

**KİTRE KATKILI BİMS VE ÇİMENTO KARIŞIMLARININ
YENİ BİR YAPI MALZEMESİ OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mak. Yük. Müh. Fatih KOÇYİĞİT

**Doktora Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ebru AKPINAR
NİSAN-2012**

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

**KİTRE KATKILI BİMS VE ÇİMENTO KARIŞIMLARININ YENİ BİR YAPI
MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Fatih KOÇYİĞİT

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. Ebru AKPINAR

...// 2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİTRE KATKILI BİMS VE ÇİMENTO KARIŞIMLARININ YENİ BİR YAPI MALZEMESİ
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Fatih KOÇYİĞİT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :
Tezin Savunulduğu Tarih :

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ebru AKPINAR

Üye : Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU

Üye : Prof. Dr. Yaşar BİÇER

Üye : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nevin ÇELİK

NİSAN-2012

ÖNSÖZ

Bilimsel anlamda bu çalışmayı yöneten ve çalışmalarım sırasında daima desteğini ve büyük yardımlarını gördüğüm danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ebru AKPINAR'a ve Sayın Prof. Dr. Yaşar BİÇER'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince teşvik ve ilgisini esirgemeyen eşim İnş. Yük. Müh. Şermin KOÇYİĞİT'e, ablalarım Prof. Dr. Yıldız ATAMER'e ve Prof Dr. Yüksel KOÇYİĞİT'e teşekkür ederim.

Fatih KOÇYİĞİT
ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
2. BİMSLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ	10
2.1. Bimsin Tanımı ve Oluşumu	10
2.2. Bimsin Sınıflandırılması	13
2.3. Bimsin Fiziksel, Kimyasal, Teknik ve Mekanik Özellikleri	16
2.3.1. Fiziksel Özellikleri	16
2.3.2. Kimyasal Özellikleri	17
2.3.3. Mekanik Özellikleri	18
2.4. Hafif Beton Agregası Olarak Kullanımı	18
3. KİTRE	21
3.1. Türk Kitresi (Astragalus Gummifer)	22
3.2. Türkiye’de Yetişen Geven Türleri	22
3.3. Kitre Zamkının Elde Edilmesi	24
3.3.1. Yaprak Kitre	24
3.3.2. Tragakanton veya Firde	25
3.4. Kitrenin Bileşimi	25
3.5. Kitrenin Kullanım Alanları	25
4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ	26

4.1.	Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Hesaplanmasında Kuramsal Bir Model	26
4.1.1.	Elemanter Hücrenin Fiziksel Modeli	27
4.2.	Gözeneklilik Oranının Tayini	35
4.3.	Kitre ve Çimento Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi	37
4.4.	Gözenek İçindeki Gazların Isı İletim Katsayıları	39
4.5.	Kitreli Numunenin Isı İletim Katsayısının Sayısal Olarak Hesabı	40
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
5.1.	Kitrenin Hazırlanması	43
5.2.	Deney Numunelerinin Hazırlanması	44
5.3.	Isıl İletkenlik Deneyi	47
5.4.	Isıl İletkenlik Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi	47
5.5.	Basma Mukavemeti Deneyi	52
5.6.	Aşınma Kaybı Deneyi	54
5.7.	Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi	55
5.8.	İşlenebilir Özelliği	59
5.9.	Ölçülen Değerlerin Belirsizlik Analizi	60
5.9.1.	Isı İletim Katsayısının Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler	62
5.9.2.	Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler	63
5.9.3.	Ağırlık Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler	63
5.9.4.	Basma ve Çekme Mukavemeti Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler	64
5.9.5.	Aşınma Kaybı Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler	64
5.9.6.	Diğer Belirsizlikler	65
5.10.	Ölçülen Değerlerden Kaynaklanan Toplam Belirsizlikler	65
6.	BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	69
6.1	Isı iletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	69
6.2.	Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	82
6.3.	Mekanik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	93
6.4.	Aşınma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	96
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
	KAYNAKLAR	100
	ÖZGEÇMİŞ	105

ÖZET

Enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükenme problemi ile karşı karşıya kalmasından ve maliyetlerin artmasından dolayı gelişen ve değişen dünya şartlarında son yıllarda enerji sektörü çok önem kazanmıştır. Geleneksel veya yenilebilir kaynaklardan enerji üretiminin artması zorunluluğu kadar önemli olan bir diğer husus da enerjinin verimli bir şekilde tüketilmesinin sağlanmasıdır. Üretilen enerjinin bir kısmı, ısınma için tüketilmektedir. Isınma amacıyla sarf edilen enerjinin asgari boyutlarda kalmasını sağlamak ise ısı yalıtımı ile mümkündür.

Günümüzde enerji verimliliği yüksek olan bina tasarlamak, sürdürülebilir yapının temel özelliklerinden biri olup gelecek nesillere yaşanır bir çevre bırakmanın ana şartıdır. Bu bağlamda enerji tasarrufu, güncelliğini koruyan konuların en başında gelmektedir. Enerji tasarrufundan faydalanmanın bir diğer yolu da yapı malzemelerinden, ısı iletim katsayılarının küçük olduğu agregaları tespit edip değişik üretim teknolojileri ile harmanlamaktır.

