin üretimi

Genleştirilmiş killer, diğer genleştirilen agregalar gibi ısı işlem ile üretilirler [57]. Genleştirilen agregaların üretiminde, pişirme işleminden önce, hammaddeler iki çeşit yöntem kullanılarak hazırlanır [59]. Bu yöntemler; kuru ve ıslak yöntemlerdir [57]. Kuru yöntemde; kil, öğütme değirmeninde çok ince toz boyutuna getirilir. Hazırlanan ince boyutlu bu tozlar, 2-4 metre çapında sabit hızda dönen, tabanı düz bir kap içerisinde su ilavesi ile tanecikler haline getirilir. Elde edilen taneler, merkezkaç kuvvetin etkisiyle sıkışmış ve sağlamlaşmış duruma getirilir ve pişirmek üzere fırınlara gönderilir [59]. Kuru yöntemle daha çok sert şeyler, arduaz ve bazı killerin üretimi gerçekleştirilir [57]. Islak yöntemde ise; kil, homojen bir dağılıma getirilene kadar değirmenlerde öğütülür. Sonra su ve genleştirici katkıları ilave edilerek plastik malzeme haline getirilir. Çamur kıvamındaki malzeme, delikli levhalardan geçirilir. Kullanılan deliklerin çapı, üretilen agreganın çapına göre değişmektedir. Delikli levhalardan geçirilen malzeme, döner bir bıçakla istenilen boyutlarda kesilir. Elde edilen taneler, döner fırınlarda pişirme işlemine tabi tutulur. Pişirme işlemi sırasında tanecikler, fırın içerisinde cidarlara çarpıp ve sürtünmelere maruz kalmak suretiyle yuvarlak bir şekil alırlar [59]. Üretilen malzeme, soğuma işleminin ardından, çaplarına göre ayrılmak üzere elenir ve stoklanır. Killer için en çok kullanılan yöntem ıslak yöntemdir [57]. Genleşen killerin üretimi Şekil 3.3’ de görüldüğü gibi gerçekleştirilir.



1) Hammadde 2) Öğütme 3) Su ve katkıların katılması 4) Döner fırın 5) Brülör
6) Soğutma ve taşıma 7) Depolama

Şekil 3.3. Genleştirme işlemi

Piştirme işlemi, 1000 ila 1350 °C arasında yapılır. Malzemenin genleşebilmesi için, karışım içindeki gazların dışarı çıkmadan ani bir şekilde bu yüksek sıcaklıklara maruz kalması gerekir [59].

Genleştirme işleminde, genleşme miktarı, ısıtılma işlemine bağlıdır. Böylece, farklı sıcaklık ve piştirme süreleriyle, 300 ila 800 kg/m³ yoğunluk aralığında ve farklı tane çaplarında agrega imal edilebilir [57].

Piştirme işlemi için kullanılan döner fırınlar, portland çimentosu için kullanılan fırınlara benzer. İçi refrakter tuğla kaplı, uzun bir silindir, yatay ekseninde döner. Fırın uzunluğu hammaddenin işlemine göre, 30 ila 60 m boylarında olabilir. Hazırlanan hammaddeler, yerden yüksek uçtan fırına dökülür. Alçak uç tarafından bir brülör yardımıyla fırın ısıtılır. Hammaddeler fırın boyunca hem ısıtılır, hem de döndürülerek alçak uç tarafına doğru ilerletilir. Genleşen malzeme alçak uçtan soğutma sahasına götürülmek üzere alınır [57].

Genleştirilmiş killerin imalatında döner fırın ve düşey fırın olmak üzere iki farklı fırın tipi kullanılır.

3.2.2 Genleşen Killerin Durumu

Hafif agregaların kullanımı binlerce yıllık geçmişe sahiptir. Antik Roma İmparatorluğu döneminden kalma, Pantheon tapınağı ve su kanalları inşaatında doğal bir hafif agrega olan bims kullanılmıştır. Yapay hafif agrega üretimi, 1918 yılında Amerika Birleşik Devletlerin’ de gerçekleştirilmiş ve patenti alınmıştır. İlk kullanılan hammadde şisttir. 1955 yılında Kuzey Amerika’ da 55 tane geliştirilmiş agrega üreten fabrika açılmıştır [57].

Avrupa’ da ilk ticari geliştirilmiş kil 1930 yılların ortalarında, Almanya’da üretilmiştir. Rusya’ da hafif agregaların üretimi de 1930’lu yıllarda başlamıştır. 1980’li yıllarda 300 den fazla kurulu fabrikayla, üretim miktarı yıllık 30 milyon m³’ü aşmıştır [57]. Doğal hafif agrega kaynağı bulunmayan Danimarka, zengin kil yataklarını kullanarak, geliştirilmiş kil üretmiş ve bu alanda öncü ülkelerden olmuştur [8]. Eski Doğu Bloğu ülkelerinde çok sayıda geliştirilmiş kil üreten fabrikalar bulunmaktadır. En fazla fabrika 16 adet ile Ukrayna’ da bulunmaktadır [57].

Japonya’ da geliştirilmiş kil için şist kullanılmakta olup, iki fabrikada geliştirilmiş kil imalatı yapılmaktadır [8, 57].

Çelik sıkıntısı yaşanan I. Dünya Savaşı sırasında, betonarme gemi yapımında çimentoya hafif agrega eklenmiştir. O zamana kadar sadece İskandinav ülkelerinde küçük ölçekli betonarme gemiler bulunurken, Amerika Birleşik Devletleri büyük tonajlı betonarme savaş gemileri yapmıştır.

II. Dünya Savaşı’ ndan sonra özellikle inşaat alanındaki ilerlemelerde, geliştirilmiş kil yapı malzemesi olarak geniş kullanım olanağı bulmuştur.

Türkiye’ de genleşen kil üretimi yoktur [8]. Kullanımı ise çok az miktarda olmak üzere, ses ve ısı yalıtımı için, hazır sıva ve hazır panellerin satışından ibarettir. Türkiye’ de geliştirilebilen kil hammaddesi olarak;

- Tersiyer yaşlı kömür yataklarının altında ve üstündeki killer,
- Tersiyer yaşlı, kumtaşı, şist ve çamur taşları,
- Paşeozyik yaşlı şistler içeren mevkiiler araştırılmıştır.

Bu özellikleri sağlayan, İzmir-Manisa yöresi, Aydın-Muğla yöresi, Afyon-Kütahya yöresi, Konya yöresi, Ankara-Çankırı yöresi, Bolu-Düzce-Sakarya yöresi, Zonguldak-Bartın-Karabük-Kastamonu yöresi çalışmaların arttırıldığı bölgelerdir [8].

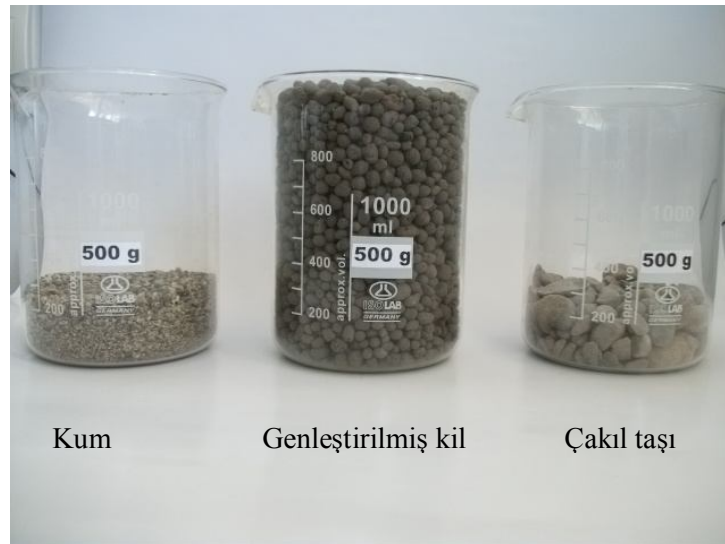
Bu bölgelerden bazılarında yapılan araştırmalar neticesinde, genişleme oranları Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2. Bazı bölgelerdeki killerin genişleme oranları [8].

Bölge	Genleşme oranı	Bölge	Genleşme oranı
Ankara-Kalecik	2.76	Bartın	2.7
Bolu-Abant	2.43	Bartın-Kızıllar	3.7
Kastamonu-Devrekani	2.14	Bartın-Kumluca	3.2
Bartın-Ulus	3.0	Zonguldak-Namuriyen	1.9

3.2.3 Genleşen Killerin Kullanım Alanları

Genleştirilmiş killerin günümüzde çok farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Yapay bir agrega olan genleştirilmiş killer, yapı agregası olarak hafif beton üretiminde benzeri olmayan bir üründür. Şekil 3.4’ de üçü de aynı ağırlıkta olan, kum, çakıl taşı ve genleştirilmiş kil agregası görülmektedir.



Şekil 3.4. Agregaların hacimsel mukayesesi

Görüldüğü gibi genleştirilmiş kil agregası, yaygın olarak kullanılan kum ve çakıl taşı agregasından, 4-5 kat fazla bir hacme sahiptir.

Genleştirilmiş killer, yapıyı hafifletmenin yanı sıra, iyi ısı ve ses yalıtımı da sağlarlar. Sağlam sinterlenmiş kabuğu sayesinde benzer hafif agregalar içerisinde en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Farklı çapları, farklı yoğunluktadır. Gökdelenler, köprüler, iskeleler, platformlar ve diğer pek çok yapıda hafif beton olarak kullanılıp, aynı basınç dayanım sınıfındaki betonlara göre yapıyı yaklaşık % 25-35 civarında hafifletirler. Hafif beton agregası olarak yapıların taşıyıcı sisteminde kullanılmasının yanında, tuğla, sıva ve dolgu malzemesi olarak da yapılarda kullanım imkânı bulunmaktadır.

Genleştirilmiş killer, tarım alanında, toprak yerine kullanılmaktadır. Özellikle sera ve yeşil çatılı binalarda bitkiler için doğal yetiştirme ortamı sağlanmaktadır.

Atık ve temiz suları filtre etmede kullanılmaktadır. Gözenekli yapısı ve doğal hammaddesiyle canlı organizmaların yaşaması için uygun şartlar sağlamaktadır.

Asfalt yol yapımında agrega olarak kullanılan genleştirilmiş killerin, sağlam yüzeyleri sayesinde diğer agregalardan daha uzun ömürlüdürler. Yine yüzey düzgünlüğü açısından, buzlu yol koşullarında, lastiklerin daha iyi yola tutunması sağlanır. Hafif olması taşıma maliyetlerini ucuzlatmaktadır. Çok sık karşılaşılan taş fırlaması neticesinde araçların kırılan n camları, bu hafif malzeme sayesinde en aza inmektedir.

Geoteknik alanında, düzgün olmayan engebeli alanların doldurulmasında kullanılır. Hafif yapısıyla dolgularda yanal yüzeylere gelen kuvvetler azalmış olur. Sıcak su ve buhar hatlarının çevresine doldurularak, boru hatlarına hem fazla yük gelmemesi hem de ısı yalıtım sağlanması için uygundurlar.

4. KİTRE

Baklagiller (*Leguminosae*) familyasından geven yada keven (*Astragalus*) denilen dikenli bitkiden, doğal olarak sızan veya gövdesinin çizilmesiyle sızdırılan reçinenin doğal şartlarda kurutulmasıyla elde edilen bir tür zamktır [60].

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 [61].

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 kompleks bir yapısı vardır. Kitre, asidik hidrolizden sonra, monosakkarit olan; galaktoz, ksiloz, arabinoz, ramnoz gibi şekerler ile galakturonik asid 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 [61]. Kitre elde edilen bazı geven türlerinin şeker türleri ve miktarları Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bazı geven türlerinin şeker bileşenleri [62].

	<i>A. Microcephalus</i>	<i>A. Gossypinus</i>	<i>A. Rahensis</i>	<i>A. Compactus</i>	<i>A. Fluccosus</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 [63]. Birinci kısım trangakantik asid yada bassorin denilen maddeden oluşur. Bu kısım kitrenin yaklaşık %60 ila %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 [61].

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 bitkisin 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. Yaprak 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 [64].

Kitre elde edilen gevenler, en çok Türkiye, İran, Kafkasya ve Afganistan civarlarında yetişirler [65]. Türkiye’ de üretilen yaprak kitrelerin renkleri, Şekil 4.1 ‘de görüldüğü gibi beyaz, sarı ve kahverengi olarak farklılık göstermektedir.

4.3. Kitrenin Kullanım Alanları

Başlıca kullanım alanı gıda ve ilaç sektörüdür. Bir çok 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 [61]. Dondurma, pasta, sos, şerbet ve puding imalatında kullanılır. Ayrıca reçel, şekerleme, unlu mamuller, gıda dolgu maddeleri, salata sosları ve alkolsüz içeceklerde kullanılmaktadır [62].

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 [62]. Ayrıca ebru sanatında kıvam arttırıcı olarak kullanılır.

4.4. Geven Çeşitleri

Geven bitkisinin, yetiştiği bölgelere göre farklılık gösteren yaklaşık 2000 türü vardır [66]. Türkiye’ de yaklaşık 400 geven bitkisi türü bulunmaktadır [65]. 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 dökülür. 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 ila 3000 m yükseklikte bulunurlar [67].



Şekil 4.2. Türkiye’ de yetişen geven bitkisi [68].

Türleri farklı olmasına rağmen Şekil 3.6’ de görüldüğü gibi Türkiye’ de yetişen geven bitkilerinden yaprak yapıları benzerlik göstermektedir. Yerel isim olarak Boz Geven yada Kara Geven denen, *Astragalus microcephalus*, karasal Anadolu ikliminde yaşayan, çalı türünde, genellikle Orta ve Doğu Anadolu bölgesinde bulunan kitre elde etmede kullanılan türdür [64,69]. 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 ila 60 cm boyuna kadar uzayabilen, genellikle 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 ila 50 çiçek oluşabilir. Tohumları 2-4 mm boyutlarında olup oval bir yapıya sahiptir. Orta ve Doğu Anadolu’ da yaygındır [12, 69]. Kitre elde edilen türdür.

Kurt Geveni olarak bilinen *Astragalus kurdicus*, kayalık yamaçlarda yetişen, çok yıllık, çalı türünde bir bitkidir. Endemik olmayan bu tür, 1400 ila 2900 m yüksekliklerde yetişip, yaz aylarında çiçeklenir. Güneydoğu Anadolu’ da sıkça görülen, kitre elde edilen türdür [61, 69].

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 [69]. İran’ da, kitre üretiminde sıkça kullanılan türdür [63].

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 Kuzey doğu Anadolu en çok görüldüğü bölgelerdir. Orta Asya kökenli bir bitkidir [69]. Anadolu’ da kitre elde edilen türlerdendir [67].

Çok yıllık, çalı tipindeki *Astragalus compactus*, bozkırlar ve tepelik yamaçlarda görülürler. Endemik bir tür olup Orta ve Doğu Anadolu’ nun kuzeyinde görülürler [69]. Kitre elde edilen türlerdendir [62].

Keçi Geveni olarak bilinen *Astragalus angustifolius*, kayalık, taşlık, kurak yamaçlarda yetişen, çok yıllık bir bitkidir. Bahar ve yaz aylarında çiçeklenir. Orta, Güney ve Batı Andolu’ da görülür [12, 69].

Şişik Geven yerel adlı *Astragalus anthylloides*, bozkır ve kayalıklarda yetişen, çok yıllık otsu bir bitkidir. 17 ila 25 cm boylarına ulaşır, bahar ve yaz aylarında pembe çiçekler verir. Karasal Anadolu ikliminde olan Orta Anadolu bölgesinde sık görülür [12, 69].

Kısa Kanatlı Geven yerel adlı *Astragalus brachypterus*, ekilmiş tarla ve dağlık bölgelerde yetişen çok yıllık çalı türündeki bitkidir. 7 ila 15 cm boyuna erişebilen, yaz aylarında mor ve pembe çiçekler veren, endemik bir bitkidir. Orta, Kuzey ve Doğu Anadolu’da 600 ila 2100 m civarında görülürler [12, 69].

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 [12, 69].

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 Kuzey Batı bölgelerimizde görülür. Avrupa ve Sibirya kökenlidir [12, 69].

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 [12, 69].

Şeffaf Pullu Geven yerel adlı *Astragalus hyalolepis*, alpin çalılıklar ve taşlı yamaçlarda yetişen çok yıllık otsu endemik olmayan türdür. 1600 ila 2400 m gibi yüksek yerlerde yetişirler. Yaz aylarında çiçek verirler. Kuzey Doğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde rastlanırlar [12, 69].

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 ila 20 cm civarında olur. Türkiye' nin orta bölgelerinde kuzeyden güneye kadar olan coğrafi alanda görülürler [12, 69].

Tavşan Kuyruğu Geveni yerel adlı *Astragalus lagurus*, bozkırlar, dağlar ve yüksek meralarda yetişen çok yıllık çalı türünde bir bitkidir. Yaz aylarında sarı çiçekler açar. Kuzey Batı bölgelerinde 1200 ila 2900 m civarında görülürler [12, 69].

Küçük Kanatlı Geven yerel adlı *Astragalus micropterus*, 850 ila 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 [12, 69].

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 bölgelerinde görülür [12, 69].

Laz Geveni denilen *Astragalus ponticus*, kuru kıyılar, tarlalar ve yol kenarlarında yetişen, çok yıllık, otsu ve endemik olmayan bir bitkidir. 75 ila 150 cm boylarında olup yaz aylarında çiçek verirler. Daha çok Kuzey, Orta ve Doğu Anadolu bölgeleriyle Batı Akdeniz coğrafyasında görülürler [12,69].

Kuş Tüyü Geveni yerel adlı *Astragalus ptilodes*, 500 ila 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 Adalarında görülürler [12, 69].

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 [12, 69].

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 ila 35 cm boylarına ulaşabilirler. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yetişir [12, 69].

Kitre katıldığı ürüne yüksek vizkozitelik kazandırır. Kokusu yoktur, rengi karışım için uygundur [61].

5. ISIL İLETKENLİĞİN TEORİK İNCELENMESİ

5.1.Gözenekli Malzemelerin Isıl İletkenliği ve Yapılan Kabuller

Gözenekli malzemeler, özellikle ısı geçirgenliklerinin düşük ve birim hacim ağırlıklarının az olması sebebiyle, birçok kullanım alanında tercih edilen malzemelerdir. Bu nedenle çok geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır [12].

Gözenekli malzemeler yapılarına göre, gözenekli katı malzemeler, taneli malzemeler ve lifli malzemeler olarak sınıflandırılabilir [38]. Bu çalışmadaki genişletilmiş kil ve bağlayıcıdan oluşan yapının, gözenekli katı malzeme olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca genişletilmiş kil içindeki çoğu küre şeklindeki kapalı gözeneklerin çapları 1 mm den küçüktür. Bu yüzden yapı mikro gözenekli katı malzeme olarak adlandırılabilir.

Gözenekli malzemeler yapıları bakımından, karmaşık şekil ve boyuttaki katı parçacıklar ve boşluklardan oluşur. Birçok özellikleri, içerisinde bulunan saf maddelerin özelliklerine ve hacimsel oranlarına bağlıdır. Gözeneksiz malzemelere uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik bağıntıları, gözenekli malzemelere uygulamak ve analitik olarak çözmek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak ve malzemeyi birim hücre yapısı gibi kabul ederek incelemek, yapının tümü hakkında fikir verebilir [38].

Çalışmada, ısı iletkenliğinin matematiksel modeli oluşturulurken şu kabuller yapılmıştır:

- Yapı içindeki gözenekler düzensiz ve farklı geometrik şekillere sahip olmakla birlikte, ağırlıklı olarak küresele yakındır. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.

- Malzemenin yapısında nem olmadığı kabul edilmiştir.
- Genleştirilmiş killerin gözenek çapları 1 mm den küçük olduğundan [38],

$$Ra=Gr Pr < 10^3$$

olacağından, doğal taşınım oluşmaz. Isının iletim yoluyla aktarıldığı kabul edilmiştir.

- Işınım ısı transferi, Stefan-Boltzmann kanununa göre [70, 71];

$$E_b = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

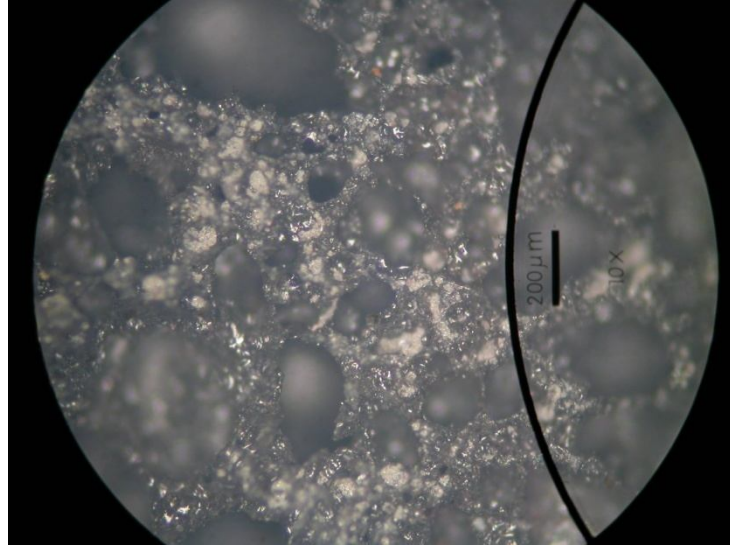
denkleminde verilmektedir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirlerine çok yakın olacağından ($T_1 \approx T_2$), ışınlama ısı geçişi ihmal edilmiştir.

5.2. Matematiksel Modelleme

Farklı ısı iletim katsayılarına sahip malzemelerden oluşan, heterojen ve gözenekli yapıların, ortalama ısı iletim katsayısına etken veya efektif ısı iletim katsayısı denir [38]. Etken ısı iletkenlik, yeni oluşturulan malzemelerin ısı tasarımı ve sayısal benzetimler için önemli bir özelliktir [35]. Deneysel çalışmanın maliyeti ve zorluklarından dolayı, ısı iletkenliği verebilecek, değişik parametrelere bağlı yeni bir bağıntı geliştirilebilir.

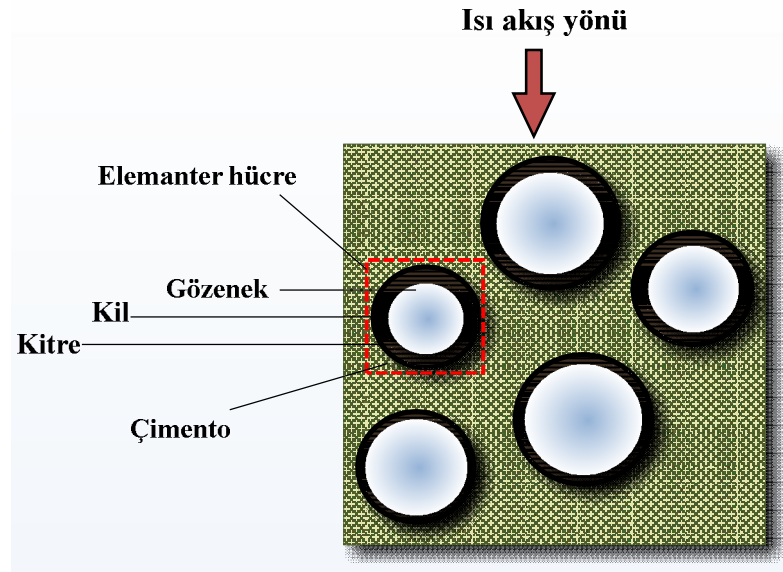
Gözenekli, katı ve heterojen malzemelerin etken ısı iletim katsayısı, gözeneklilik, gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı, katı malzemelerin ısı iletkenliği, yoğunluk gibi birçok parametrenin bir fonksiyonudur [38].