Bu çalışmada bims agregası ile birlikte bağlayıcı olarak değişik kombinasyonlarda çimento ve kitre kullanılmıştır. Kitre Türkiye'nin Güney ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde kırlarda yetişen, geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan ve yapıştırıcı özelliği olan bir reçinedir. 0.5-3 mm kalınlığında, 1-3 cm çapında yuvarlak plakalar ya da değişik biçimlerde parçalar halindedir. Beyaz ya da açık sarı renkli olup kokusuzdur. Eczacılıkta tablet, pastil gibi ilaçların hazırlanmasında, kâğıt, dokuma, "ebru" yapımında ve boya sanayinde kullanılır. Deneylerde kullanılan bimsler, geniş rezervlere sahip olan Van ilinin Ahlat bölgesinden temin edilmiştir. Bimsler öğütülerek tane çapları azami 0-4 mm, 4-8 mm ve 8-12 mm olacak şekilde gruplanmış ve her gruba % 20, % 40, % 60 ve % 80 ağırlık oranında bims ve % 0.5, % 1 ve % 1.5 ağırlık oranında kitre ve bağlayıcı olarak da çimento (KPÇ 325) katılmıştır. Bağlayıcıların cins ve karışım yüzdelere göre 51 adet değişik numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler oda sıcaklığında 28 günlük standart kurumaya bırakıldıktan sonra gerekli ölçümler yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal analizlerinden sonra hazırlanan örnekler üzerinde yoğunluk, ısıl iletkenlik, özgül ısı kapasiteleri, su emme oranları, kuruma hızları, çekme, basınç dayanımı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler, Dokuz Eylül Üniversitesi ile Fırat Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen numune-

lerde kullanılan kitre miktarındaki ve bims tane çaplarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri, basma ve çekme dayanımı, aşınma miktarı düşmektedir. Tane çapları küçük seçilen numunelerin yoğunluk değerleri artarken yalıtım özellikleri azalmakta, buna karşılık mukavemet değerlerinin de artmakta olduğu saptanmıştır. Su emme oranları TSE’de (Türk Standartları Enstitüsü) ön görülen sınır değerlerin üstünde çıkmıştır. Bu nedenle üretilen numunelerin sıva tipi yapı malzemelerinde, dış sıvalarda ve su ile direkt temas eden yüzeylerde kullanılamayacağı; buna karşılık iç sıva, çatı altı kaplama sıvası veya sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bims, Kitre, imento, Kompozit Malzeme, Gözeneklilik, Isı İletim Katsayısı

ABSTRACT

Energy sector has gained importance as in recent years the energy resources has faced with depletion problem and costs increased globally. Another issue that is as prominent as indispensability of energy's procurement by conventional or sustainable sources is the efficient use of energy. The large part of the produced energy is consumed for heating purposes. Minimization of the energy consumed for heating purposes is possible via heat insulation.

Nowadays, designing a building that has high energy efficiency is one of the fundamental features of sustainable construction and is a basic rule of leaving a livable environment for the next generations. In this respect, energy conservation is one of the top up to date issues. Another way to take advantage from energy conservation is to find out the aggregate material that has lower coefficient of thermal conductivity and then blending them with different production techniques.

Moreover, in this work tragacanth, which lowers down coefficient of thermal conductivity and is thought as the binder together with cement, has been used. It is a kind of glue that leaks from the body of wild liquorice (Lat: *Astragalus Glycyphyllos*) that grows in prairies of Turkey's south and southeastern regions. It has the shape of a 0.5-3 mm thick, has 1-3 cm sized disc or some other forms. It is white or light yellow and scentless. It is used to prepare of tablets, pastilles in pharmacy, to produce of paper, texture, and marbling paper, and used at paint industry. In this work, pumice that has large reserves in the city of Van's Ahlat territory, has been used as aggregates. After having been grinded, pumices have been grouped as having maximum 0-4 mm, 4-8 mm and 8-12 mm diameter and to each group 20%, 40%, 60% and 80% of pumice, 0.5%, 1% and 1.5% of tragacanth, and cement(KPC 325) as binder has been used, proportions have been determined weight-wise. According to the type and blend percentages of the binders, 51 different samples have been prepared. After having been left in water for 28 days, the prepared samples have been put on to natural drying for the required measurements.

After the chemical analyses on the materials used at the experiments, intensity, thermal conductivity, specific heat capacities, water absorption measurements, drying speeds, tensile, compressive strength, and erosion tests have been made on the prepared samples. At these samples, thermal conductivity, compressive and tensile strength, the

amount of erosion decrease as the amount of tragacanth and the diameter of pumice particles increase. While the selected small diameter particles' intensity values increase, their insulation features decrease; on the other hand, their strength values have been observed as increasing. Water absorption levels have been higher than the estimated limit levels of TSE (Turkish Standards Institution). Therefore, the fact that; the produced samples cannot be used for plaster type construction materials, external plasters and the surfaces that directly comes into contact with water, on the other side, they could be used for internal plasters, roof undercoating plaster or as the intermediate filling for the multi-unit walls, have been determined.

Keywords: Pumice, Gum-Tragacanth, Cement, Composite Material, Porosity, Heat Transfer Coefficient

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Bims Agregaları	11
Şekil 2.2. Bims Oluşumunun Sembolik Gösterimi	12
Şekil 2.3. Asidik Karakterli Bims	14
Şekil 2.4. Bazik Karakterli Bims	15
Şekil 2.5. Boyutlandırılmış Bims Agregaları	19
Şekil 3.1. Kuru halde kitre görünümü.....	21
Şekil 4.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli	27
Şekil 4.2. Kitreli numunelerin elemanter hücre kesiti	28
Şekil 4.3. Elemanter hücre bileşenleri ısı dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması	31
Şekil 5.1. Plastik kalıplara dökülmüş numuneler	42
Şekil 5.2. Kitrenin (a-Eritilme safhasındaki, b-Süzüldükten sonraki) görünümü	44
Şekil 5.3. Isı iletim katsayısının ölçülmesi için hazırlanan 0-4, 4-8, 8-12 mm. çaplı bimsler ve %0- %0.5- %1- %1.5 kitreli deney numuneleri	46
Şekil 5.4. Mekanik deneyler için 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bimsler ile hazırlanmış deney numuneleri	47
Şekil 5.5. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı	48
Şekil 5.6. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı devre şeması	48
Şekil 5.7. Basma mukavemeti deney cihazı	52
Şekil 5.8. Böhme aleti	54
Şekil 5.9. Su emme, kuruma deneyi kabı ve tartı aleti	56
Şekil 5.10. Matkapla numunelerin delinebilirliği	59
Şekil 5.11. Boya işlemine tabi tutulmuş ve dekoratif amaçlı kaplama yapılmış numuneler	60
Şekil 6.1. Numunelerin bünyesindeki kitre ve bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayısındaki değişim	71
Şekil 6.2. 0-4mm. çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deneysel ve kuramsal karşılaştırılması	73

Şekil 6.3. 4-8mm. çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deneysel ve kuramsal karşılaştırılması	75
Şekil 6.4. 8-12mm. çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deneysel ve kuramsal karşılaştırılması	76
Şekil 6.5. Farklı çaplı ve aynı kitre oranlı numunelere ait ısı iletim katsayısı ve kitre miktarındaki değişim	79
Şekil 6.6. Bims oranı farklı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin proziteye bağlı değişimi	80
Şekil 6.7. Bims oranı aynı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin proziteye bağlı değişimi	81
Şekil 6.8. 0-4, 4-8, 8-12mm. çaplı bimsli numunelerin bims ve kitre miktarındaki değişime göre su emme oranları	83
Şekil 6.9. 0-4mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5)kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi	85
Şekil 6.10. 4-8mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi	86
Şekil 6.11. 8-12mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi	88
Şekil 6.12. 0-4mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5)kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıklıkların zamana göre değişimi	89
Şekil 6.13. 4-8mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıklıkların zamana göre değişimi	91
Şekil 6.14. 8-12mm. çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıklıkların zamana göre değişimi	92
Şekil 6.15. 0-4, 4-8, 8-12mm. çaplı numunelerin kitre oranına göre basınç dayanımı	94
Şekil 6.16. 0-4, 4-8, 8-12mm. çaplı numunelerin kitre oranına göre çekme dayanımı	95
Şekil 6.17. 0-4, 4-8, 8-12mm. çaplı numunelerde kitrenin sürtünme ile aşınma üzerine etkisi	97

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Bimslerin genel olarak kimyasal bileşimi	14
Tablo 2.2. Asidik ve bazik karakterli bimslerin kimyasal bileşimleri	16
Tablo 2.3. Ülkemizdeki bims kayaçlarının genel fiziksel özellikleri	17
Tablo 2.4. Ülkemizdeki bims kayaçlarının genel kimyasal özellikleri	18
Tablo 2.5. Hafif agregaların ısı iletkenlik değerleri (TS 825)	20
Tablo 4.1. Elemanter hücre bileşenlerine ait ısıl dirençlerinin matematiksel ifadeleri ..	32
Tablo 4.2. Sıfır gözenekli bims ve %0.5- %1- %1.5 kitre katkılı çimento bileşiminin ısıl iletkenlik değerleri	34
Tablo 4.3. Bims ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm ³)	38
Tablo 4.4. Bims matrisleri yoğunluk değerleri tayini tablosu	39
Tablo 4.5. 300 K sıcaklığında muhtelif gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları .	40
Tablo 5.1. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait özellikler	51
Tablo 5.2. Numunelere ait mekanik dayanım sonuçları	53
Tablo 5.3. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait su emme deneyi	57
Tablo 5.4. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait kuruma hızı deneyi.....	58
Tablo 5.5. Numunelerin deneylerinde yapılan belirsizliklerin toplam değerleri	68
Tablo 6.1. Shoterm QTM cihazı ile ölçülen değişik malzemelerin ısıl iletkenlik değerlerinin tesbiti	70