Mikroskop altında çekilen malzemenin resmi Şekil 5.1’ de verilmiştir. Görüldüğü gibi gözenekler yapı içerisinde rastgele dağılmış haldedir. Ayrıca hiçbir gözenek ölçüsü bir diğerine ölçü ve biçim yönünden uymamaktadır.

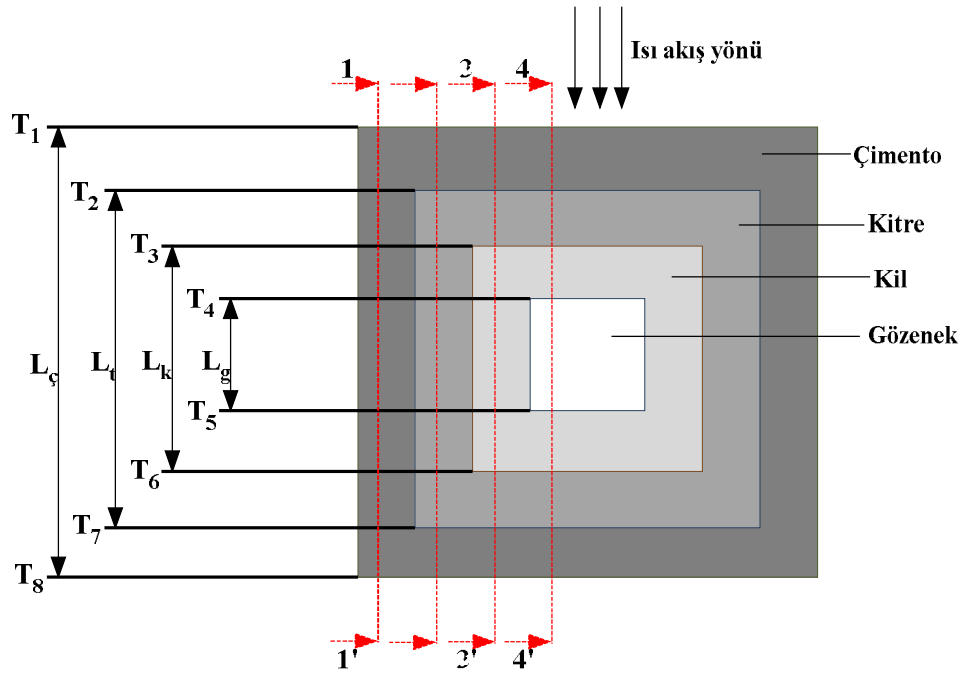


Şekil 5.1. Malzemenin mikroskop altındaki görüntüsü

Modelde, gözenek dışında, bir kil tabakası olduğu, bu tabakayı bir kitre tabakasının sardığı ve dışta ise çimento katmanı bulunduğu varsayımı yapılmıştır. Malzeme içinde bu gözenekli yapının dizilişi Şekil 5.2’ deki gibi bir fiziksel modele dönüştürülmüştür.



Şekil 5.2. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli



Şekil 5.3. Elemanter hücre kesiti

Şekil 5.3' de görüldüğü gibi, ısı akış yönü elemanter hücrenin düşey eksenine paralel olduğu kabul edilmiştir. Fourier kanununa göre bir boyutlu ısı iletimi [71];

$$Q = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (5.1)$$

denklemleriyle tanımlanmaktadır. Bu ifadenin integrali alınırsa,

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

şeklinde yazılabilir. Burada, L / kA ifadesi ısı direnç olup, R ile gösterilirse [70], (5.2) numaralı denklem $QR = T_{sck} - T_{soğ}$ şeklini alır. Bu ifade elemanter hücre kesitlerine ayrı ayrı uygulanırsa;

1 numaralı kesit için;

$$Q_1 R_{1es} = Q_1 R_{1ç} = T_1 - T_8 \quad (5.3)$$

2 numaralı kesit için;

$$Q_2 R_{2ç} = T_1 - T_2$$

$$Q_2 R_{2t} = T_2 - T_7$$

$$Q_2 R_{2ç} = T_7 - T_8$$

ifadeler taraf tarafa toplanırsa;

$$Q_2 (2R_{2ç} + R_{2t}) = T_1 - T_8$$

$$Q_2 R_{2es} = T_1 - T_8 \quad (5.4)$$

ifadesi bulunur.

3 numaralı kesit için;

$$Q_3 R_{3ç} = T_1 - T_2$$

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

$$Q_3 R_{3k} = T_3 - T_6$$

$$Q_3 R_{3t} = T_6 - T_7$$

$$Q_2 R_{3ç} = T_7 - T_8$$

ifadeler taraf tarafa toplanırrsa;

$$\begin{aligned} Q_3 (2R_{3ç} + 2R_{3t} + R_{3k}) &= T_1 - T_8 \\ Q_3 R_{3eş} &= T_1 - T_8 \end{aligned} \quad (5.5)$$

ifadesi bulunur.

4 numaralı kesit için;

$$\begin{aligned} Q_4 R_{4ç} &= T_1 - T_2 \\ Q_4 R_{4t} &= T_2 - T_3 \\ Q_4 R_{4k} &= T_3 - T_4 \\ Q_4 R_{4g} &= T_4 - T_5 \\ Q_4 R_{4k} &= T_5 - T_6 \\ Q_4 R_{4t} &= T_6 - T_7 \\ Q_4 R_{4ç} &= T_7 - T_8 \end{aligned}$$

ifadeler taraf tarafa toplanırssa;

$$\begin{aligned} Q_4 (2R_{4ç} + 2R_{4t} + 2R_{4k} + R_{4g}) &= T_1 - T_8 \\ Q_4 R_{4eş} &= T_1 - T_8 \end{aligned} \quad (5.6)$$

ifadesi bulunur. Denklem (5.2)' yi elemanter hücrenin tümü için yazarsak;

$$Q = \frac{T_1 - T_8}{\frac{D}{k_{etk} A}} = \frac{T_1 - T_8}{R_{eş}} \quad (5.7)$$

ifadesi elde edilir. Şekil 5.3' deki elemanter hücrenin bileşenleri paralel bağlı olduğundan, her kesitten geçen ısı miktarının toplamı, tüm hücreden geçen ısı miktarına eşit olup;

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (5.8)$$

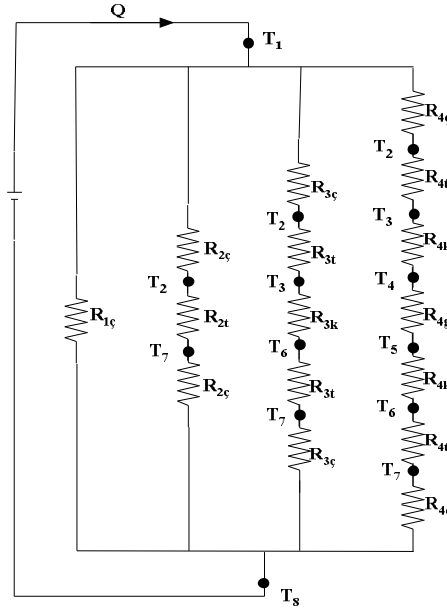
şeklinde yazılabilir. Denklem, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6' deki Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 eşitlikleri, denklem 5.8' da yerine yazılırsa;

$$\frac{T_1 - T_8}{R_{e\varphi}} = \frac{T_1 - T_8}{R_{1e\varphi}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{2e\varphi}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{3e\varphi}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{4e\varphi}} \quad (5.9)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade sadeleştirilip;

$$\frac{1}{R_{e\varphi}} = \frac{1}{R_{1e\varphi}} + \frac{1}{R_{2e\varphi}} + \frac{1}{R_{3e\varphi}} + \frac{1}{R_{4e\varphi}} \quad (5.10)$$

şeklinde yazılır. Bu ifade, Şekil 5.3' deki elemanter hücrenin elektrik benzeşim devre şemasındaki dirençlerinin paralel bağlı ifadesidir. Elemanter hücrenin elektrik benzeşim devre şeması Şekil 5.4' deki gibidir.



Şekil 5.4. Elemanter hücre bileşenlerinin elektriksel benzeşim devresi

Tablo 5.1. Elemanter hücreye ait bileşenlerin ısı dirençlerinin matematiksel ifadeleri

1	$R_{1\zeta} = \frac{L_{\zeta}}{k_{\zeta}(L_{\zeta}^2 - L_t^2)}$	$R_{2\zeta} = \frac{(L_{\zeta} - L_t)}{2k_{\zeta}(L_t^2 - L_k^2)}$	$R_{3\zeta} = \frac{(L_{\zeta} - L_t)}{2k_{\zeta}(L_k^2 - L_g^2)}$	$R_{4\zeta} = \frac{(L_{\zeta} - L_t)}{2k_{\zeta}L_g^2}$
2		$R_{2t} = \frac{L_t}{k_t(L_t^2 - L_k^2)}$	$R_{3t} = \frac{(L_t - L_k)}{2k_t(L_k^2 - L_g^2)}$	$R_{4t} = \frac{(L_t - L_k)}{2k_tL_g^2}$
3			$R_{3k} = \frac{L_k}{k_k(L_k^2 - L_g^2)}$	$R_{4k} = \frac{(L_k - L_t)}{2k_kL_g^2}$
4				$R_{4g} = \frac{L_g}{k_gL_g^2}$

Tablo 5.1’ deki 1 numaralı satır, çimento bileşeninin ısı direncini, 2 numaralı satır kiret bileşeninin ısı direncini, 3 numaralı satır genişletilmiş kilin ısı direncini ve 4 numaralı satırda gözenek içi gazın ısı direncini vermektedir.

Elektriksel benzeşim şemasındaki bileşenlerin, Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 ısı geçişi için eşdeğer dirençleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$R_{1eş} = R_{1\zeta}$$

$$R_{2eş} = 2R_{2\zeta} + R_{2t}$$

$$R_{3eş} = 2R_{3\zeta} + 2R_{3t} + R_{3k}$$

$$R_{4eş} = 2R_{4\zeta} + 2R_{4t} + 3R_{4k} + R_{4g}$$

Bu ifadeler 5.10 denkleminde yerine konursa;

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{\frac{L_{\zeta}}{k_{\zeta}(L_{\zeta}^2 - L_t^2)}} + \frac{1}{\frac{(L_{\zeta} - L_t)}{k_{\zeta}(L_t^2 - L_k^2)} + \frac{L_t}{k_t(L_t^2 - L_k^2)}} + \frac{1}{\frac{(L_{\zeta} - L_t)}{k_{\zeta}(L_k^2 - L_g^2)} + \frac{(L_t - L_k)}{k_t(L_k^2 - L_g^2)} + \frac{L_k}{k_k(L_k^2 - L_g^2)}} + \frac{1}{\frac{(L_{\zeta} - L_t)}{k_{\zeta}L_g^2}}$$

$$\frac{1}{\frac{(L_\zeta - L_t)}{k_\zeta L_g^2} + \frac{(L_t - L_k)}{k_t L_g^2} + \frac{(L_k - L_t)}{k_k L_g^2} + \frac{L_g}{k_g L_g^2}} \quad (5.11)$$

$$\frac{1}{R_{e\zeta}} = \frac{k_\zeta (L_\zeta^2 - L_t^2)}{L_\zeta} + \frac{k_\zeta k_t (L_t^2 - L_k^2)}{k_t (L_\zeta - L_t) + k_\zeta L_t} + \frac{k_\zeta k_t k_k (L_k^2 - L_g^2)}{k_t k_k (L_\zeta - L_t) + k_\zeta k_k (L_t - L_k) + k_\zeta k_t L_k} + \frac{k_\zeta k_t k_k L_g^2}{k_t k_k L_g (L_\zeta - L_t) + k_\zeta k_k L_g (L_t - L_k) + k_\zeta k_t L_g (L_k - L_t) + k_\zeta k_t k_k L_g} \quad (5.12)$$

ifadesi elde edilir. Diğer taraftan (5.7) denklemindeki $R_{e\zeta}$ ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$R_{e\zeta} = \frac{L_\zeta}{k_{etk} A} = \frac{L_\zeta}{k_{etk} L_\zeta^2} = \frac{1}{k_{etk} L_\zeta} \quad (5.13)$$

Yukarıdaki ifadede k_{etk} eşitliğin diğer tarafına yazılıp, $R_{e\zeta}$ yerinede (5.12) ifadesi yazılırsa;

$$k_{etk} = \frac{1}{R_{e\zeta} L_\zeta} \quad (5.14)$$

$$k_{etk} = \frac{k_\zeta (L_\zeta^2 - L_t^2)}{L_\zeta^2} + \frac{k_\zeta k_t (L_t^2 - L_k^2)}{k_t L_\zeta (L_\zeta - L_t) + k_\zeta L_\zeta L_t} + \frac{k_\zeta k_t k_k (L_k^2 - L_g^2)}{k_t k_k L_\zeta (L_\zeta - L_t) + k_\zeta k_k L_\zeta (L_t - L_k) + k_\zeta k_t L_\zeta L_k} + \frac{k_\zeta k_t k_k L_g^2}{k_t k_k L_g L_\zeta (L_\zeta - L_t) + k_\zeta k_k L_g L_\zeta (L_t - L_k) + k_\zeta k_t L_g L_\zeta (L_k - L_t) + k_\zeta k_t k_k L_g L_g} \quad (5.15)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemdaki boyut ifadeleri dönüştürülüp aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
k_{etk} = & \frac{k_{\zeta}[1-(L_t^2/L_{\zeta}^2)]L_{\zeta}^2}{L_{\zeta}^2} + \frac{k_{\zeta}k_t[(L_t^2/L_{\zeta}^2)-(L_k^2/L_{\zeta}^2)]L_{\zeta}^2}{k_tL_{\zeta}^2(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}L_{\zeta}^2(\frac{L_t}{L_{\zeta}})} + \\
& \frac{k_{\zeta}k_tk_k[(L_k^2/L_{\zeta}^2)-(L_g^2/L_{\zeta}^2)]L_{\zeta}^2}{k_tk_kL_{\zeta}^2(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_kL_{\zeta}^2(\frac{L_t}{L_{\zeta}}-\frac{L_k}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_tL_{\zeta}^2(\frac{L_k}{L_{\zeta}})} + \\
& \frac{k_{\zeta}k_tk_kk_g(L_g^2/L_{\zeta}^2)L_{\zeta}^2}{k_tk_kk_gL_{\zeta}^2(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_kk_gL_{\zeta}^2(\frac{L_t}{L_{\zeta}}-\frac{L_k}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_tk_gL_{\zeta}^2(\frac{L_k}{L_{\zeta}}-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_tk_kL_{\zeta}^2(\frac{L_g}{L_{\zeta}})}
\end{aligned}$$

Bu ifadede gerekli sadeleştirmeler yapılarak;

$$\begin{aligned}
k_{etk} = & k_{\zeta}[1-(L_t^2/L_{\zeta}^2)] + \frac{k_{\zeta}k_t[(L_t^2/L_{\zeta}^2)-(L_k^2/L_{\zeta}^2)]}{k_t(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}(\frac{L_t}{L_{\zeta}})} + \\
& \frac{k_{\zeta}k_tk_k[(L_k^2/L_{\zeta}^2)-(L_g^2/L_{\zeta}^2)]}{k_tk_k(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_k(\frac{L_t}{L_{\zeta}}-\frac{L_k}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_t(\frac{L_k}{L_{\zeta}})} + \\
& \frac{k_{\zeta}k_tk_kk_g(L_g^2/L_{\zeta}^2)}{k_tk_kk_g(1-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_kk_g(\frac{L_t}{L_{\zeta}}-\frac{L_k}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_tk_g(\frac{L_k}{L_{\zeta}}-\frac{L_t}{L_{\zeta}})+k_{\zeta}k_tk_k(\frac{L_g}{L_{\zeta}})} \quad (5.16)
\end{aligned}$$

denklemleri elde edilir. Boyutlara bağlı olarak, porozite, kitle hacim oranı ve genişletilmiş kil oranı ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$\phi = L_t^3 / L_{\zeta}^3$ gözenek hacmi/toplam hacim,

$\zeta = L_k^3 / L_{\zeta}^3$ genişletilmiş kil hacmi/toplam hacim,

$\mu = L_t^3 / L_{\zeta}^3$ kitle hacmi/toplam hacimdir. Bu dönüşümler 5.16 ifadesinde yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned}
k_{etk} = & k_{\varphi} (1 - \mu^{\frac{2}{3}}) + \frac{k_{\varphi} k_t (\mu^{\frac{2}{3}} - \zeta^{\frac{2}{3}})}{k_t (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} (\mu^{\frac{1}{3}})} + \\
& \frac{k_{\varphi} k_t k_k [(\zeta^{\frac{2}{3}}) - (\phi^{\frac{2}{3}})]}{k_t k_k (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} k_k (\mu^{\frac{1}{3}} - \zeta^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} k_t (\zeta^{\frac{1}{3}})} + \\
& \frac{k_{\varphi} k_t k_k k_g (\phi^{\frac{2}{3}})}{k_t k_k k_g (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} k_k k_g (\mu^{\frac{1}{3}} - \zeta^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} k_t k_g (\zeta^{\frac{1}{3}} - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\varphi} k_t k_k (\phi^{\frac{1}{3}})} \quad (5.17)
\end{aligned}$$

denklemini elde edilir. Bu denklem ile porozite, kitre hacmi, genişletilmiş kil hacmi ve bu bileşenlere ait ısı iletim katsayılarına bağlı olarak, oluşturulan malzemenin ekten ısı iletim katsayısı bulunabilir.

5.3 Porozitenin Bulunması

Malzeme içerisindeki gözeneklerde bulunan durgun haldeki gazlar ısı iletimine karşı direnç gösterirler. Bu yüzden yapısında fazla miktarda gözenek bulunduran malzemeler iyi bir yalıtım malzemesi olabilirler. Bir maddenin porozitesi yapısındaki gözenekli hacmin, toplam hacme oranı olarak tanımlanır [56].

$$\phi = \frac{\text{gözenekli hacim}}{\text{toplam hacim}} = \frac{V_g}{V_g + V_s} = \frac{V_g}{V} \quad (5.18)$$

Burada, V_g gözenek hacmi, V_s katı kısmının hacmi ve V toplam hacimdir. Toplam hacim;

$$V_g + V_s = V \quad (5.19)$$

şeklinde yazılabilir. 5.19 ifadesinin iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$\frac{V_s}{V} + \frac{V_g}{V} = 1 \quad (5.20)$$

ifadesi bulunur. Bu ifadede, V_s/V eşitliğin bir tarafına alınıp, V_g/V yerinede ϕ yazılırsa;

$$V_s/V = 1 - \phi \quad (5.21)$$

ifadesi elde edilir. Numunenin kütlesi $W = \rho V = \rho_s V_s$ ifadesinden;

$$\frac{\rho}{\rho_s} = \frac{V_s}{V}$$

elde edilir. (5.21) denkleminde V_s/V yerine, ρ/ρ_s yazılarak, ϕ yalnız bırakılırsa;

$$\phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \quad (5.22)$$

denklemini elde edilir. Diğer taraftan $\rho_s V_s$ ifadesi yerine

$$\rho V = \rho_k V_k + \rho_b V_b \quad (5.23)$$

yazılıp, ρ çekilirse ifade;

$$\rho = (\rho_k V_k + \rho_b V_b) / V$$

şeklini alır. Bu denklemdeki $\rho_b = \rho_\phi + \rho_t$ olarak tanımlanmıştır. Numunenin toplam hacmi, kil ve bağlayıcı hacimlerinin toplamına eşit olup şu şekilde ifade edilebilir;

$V = V_k + V_b$ yeniden düzenlenirse;

$$V_k = V - V_b \quad (5.24)$$

şeklinde yazılır. Numunenin katı kısmının hacmi, bağlayıcı ve kil matrisi hacmi toplamına eşit olup aşağıdaki şekilde yazılır;

$V_s = V_{kilmatrixi} + V_b$ yeniden düzenlenirse;

$$V_b = V_s - V_{kilmatrixi} \quad (5.25)$$

şeklini alır. (5.25) denklemi (5.24) denkleminde yerine yazılırsa;

$$V_k = V - (V_s - V_{kilmatrixi}) \quad (5.26)$$

denklemi bulunur.

Gözenekli numunelerin yoğunluğunu bulmak için, (5.23) numaralı denklemde, V_k yerine (5.26) numaralı denklem, V_b yerinede (5.25) numaralı denklem yazılırsa;

$$\rho = \rho_k (V - V_s + V_{kilmatrixi})/V + \rho_b (V_s - V_{kilmatrixi})/V$$

şeklini alır. Ara işlemler yapılarak;

$$\rho = \rho_k + [(\rho_b - \rho_k)(1 - \frac{V_{kilmatrixi}}{V})](\frac{V_s}{V})$$

şekline getirilir. Burada $\zeta = \frac{V_{kilmatrixi}}{V}$ ve $(1 - \phi) = \frac{V_s}{V}$ ifadeleri yerlerine yazılırsa;

$$\rho = \rho_k + [(\rho_b - \rho_k)(1 - \phi)](1 - \zeta) \quad (5.27)$$

denklemi bulunur. Denklem 5.24' deki $\phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_s}$ ifadesinde, (5.29) numaralı denklem yazılırsa;

$$\phi = \frac{\rho_s - [\rho_k + (\rho_b - \rho_k)(1 - \phi)(1 - \zeta)]}{\rho_s}$$

$$\phi = \frac{\rho_s - \rho_k - (\rho_b - \rho_k)(1 - \zeta)}{\rho_s - (\rho_b - \rho_k)(1 - \zeta)} \quad (5.28)$$

şeklinde porozite ifadesi bulunur.

Porozitenin bulunması için gerekli yoğunluklar, deneysel yöntemler ve literatürden elde edilen bilgilerle Tablo 5.2’ de verilmiştir.

Tablo 5.2. Modeldeki bileşenlerin yoğunlukları

	ρ_{ϕ}	$\rho_{\text{kilmatrisi}}$	ρ_t	ρ_k		
				0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
Yoğunluk (g/cm ³)	3.1	2.5	1.03	0.74	0.55	0.44

5.4. Modelde Kullanılan Isı İletim Katsayılarının Bulunması

Kil matrisinin ısı iletim katsayısının tespiti için, sıfır poroziteli hale getirilmiş kil, suyla karıştırılarak kalıplara konmuş ve basınç altında sıkıştırılmıştır. Bu sayede yapısında boşlukların kalmaması sağlanmıştır. 28 gün oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve ısıl iletkenliği ölçülmüştür. Bağlayıcıların ısıl iletkenliği de aynı şekilde çimento ve kitre karışımları hazırlanarak yapılmış ve daha sonra ölçülmüştür.

Numune içerisinde bulunan gözeneklerde, genişletilmiş kilin oluşumu sırasında açığa çıkan ve kilin genişlemesine sebep olan gazlar bulunmaktadır. Kilin kimyasal yapısından dolayı, ani sıcaklığa maruz kalan genişletilmiş kilin gözeneklerinde O₂, CO₂ ve N₂ gazı bulunmaktadır. Bu gazlara ait 300 K’ deki ısı iletim katsayısı ve yoğunluk değerleri Tablo 5.3’ de verilmiştir.

Tablo 5.3. 300 K sıcaklıktaki bazı gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları [71].

Gaz	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
CO	1.138	0.0252
H ₂	0.081	0.1820
O ₂	1.300	0.0267
N ₂	1.142	0.0262
CO ₂	1.797	0.0165
Hava	1.177	0.0264

Gözenek içerisinde bulunan üç farklı gazın ısı iletim katsayılarının aritmetik ortalamaları alınarak, gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı şu şekilde bulunmuştur.

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

Modelde kullanılan ısı iletim katsayıları Tablo 5.4' de verilmiştir. Bu değerlerden k_k ve k_t ölçüm sonucunda, $k_ç$ ve k_g literatürden alınmıştır.