SEMBOLLER LİSTESİ

Gr	: Grashof sayısı, $((g \cdot \beta(T_1 - T_2) \cdot R^3) / \nu^2)$
I	: Isıtıcı telden geçen akım, (A)
K, H	: Ölçme cihazına ait sabitler
k_b	: Sıfır gözenekli bimsin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{bağ}$	: Bağlayıcı malzeme ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_ç$	: Çimentonun ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_{ef}	: Numunenin efektif ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_f	: Uçucu külün ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_g	: Gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_k	: Kitrenin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_p	: Polipropilenin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
Pr	: Prandtl sayısı, (ν/α)
q	: Isıtıcı tele verilen ısı akısı, (W/m ²)
R	: Elektriksel direnç, (m ² K/W)
Ra	: Rayleigh sayısı, $(=Gr \cdot Pr)$
t	: Isıtma süresi, (h)
T	: Sıcaklık, (K)
V	: Toplam hacim, (m ³)
W	: Numunenin ağırlığı, (g)
W_φ	: Aşınma kaybı ölçülmesindeki belirsizlikler, (kg)
$W_{bç}$	: Basma ve çekme mukavemetinin ölçülmesindeki belirsizlikler, (kgf/cm ²)
W_k	: Isı iletim katsayısının ölçülmesindeki belirsizlikler, (W/mK)
W_{ta}	: Aşınma deneyinde yapılan toplam belirsizlikler, (kg)
W_{tk}	: Kuruma deneyinde yapılan toplam zaman belirsizlikleri, (dk)
W_{ts}	: Su emme deneyinde yapılan toplam zaman belirsizlikleri, (dk)
X	: Hacimsel kitle yüzdesi, (%)
Z	: Hacimsel bims yüzdesi, (%)
1-Z	: Hacimsel bağlayıcı yüzdesi, (%)
α	: Isı yayınma katsayısı, (m ² /s)
ε	: Siyah cismin ışıınım katsayısı

ρ	: Yoğunluk, (g/cm ³)
ρ_k	: Kitre yoğunluğu, (g/cm ³)
$\rho_{bağ}$	: Bağlayıcı yoğunluğu, (g/cm ³)
ρ_{bims}	: Sıfır gözenekli bims yoğunluğu, (g/cm ³)
$\rho_{bims\ matrisi}$	: Sıfır gözenekli bims yoğunluğu, (g/cm ³)
σ	: Stefan-Boltzman sabiti, (5.67x10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴)
σ_b	: Numunenin basma mukavemeti, (kg _f /cm ²)
$\sigma_ç$	: Numunenin çekme mukavemeti, (kg _f /cm ²)
ν	: Kinematik viskozite, (m ² /s)
ϕ	: Gözeneklilik oranı (%)

KISALTMALAR LİSTESİ

A	: 0-4 mm. aplı bims agregası
B	: 4-8 mm. aplı bims agregası
C	: 8-12 mm. aplı bims agregası
	: Çimento
K	: Kitre
KP	: Portlant imentosu
QTM-D2	: Isı iletkenlik ölçüm aleti (Shotherm)

1. GİRİŞ

Gelişen ve değişen dünya şartlarında son yıllarda kendisinden en çok söz ettiren sektör enerji sektörüdür [1]. Bunun başlıca nedeni, enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükenme problemi ile karşı karşıya kalmasıdır. Enerjinin temiz, ucuz ve güvenli bir şekilde temini, kalkınmanın en önemli parametrelerinden biri olarak tüm dünya ülkelerinin gündeminde olan bir konudur. Ülkeler kalkınabilmek için bir taraftan çevre kirliliği nedeniyle uluslararası hukuk düzenlemeleri geliştirirken ucuz ve temiz enerji türleri konusunda Ar-Ge çalışmalarını sürdürmekte, diğer yandan yaratılan yeni teknolojilerin pazarlamasına girmekte, enerjinin kesintisiz tedariki konusunda ticari, politik ve hatta askeri çabalar göstermektedirler.

Bunların yanı sıra “sürdürülebilir kalkınma” kavramının dünya gündeminde yerini aldığı görülmekte, enerji kaynakları arasındaki rekabet sürerken yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyeti ve geleceği tartışılmakta, enerji kaynakları kısıtlı olan ülkeler hangi enerji kaynaklarına hangi oranda öncelik vermeleri gerektiği üzerinde politikalar üretmektedirler [2].

Üretilen enerjinin önemli bir kısmı ısınma için tüketilmektedir [3]. Bu enerjinin asgari boyutlarda kalmasını sağlamak ise ısı yalıtımı ile mümkündür. Gelişen ülkeler, yeni enerji kaynakları bulmaya eşdeğer önemde, mevcut enerji kaynaklarını korumayı ilke edinmişlerdir. Dünyada bir yandan alternatif enerji kaynakları araştırılırken, bir yandan da mevcut enerjileri harcamada tasarrufa gidilmektedir. Yapılardaki bu tasarruf ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Binalarda pencereler, dış duvarlar, merdivenler, tavanlar, ısıtılmayan hacimler, zemine oturan döşemelerden ısı kaybetmekte ve bu yüzden ısınma için gerekenden daha fazla enerji harcamaktadır. Özellikle son yıllarda yapılarda yakıt tüketimi açısından ısı yalıtımı önem arz etmekte ve yakıt tüketimi az olan yapılar tercih edilmektedir.

Isı yalıtımı konusunda birçok önlemler alınmasına rağmen, günümüzde arzu edilen düzeye hala ulaşamamıştır. Bunun en önemli nedenleri arasında, bu konuda yeterli bilincin oluşmaması ve inşaat başlangıcında öncelikli olarak sadece ekonomik olmanın düşünülmesidir. Ancak ülkemizde bol miktarda bulunabilen ve aynı zamanda ucuz olan bazı mineralleri kullanarak binalarda gerekli ısı yalıtımını sağlamak mümkündür [4].

Maliyeti uygun olan malzemeler, kendisinden beklenen özellikleri sağlayamadığı takdirde, uygun bir malzeme olarak kullanılamayacağı gibi, aynı şekilde özellikleri

bakımından uygun olan malzemelerin de yüksek maliyet gerektirdiği takdirde kullanılması gerekmemektedir. Bu nedenle yapılarda uygun maliyetli ve ısı iletim katsayısının düşük olduğu malzemelerin seçilmesi en önemli özelliktir.

Yapıda sürdürülebilirliğin amaçlarına hizmet edebilen malzeme kullanımı günümüz şartları göz önüne alındığında çok önemlidir. Bu açıdan doğal ve yerel bir malzeme olan bims, yapı elemanı üretiminde ülkemiz için önemli bir hammaddedir. Almanlar tarafından “bims” olarak isimlendirilen bu malzemeye Fransızca’nın “Pierre Pomce”undan pomza veya ponza denildiği gibi Türkçe’de de sünger taşı diye de isimlendirilmektedir.

Bims, bir nevi volkanik tuf olup erimiş halde iken absorbe ettiği bol miktardaki gazların soğuma sırasında kütleden ayrılması ile boşluklu, süngerimsi bir manzara gösteren katılaşmamış tabii cam köpükten ibarettir. Sertliği “mohs” skalasına göre 6 civarındadır. Bims’in kullanımı çok eski yıllara dayanmakta olup, ilk olarak Yunanlılar, daha sonra Romalılar tarafından kullanılmış ve bunların yaptığı görkemli yapılar günümüze kadar ulaşmıştır. Türkiye’de bims rezervleri İç ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nde yoğun olmasına rağmen Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde de bims oluşumlarına rastlanmaktadır. Özellikle Uşak, Kütahya, Konya, Ankara, Kayseri, Ürgüp, Niğde, Iğdır, Van, Nevşehir ve Taşpınar yörelerinde büyük rezervler bulunmaktadır.

Ancak bims madeni Türkiye’de 1983 yılında bims ihracatı yapılmaya başlanarak kullanılmaya başlanmıştır [5]. Bims madeninin Türkiye’de Kapadokya bölgesindeki doğal konutlarda, Niğde’de soğutma depolarında, pomza taşı adı altında taş veya toz halinde cila işlerinde, kesme taş veya hafif agrega olarak inşaatlarda, tekstil ve ziraat gibi başka endüstri alanlarında da kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzeme hafif olması ve agreganın içinde fazla oranda boşluklar bulunmasından dolayı ısı iletim katsayısı küçüktür.

Bims, hafif beton üretiminde agrega olarak kum yerine de kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu hafif betonların mukavemetinin büyük olması beklenemez. Ancak bazı tedbirler alınarak mukavemeti bir miktar artırılabilir [6]. İnşaat sektöründe kullanım alanı geniş olmasına rağmen en yoğun olarak duvar bloğu üretiminde kullanılmaktadır.

Bims agregalı hafif beton bloklar bims blok olarak adlandırılmaktadır. Bims blok, derecelendirilmiş bims agregası, çimento ve su kullanılarak, uygun teknolojiyle basınç altında sıkıştırılmak suretiyle şekillendirilerek imal edilen duvar ve döşeme elemanlarına verilen genel addır. Yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek mukavemet, ekonomiklik gibi özelliklerinden dolayı bims blok ülkemiz inşaat sektöründeki pazar payı son 10 yıl içinde 4 kat artmıştır [7].

Yapıların ısı ihtiyaçlarında, geleneksel yapı malzemelerine oranla bims blok kullanımı sonucunda %35 - %45 civarında ısı tasarrufu sağlanmaktadır. Bims bloğun ısı yalıtımı özelliği, bloğu oluşturan bims agregası ve karışımın özelliklerinin bir fonksiyonu olduğu kadar blok geometrisi ile de yakından ilişkilidir [8].