Tablo 5.4. Modeldeki bileşenlerin ısı iletim katsayıları

	$k_ç$	k_k	k_t	k_g
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.497	1.22	0.155	0.0231

5.5. Numunelerin Hacim Ağırlık Oranı İlişkisi

Toplam hacimdeki kitle ve kil miktarını bulmak için, aşağıdaki ağırlık ifadelerini kullanarak, toplam numune ağırlığı için;

$W = \rho V$ g, kitle ağırlığı için;

$W_t = \rho_t V_t$ g ve kil ağırlığı için

$W_k = \rho_k V_k$ g

denklemleri yazılabilir. Kil ve kitle ağırlık ifadeleri toplam ağırlık ifadesiyle taraf tarafa bölünürse;

$$\frac{W_t}{W} = \frac{\rho_t}{\rho} \frac{V_t}{V} \quad (5.29)$$

$$\frac{W_k}{W} = \frac{\rho_k}{\rho} \frac{V_k}{V} \quad (5.30)$$

ifadeleri elde edilir. (5.29) eşitliğinde $\frac{V_t}{V}$ yerine μ yazıp eşitliğin bir tarafında yalnız bırakırsak;

$$\mu = \frac{W_t}{W} \frac{\rho}{\rho_t} \quad (5.31)$$

ifadesiyle toplam hacimdeki kitre miktarı bulunmuş olur. Aynı şekilde (5.30) eşitliği için $\frac{V_k}{V}$ yerine ζ yazarsak;

$$\zeta = \frac{W_k}{W} \frac{\rho}{\rho_k} \quad (5.32)$$

denklemleriyle toplam hacimdeki kil miktarını veren ifade bulunmuş olur.

5.6. Bir Numunenin Isı İletim Katsayısının Modelden Bulunması

Teorik çözüm için 123 numaralı numune alınmıştır. Bu numunede, genişletilmiş kil 0-2 mm tane çapında ve ağırlıkça %20 oranındadır. Yapısında ağırlıkça %1.5 oranında kitre bulunmaktadır.

Numunenin önce μ , ζ ve ϕ değerleri bulunmuştur. Toplam hacimdeki kil miktarı olan ζ 5.32 numaralı denklemle, numuneye katılan bileşenlerin ağırlık ve yoğunluklarının bilinmesiyle;

$$\zeta = \frac{V_k}{V} = \frac{W_k}{W} \frac{\rho}{\rho_k}, \text{ den } \zeta = 0.537 \text{ olarak tespit edilmiştir.}$$

Toplam hacimdeki kitre miktarı olan μ (5.31) numaralı denklemle, kitre ağırlığı ve yoğunluğundan;

$$\mu = \frac{V_t}{V} = \frac{W_t}{W} \frac{\rho}{\rho_t}, \text{ den } \mu = 0.026 \text{ olarak tespit edilir.}$$

Porozite ifadesini veren 5.28 denkleminde, değerler yerine yazılırsa,

$$\phi = \frac{\rho_s - \rho_k - (\rho_b - \rho_k)(1 - \zeta)}{\rho_s - (\rho_b - \rho_k)(1 - \zeta)}$$

$$\phi = \frac{2.866 - 0.74 - (2.987 - 0.74)(1 - 0.537)}{2.866 - (2.987 - 0.74)(1 - 0.537)}$$

$$\phi = 0.595$$

olarak bulunur. Hesaplanan bu değerlerle birlikte Tablo 5.4' de verilen değerler, geliştirilen matematiksel ifadede yerine yazılırsa;

$$k_{etk} = k_{\zeta} \left(1 - \mu^{\frac{2}{3}}\right) + \frac{k_{\zeta} k_t (\mu^{\frac{2}{3}} - \zeta^{\frac{2}{3}})}{k_t (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} (\mu^{\frac{1}{3}})} +$$

$$\frac{k_{\zeta} k_t k_k [(\zeta^{\frac{2}{3}}) - (\phi^{\frac{2}{3}})]}{k_t k_k (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} k_k (\mu^{\frac{1}{3}} - \zeta^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} k_t (\zeta^{\frac{1}{3}})} +$$

$$\frac{k_{\zeta} k_t k_k k_g (\phi^{\frac{2}{3}})}{k_t k_k k_g (1 - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} k_k k_g (\mu^{\frac{1}{3}} - \zeta^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} k_t k_g (\zeta^{\frac{1}{3}} - \mu^{\frac{1}{3}}) + k_{\zeta} k_t k_k (\phi^{\frac{1}{3}})}$$

$$k_t k_k = 0.155 \cdot 0.122 = 0.0189$$

$$k_{\zeta} k_k = 0.497 \cdot 0.122 = 0.0606$$

$$k_{\zeta} k_t = 0.497 \cdot 0.155 = 0.077$$

$$k_t k_k k_g = 0.155 \cdot 0.122 \cdot 0.0231 = 0.436 \cdot 10^{-3}$$

$$k_{\zeta} k_k k_g = 0.497 \cdot 0.122 \cdot 0.0231 = 1.40 \cdot 10^{-3}$$

$$k_{\zeta} k_t k_g = 0.497 \cdot 0.155 \cdot 0.0231 = 1.77 \cdot 10^{-3}$$

$$k_{\zeta} k_t k_k = 0.497 \cdot 0.155 \cdot 0.122 = 9.39 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}
k_{etk} = & 0.497(1 - 0.026^{\frac{2}{3}}) + \frac{0.077(0.026^{\frac{2}{3}} - 0.537^{\frac{2}{3}})}{0.155(1 - 0.026^{\frac{1}{3}}) + 0.497(0.026^{\frac{1}{3}})} + \\
& \frac{9.3910^{-3}[(0.537^{\frac{2}{3}}) - (0.595^{\frac{2}{3}})]}{0.0189(1 - 0.026^{\frac{1}{3}}) + 0.0606(0.026^{\frac{1}{3}} - 0.537^{\frac{1}{3}}) + 0.077(0.537^{\frac{1}{3}})} + \\
& \frac{0.497(0.155)0.122(0.0231)(0.595^{\frac{2}{3}})}{0.43910^{-3}(0.704) + 1.4010^{-3}(-0.516) + 1.7710^{-3}(0.516) + 9.3910^{-3}(0.841)}
\end{aligned}$$

$k_{etk} = 0.282$ W/mK olarak bulunur.

Etken ısı iletkenliği hesaplanan numunenin, deneysel ısı iletim katsayısı 0.257 W/mK olup, hesaplanan değerle yaklaşık % 9 luk bir sapma olduğu görölmüştür. Diğer numuneler içinde bezer şekilde hesaplamalar bilgisayar yardımıyla yapılarak sonuçlar Tablo 5.5' de verilmiştir. Teorik sonuçların deneysel sonuçlara yakın olduğu görölmüştür.

Tablo 5.5. Numunelere ait özellikler

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite	Deneysel k (W/mK)	Teorik k (W/mK)	Sapma (%)
Kitre katkısız numuneler					
120	1.81	0.595	0.459	0.425	8.0
140	1.28	0.668	0.431	0.389	10.7
160	0.989	0.692	0.415	0.401	3.4
180	0.806	0.700	0.395	0.383	3.3
220	1.61	0.704	0.433	0.448	3.4
240	1.086	0.757	0.409	0.422	3.0
260	0.820	0.773	0.366	0.387	5.5
280	0.658	0.779	0.291	0.331	12.1
320	1.403	0.772	0.418	0.397	5.4
340	0.907	0.809	0.368	0.339	8.6
360	0.670	0.820	0.332	0.321	3.4
380	0.531	0.824	0.222	0.246	9.6
%0.5 Kitre katkılı numuneler					
121	1.800	0.595	0.362	0.329	10.1
141	1.282	0.668	0.317	0.287	10.5
161	0.990	0.692	0.265	0.245	8.2
181	0.807	0.701	0.246	0.225	9.1
221	1.600	0.704	0.329	0.289	14.0
241	1.088	0.758	0.293	0.255	14.8
261	0.821	0.774	0.257	0.228	12.9
281	0.659	0.780	0.220	0.191	15.2
321	1.397	0.773	0.320	0.272	17.5
341	0.908	0.810	0.278	0.243	14.2
361	0.671	0.821	0.226	0.205	10.4
381	0.532	0.824	0.189	0.168	12.2

Tablo 5.5. Numunelere ait özellikler (devamı)

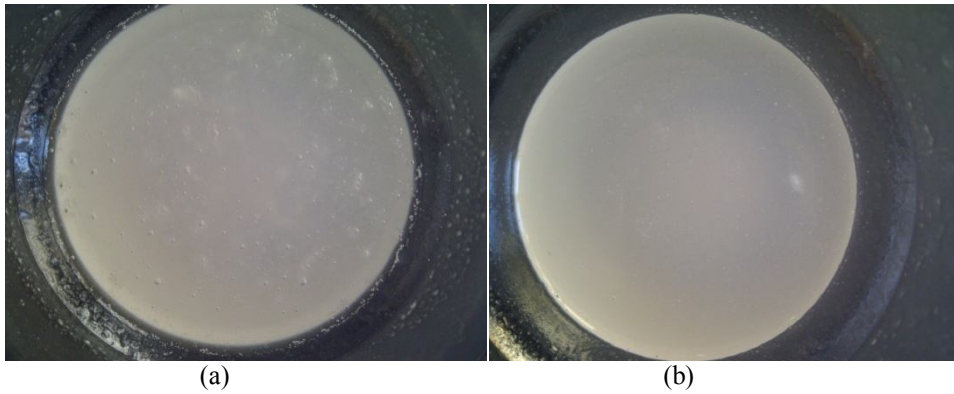
Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite	Deneysel k (W/mK)	Teorik k (W/mK)	Sapma (%)
%1 Kitre katkılı numuneler					
122	1.82	0.596	0.321	0.273	17.7
142	1.28	0.667	0.279	0.237	17.9
162	0.992	0.691	0.256	0.216	18.3
182	0.808	0.699	0.195	0.209	6.8
222	1.62	0.705	0.310	0.267	15.9
242	1.09	0.756	0.268	0.237	12.9
262	0.822	0.774	0.238	0.209	13.8
282	0.660	0.778	0.184	0.190	3.2
322	1.41	0.773	0.302	0.265	13.8
342	0.910	0.809	0.263	0.228	15.2
362	0.671	0.820	0.215	0.188	14.6
382	0.532	0.823	0.141	0.176	20.0
%1.5 Kitre katkılı numuneler					
123	1.827	0.595	0.257	0.282	8.8
143	1.287	0.666	0.237	0.250	5.2
163	0.993	0.689	0.224	0.232	3.5
183	0.809	0.697	0.154	0.175	12.2
223	1.621	0.704	0.249	0.259	4.0
243	1.092	0.755	0.207	0.230	10.0
263	0.823	0.771	0.188	0.213	11.7
283	0.660	0.776	0.142	0.173	17.8
323	1.413	0.772	0.237	0.243	2.5
343	0.911	0.808	0.183	0.215	14.9
363	0.672	0.819	0.162	0.199	18.6
383	0.533	0.822	0.133	0.151	11.7

6. DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER

Deneysel çalışma için hazırlanan numunelerin ısı iletim katsayısı, hacimsel özgül ısıları, su emme ve kuruma hızı, mekanik dayanımı ve ultrases geçiş özellikleri incelenmiştir.

6.1. Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Ön Hazırlık

Çalışmada kullanılan genleştirilmiş killer Avusturya Liapor firmasından temin edilmiştir. Genleştirilmiş killer, 0-2, 2-4 ve 4-8 mm tane çaplarındadır. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento Limak Ergani Çimento fabrikası ürünü olup CEM IV/B (P) 32.5 R tipi pozolanik çimentodur. Geven bitkisinden elde edilen yaprak kitre malzemesi piyasadan 250 g' lık poşetlerde alınmıştır. Yaprak kitre, daha iyi ve hızlı bir erime için, elektrik motorlu bir öğütücü ile toz hale getirilmiştir. Yapılan ön çalışmalarda yaklaşık 5 litre su içinde 80 ila 100 gr kitrenin tam olarak eriyebildiği tespit edilmiştir. Hassas teraziyle tartılan 80 gr toz kitre, 8 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. Karışım için gerekli su Dicle Üniversitesi yerleşke şebekesinden alınmıştır.



Şekil 6.1. Suda eritilmiş kitre a) süzölmemiş b) süzölmüş

Hazırlanan karışımları deneylerde kullanabilmek için uygun ölçülerde kalıplar yaptırılmıştır. Isıl iletkenlik kat sayısı ve hacimsel özgül ısının ölçülmesi için 150x60x20 mm ebatlarında ve mekanik özelliklerin tespiti içinde, 100x100x100 mm ebatlarında, 0.50 mm kalınlığındaki galvaniz sacdan, 20 adet kalıp yaptırılmıştır. Metal kalıpların, malzemeye dolduruldukları zaman şeklinin bozulmaması için tahtadan çerçeveler yapılmış ve kalıpların etrafına konulmuştur.

6.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Numuneler Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında hazırlanmıştır. 0-2, 2-4, 4-8 mm çaplarında, üç grupta toplanan genleştirilmiş kil agregaları, çimento ile ağırlıkça %20, %40, %60, %80 oranında karıştırılmıştır. Karışımlara diğer değişken parametre olarak %0.5, %1 ve %1.5 oranında kitre eklenmiştir. Genleştirilmiş kil çimento karışımına kitre, suda çözülmüş haliyle eklenmiştir.

Çalışmalara başlamadan önce numuneler kodlanmıştır. Kodlamada 3 basamaklı rakam sistemi kullanılmıştır. Kodun ilk rakamı tane çapını, ikinci rakamı genleştirilmiş kil yüzdesini ve üçüncü rakamda kitre yüzdesini göstermektedir.

Kodlamanın ilk hanesine, genleştirilmiş kil tane çapı 0-2 mm için 1, 2-4 mm için 2, 4-8 mm için 3 yazılmıştır. Kodlamanın ikinci hanesine, karışım içindeki genleştirilmiş kil yüzdesi; %20 için 2, %40 için 4, %60 için 6 ve %80 için 8 yazılmıştır. Son haneye karışımdaki kitre yüzdesi; %0.5 için 1, %1 için 2, %1.5 için 3 ve kitre katılmayan numuneler içinde 0 yazılmıştır. Kodlamalar Ek 2' de topluca verilmiştir.

Her seriden numune hazırlamak için karışım oluşturulurken, önce gerekli miktarda genleştirilmiş kil hassas teraziyle ölçek kabında tartılarak, karışım kovaasına konulmuştur. Aynı işlem çimento içinde yapılarak o seri için gerekli miktarda çimento kaba eklenmiştir. İki malzeme mala yardımıyla karıştırılmıştır. Son olarak karışıma hesaplanan miktarda kitre su karışımı eklenmiştir. Karışımlara, toplam karışım ağırlığının 2/3 kadar su eklemesi yapılmıştır. Hesaplanan su miktarından, kitre su karışımının ağırlığı düşölerek ekleme yapılmıştır.

Karışımlar yaklaşık 3 dakika karıştırılmış ve metal kalıplara dökölmuştür. Metal kalıplar, numunenin kalıptan kolay ayrılması için ince bir film tabaksıyla örtölün cam yüzey üzerine konulmuştur. Numuneler 24 saat kalıpta bekledikten sonra çıkarılmıştır.

Temizlenip, yıkanan kalıplar tekrar kullanılmıştır. Şekil 6.2’ de kalıplanmış halde görülen numuneler, oda sıcaklığında 28 gün bekletilerek, ölçümler için hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 6.2. Kalıp içindeki numuneler

6.3. Isıl İletkenlik Deneyi

Isıl iletkenliğin 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 [58].

Geçici durumda ölçüm yöntemlerinden bazıları, Angstrom yöntemi, Flash yöntemi ve sıcak tel yöntemidir. Sıcak tel yöntemi, bir boyutlu radyal ısı akışı modeline dayanmaktadır [58].

Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının kolay olarak ölçülebilmesi, numunenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletkenlik katsayılarını ölçmesi, ısı iletkenlik katsayısı ölçülen malzemenin yapısının heterojen olması, ısı iletkenliğinin kısa sürede hassas olarak saptanabilmesi gibi nedenlerden dolayı, çalışmadaki numunelerin ısı iletim katsayısının tespitinde sıcak tel metoduyla çalışan ölçüm cihazı kullanılmıştır. Isı iletim katsayılarına ait deneysel sonuçlar Tablo 6.1’ de verilmiştir.

6.3.1. Isıl İletkenlik Ölçme Cihazı ve Çalışma Yöntemi

Hazırlanan numuneler, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği ısı laboratuvarında bulunan Shoterm-QTM cihazıyla ölçülmüştür. Bu cihaz, DIN 51046 normuna göre sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapmaktadır. Ölçüm cihazı, Şekil 6.3’ de görüldüğü gibi bir ana ünite ve ona harici olarak bağlanan bir probtan oluşmaktadır. Cihaz, 0.02 – 10 W/mK aralığında, %5 hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. Cihazın bu çalışma aralığı, ölçülecek numunelerin ölçüm aralığına uygundur.



Şekil 6.3. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı

Bu yöntemde, krom-nikel alaşımlı ısıtıcı telden elektrik akımı geçirilerek telin ısınması sağlanır. Isı her yönde radyal şekilde dağılır. Tele belli bir mesafede bulunan ısı çift, sıcaklık artışını belli bir zaman aralığı için ölçüp kayıt eder. Prob içinde bulunan bu düzeneğe, ısı iletkenliği bilinen çok iyi yalıtılmış bir malzemenin üzerinde bulunur.

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

Her numunede, farklı yerlerden en az üç defa ölçüm alınmış, alınan ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamaları çalışmada kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 6.1’ de verilmiştir.

6.4. Hacimsel Özgöl Isı Deneyi

Numunelerin hacimsel özgöl ısı tespiti, Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğal Taşlar laboratuvarında 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 problemlere sahiptir. Problemler ölçüm aralıklarına göre değiştirilebilmektedir. Isı iletim katsayısını 0.04-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle, hacimsel özgöl ısıyı 4.0×10^{-4} - 4.0×10^6 J/m³K aralığında %15 hassasiyetle ölçebilmektedir [72].

Ölçüm sonucunda, cihaz ekranında ısı iletim katsayısı, hacimsel özgöl ısı, ısı yayılım ve sıcaklıkları aynı anda göstermektedir. Deneyler her numune için en az üç defa, numunenin farklı yerlerinde yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması çalışmada kullanılmıştır. Ölçüm cihazı Şekil 6.4’ de görülmektedir. Numunelere ait hacimsel özgöl ısı ve ısı iletim katsayıları deney sonuçları Tablo 6.1’ de verilmiştir.



Şekil 6.4. Isıl iletkenlik ve hacimsel özgöl ısı ölçüm cihazı

Tablo 6.1. Numunelerin deneysel hacimsel özgül ısıları ve ısı iletim katsayıları

Numune Kodu	k (W/mK)	c _p (J/m ³ K)	Numune Kodu	k (W/mK)	c _p (J/m ³ K)	Numune Kodu	k (W/mK)	c _p (J/m ³ K)
Kitre katkısız numuneler								
120	0.459	1.57.10 ⁶	220	0.433	1.57.10 ⁶	320	0.418	1.58.10 ⁶
140	0.431	1.53.10 ⁶	240	0.409	1.56.10 ⁶	340	0.368	1.56.10 ⁶
160	0.415	1.50.10 ⁶	260	0.366	1.49.10 ⁶	360	0.332	1.48.10 ⁶
180	0.395	1.43.10 ⁶	280	0.291	1.46.10 ⁶	380	0.222	1.20.10 ⁶
%0.5 Kitre katkılı numuneler								
121	0.362	1.48.10 ⁶	221	0.329	1.51.10 ⁶	321	0.320	1.47.10 ⁶
141	0.317	1.42.10 ⁶	241	0.293	1.49.10 ⁶	341	0.278	1.46.10 ⁶
161	0.265	1.28.10 ⁶	261	0.257	1.12.10 ⁶	361	0.226	1.03.10 ⁶
181	0.246	1.18.10 ⁶	281	0.220	0.86.10 ⁶	381	0.189	0.64.10 ⁶
41**	0.359	1.53.10 ⁶						
%1 Kitre katkılı numuneler								
122	0.321	1.46.10 ⁶	222	0.310	1.47.10 ⁶	322	0.302	1.42.10 ⁶
142	0.279	1.32.10 ⁶	242	0.268	1.33.10 ⁶	342	0.263	1.39.10 ⁶
162	0.256	1.08.10 ⁶	262	0.238	1.07.10 ⁶	362	0.215	1.00.10 ⁶
182	0.195	0.98.10 ⁶	282	0.184	0.78.10 ⁶	382	0.141	0.65.10 ⁶
42**	0.324	1.43.10 ⁶						
%1.5 Kitre katkılı numuneler								
123	0.257	1.40.10 ⁶	223	0.249	1.25.10 ⁶	323	0.237	1.25.10 ⁶
143	0.237	1.07.10 ⁶	243	0.207	1.14.10 ⁶	343	0.183	1.02.10 ⁶
163	0.224	0.98.10 ⁶	263	0.188	0.86.10 ⁶	363	0.162	0.83.10 ⁶
183	0.154	0.84.10 ⁶	283	0.142	0.64.10 ⁶	383	0.133	0.49.10 ⁶
43**	0.289	1.62.10 ⁶						

** GKA katkısız beton numuneler

6.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyleri Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Ele International marka cihaz, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksenli kuvvet uygulayabilen özelliktedir. Şekil 6.5’ de deney cihazının test ve kontrol üniteleri görülmektedir.



Şekil 6.5. Basınç dayanımı test cihazı

Deneye tabi tutulacak numunenin, kuvvete maruz kalan birbirine paralel yüzeylerinin pürüzsüz ve düz olması gerekmektedir. Cihazın alt çenesi sabit, üst çenesi basma kuvvetini gerçekleştiren hareketli yapıdadır. Cihaz çalıştırıldıktan sonra, üst çene yavaşça numuneye doğru hareket eder ve artan miktarda numuneye kuvvet uygulanır. Numunenin kırıldığı anda basma 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.

Basınç dayanımı sonuçları, TS 500’ e göre aşağıdaki 6.1 bağıntısıyla çekme dayanımına dönüştürülmüştür [48].

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (6.1)$$

burada;

f_{ck} basınç dayanımı (MPa)

f_{ctk} çekme dayanımı (MPa)'dır.

Basınç dayanımı sonuçları Tablo 6.2' de ve çekme dayanımı sonuçları Tablo 6.3' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Basınç dayanımı (MPa)	Numune Kodu	Basınç dayanımı (MPa)	Numune Kodu	Basınç dayanımı (MPa)
Kitre katkısız numuneler					
120	22.35	220	13.87	320	9.88
140	19.48	240	12.0	340	7.72
160	12.52	260	9.17	360	6.16
180	6.03	280	5.61	380	1.97
%0.5 Kitre katkılı numuneler					
121	7.98	221	5.62	321	5.03
141	4.50	241	4.26	341	3.68
161	2.88	261	2.61	361	2.78
181	2.26	281	1.13*	381	0.47*
41**	8.82				
%1 Kitre katkılı numuneler					
122	6.12	222	5.51	322	5.46
142	3.67	242	3.09	342	3.97
162	1.09*	262	1.29	362	1.48
182	0.75*	282	0*	382	0*
42**	3.12				
%1.5 Kitre katkılı numuneler					
123	1.02*	223	0.87*	323	0,74*
143	0.91*	243	0.54*	343	0*
163	0.39*	263	0*	363	0*
183	0*	283	0*	383	0*
43**	2.69				

* Numuneler kırılmadı

** GKA katkısız beton numuneler

Tablo 6.3. Çekme dayanımı sonuçları

Numune Kodu	Çekme dayanımı (Mpa)	Numune Kodu	Çekme dayanımı (Mpa)	Numune Kodu	Çekme dayanımı (Mpa)
Kitre katkısız numuneler					
120	1.65	220	1.30	320	1.10
140	1.54	240	1.21	340	0.97
160	1.24	260	1.06	360	0.87
180	0.86	280	0.83	380	0.49
%0.5 Kitre katkılı numuneler					
121	0.99	221	0.83	321	0.78
141	0.74	241	0.72	341	0.67
161	0.59	261	0.57	361	0.58
181	0.53	281	0.37	381	0.24
41**	1.04				
%1 Kitre katkılı numuneler					
122	0.87	222	0.82	322	0.82
142	0.67	242	0.72	342	0.70
162	0.37	262	0.57	362	0.43
182	0.30	282	0.37	382	0
42**	0.62				
%1.5 Kitre katkılı numuneler					
123	0.35	223	0.33	323	0.30
143	0.33	243	0.26	343	0
163	0.22	263	0	363	0
183	0	283	0	383	0
43**	0.57				

** GKA katkısız beton numuneler

6.6. Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi

Dış ortama maruz kalan yapı elemanları, yağmur ve kar gibi doğal tabiat olayları neticesinde bünyelerine su emebilirler. Emilen bu su, soğuk havada donar. Donan suyun hacmi artar ve genişir. Bu genişleme neticesinde yapı elemanlarında çatlaklar ve deformasyonlar oluşabilir. Soğuk bölgelerde bir kış sezonu boyunca, yapı elemanı içinde 100 den fazla donma ve çözünme meydana gelebilir [27].