Hafif agregalardan üretilen beton blokların düşük yoğunluğu, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangına karşı dayanıklılık ve deformasyonla ilgili özelliklerinden dolayı önemli avantajları vardır. Betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle yapı elemanlarının kendi ağırlığı azaltılıp kesitleri küçültülebilir. Bu şekilde zati (ölü) yüklerin azaltılmasıyla aynı zamanda ısı iletkenlik katsayısı küçültülüp ses yutuculuğu artabilmektedir [9].

Bims bloğun sürdürülebilir bir yapı malzemesine aday olmasını sağlayan birçok özelliği vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Bimsin gözenekli ve blokların boşluklu yapısından dolayı ısı yalıtımı yapabilmesi,
- Bims blokların hafif ve büyük boyutlu olmaları nedeni ile hızlı bir şekilde duvar örülerek zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlayabilmesi,
- Hafifliğinden dolayı binaya getireceği yükler azalacağından taşıyıcı sistemde malzeme olarak kullanılabilmesi,
- Yerel bir malzeme olduğundan ekonomik olması,
- Blok üretimi sırasında yüksek enerji gerektirmemesi ve dolayısıyla havaya salınan gaz emisyonlarının az olması.

Bims blok bu özelliklerinden dolayı son yıllarda inşaat sektöründe oldukça talep edilen bir yapı bileşeni olmuştur.

1.1. Literatür Araştırması

Bimsli betonlarla ilgili gerek yurt içinde ve gerekse yurt dışında çok çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların büyük bir bölümü enerji tasarrufu sağlayan ürünler ve yöntemler hakkında yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı özetle aşağıda verilmiştir;

Rogers [10], ısı yalıtımında ilk yatırım maliyetlerinin pahalı olmasına rağmen sonraki yıllarda yakıttan sağlanacak tasarruf sayesinde bu masrafların karşılanabileceğinden bahsetmiştir.

Gündüz vd. [8], bims bloğun ısı yalıtım özelliklerini araştırarak bims blok kullanımının geleneksel malzemelere oranla %35 - %45 civarında ısı tasarrufu sağladığını belirlemişlerdir.

Çuhadaroğlu vd. [11], fındık kabuğu eklenmesinin briketin ısı geçirgenliğine etkisini araştırmış ve fındık kabuğu ilavesinin bütün oranlarda briketin ısı geçirgenliğinin azaldığından bahsetmişlerdir.

Demirboğa vd. [12], bimsle üretilen hafif betonda, çimento yerine uçucu kül kullanılmasının ısı geçirgenliğine etkisini araştırmış ve uçucu kül kullanımının hafif betonun ısı iletkenliğini düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Şimşek [13], Karaman Maden şehri doğusundaki pomza agregasının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmış, çimento ve ince agrega oranlarını yüzde olarak azaltmak suretiyle yerine Soma B Termik Santrali uçucu külü ikame ederek yapı malzemesinin ekonomik olmasını amaçlamıştır.

Serin [14], hafif agregalarda üretilen beton blokları araştırmış ve agregaların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Bims agregası ve diatomit kullanarak çeşitli yoğunluklarda hafif beton bloklar üretmiş ve normal beton bloklarla karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda bims'li ve diatomitli beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağı fakat ara bölme duvar elemanı veya yalıtım blokları olarak kullanılabilir özellikle olduğunu belirlemiştir.

Agırdır [15], Konya Altınapa bims agregası ile beton bloklar üretmiş, bims agregasıyla üretilen beton blokların kullanımı ile yapılarda yakıt maliyetinin düşeceğini belirtmiştir.

Kılınçkale [16], 1996 yılında yaptığı çalışmada yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanların ve trasın özelliklerini ve puzolanik aktivitesini incelemiştir. Sonuç olarak tüm puzolanların puzolanik aktiviteye sahip olduğunu belirtmiştir.

Kars [17], 1994 yılında yaptığı çalışmada Türkiye'de üretilen briketlerin ısı davranışlarını incelemiş, bims agregalı bims blokların ısı iletkenliği hesap değerinin standartlarda verilen değerlerden daha düşük olduğunu belirlemiştir. Bu özelliğiyle bimsin, blok düşey konstrüksiyonların oluşturulmasında kullanılan tuğla ve benzeri yapı bileşenlerinden daha iyi ısı yalıtımlı olduğunu ifade etmiştir.

Çankıran [18], bims agregalı hafif betonun mekanik özelliklerini incelemiş, kimyasal katkılarla dayanımının arttığını ve yoğunlukta azalma olduğunu belirlemiştir.

Oğuz vd. [19], bims agregası ile üretilen betonda fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmış, dozajın artırılması ve su-çimento oranının azaltılması sonucunda basınç dayanımının arttığını fakat üretilen yarı hafif ve hafif betonların yük taşıyıcı elemanlarda

kullanılamayacağını belirtmiştir.