Malzeme içerisinde kritik nem miktarı hacmin % 30'udur. Bu oranın altında malzemeler dursa bile, bünyelerindeki nem miktarının az olması nedeniyle hasara uğramazlar. Malzeme içerisindeki nem miktarı kritik değerin üzerinde olması durumunda malzemelerde don hasarları meydana gelecektir. Malzeme bünyesindeki nem miktarı ne kadar çok olursa hasarın büyüklüğü o oranda artacak ve hasar, malzemenin tamamen dağılmasına kadar ilerleyecektir [38].

Su emme ve kuruma hızı deneyi Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Deneyden önce numuneler, sert bir fırça ile temizlenip, üzerindeki kalıntı ve tozlardan arındırılmıştır. Numunelerin bünyesinde hiç nem kalmaması için etüvde 105 °C' de, sabit ağırlığa gelene kadar bekletilmiştir. Şekil 6.6' da numunelerin ısıtıldığı etüv görülmektedir. SFL marka fırın, 1000 °C' ye kadar ısıtma işlemi yapabilmektedir. Sıcaklık dijital ekrandan ayarlanabilmektedir. Otomatik termostat sistemine sahip olup, istenen sıcaklığa geldiğinde ısıtma işlemi durmaktadır.



Şekil 6.6. Etüv cihazı

Etüvden çıkan numunelerin sıcaklığının 20 °C' ye kadar soğuması beklenmiş ve Şekil 6.7' de görülen hassas teraziyle tartılarak kuru ağırlığı (W_d) tespit edilmiştir. AND marka hassas terazi 1/1000 hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Otomatik kalibrasyon özelliğine sahiptir.



Şekil 6.7. Hassas terazi

İçerisinde 20 °C’ de su bulunan kaba, numunelerin 1/3 suyla temas edecek şekilde bırakılmıştır. Bu şekilde 20 dakika suda bekleyen numunelerin üzerine, 2/3’ ü suyla kaplanacak şekilde su eklenmiştir. Deney başlangıcından 40 dakika sonra numuneler tamamen suyla kaplanacak şekilde kaba su eklenmiştir. Bu şekilde numuneler tamamen su içinde 24 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda numuneler sudan çıkarılarak, ıslatılmış ve fazla suyu sıkılmış bir bez ile silinmiştir. Silinen numuneler tartılmış ve su emdirilmiş ağırlıkları (W_w) bulunmuştur.

Kuru ve su emdirilmiş haldeki ağırlıklar kullanılarak, aşağıdaki formülle numunelerin su emme oranları tespit edilmiştir [38].

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_d - W_w}{W_w} 100 \quad (6.8)$$

Kuruma hızı deneyi ile numunelerin teneffüs kabiliyetleri incelenmiştir. Kuruma işlemi malzemenin yüzeyinden buharlaşma yoluyla olur. Bu esnada malzeme içindeki su kılcal kanallar vasıtasıyla yüzeye doğru ilerler. Hızlı su emen malzemeler hızlı, yavaş su emen malzemeler daha yavaş kuruma özelliği gösterirler [38].

Su emme deneyi uygulanan numuneler, 20 °C’ lik oda sıcaklığında kurumaya bırakılmış ve 24 saatlik kuruma süresindeki ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Su emme oranına ait deney sonuçları Tablo 6.4’ de, kuruma hızı deney sonuçları Tablo 6.5’ de verilmiştir.

Tablo 6.4. Su emme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Kuru ağırlık (g)	Numune ağırlıkları (g)						Su emme oranı (%)
		1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	
Kitre katkısız numuneler								
120	271	302	329	329	330	330	330	21.7
140	299	328	346	366	366	365	366	22.4
160	285	325	337	344	352	353	355	24.5
180	229	273	283	286	287	287	287	25.3
220	267	300	309	314	327	328	328	22.8
240	258	282	314	316	317	317	318	23.2
260	237	260	278	285	294	295	296	24.8
280	206	233	259	260	260	261	262	27.1
320	265	288	296	302	319	322	324	22.2
340	219	254	268	269	270	270	271	23.7
360	205	231	248	256	257	257	258	25.8
380	135	154	168	170	170	171	172	27.4
%0.5 Kitre katkılı numuneler								
121	224	271	289	299	300	300	302	34.8
141	205	265	272	274	275	275	276	34.6
161	197	260	268	270	271	271	272	38.0
181	165	221	228	229	230	231	232	40.6
221	231	265	273	280	291	292	293	26.8
241	213	241	269	271	272	272	273	28.1
261	190	234	240	241	242	243	244	28.4
281	157	189	198	199	200	201	202	28.6
321	225	266	276	281	281	282	283	25.7
341	206	242	252	257	258	259	260	26.2
361	168	199	206	211	215	216	219	30.3
381	128	163	165	166	168	169	172	34.3

Tablo 6.4. Su emme deneyi sonuçları (devamı)

Numune Kodu	Kuru ağırlık (g)	Numune ağırlıkları (g)						Su emme oranı (%)
		1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	
%1 Kitre katkılı numuneler								
122	215	254	268	284	289	289	293	36.2
142	203	256	272	275	276	276	278	36.9
162	175	235	237	238	239	239	243	38.8
182	158	215	220	222	223	223	224	41.7
222	220	265	278	283	283	283	283	28.6
242	194	235	243	247	249	249	252	29.8
262	173	208	217	221	224	225	228	31.7
282	145	183	189	191	192	193	193	33.1
322	213	260	268	269	270	270	272	27.6
342	190	229	234	237	239	240	243	27.8
362	156	198	206	208	209	209	210	34.6
382	123	160	167	167	167	168	169	37.3
%1.5 Kitre katkılı numuneler								
123	181	248	256	257	258	258	260	43.6
143	174	227	249	249	249	250	251	44.2
163	163	223	235	236	236	236	237	45.3
183	138	198	199	200	200	200	203	47.1
223	176	234	239	240	241	242	242	37.5
243	155	202	211	212	213	213	214	38.0
263	152	213	214	214	214	214	217	42.7
283	124	153	175	176	177	177	178	43.5
323	180	229	238	241	242	242	243	35.0
343	154	201	206	209	209	210	210	36.3
363	136	186	186	186	187	187	188	38.2
383	117	148	149	160	161	161	162	38.4

Tablo 6.5. Kuruma hızı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Islak ağırlık (g)	Numune ağırlıkları (g)					Nem kaybı oranı (%)
		1/2 saat	1 saat	3 saat	9 saat	24 saat	
Kitre katkısız numuneler							
120	330	329	328	326	310	300	8.9
140	366	365	364	362	344	334	8.8
160	355	354	353	351	333	323	8.8
180	287	286	285	283	269	261	9.1
220	328	327	326	324	308	299	8.9
240	318	317	316	314	298	289	9.0
260	296	295	294	292	277	269	9.1
280	262	261	260	258	245	238	9.2
320	324	323	322	320	304	295	8.9
340	271	270	269	267	254	246	9.2
360	258	257	256	254	241	234	9.2
380	172	171	170	168	160	155	9.9
%0.5 Kitre katkılı numuneler							
121	302	301	300	298	283	275	9.0
141	276	275	274	272	258	251	9.1
161	272	271	270	268	255	247	9.2
181	232	231	230	228	217	210	9.4
221	293	292	291	289	275	266	9.1
241	273	272	271	269	256	248	9.2
261	244	243	242	240	228	221	9.3
281	202	201	200	198	188	182	9.6
321	283	282	281	279	265	257	9.1
341	260	259	258	256	243	236	9.2
361	219	218	217	215	204	198	9.5
381	172	171	170	168	160	155	9.9

Tablo 6.5. Kuruma hızı deneyi sonuçları (devamı)

Numune Kodu	Islak ağırlık (g)	Numune ağırlıkları (g)					Nem kaybı oranı (%)
		1/2 saat	1 saat	3 saat	9 saat	24 saat	
%1 Kitre katkılı numuneler							
122	293	292	291	289	275	266	9.1
142	278	277	276	274	260	252	9.1
162	243	242	241	239	227	220	9.3
182	224	223	222	220	209	203	9.5
222	283	282	281	279	265	257	9.1
242	252	251	250	248	236	229	9.3
262	228	227	226	224	213	206	9.4
282	193	192	191	189	180	174	9.7
322	272	271	270	268	255	247	9.2
342	243	242	241	239	227	220	9.3
362	210	209	208	206	196	190	9.6
382	169	168	167	165	157	152	10.0
%1.5 Kitre katkılı numuneler							
123	260	259	258	256	243	236	9.2
143	251	250	249	247	235	228	9.3
163	237	236	235	233	221	215	9.4
183	203	202	201	199	189	183	9.6
223	242	241	240	238	226	219	9.3
243	214	213	212	210	200	194	9.5
263	217	216	215	213	202	196	9.5
283	178	177	176	174	165	160	9.9
323	243	242	241	239	227	220	9.3
343	210	209	208	206	196	190	9.6
363	188	187	186	184	175	170	9.8
383	162	161	160	158	150	146	10.1

6.7. Ultra Ses Geçiş Deneyi

Deneyle Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan, Controls marka 58-E0048 model cihaz ile yapılmıştır. Hazırlanan numunelere uygulanan ultrases geçiş hızı deneyi, kp şekilli numunelerin kalıba temas eden yüzeylerinden iki farklı doğrultuda ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak çalışmada kullanılmıştır. Numuneler verici ve alıcı probların arasına yerleştirilmiş, numunelerin proba temas eden yüzeylerine, temasın tam olarak sağlanması için ince bir gres yağı tabakası sürülmüştür. Ultrases geçiş süresi mikro saniye cinsinden cihaz ekranından okunmuştur. Okunan değerler, küp numune boyutuna bölünerek ultrases geçiş hızı tayin edilmiştir. şekil 6.8’ de ultrases geçiş hızı cihazı ile ölçüm yapılışı görülmektedir.



şekil 6.8. Ultrases geçiş hızı cihazı

Ultrases geçiş hızı deney sonuçları Tablo 6.6’ da verilmiştir.

Tablo 6.6. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Numune Kodu	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Numune Kodu	Ultrases geçiş hızı (m/s)
Kitre katkısız numuneler					
120	3030	220	2703	320	2564
140	2857	240	2564	340	2273
160	2564	260	2381	360	2083
180	2273	280	2128	380	1754
%0.5 Kitre katkılı numuneler					
121	2041	221	1923	321	1852
141	1887	241	1818	341	1754
161	1724	261	1695	361	1639
181	1563	281	1515	381	1471
41**	2083				
%1 Kitre katkılı numuneler					
122	1786	222	1695	322	1587
142	1639	242	1587	342	1493
162	1563	262	1493	362	1389
182	1493	282	1408	382	1316
42**	1818				
%1.5 Kitre katkılı numuneler					
123	1538	223	1389	323	1333
143	1471	243	1351	343	1235
163	1429	263	1282	363	1190
183	1370	283	1235	383	1111
43**	1639				

** GKA katkısız beton numuneler

6.8. Aşınma Deneyi

Aşınma dayanımı deneyi, diğ er adıyla Böhme deneyi, malzemelerin aşınmaya karşı dirençlerinin bilinmesi için önemlidir. Böylece taban döşemesi, merdiven basamağı gibi aşınmaya maruz kalan yerlerde kullanımı hakkında bilgi sahibi olunabilir. Deneyler Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi bölümü laboratuvarında yapılmıştır.

Şekil 6.9’ da görülen aşınma deneyi cihazı, 750 mm çapında aşındırma diskine sahiptir. Disk, dakikada 30 devir yapmaktadır. Cihaz üzerinde devir sayısını gösteren bir numaratör vardır. Devir sayısı dijital olarak ayarlanmaktadır. Cihaz ayarlanan deviri tamamladığında otomatik olarak durmaktadır.



Şekil 6.9. Aşınma deneyi cihazı

Numuneler, sabitleme çenesine yerleştirilir. Çelik manivelanın baskı kolu, numunenin üzerine bırakılır. Bu şekilde numunenin sabit bir kuvvet ile aşınma diskine teması sağlanır. Disk üzerine, aşınma için 20 g zımpara tozu serpilmiştir. Her numune sonrası disk temizlenmiş ve zımpara tozu yeniden serpilmiştir.

Cihaz 100 devir/dakika çalıştırılmış ve aşağıdaki formülle aşınma miktarı hesaplanmıştır [40]. Aşınma oranları Tablo 6.7’ da gösterilmektedir.

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} 100 \quad (6.9)$$

Tablo 6.7. Aşınma deneyi sonuçları

Numune Kodu	Aşınma oranı (%)	Numune Kodu	Aşınma oranı (%)	Numune Kodu	Aşınma oranı (%)
Kitre katkısız numuneler					
120	0.24	220	0.29	320	0.55
140	0.38	240	0.51	340	1.12
160	0.33	260	0.58	360	0.73
180	0.88	280	1.79	380	7.20
%0.5 Kitre katkılı numuneler					
121	0.43	221	0.41	321	1.00
141	0.82	241	0.89	341	1.21
161	0.21	261	0.46	361	0.62
181	0.33	281	0.58	381	6.59
41**	0.44				
%1 Kitre katkılı numuneler					
122	0.55	222	0.68	322	0.62
142	0.30	242	0.60	342	1.14
162	1.81	262	0.56	362	0.85
182	0	282	0	382	0
42**	0.59				
%1.5 Kitre katkılı numuneler					
123	1.30	223	1.58	323	1.19
143	0.79	243	2.57	343	2.26
163	4.41	263	44.36	363	18.58
183	0	283	0	383	0
43**	0.30				

** GKA katkısız beton numuneler

6.9. İşlenebilirlik

Numuneler üzerinde yapılan bazı işlenebilirlik çalışmalarında, özellikle küçük tane çaplı ve düşük genleştirilmiş kil oranlı numunelerin, matkapla delik açılması, çivi çakılması ve oluk açılması işlemleri için uygun olduğu görülmüştür. Büyük tane çaplı numuneler, delme ve kesme işlemleri için uygun olmayıp, uygulama esnasında dağılabilmektedir. Şekil 6.10' da numunelere sentetik ve plastik boya uygulamaları

görülmektedir. Şekil 6.11 ‘ de numunelere uygulanan kanal açma, delik açma, çivi çakılması gibi mekanik işlemler görülmektedir.



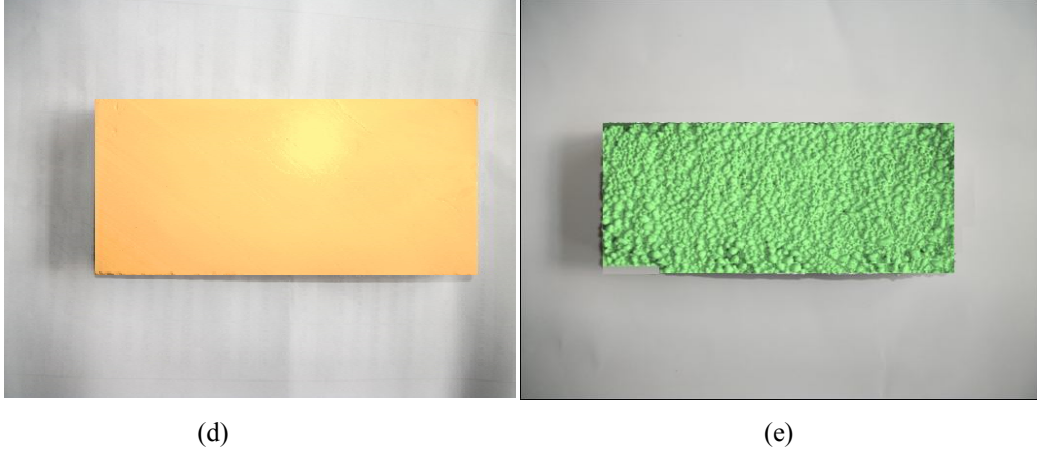
(a)



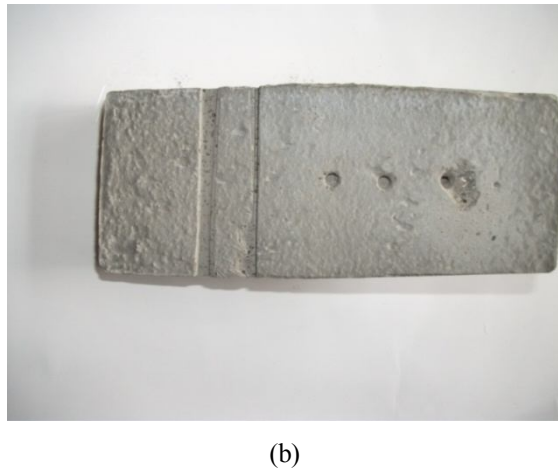
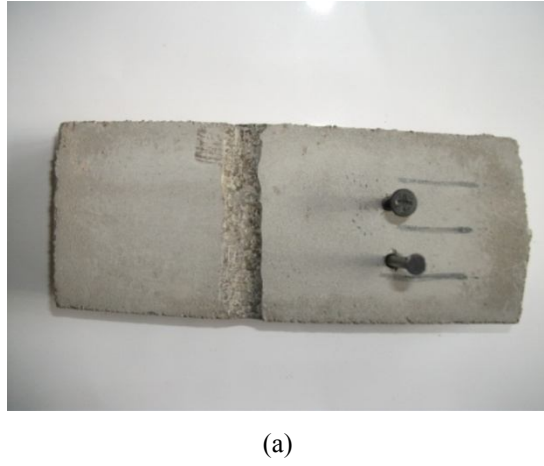
(b)



(c)



Şekil 6.10. Boya uygulanmış numuneler (a) plastik boya (b) sentetik boya (c) akrilik boya (d) su bazlı silikonlu (e) plastik boya



Şekil 6.11. Numunelerin işlenebilirliği (a) çivi ve vida uygulaması (b) kanal ve delik açma uygulaması

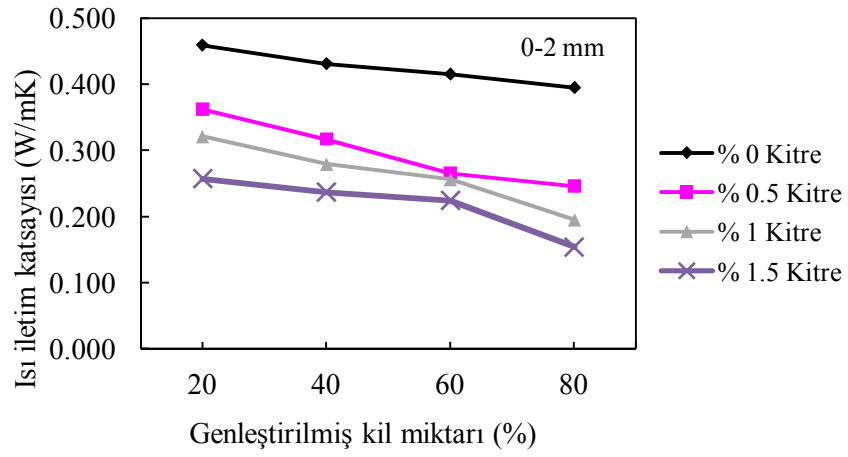
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, çeşitli tane çaplarındaki genleştirilmiş kil agregasını, farklı oranlarda çimento ve kitre bağlayıcılarıyla karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla içerisine kitre katılmamış aynı karışım oranlarında numunelerde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ısı ve mekanik özelliklerini tespit etmek için deneyler yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

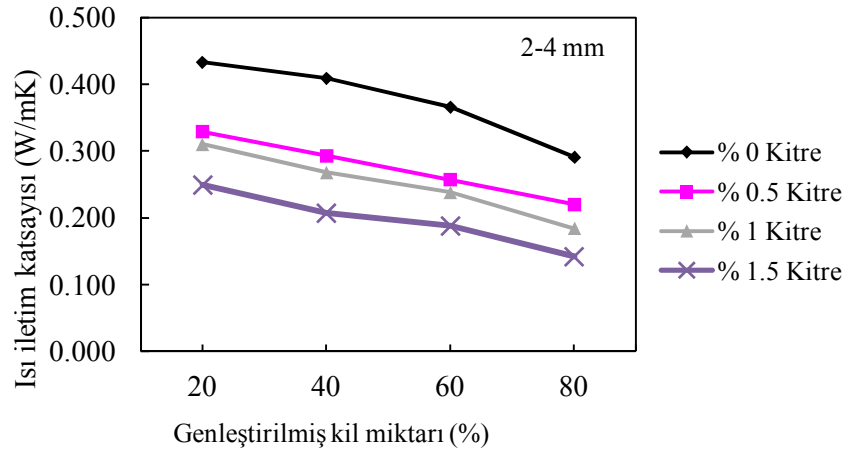
Numune içerisindeki genleştirilmiş kil miktarı yüksek olan numunelerde, genleştirilmiş kil oranının artması, gözeneklilik oranını artıracığından Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’ de görüldüğü gibi ısı iletkenlik katsayısının küçülmesine neden olmaktadır.

Farklı tane çaplarına sahip genleştirilmiş kil kullanılan numuneler arasında, küçük tane çaplı numunelerin bir kısmında gözeneklerin dolu olması nedeniyle ısı iletim katsayıları büyük çıkarken, genleştirilmiş kil tane çapı büyük olan numunelerde, gözeneklilik oranı yüksek olacağından, Şekil 7.2’ de görüldüğü gibi ısı iletkenlik katsayısı küçülmektedir.

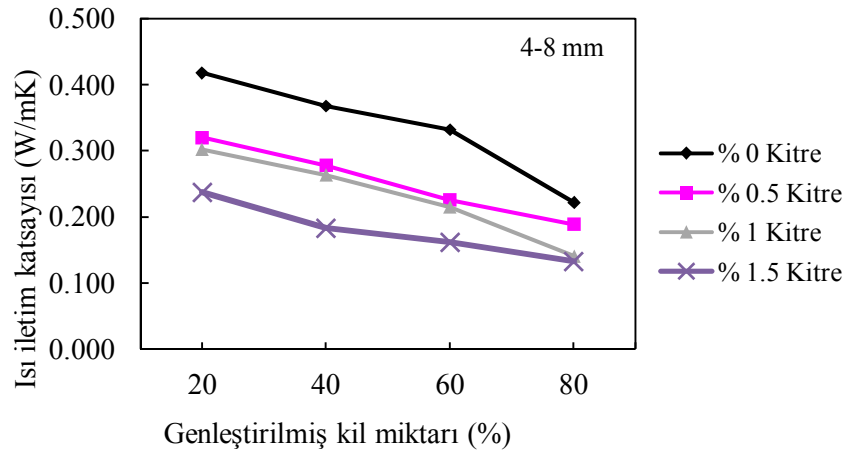
Hazırlanan numunelere bağlayıcı olarak katılan kitre, numunenin ısı iletkenliğini daha da küçültmektedir. Bunun nedeni kitrenin düşük ısı iletkenliğe sahip olmasıdır. Diğer bir nedeniye, kitreyi, numune içine eklemek için suda eritip karıştırırken, kitre çözeltisi içerisinde meydana gelen gözeneklerdir. Numunelere eklenen kitre, yapısındaki bu hava dolu gözenekleri de beraberinde karışıma taşımaktadır. Numuneler kuruduktan sonra bu gözeneklerin birçoğu numune içerisinde kalmakta ve numuneye ilave yapay gözenekler eklemektedir. Şekil 7.3’ de genleştirilmiş kil agregası (GKA) içeren numunelerin, kitre miktarıyla ısı iletkenliğinin değişimi görülmektedir.



(a)

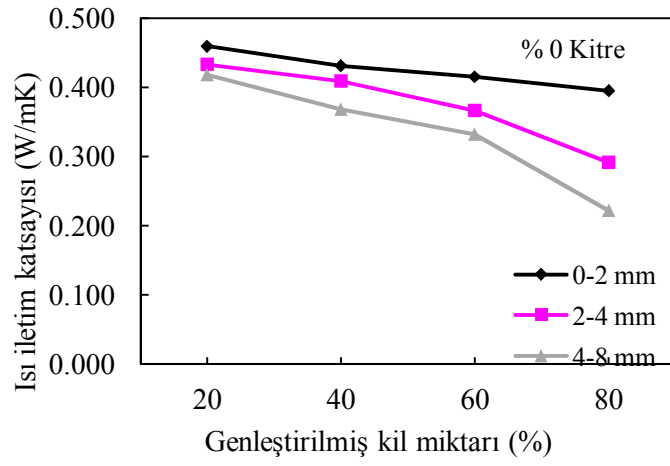


(b)

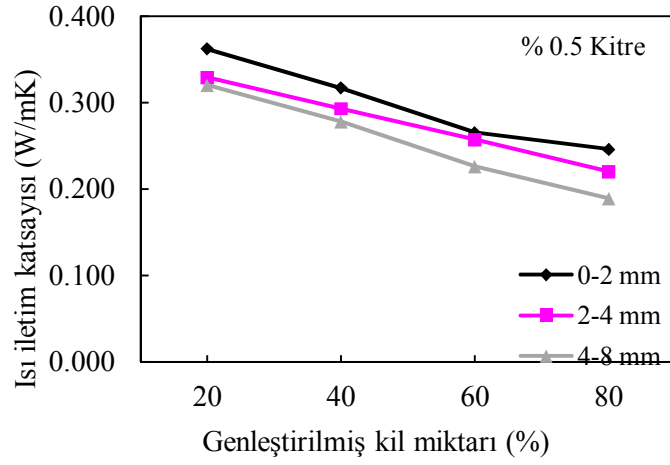


(c)

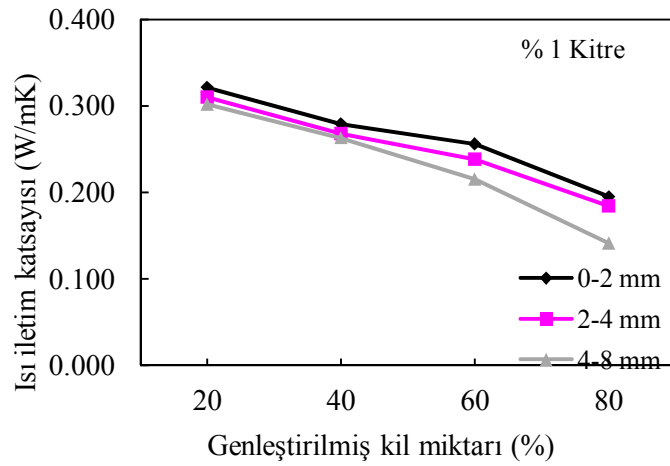
Şekil 7.1. Tane çapına göre genleştirilmiş kil oranıyla ısı iletim katsayısının değişimi (a) 0-2 mm tane çaplı (b) 2-4 mm tane çaplı (c) 4-8 mm tane çaplı



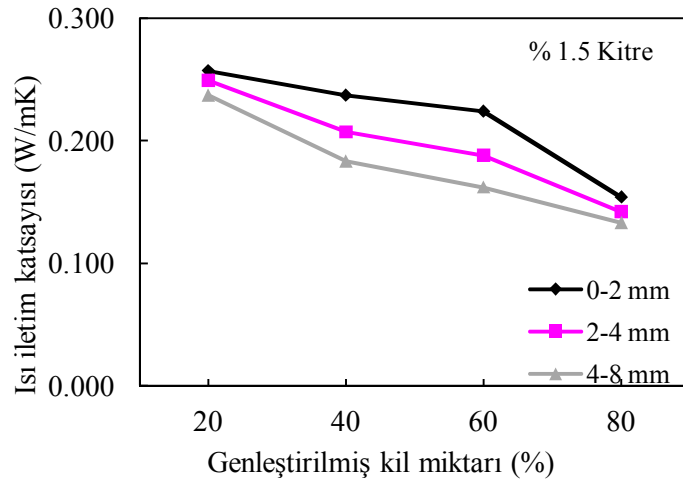
(a)



(b)



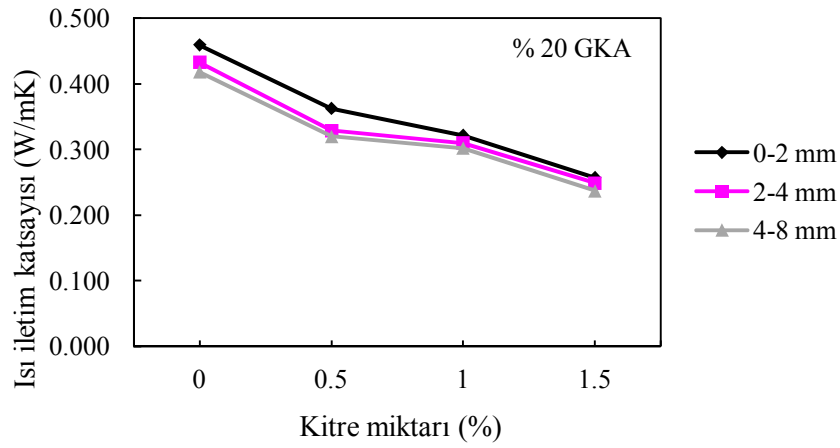
(c)



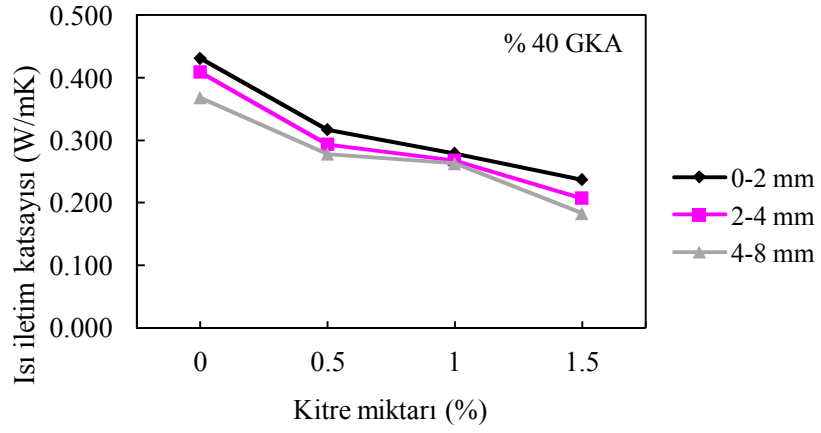
(d)

Şekil 7.2. Genleştirilmiş kil miktarıyla ısı iletim katsayısı değişimi (a) Kitre katkısız (b) %0.5 kitre katkılı (c) %1 kitre katkılı (d) %1.5 kitre katkılı

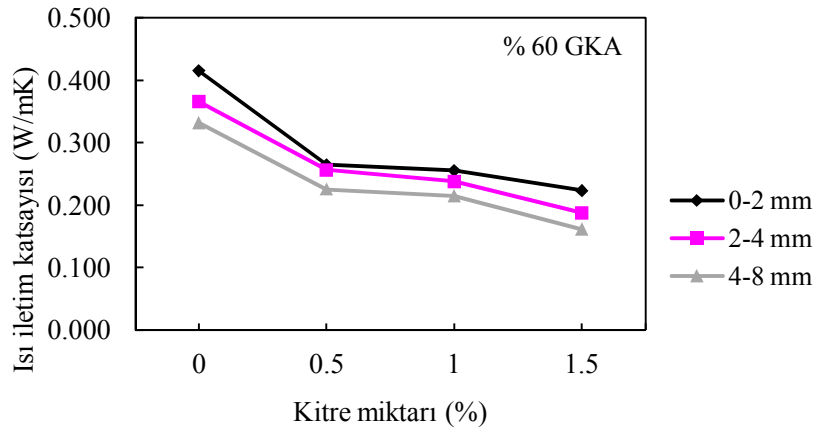
Şekil 7.2 d de, 0-2 mm tane çapına sahip, %40 ve %60 GKA içeren numunelerin, 2-4 mm ve 4-8 mm tane çapındaki aynı GKA oranlarına sahip numunelere göre daha az oranda düşüş gösterdiği görülmektedir.



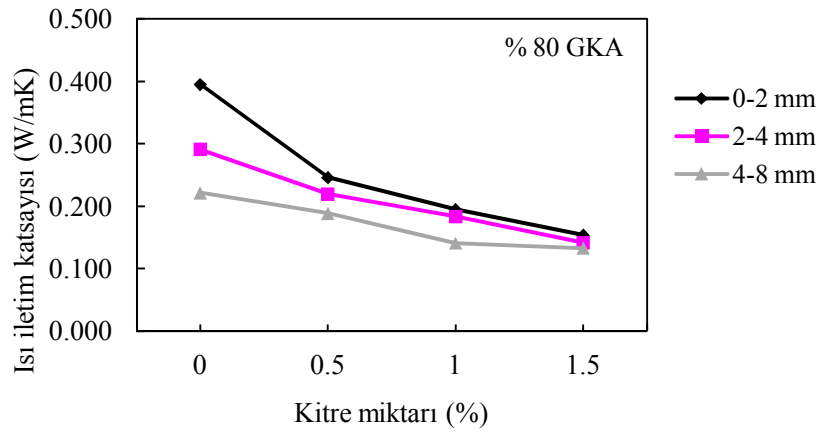
(a)



(b)



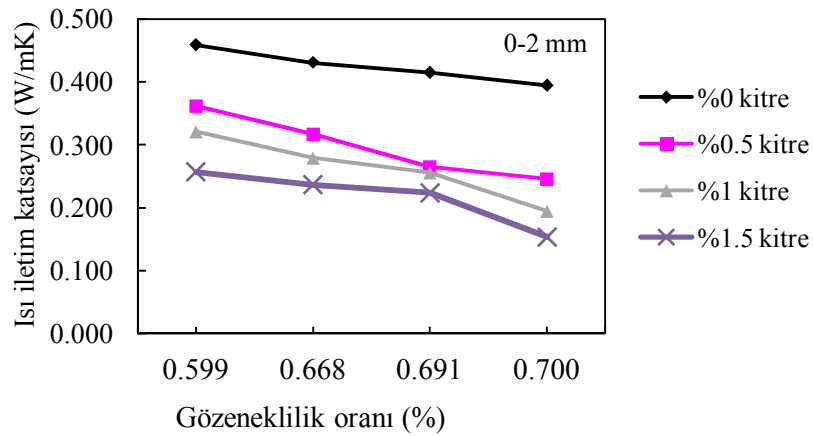
(c)



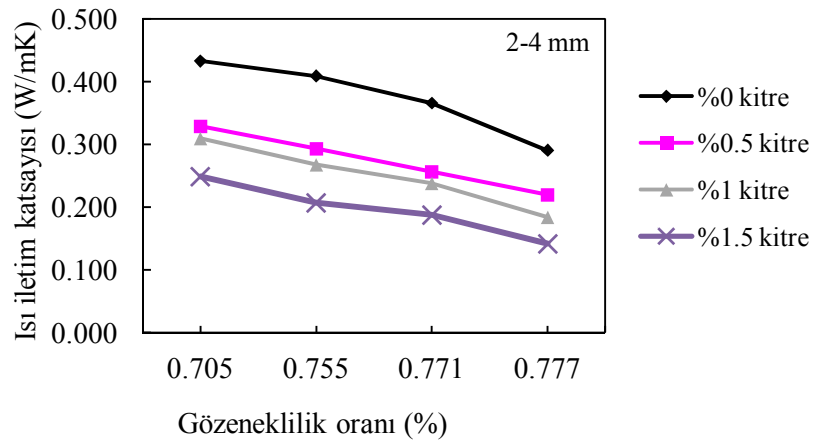
(d)

Şekil 7.3. Kitre miktarıyla ısı iletim katsayısı değişimi (a) %20 genişletilmiş kil katılmış numunelerin (b) %40 genişletilmiş kil katılmış numunelerin (c) %60 genişletilmiş kil katılmış numunelerin (d) %80 genişletilmiş kil katılmış numunelerin

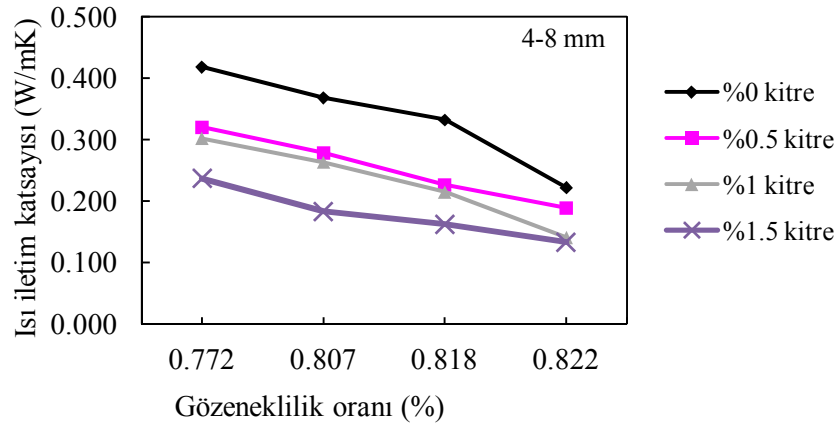
Isıl iletkenlik değerleri ölçüm sonuçları, genleştirilmiş kilin tane çapı ve miktarı, çimento ve kitle katılım oranlarına göre 0.459 – 0.133 W/mK arasında olduğu tespit edilmiştir. Numuneler arasında, en düşük ısı iletkenlik değeri 0.133 W/mK ile 4-8 mm tane çaplı, ağırlıkça %80 oranında genleştirilmiş kil içeren ve ağırlıkça %1.5 kitle katkılı 383 numaralı numuneye aittir. En yüksek ısı iletkenlik değeri ise 0.459 W/mK ile 0-2 mm tane çaplı, ağırlıkça %20 oranında genleştirilmiş kil içeren ve içerisinde kitle bulunmayan 120 numaralı numuneye aittir. şekil 7.4’ de gözeneklilik oranıyla ısı iletim katsayılarının değişimi görölmektedir. Grafikte üç farklı tane çapı için, kitle miktarına bağlı olarak oluşturulan eğrilerde porozitenin artmasıyla, ısı iletim katsayısının uyumlu bir şekilde azaldığı görölmektedir.



(a)



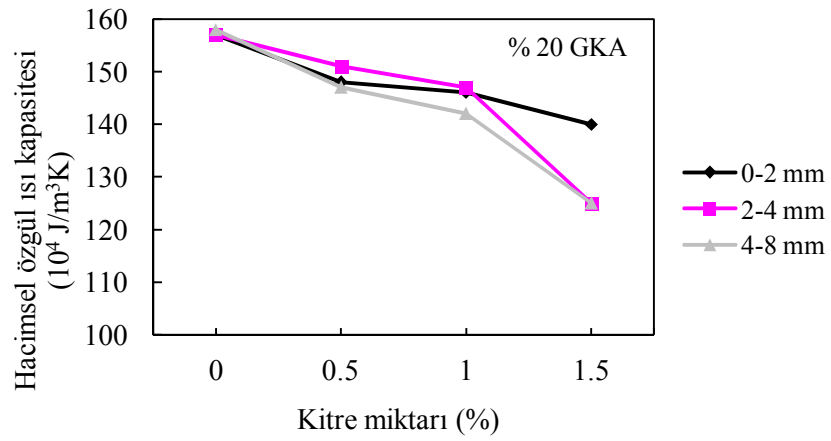
(b)



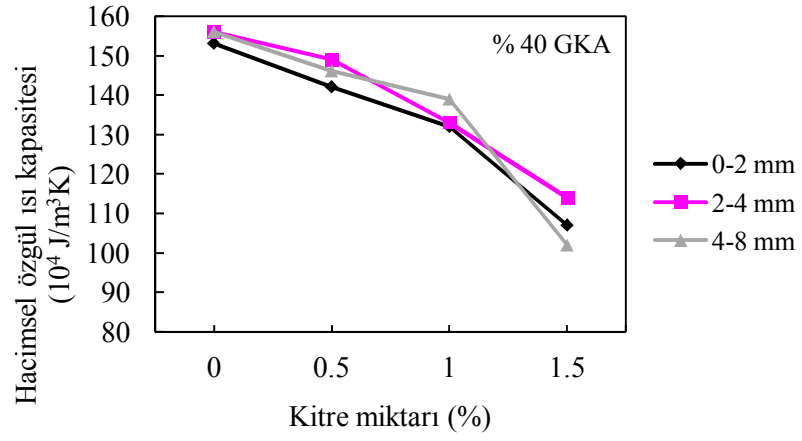
(c)

Şekil 7.4. Gözeneklilik oranının ısı iletim katsayısıyla değişimi (a) 0-2 mm tane çaplı (b) 2-4 mm tane çaplı (c) 4-8 mm tane çaplı

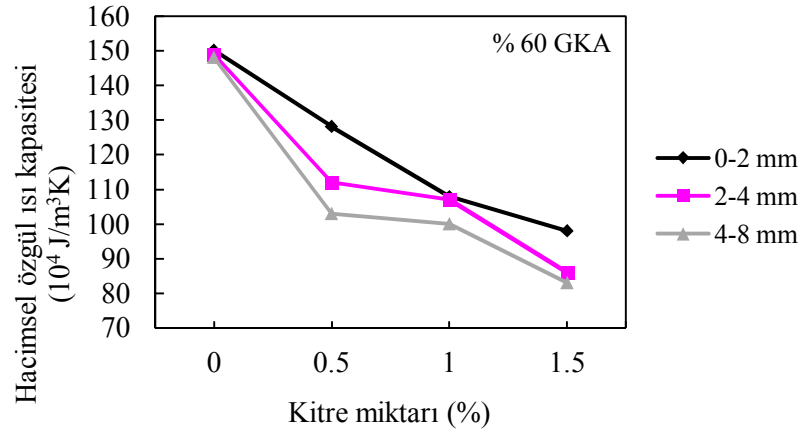
Şekil 7.5' de, GKA içeren numunelerin, kitle miktarıyla hacimsel özgül ısıların değişimi görülmektedir. Grafikte, kitle miktarı arttıkça hacimsel özgül ısı azalmaktadır.



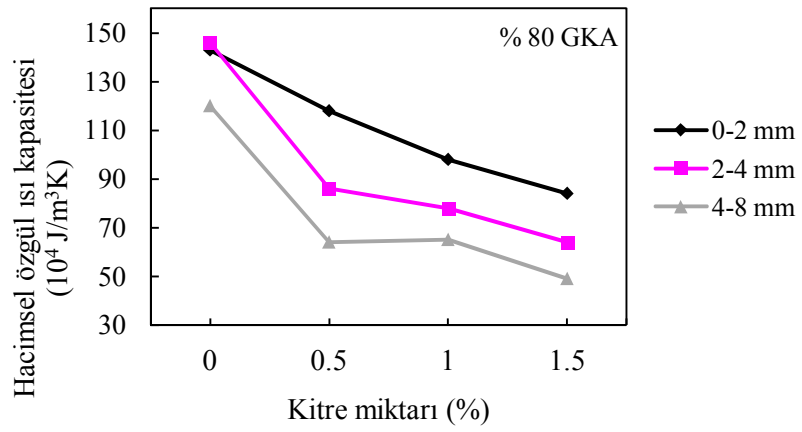
(a)



(b)

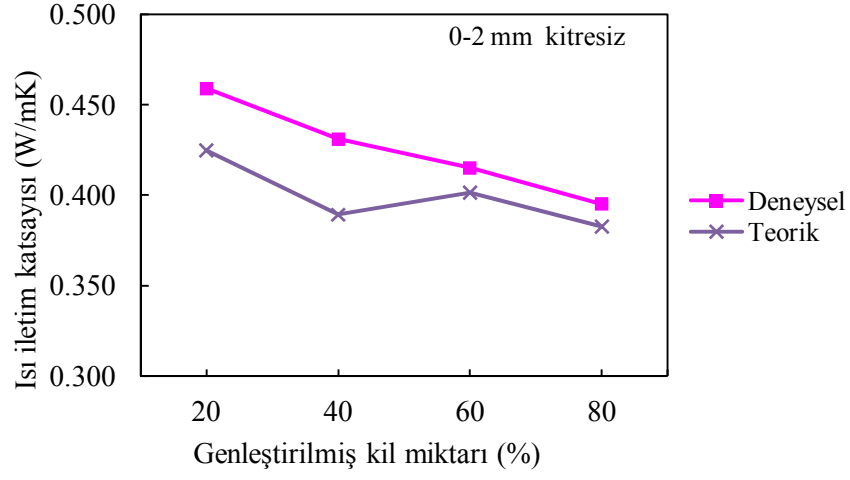


(c)

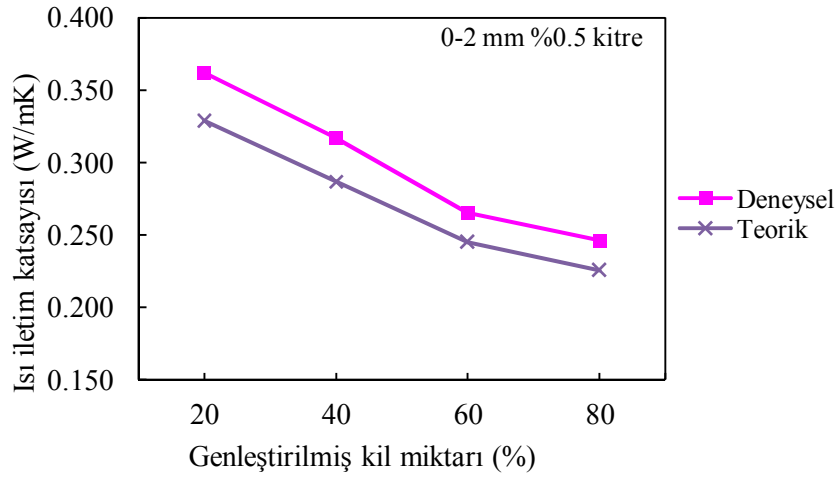


(d)