Kan [20], Türkiye briketlerinin nemsel davranışlarını araştırmış, briketlerin buhar difüzyon direnç katsayılarının malzemenin birim ağırlığına bağlı olarak arttığını tespit etmiştir.

Özdeniz vd [21], briketlerin dış duvar bileşeni olarak özellikleri saptanarak iyileştirilmesi amacıyla yeni bir briket tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen briket, gerek malzeme gerekse yapı elemanı olarak yapı fiziği ve maliyet açısından denenmiştir. Elde edilen briketin sıcak, soğuk, yağmurlu, rüzgarlı her türlü iklim şartlarında kullanılabileceğini, uygulamada ise geleneksel ve gelişmiş yapı tekniklerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Biçer vd. [22], Karaman ilinde bulunan geniş rezervlere sahip bims üzerine çalışma yapmışlar ve bims'in yapı malzemesi olarak kullanılması halinde büyük enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Demirboğa [23], yaptığı çalışmada çimentonun yerine %10, %20 ve %30 uçucu kül kullanmış ve ürettiği betonların birim ağırlıklarının azaldığından bahsetmiştir.

Dal [24], Niğde yöresi bims taşının ısı ve ses yalıtımında kullanılabilişliğini araştırmış ve malzemenin ısı ve ses yalıtımında kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Bu çalışmanın önemli bir bölümü gözenekli malzemelerde ısı transferi ile ilgilidir. Bu konuda yapılan literatür araştırmalarının bir kısmı aşağıda özetle verilmiştir;

Maxwell [25], matris içine dağılmış küresel formdaki ikinci faz durumu için etkin ısı iletim katsayısını hesaplamıştır.

Rayleigh iki boyutlu kare matris içinde disk biçimli ikinci faza sahip malzemenin etkin ısı iletim katsayısını veren ifadeyi elde etmiştir [26].

Bruggeman yaptığı çalışmada, birbirine bağlanmış iki fazın etkin ısı iletim katsayısını hesaplamada uygulanabilecek ve “etkin ortam” kavramını kullanan bir denklem önermiştir [27]. Bu yaklaşımda, iki faz birbirinin yerine geçebilir roller oynamaktadır. Landauer [28], gerçekte Bruggeman denkleminin çözümüne uygun pratik bir ifade türetmiştir. Bu yaklaşım, “Etkin Ortalama Süzülme Teorisi” olarak adlandırılmaktadır.

Björineklett vd. [29], çok ya da az birbirine bağlanmış elips şekilli gözenekler için Bruggeman ifadesini genişletmişlerdir. Bu son model, özellikle ince kolonsal şekilli ve ısı akış yönüne dik olarak yönelmiş gözeneklerin bulunduğu kaplamalar içindir.

Collishaw ve Evans [30], gözenekli bir katının etkin ısı iletim katsayısını hesaplamak için bazı ifadeleri yeniden incelemişlerdir. Herbir durumda ele alınan ifade, katı matris

içindeki gözenek fazlarının dağılımıyla ilgili mikro yapının geometrik olarak basitleştirilmesini esas almaktadır. Gerçek mikro yapı için bir yaklaşımın uygunluğu, seçilen modelin doğruluğunu tanımlamaktadır.

Fu vd. [31], iki farklı birim hücre için etkin ısı iletim katsayısını hesaplamışlardır. İlk birim, hücre içerisinde kübik şekilli bir gözenegın bulunduğu bir küp, ikinci birim hücre ise ortasında küresel gözenek bulunan küp şeklindedir.

Singh vd. [32], iki fazlı sistemde etkin ısı iletim katsayısını düzenli üç boyutlu basit kübik bir geometri için incelemişlerdir. Yapmış oldukları analizlerde, birinci durumda tüm gözeneklerin kübik, ikinci durumda ise tüm gözeneklerin küresel şekilli olduğunu kabul etmişlerdir.

Samantray vd. [33], iki fazlı malzemelerin etkin ısı iletim katsayılarını hesaplamak için türetilmiş ifadeleri incelemişler ve gözeneklilik oranının düşük olduğu yapılar için Maxwell ifadesini, gözeneklilik oranının fazla olduğu durumlar için Bruggeman, Raghavan, Hashin-Shtrikman ifadelerini kullanmışlardır. Yüksek gözenekliliğe sahip malzemelerde analitik modelin seçimi düşük gözenekliliğe sahip (<20%) malzemelere göre daha kritiktir. İki fazlı sistemlerin boyutsuz ısı iletimi katsayısının (k_{ef}/k_m), en başta gözenek-matris ısı iletim katsayıları oranı (k_g/k_m) ve malzeme içerisindeki gözeneklerin hacimsel yoğunluğuna bağlı olduğunu görmüşlerdir.