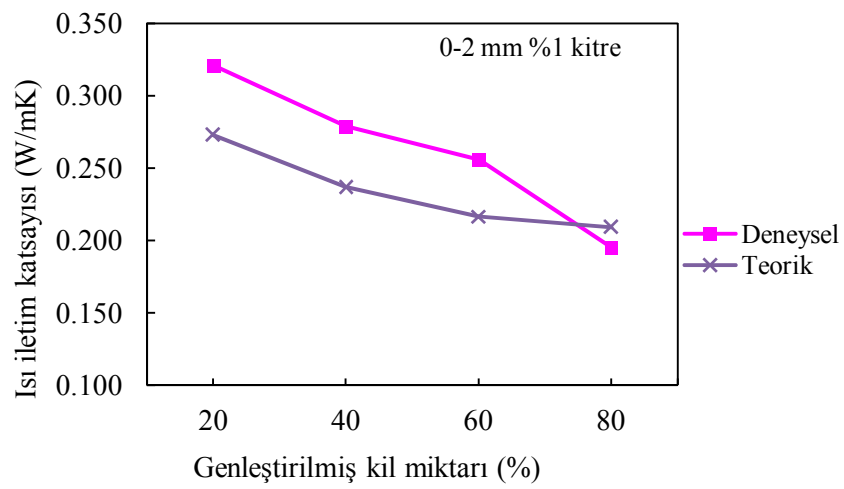
Şekil 7.5. Kitre miktarıyla hacimsel özgül ısı değişimi (a) %20 GKA (b) %40 GKA (c) %60 GKA (d) %80 GKA



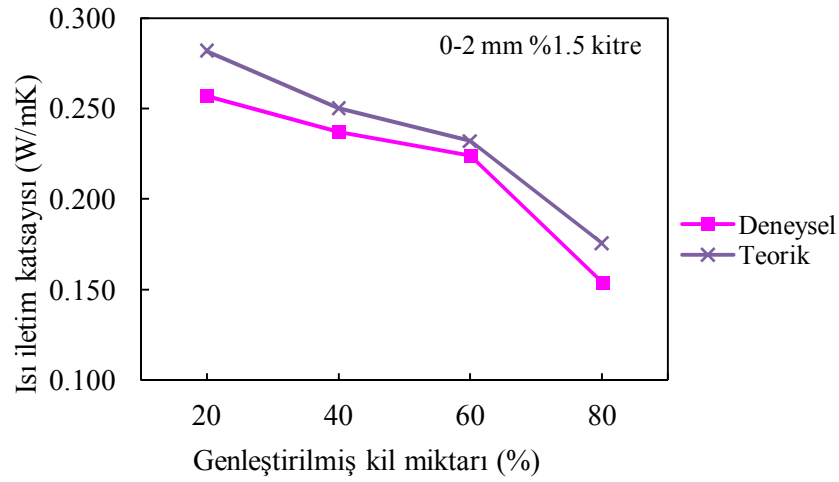
(a)



(b)



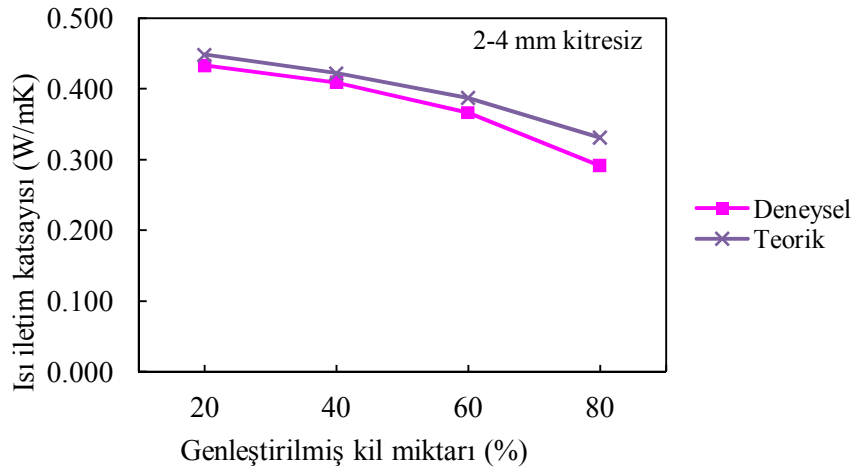
(c)



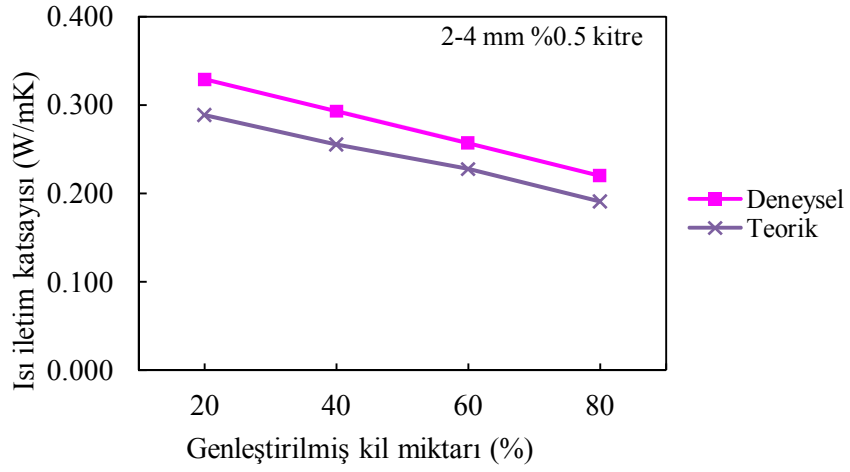
(d)

Şekil 7.6. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırması (a) 0-2 mm tane çaplı kitresiz (b) 0-2 mm tane çaplı %0.5 kitreli (c) 0-2 mm tane çaplı %1 kitreli (d) 0-2 mm tane çaplı %1.5 kitreli

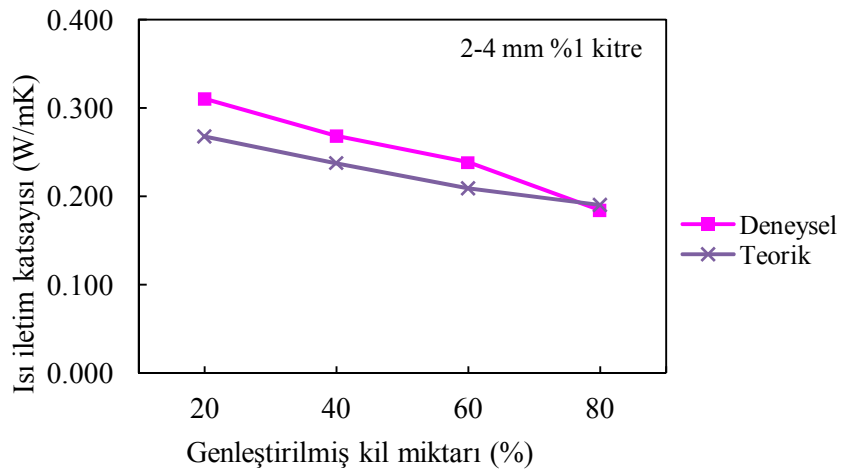
Şekil 7.6' daki grafiklerde, kitresiz olan teorik ve deneysel sonuç karşılaştırmasında sonuçların uyumlu şekilde azaldığı görülmektedir. Şekil 7.6 (a) da kitresiz numunelerde cebirsel denklem sonuçlarının verdiği ısı iletim katsayıları, deneysel değerlerden daha küçük çıkmıştır. Bunun nedeni denklemin kuruluşundaki kabuller ve kitrenin oluşturduğu ilave gözeneklilik oranı sonucu numunelerin ısı iletim katsayılarının küçülmesidir. Kitreli numunelerde sonuçlar uyumlu olmakla beraber, matematiksel sonuçların bazı noktalarda uyumu bozduğu görülmektedir. Hesaplanan ve deneysel eğrilerin birbirine yakın olması, sonuçların yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.6 (b) ve (c) de deneysel sonuçlar yapay gözeneklilik oranı nedeniyle hesaplanan sonuçlardan daha küçüktür.



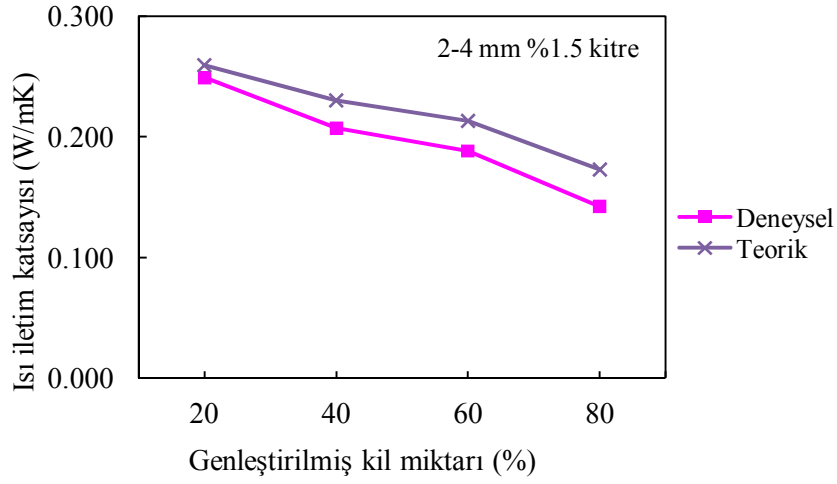
(a)



(b)



(c)

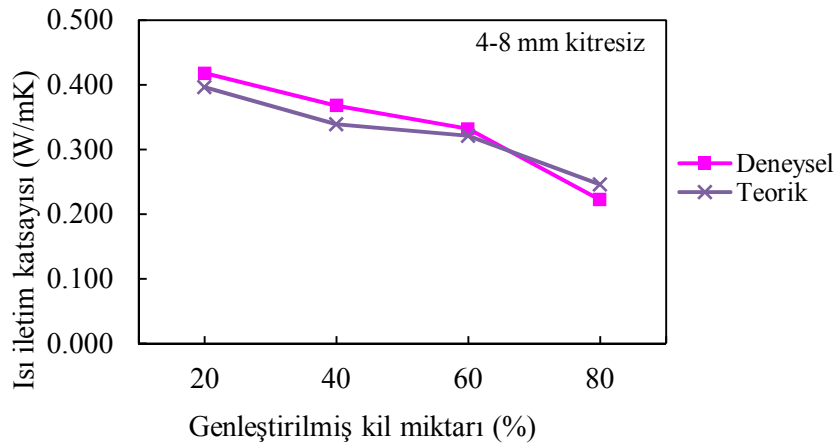


(d)

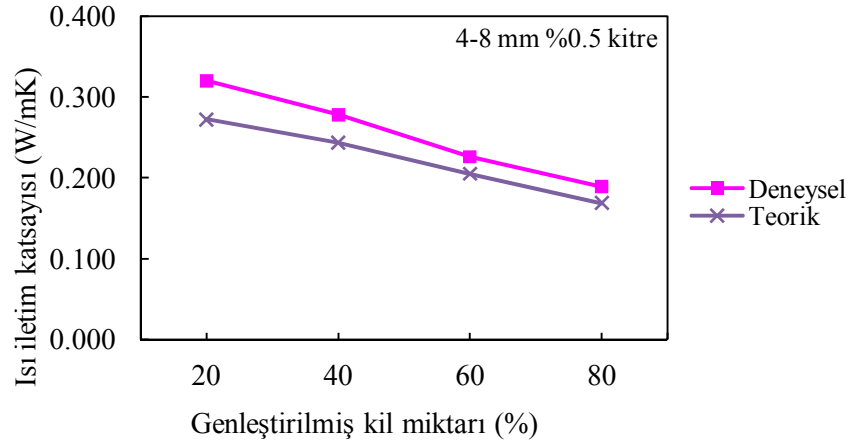
Şekil 7.7. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırması (a) 2-4 mm tane çaplı kitresiz (b) 2-4 mm tane çaplı %0.5 kitreli (c) 2-4 mm tane çaplı %1 kitreli (d) 2-4 mm tane çaplı %1.5 kitreli

Şekil 7.7' de tane çapları 2-4 mm olan numunelerin teorik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.

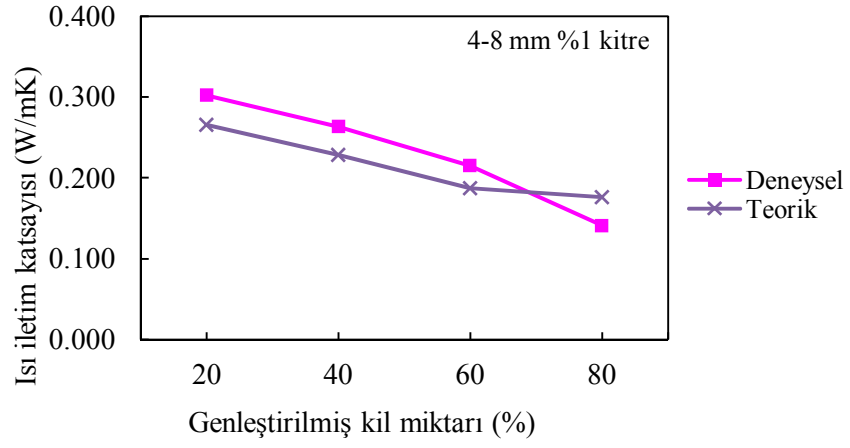
Şekil 7.8' de 4-8 mm tane çapındaki numunelerin, teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırılması verilmiştir. Kitresiz numunelere ait eğriler en uyumlu sonuçları vermektedir.



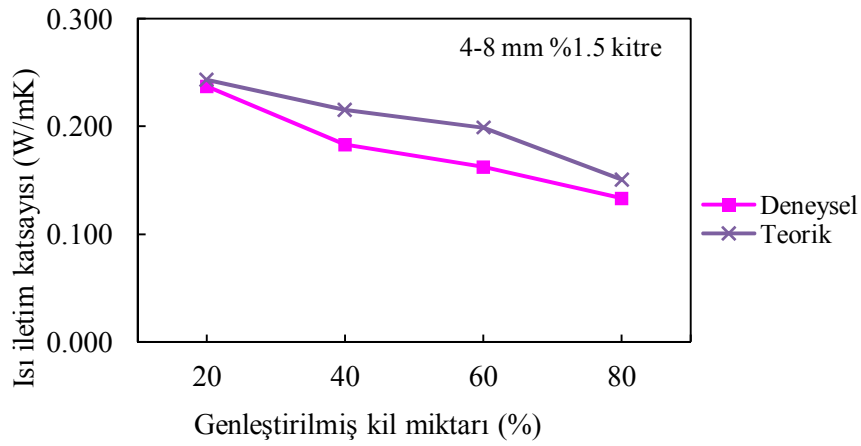
(a)



(b)

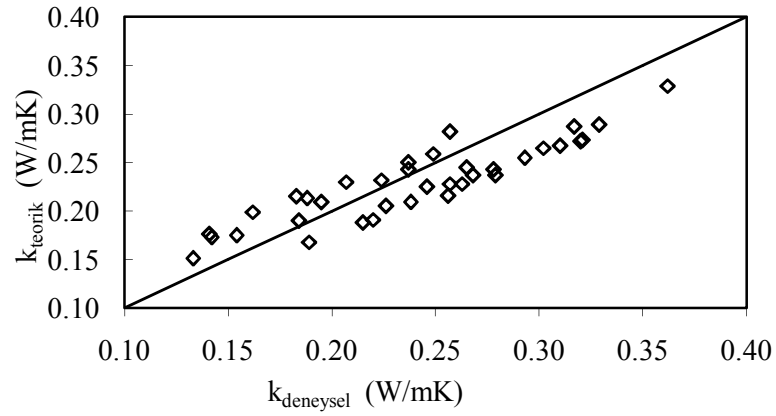


(c)



(d)

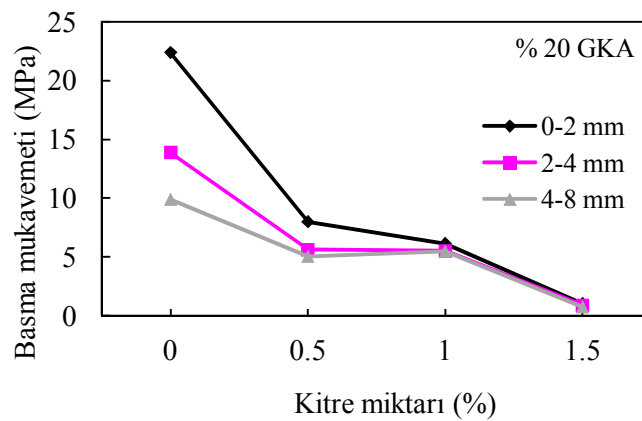
Şekil 7.8. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının karşılaştırması (a) 4-8 mm tane çaplı kitresiz (b) 4-8 mm tane çaplı %0.5 kitreli (c) 4-8 mm tane çaplı %1 kitreli (d) 4-8 mm tane çaplı %1.5 kitreli



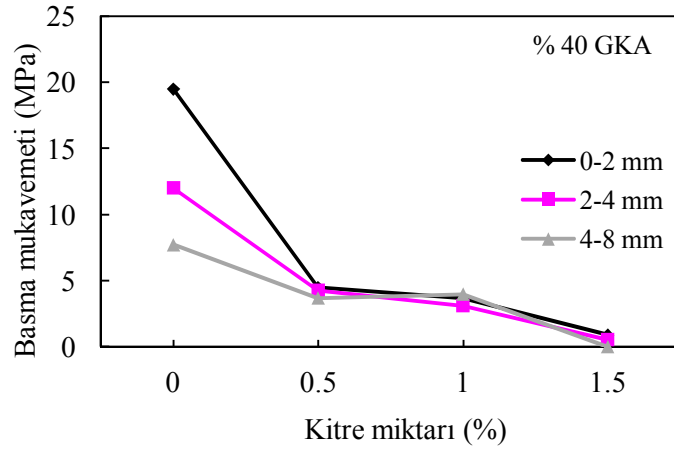
Şekil 7.9. Hesaplanan ve deneysel ısı iletim katsayılarının sapma oranları

Şekil 7.9’ da teorik ve hesaplanan ısıl iletkenliklerin sapmaları görülmektedir. Şekil 7.10’ da ki grafiklerdeki eğrilerden kitre miktarı arttıkça basma mukavemetinin azaldığı anlaşılmaktadır. Aynı tane çapındaki numunelerde, en yüksek basma dayanımının kitresiz numunelerde görülmektedir. En düşük kitre oranı olan %0.5 katkılı numunelerde, kitresiz numunelere göre keskin azalmalar olduğu görülmektedir. %0.5 kitre katkılı numuneler ile %1 kitre katkılı numuneler arasında çok fazla azalma olmadığı görülmektedir. Ancak %1 kitreli numuneler ile %1.5 kitreli numuneler arasında da azalma farklarının yüksek olduğu gözlenmiştir.

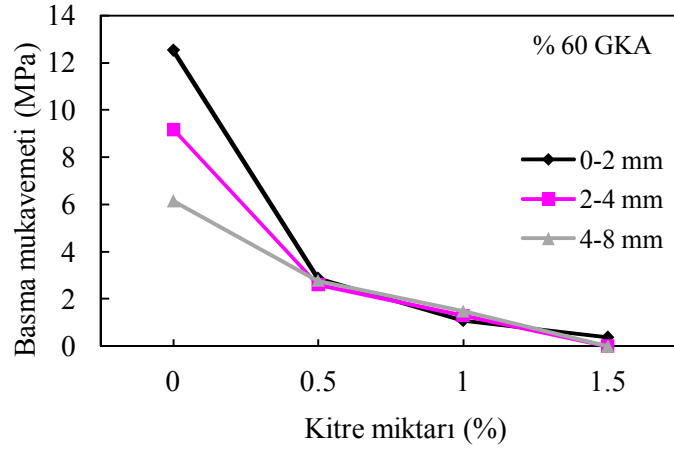
Tane çapı ve GKA oranı yüksek olan numunelerin, basma mukavemetleri çok düşük olduğu eğrilerden anlaşılmaktadır. Büyük tane çapı ve kitre miktarının fazla olması, numune yapısındaki çimento bağlayıcısını azalttığından, basma mukavemetlerinin düşük çıktığı düşünülmektedir.



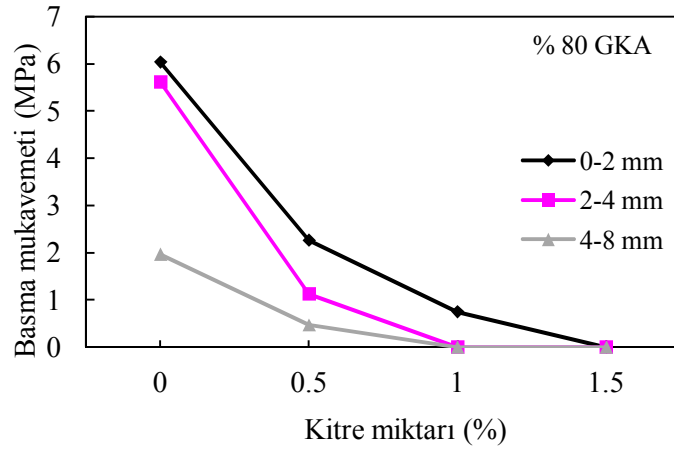
(a)



(b)



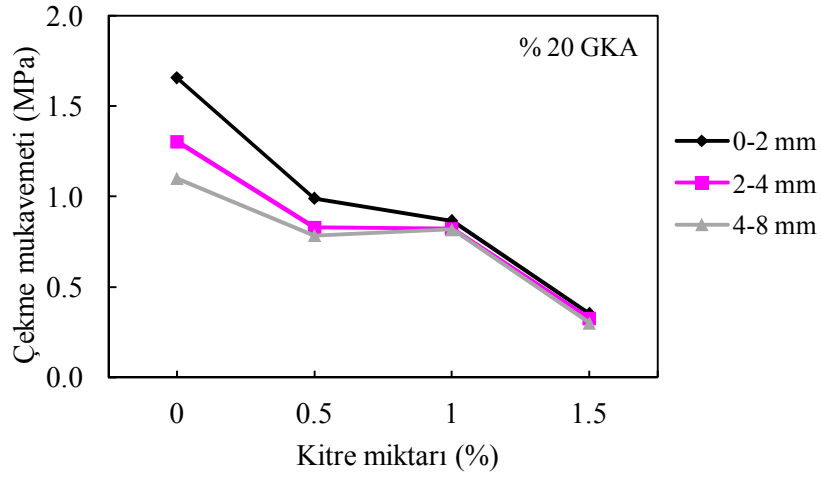
(c)



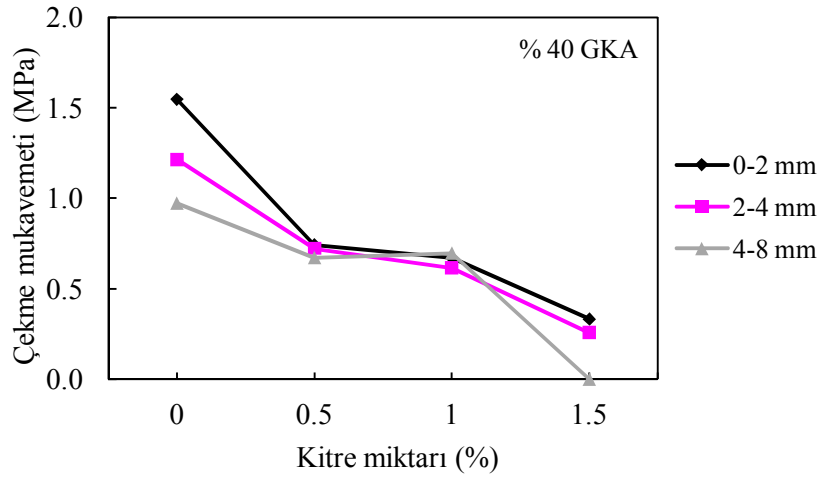
(d)

Şekil 7.10. Basma mukavemetinin kitre miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler

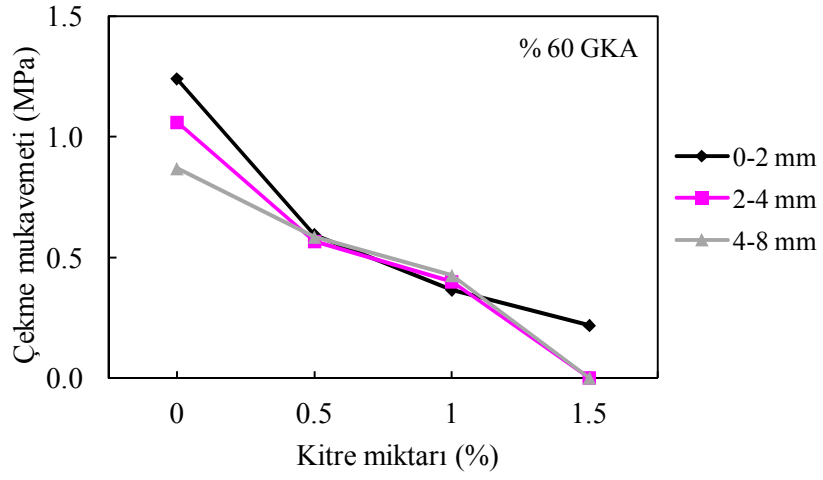
Şekil 7.11’ deki grafiklerde çekme mukavemetiyle kitre miktarının değişimi görülmektedir. Eğrilerden görüldüğü gibi kitre miktarı arttıkça çekme mukavemeti değeri azalmaktadır. Çekme mukavemeti, basma mukavemetinden formülle elde edildiği için, basma mukavemeti eğrilerine paralellik göstermesi beklenen bir durumdur.



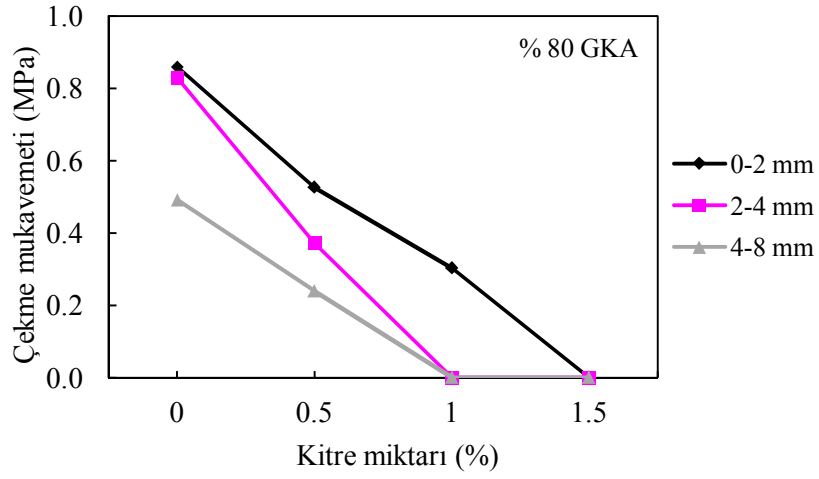
(a)



(b)

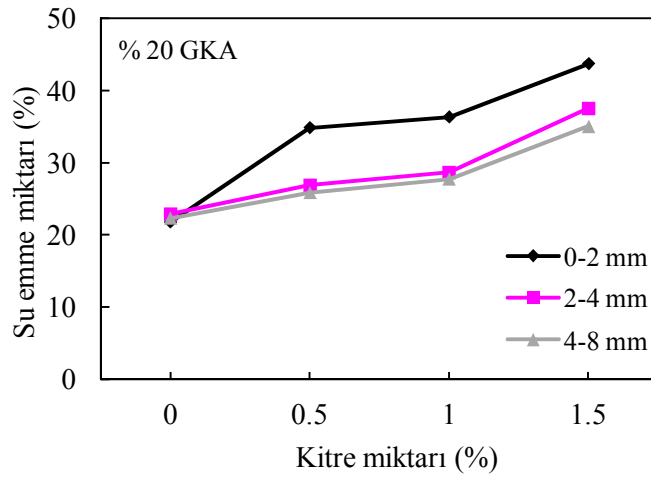


(c)

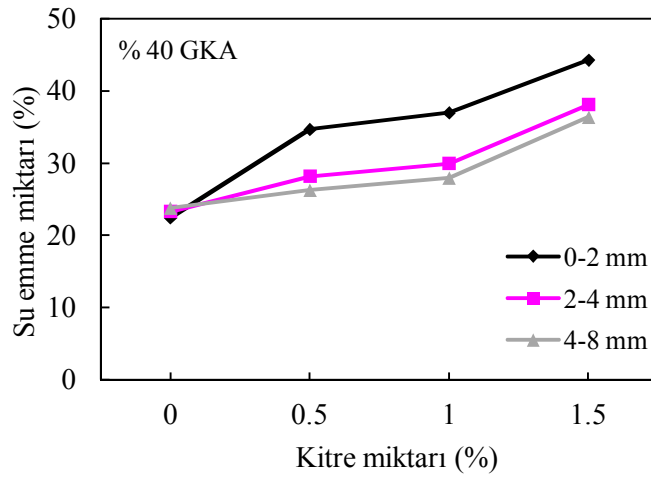


(d)

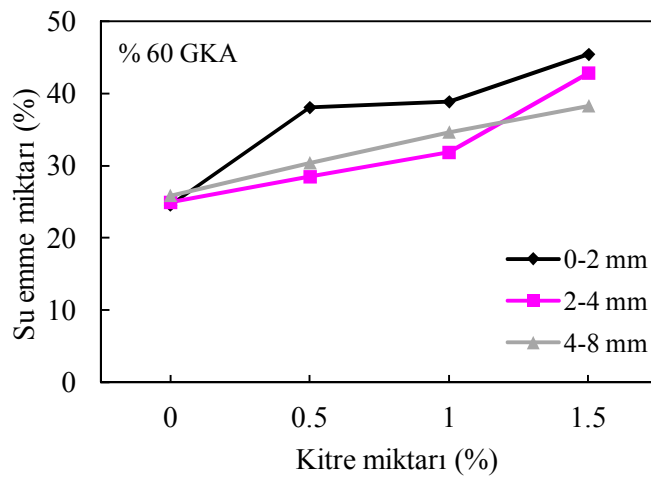
Şekil 7.11. Çekme mukavemetinin kitre miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler



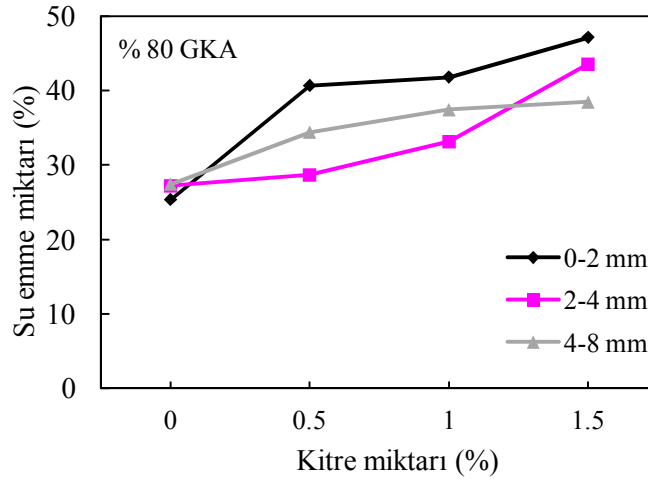
(a)



(b)



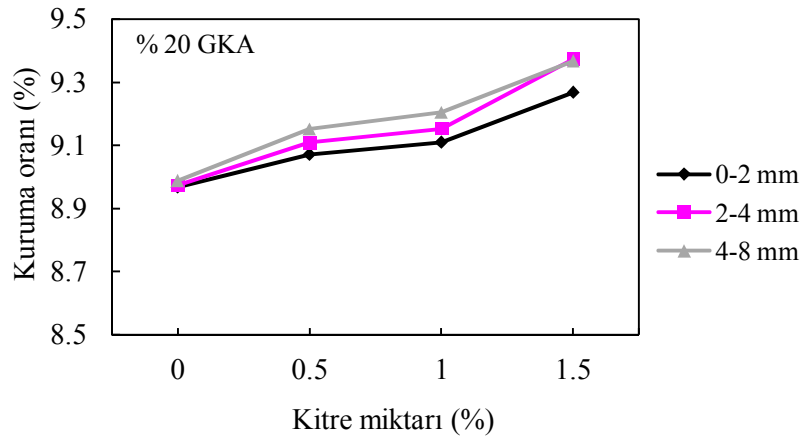
(c)



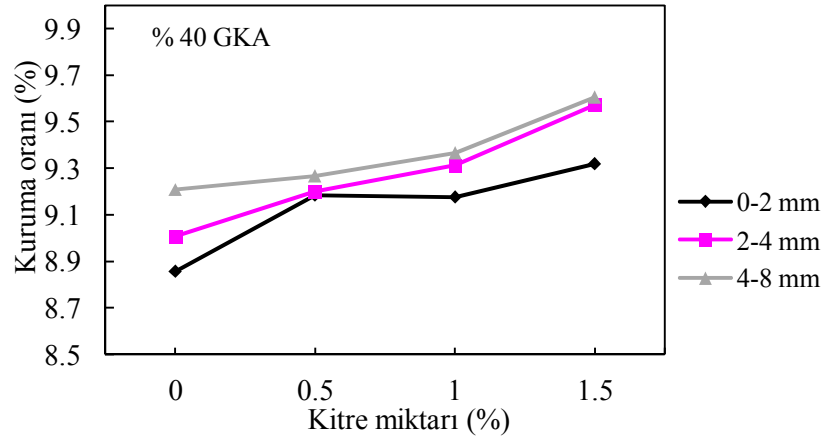
(d)

Şekil 7.12. Su emme oranlarının kitre miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler

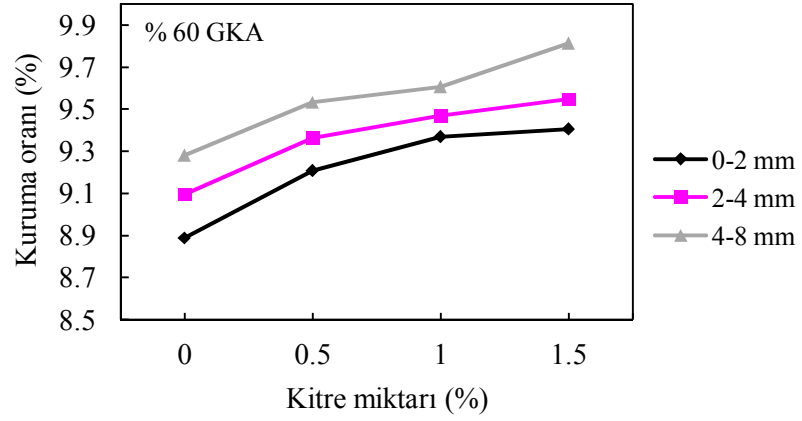
Şekil 7.12’ de su emme oranlarının kitre miktarıyla değişimi görülmektedir. Kitre miktarı arttıkça su emme oranı da artmaktadır. Grafiklerden görüldüğü şekilde 0-2 mm tane çaplı numuneler, diğer çaptaki numunelere göre daha fazla su emmektedir. 2-4 mm ve 4-8 mm tane çaplı numunelerin birbirine yakın artış göstermesi, tane çaplarının büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Kitre miktarı ve GKA oranının artması su emme oranı için kritik değer olan %30 un aşılmasına sebep olmaktadır.



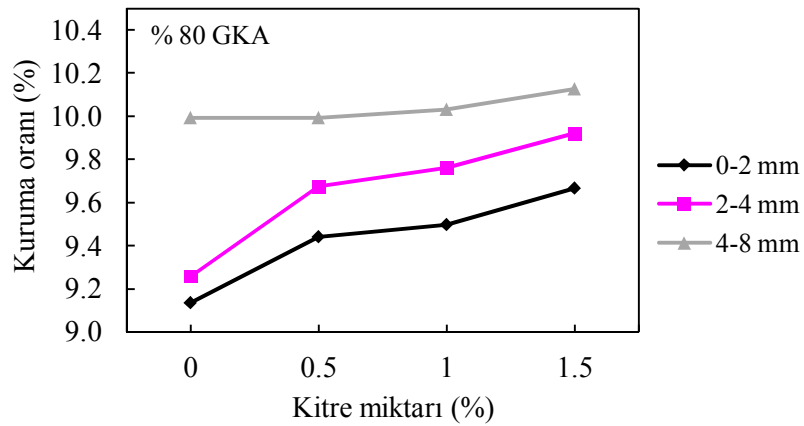
(a)



(b)



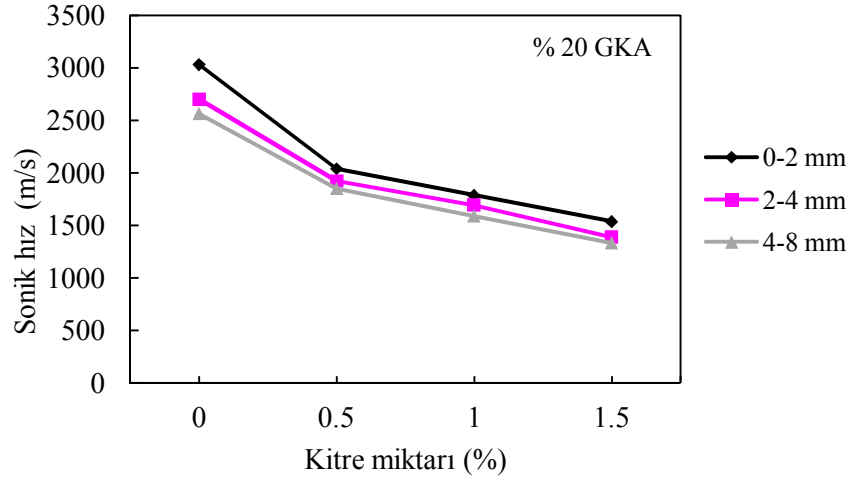
(c)



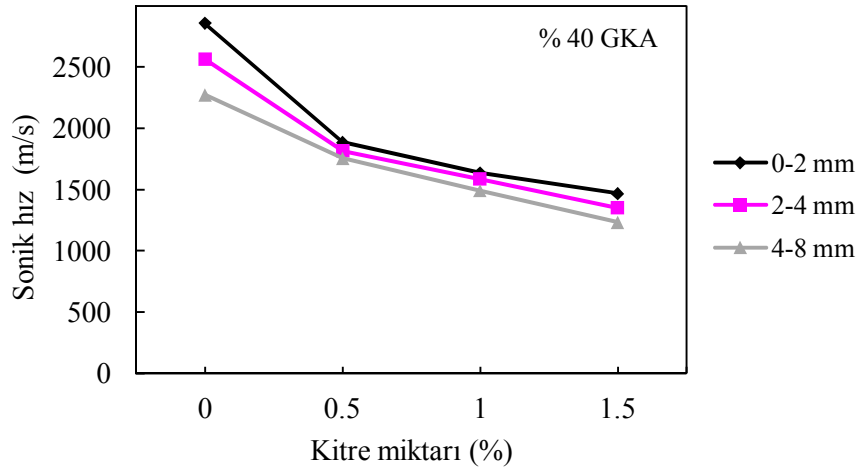
(d)

Şekil 7.13. Kuruma oranlarının kitre miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler

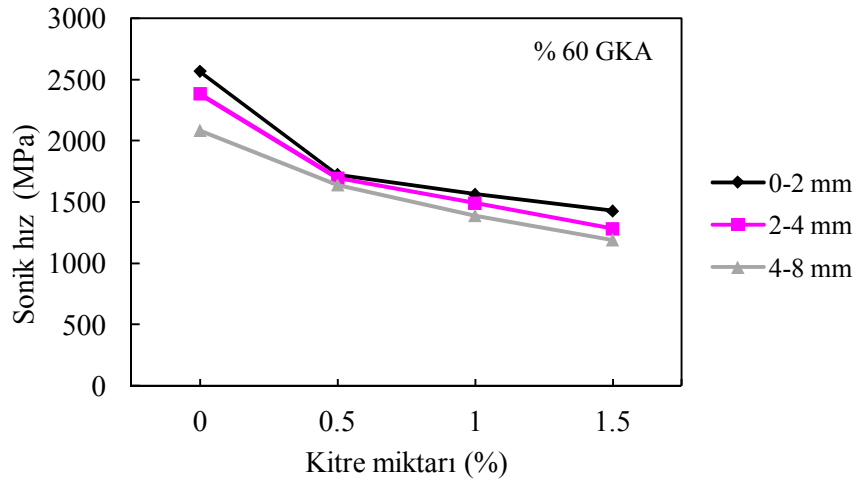
Yapı elemanların teneffüs kabiliyetinin göstergesi olan kuruma hızı deneyi sonuçlarının, kitre miktarıyla değişimi Şekil 7.13' dedir. Kitre miktarı arttıkça numunelerin kuruma oranları da artmaktadır. Kuruma oranının artması, numunelerin teneffüs kabiliyetinin olması anlamına gelmektedir. GKA oranının artmasıyla, kuruma oranı artmaktadır.



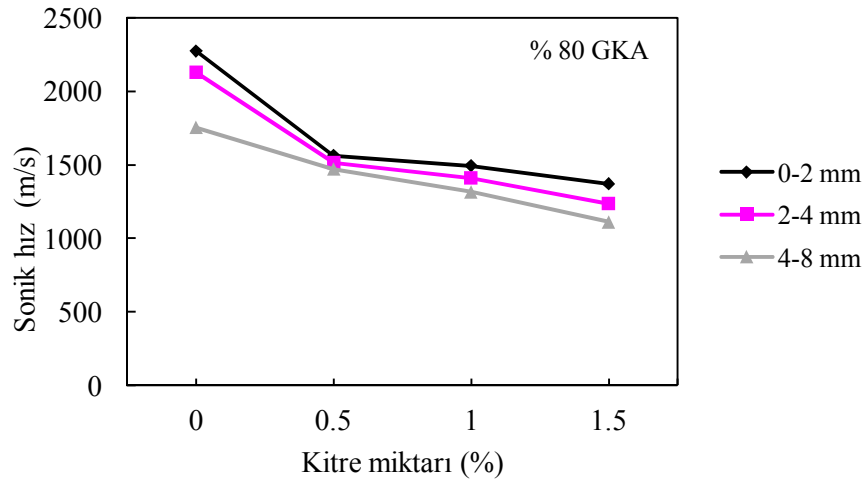
(a)



(b)



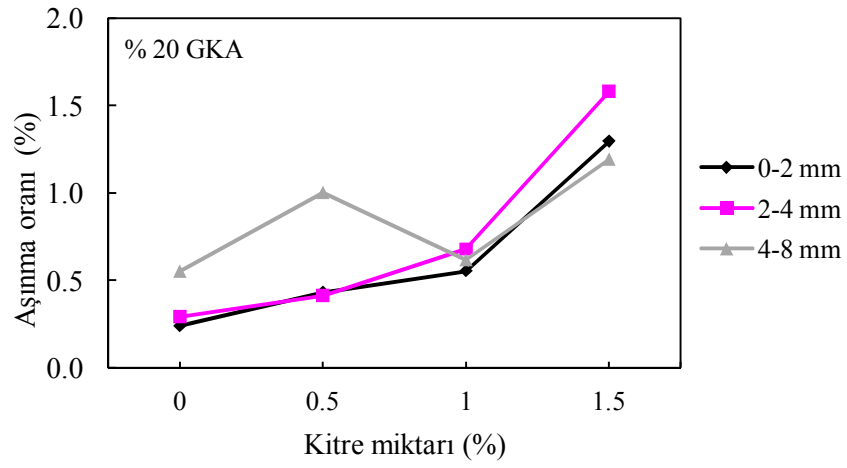
(c)



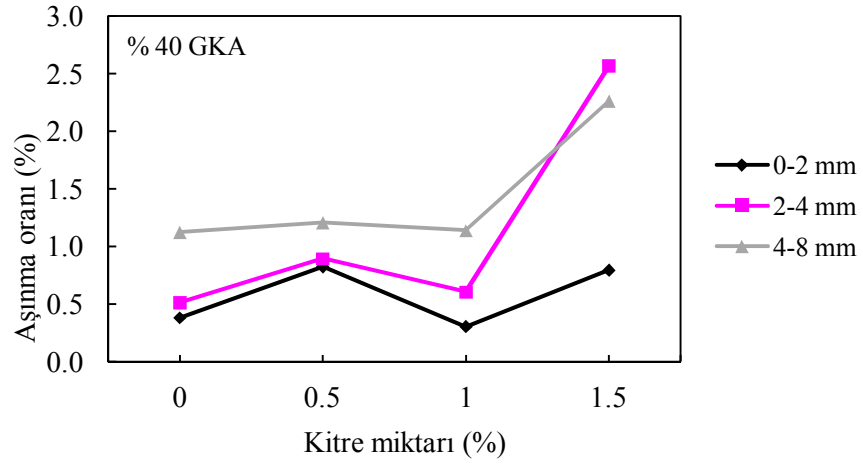
(d)

Şekil 7.14. Sonik hızın kitre miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler

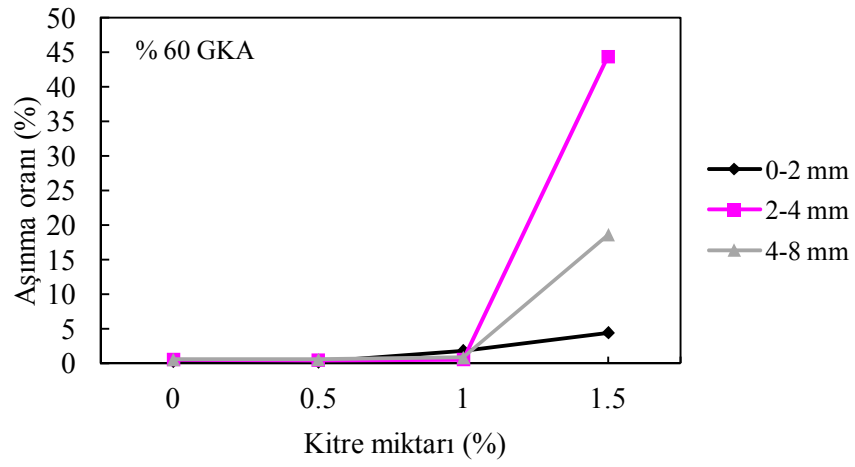
Şekil 7.14’ deki grafiklerde, numunelerin sonik hız değerlerinin, kitre miktarıyla değişimi görülmektedir. Kitre miktarı ve GKA oranındaki artış ile sonik hız değerleri azalmaktadır. Katı ortamlardaki ses dalgalarının yayılma hızı havaya göre daha yüksek olduğundan, numunelerin sonik hızlarındaki bu azalmaların, gözeneklilik miktarının artmasından dolayı olduğu söylenebilir. Numunelerdeki azalışlar uyumlu bir şekilde davranmaktadır.



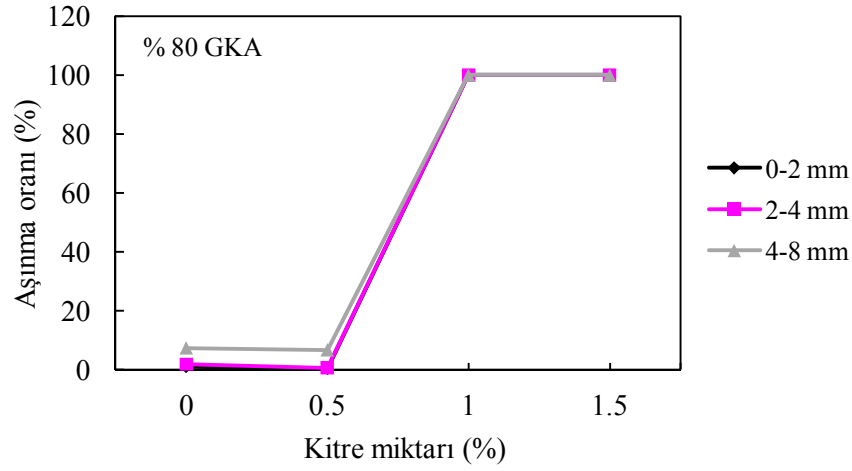
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.15. Aşınma oranlarının kitle miktarıyla değişimi (a) %20 GKA numuneler (b) %40 GKA numuneler (c) %60 GKA numuneler (d) %80 GKA numuneler

Şekil 7.15’ deki grafikler aşınma oranlarıyla, kitle miktarının değişimini vermektedir. Şekil 7.15 (a) ve (b)’ de GKA oranının %20 ve %40 olması sebebiyle aşınma oranı %2.5’ i geçmemişken, GKA oranının arttığı Şekil 7.15 (c) ve (d)’ de aşınma oranları üst sınıra ulaşmıştır. Kitle miktarı ve GKA oranın artması numunelerin, basma mukavemetinde olduğu gibi aşınma oranında da olumsuz etki yapmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, daha önceden yapılan benzer yada yakın literatür kaynaklarıyla karşılaştırılmıştır. Ek 3’ de verilen tabloda, sonuçlar yoğunluk, ısıl iletkenlik ve basınç dayanımları yönünden mukayese edilmiştir. Çalışmada elde edilen ısıl iletkenlik değerleri, karşılaştırma tablosunda verilen bir çok değerden daha düşüktür. Basma dayanım sonuçları da tablodaki çoğu çalışmadan daha iyi değerlere sahiptir. Genel olarak, yoğunluğun azalması, basınç dayanımı ve ısıl iletkenlik değerini düşürmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kitre katkılı, genleştirilmiş kil agregalı betonların ısı ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada şu sonuçlar ortaya konmuştur.

1- Çalışmada kullanılan genleştirilmiş killer, ülkemizde üretilmemektedir. Genleştirilmiş kil için uygun ham madde kaynağının araştırılması ve üretilmesi ülke ekonomisine destek olacaktır.

2- Genleştirilmiş kil agregalı bu tür çok bileşenli malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılmak üzere yeni bir cebirsel denklem geliştirilmiştir. Bu denklemin kullanılması sonucu, numunelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanan değerleri ile ölçülen değerlerinin uyum içerisinde olduğu saptanmıştır. Bu nedenle geliştirilen bu denklemin bu tür heterojen yapıli malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılabileceği belirlenmiştir.

3- Yeni geliştirilen numunelerin ısıli iletkenlikleri, Ek 1’ de verilen tablodaki yapıli malzemelerinin ısıli iletkenliklerine göre çok düşük olduğu belirlenmiştir. Enerji maliyetinin çok yüksek olduğu ve enerji tüketiminin önemli bir bölümünün ısınma amaçlı kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda, yapı bileşenlerinde bu tür yeni malzemenin kullanılması büyük enerji tasarrufu sağlayacaktır. Karışıma eklenen kitre ile ısıli iletkenlik katsayıları küçültülmüştür. 0-2 mm tane çaplı, % 20 oranında GKA içeren kitresiz numunenin, %0.5 kitre içeren karışıma göre %21 oranında, %1.5 kitre içeren karışıma göre %44 oranında daha yüksek ısıli iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. En büyük tane çap olan 4-8 mm tane çaplı, %80 oranında GKA içeren kitresiz numunenin, %0.5 kitre içeren karışıma göre %15 oranında, %1.5 kitre içeren karışıma göre %40 oranında daha yüksek ısıli iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Bu karşılaştırma içerisinde en yüksek fark, 0-2 mm tane çaplı, %80 oranında GKA içeren ve %1.5 kitre katkılı numune ile aynı özellikteki kitresiz numuneden arasında olmaktadır. Bu iki numune arasında %61 oranında fark meydana gelmektedir. Tane çapları arttıkça genel olarak aradaki bu farkın arttığı söylenebilir. Bu durum porozitenin artması ve numune içine katılan kitreden kaynaklanmaktadır. Tamamen doğal ve ekonomik bir reçine olan kitrenin çok az miktarda kullanılması bile büyük oranda enerji tasarrufu sağlayacaktır.

4- Kitre miktarının artmasıyla, hacimsel özgül ısının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin ısı iletim katsayılarıyla ilgili olduğundan düşük özgül ısıya sahip numuneler enerji tasarrufu sağlamış olacaktır.

5- Kitre miktarındaki artış ile basma mukavemeti azalmaktadır. Önemli bir özellik olarak, içerisine kitre katılmış numuneler kolon, kiriş gibi taşıyıcı beton olarak kullanılamayacaklardır. Ancak sıva, panel levha, dolgu malzemesi ve yük taşıma özelliği fazla olmayan duvar yapımında kullanılabilir. Bu özelliğin iyileştirilmesi için karışımlarda, yüksek basınç dayanımlı çimento kullanmak, su/çimento oranını uygun seçmek, GKA oranını çok yüksek seçmemek ve betona kum gibi farklı bir agrega katmak uygun olacaktır.

6- Yapısında kitre bulundurmeyen numunelerin tümü su emme miktarı için kritik değer olan %30' un altında kalmıştır. İçerisine kitre katılan numunelerin yaklaşık %25'i kritik değerın altında kalmış, diğer numuneler bu sınırı geçmiştir. Bu sebeple bu betonların direk suyla temas eden yerlerde kullanılması uygun olmayacaktır. Beton karışımlarına dışarıdan uygulanabilen su yalıtım sistemleriyle sorun çözülebilir.

7- Numunelerin yüksek porozite değerleriyle, sadece ısı yalıtımı için değil aynı zamanda ses yalıtımı içinde kullanılabilirler. Numune içine katılan kitre miktarıyla ses izolasyonu özelliğinde iyileşme sağlanacaktır.

8- Düşük yoğunluğa sahip, kitre ve GKA' nın oluşturduğu betonun yoğunluğu da düşük olmaktadır. Bu nedenle bu özellikteki betonların yapılarda kullanılmasıyla, deprem yüklerinde azalmalara ve dolayısıyla hasarlarda azalmalara yol açılacaktır.

9- GKA oranı %20 ve %40 olan numunelerin aşınma sonuçları uygun bulunmuştur. Bu tür betonlar kaldırım, yol veya döşeme gibi aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde kullanılabilir.

Yukarıda belirtilen sonuçlardan yararlanarak, ileride yapılabilecek şu çalışmalar önerilebilir.

Basma mukavemetini iyileştirmek için yapılacak çalışmalarda bulunulmalı, bunun için farklı oranlarda malzemeler kullanılmalıdır. Çimento sınıfını arttırmakta önemli bir katkı sağlayabilir.

Kitre yerine yine doğal ve elde edilmesi kolay olan farklı bağlayıcılar kullanılabilir. Agrega olarak farklı malzemeleri karışıma eklemek başka bir çalışma konusu oluşturabilir.

Çalışmanın önemli parametrelerinden olan genişletilmiş kil için ülkemizde uygun ham madde araştırılması ve üretimin gerçekleştirilmesi yeni bir çalışma konusu olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.teias.gov.tr/istatistik2010/İstakistik%202010.htm>, Türkiye Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Üretici Kuruluşlara Dağılımı (2010). 20 Şubat 2012.
- [2] **Yılmaz, E.**, 2006. Enerji verimliliği, *Bilim ve Teknik*, 459, 48-51.
- [3] **Subaşı, S., Kap, T.**, 2009. Genleştirilmiş kil agregalı hafif betonun yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 4(1), 48-54.
- [4] **Topçu, İ.B.**, 1997. Semi lightweight concretes produced by volcanic slags, *Cement and Concrete Research*, 27, 15-21.
- [5] **Yaşar, E., Atış, C.D., Kılıç, A., Gülşen, H.**, 2003. Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, *Materials Letters*, 57, 2267-2270.
- [6] **Şimşek, O.**, 2007. Beton ve beton teknolojisi, Seçkin Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- [7] **Seyhan, İ.**, 2001. Genleşen killer, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu yapı malzemeleri III, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik628.pdf>, 02 Haziran 2011.
- [8] **Gökçe, M.**, 2007. Genleşmiş kil agregalarının hafif betonda kullanılabilirliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] **Subaşı, S.**, 2009. Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 24, 559-567.
- [10] **Topçu, İ.B., Canbaz, M.**, 2005. Pişmiş kil kırıklarının betonda agrega olarak kullanılması, 12. *Ulusal Kil Sempozyumu*, 390-397.
- [11] **Subaşı, S.**, 2009. The effects of using fly ash on high strength lightweight concrete produced with expanded clay aggregate, *Scientific Reserarch and Essay*, 4(4), 275-288.
- [12] **Yılmaz, Ş.**, 2010. Kitre bağlayıcılı termik santral uçucu küllerinin yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [13] **Bartolini, R., Filippozzi, S., Princi, E., Schenone, C., Vinici, S.,** 2010. Acoustic and mechanical properties of expanded clay granulates consolidated by epoxy resin, *Applied Clay Science*, **48**, 460-465.
- [14] **Campione, G., Mendola, L.,** 2004. Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement, *Cement and Concrete Composites*, **26**, 645-656.
- [15] **Gennaro, R., Cappelletti, 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.
- [16] **Mueller, A., Sokolova, S.N., Vereshagin, V.I.,** 2008. Characteristics of lightweight aggregates from primary and recycled raw materials, *Construction and Building Materials*, **22**, 703-712.
- [17] **Frattolillo, A., Giovinco, G., Mascolo, M.C., Vitale, A.,** 2005. Effects of hydrophobic treatment on thermophysical properties of lightweight mortars, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **29**, 733-741.
- [18] **Fakhfakh, E., Hajjaji, W., Medhioub, M., Rocha, F., Lopez-Galindo, A., Setti, M.,** 2007. Effects of sand addition on production of lightweight aggregates from Tunisian smectite-rich clayey rocks, *Applied Clay Science*, **35**, 228-237.
- [19] **Ke, Y., Beaucour, A.L., Ortola, S., Dumontet, H., Cabrillac, R.,** 2009. Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials*, **23**, 2821-2828.
- [20] **Alduaij, J., Alshaleh, K., Haque, M.N., Ellaithy, K.,** 1999. Lightweight concrete in hot coastal areas, *Cement and Concrete Composites*, **21**, 453-458.
- [21] **Topçu, İ.B., Işıkdag, B.,** 2007. Manufacture of high conductivity resistant clay bricks containing perlite, *Building and Environment*, **42**, 3540-3546.
- [22] **Lo, Y., Gao, X.F., Jeary, A.P.,** 1999. Microstructure of pre-wetted aggregate on lightweight concrete, *Building and Environment*, **34**, 759-764.
- [23] **Gennaro, R., Cappelletti, P., Cerri, G., Gennaro, M., Dondi, M., Langella, A.,** 2005. Neapolitan yellow tuff as raw material for lightweight aggregates in lightweight structural concrete production, *Applied Clay Science*, **28**, 309-319.
- [24] **Pioro, L.S., Pioro, I.L.,** 2004. Production of expanded-clay aggregate for lightweight concrete from non-selfbloating clays, *Cement and Concrete Composites*, **26**, 639-643.

- [25] **Gonzalez-Corrochano B., Alonzo-Azcarate, J., Rodas, M.,** (2009). Production of lightweight aggregates from mining and industrial wastes, *Journal of Environmental Management*, **90**, 2801-2812.
- [26] **Rossignolo, Joao A., Agnesini, Marcos V.C., Morais, Jerusa A.,** (2003). Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates, *Cement and Concrete Composites*, **25**, 77-82.
- [27] **Niedzwiedzka, D.J.,** 2005. Scaling resistance of high performance concretes containing a small portion of pre-wetted lightweight fine aggregate, *Cement and Concrete Composites*, **27**, 709-715.
- [28] **Vasina, M., Hughes, D.C., Horoshenkov, K.V., Lapcik Jr, L.,** 2006. The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates, *Applied Acoustics*, **67**, 787-796.
- [29] **Demirboğa, R., Gül, R.,** 2003. Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate with mineral admixtures, *Energy and Buildings*, **35**, 1155-1159.
- [30] **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.
- [31] **Çanakçı, H., Demirboğa, R., Karakoç, M.B., Şirin, O.,** 2007. Thermal conductivity of lime Stone from Gaziantep (Turkey), *Building and Environment*, **42**, 1777-1782.
- [32] **Biçer,Y., Pehlivan, D., Tanyıldızı, V., Yıldırım, Ş.,** 1993. Fırat havzasında bulunan doğal taşların bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **8 (2)**, 58-60.
- [33] **Biçer,Y., Yıldız, C.,** 1996. Ahlat ve Malazgirt yöresinde kullanılan yapı taşlarının bazı fiziksel özellikleri, *Çukurova Üniversitesi 4. Soğutma ve İklimlendirme Kongresi*, 172-179.
- [34] **Biçer,Y., Tanyıldızı, V., Yıldırım, Ş.,** 1994. Çukurova yöresinde bulunan doğal yapı taşların bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması, 3.Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **8 (2)**, 58-60.
- [35] **Yüksel, N., Avcı, A.,** 2010. Gözenekli malzemelerin etken ısı iletkenlikleri üzerine mevcut çalışmalar, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **25**, 331-346.

- [36] **Luikov, A.V, Shashkov, A.G., Vasiliev, L.L., Fraiman E.**, 1968. Thermal conductivity of porous systems, *International Journal Heat and Mass Transfer*, **11**, 117-140.
- [37] **Dul'nev, G.N.**, 1965. Heat transfer through solid disperse systems, *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*, **9 (3)**, 399-404.
- [38] **Biçer, Y.**, 1990. Termik santral uçucu küllerinin çeşitli bağlayıcı kombinasyonlarında ısı iletim özelliklerinin analizi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [39] **Yıldız, T.**, 1998. Uçucu kül ve polipropilen atıklarının değişik kombinasyonlarda kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [40] **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.
- [41] **Zumbrunnen, D.A., Viskanta, R., Incropera, F.P.**, 1986. Heat transfer through porous solids with complex internal geometries, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **29**, 275-284.
- [42] **Vysniauskas, V.V., Zikas, A.A., Zaliauskas, A.B.**, 1988. Determination of the thermal conductivity of ceramics by the hot-wire technique, *Heat Transfer Soviet Research*, **20 (1)**, 137-142.
- [43] **Altun, Ö., Böke, E.**, 2009. Isıl engelleyici kaplamaların etkin ısı iletim katsayısının teorik olarak belirlenmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22 (2)**, 139-152.
- [44] **Wyrwal, J., Marynowicz, A., Swirska, J.**, 2008. Effective thermal conductivity of porous building materials-analysis and verification, *Bauphysik*, **30 (5)**, 320-327.
- [45] **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.
- [46] **Reddy, K.S., Karthikeyan, P.**, 2009. Estimation of effective thermal conductivity of two phase materials using collacated parameter model, *Heat Transfer engineering*, **30 (12)**, 998-1011.
- [47] **Dacarcioğlu, B., Çiftçi, E.**, 2010. Orta Anadolu bölgesi Mustafapaşa formasyonu (Niğde) killerinin FTIR spektroskopisi ile incelenmesi ve karakterizasyonu, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, **1(4)**, 239-249.

- [48] **Balo, F.**, 2008. Bitkisel yağların kompozit malzeme yapımında kullanılması, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [49] **Aksoy, O., Yücel, T.**, 2001. Rafrakter killer ve şiferton, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı Madencilik özel ihtisas raporu Endüstriyel hammaddeler alt komisyonu toprak sanayi hammaddeleri II, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik623.pdf>, 20 Eylül 2011.
- [50] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil>, Kil, 01 Kasım 2011.
- [51] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kaolin>, Kaolin, 01 Kasım 2011.
- [52] http://en.wikipedia.org/wiki/Ball_clay, Ball clay, 01 Kasım 2011.
- [53] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Bentonit>, Bentonit, 01 Kasım 2011.
- [54] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/221929/fullers-earth>, Fuller's earth, 01 Kasım 2011.
- [55] **Ariöz, O., Kılınç, K., Karasu, B., Kaya, G., Arslan, G., Tuncan, M., Tuncan A., Korkut, M., Kıvrak, S.**, 2008. A preliminary on the properties of lightweight expanded clay aggerate, *Journal of the Australian Ceramics Society*, **44(1)**, 23-30.
- [56] **J.,Cote, J.M.,Konrad**, 2009. Assessment of structure effects on the thermal conductivity of two-phase porous geomaterials, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **52**, 796-804.
- [57] **Chandra, S., Berntsson, L.**, 2002. Lightweight aggregate concrete, Noyes Publications, New York.
- [58] **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.
- [59] **Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M.**, 2006. Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, **1(2)**, 43-49.
- [60] **TS 523**, Kitre, TSE, Ankara, 1967.
- [61] **Weiping, W.**, 2000. Tragacanth and karaya, *Handbook of hydrocolloids*, pp. 231-245, Eds. Phillips, G.O., Williams, P.A., Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- [62] **Balaghi, S., Mohammadifar, M. A., Zargaraan, A., Gavlighi, H. A., Mohammadi, M.**, 2011. Compositional analysis and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian Astragalus, *Food Hydrocolloids*, **25**, 1775-1784.

- [63] **Mohammadifar, M. A., Musavi, S. M., Amir Kiumarsi, Williams, P. A.,** 2006. Solution properties of targacanthin (water-soluble part of gum tragacanth exudate from *Astragalus gossypinus*), *Biological Macromolecules*, **38**, 31-39.
- [64] **Baytop, T.,** 1959. Kitre zamkı, Erşiyes dağında yapılmakta olan istihsal hakkında, *Türk Eczacılar Birliği Mecmuası*, **1**, 7-15.
- [65] www.saglikbilimi.com/kitre-zamki/, Kitre zamkı, 15 Ekim 2011.
- [66] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Geven>, Geven, 20 Ekim 2011.
- [67] **Tanker, N., Koyuncu, M., Coşkun, M.,** 2004. Farmasötik Botanik, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- [68] www.dogaltedavi.net/gallery2/v/bitkiresimleri/Kitre_001.jpg.html, Şifalı Bitkiler, 15 Ekim 2011.
- [69] <http://turkherb.ibu.edu.tr/>, Türkiye bitkileri veri servisi, 25 Ekim 2011.
- [70] **Holman, J.P.,** 1992. Heat transfer, McGraw-Hill Book Company, London.
- [71] **Özışık, M.N.,** 1985. Heat transfer, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [72] http://www.appliedp.com/download/catalog/isomet_pc_en.pdf, Isomet Heat Transfer Analyzer Model 2104 User's guide, 20 Mart 2010.
- [73] **Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., Hirunlabh, J.,** 2001. New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity, *Cement and Concrete Composites*, **23**, 65-70.
- [74] **Xu, Y., Chung, D.D.L.,** 2000. Cement of high specific heat and high thermal conductivity, obtained by using silane and silica fume as admixtures, *Cement and Concrete Research*, **30**, 1175-1178.
- [75] **Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilily, R.M., Queneudec, M.,** 1999. Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites, *Cement and Concrete Composites*, **21**, 269-276.

EK 1. QTM cihazı ile ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenliği ve literatür değerleri [38].

Malzeme	Ölçülen değerler		Literatürdeki değerler	
	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)
Dış sıva harcı	1.856	1.173	1.600	0.930
İç sıva harcı	1.763	1.163	1.680	0.779
Alçılı ince sıva	0.465	0.244	0.40-0.50	0.139-0.162
Alçılı kaba sıva	0.465	0.168	0.40-0.50	0.139-0.162
Çimentolu sıva	0.672	0.173	0.700	0.244
Alçılı blok	1.047	0.372	0.900	0.221
Çimentolu blok	0.427	0.292	0.105	0.300
Beton	2.500	1.420	2.272	1.512
Seramik toprak	1.077	0.214	2.000	0.988
Strafor	0.016	0.031	0.200	0.040
Gazbeton	0.617	0.180	0.800	0.383
Cam yünü	0.150	0.034	0.200	0.037
Tuğla duvar	2.093	1.148	1.8-2.0	0.972
%0.5 kitreli beton	1.720	0.359		
%1 kitreli beton	1.530	0.324		
%1.5 kitreli beton	1.380	0.289		

EK 2. Numune kodları

Kod	Tane çapı (mm)	Genleştirilmiş kil miktarı (%)	Kitre miktarı (%)	Kod	Tane çapı (mm)	Genleştirilmiş kil miktarı (%)	Kitre miktarı (%)	Kod	Tane çapı (mm)	Genleştirilmiş kil miktarı (%)	Kitre miktarı (%)
121	0-2	20	0.5	221	2-4	20	0.5	321	4-8	20	0.5
141	0-2	40	0.5	241	2-4	40	0.5	341	4-8	40	0.5
161	0-2	60	0.5	261	2-4	60	0.5	361	4-8	60	0.5
181	0-2	80	0.5	281	2-4	80	0.5	381	4-8	80	0.5
41	-	-	0.5								
122	0-2	20	1	222	2-4	20	1	322	4-8	20	1
142	0-2	40	1	242	2-4	40	1	342	4-8	40	1
162	0-2	60	1	262	2-4	60	1	362	4-8	60	1
182	0-2	80	1	282	2-4	80	1	382	4-8	80	1
42	-	-	1								
123	0-2	20	1.5	223	2-4	20	1.5	323	4-8	20	1.5
143	0-2	40	1.5	243	2-4	40	1.5	343	4-8	40	1.5
163	0-2	60	1.5	263	2-4	60	1.5	362	4-8	60	1.5
183	0-2	80	1.5	283	2-4	80	1.5	383	4-8	80	1.5
43	-	-	1.5								
120	0-2	20	0	220	2-4	20	0	320	4-8	20	0
140	0-2	40	0	240	2-4	40	0	340	4-8	40	0
160	0-2	60	0	260	2-4	60	0	360	4-8	60	0
180	0-2	80	0	280	2-4	80	0	380	4-8	80	0

EK 3. Literatür ile çalışma sonuçların karşılaştırılması

Numuneler	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Kaynaklar
121	1.800	0.329	7.98	Bu çalışma
141	1.282	0.287	4.50	
161	0.990	0.245	2.88	
181	0.807	0.225	2.26	
41	1.720	0.359	8.82	
42	1.530	0.324	3.12	
43	1.380	0.289	2.69	
Çimento dozajı 350 kg/m ³	1.370	-	16.67	[9]
Çimento dozajı 400 kg/m ³	1.560	-	23.27	
Çimento dozajı 450 kg/m ³	1.700	-	41.27	
Uçucu kül %10, kitre %0	1.280	0.293	4.50	[12]
Uçucu kül %10, kitre %0.5	1.161	0.187	5.20	
Uçucu kül %10, kitre %1	1.055	0.170	5.90	
Uçucu kül %10, kitre %1.5	0.955	0.153	5.40	
Hacimce lastik oranı %30	1.473	0.625	23.30	[40]
Hacimce lastik oranı %40	1.300	0.516	16.00	
Hacimce lastik oranı %50	1.150	0.470	10.50	
%30 kil, %70 kül, %50 ayçiçek yağı (200 °C)	0.969	0.250	3.28	[48]
%30 kil, %70 kül, %50 soya yağı (200 °C)	1.051	0.273	6.31	
%30 hindistan cevizi fiberi	0.770	0.175	1.97	[73]
%20 hindistan cevizi fiberi	1.106	0.429	2.53	
%30 durian fiberi	0.950	0.189	0.20	
%25 durian fiberi	1.180	0.252	0.20	
%15 silis dumanı %0 silan	1.980	0.403	65.00	[74]
%15 silis dumanı %0.5 silan	2.060	0.649	78.10	
%15 silis dumanı %1 silan	2.080	0.688	82.30	
%15 silis dumanı %1.5 silan	2.070	0.697	81.00	
%10 odun talaşı	1.010	0.220	2.67	[75]
%20 odun talaşı	0.870	0.160	2.35	
%30 odun talaşı	0.700	0.140	1.35	

ÖZGEÇMİŞ

Atilla Gencer Devecioğlu, 1975 yılında Beyşehir’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Diyarbakır’ da tamamladı. 1995 yılında Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi. 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında eğitimini tamamladı. 2000- 2004 yılları arasında özel sektörde makine mühendisi olarak çalıştı. 2004 yılından beri, Dicle Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.