Gözenekli malzemelerin ısı iletim katsayısı konusunda ileri çalışmalar yapmış bulunan Luikov, Shashkov, Vasiliev, Fraiman [34] ve Zumbrenen [35], iç yapının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbirleri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek gözenekli toz malzemeler için ısı iletim katsayısı ifadesini,

$$k_{ef} = k_s \left\{ \frac{1}{1/(h/L)^2 + A} + (k_g/k_s)(1-h/L)^2 + \frac{2}{1+(h/L)+[1/(k_g/k_s).(h/L)]} \right\} \quad (1.1)$$

h/L = Gözeneğe bağlı olarak değişen ‘boyut oranı’ sayısı denklemi ile vermişlerdir.

Burada A değeri, iki partikülün temas noktasındaki gaz boşluğu ve temas yoluyla transfer edilen ısı oranını belirtmektedir. Yazarlar bu denklem sonuçlarını, 300-400 K sıcaklık aralığında, %35-98 gözeneklilik derecesinde, k_s/k_g oranının 10-300 arasında, gözenek çaplarının 4-5 mm civarında ve gözenek içindeki gazların da su buharı ve hava karışımı olduğunu kabul ederek belirlemişlerdir. Sonuçta, denklemle elde edilen

sonuçların, metal olmayan gözenekli malzemeler için yapılan deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Fraiman [34], metal tozlu ve bitişik gözenekli malzemeler için ısı iletim katsayısını,

$$k_{ef} = k_g' [L / (4.k_k.h_r)] (h/L)^2 + k_c + k_g [1 - (h/L)^2] + k_g.(h/L) \quad (1.2)$$

bağıntısı ile belirlemiştir.

h_r = Partikül mikropürüzlülüğü yüksekliği

k_c = Taneli malzemelerin temas ısı iletkenliği (W/mK)

k_k = Partikül adhezyon katsayısı

k_g' = Bir mikro aralıktaki moleküler ve ışıma yapan bileşiklerin toplam ısı iletkenliği (W/mK). Yazar, denklem sonuçlarının, 100 °C üzerindeki sıcaklıklarda, deneysel çalışma sonuçları ile uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Zumbrunen [35], bitişik gözenekli iki bileşenli katı sistemler için ısı iletim katsayısını,

$$k_{ef} = k_s \{ (h/L)^2 + (k_g/k_s) [1 - (h/L)^2] \} + \frac{2.(k_g/k_s).(h/L).[1 - (h/L)]}{[1 - (h/L)].[1 - (k_g/k_s)]} \quad (1.3)$$

bağıntısıyla vermiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, geniş bir sıcaklık aralığında, gözeneklilik oranı %50' nin altında ve 2.5×10^{-6} m gözenek çapındaki seramik malzemeler için elde edilen deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Biçer [36], uçucu kül ile çimento ve kireç bağlayıcıları kullanarak üretilen numuneler için 300 K sıcaklığında, k_s/k_g değerinin 1-100 aralığında, gözenek çaplarının $(60-80) \times 10^{-6}$ m mertebelerinde ve birbiri ile temas etmeyen, rastgele dizilmiş gözenekler ihtiva eden katı malzemeler için ısı iletim katsayısını;

$$k_{ef} = k_s \{ (h/L).[2 - (h/L)] + \frac{[1 - (h/L)]^2}{(h/L).[1 - (k_s/k_g)] + (k_s/k_g)} \} \quad (1.4)$$

denkleminde vermiştir. Yazar, denklem sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğunu da göstermiştir.

Yıldız [37], Afşin-Elbistan ve Soma termik santral külleri ile bağlayıcı olarak polipropileni değişik kombinasyonlarda karıştırarak elde ettiği rastgele dizilmiş gözenekler ihtiva eden yeni yalıtım malzemesi için ısı iletim katsayısını,

$$k_{efs} = k_p k_f k_g \left[\frac{1}{k_f k_g} (1 - Z^{2/3}) + \frac{(Z^{2/3} - \phi^{2/3})}{k_f k_g (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_f k_g (1 - Z^{1/3}) + k_p k_g (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_g k_f \phi^{1/3}} \right] \quad (1.5)$$

k_f = Uçucu külün ısı iletim katsayısı (W/mK)

k_p = Polipropilenin ısı iletim katsayısı (W/mK)

denklemleriyle ifade etmiştir. Çalışma sonuçlarında denklem sonuçlarıyla deneysel sonuçların uyumlu olduğu vurgulanmıştır.

Biçer vd. [38], Türkiye'nin birçok yöresinde yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlarla deneysel çalışmalar yapmışlar ve deney sonuçlarını yayınlamışlardır.

Tavman [39], farklı gözenek ve tane büyüklüğündeki yapı kumlarının ısı iletkenliklerini, hot-wire (sıcak tel) yöntemini kullanarak deneysel olarak incelemiştir.

Tavman [40], çeşitli buğday türlerinin ısı iletkenliklerini, geliştirilmiş hot-wire(sıcak tel) yöntemi ile ölçmüştür. Sonuçlar geliştirilen bir matematiksel model ile karşılaştırılmıştır.

Esen [41], gözenekli cisimlerde ısı geçişini inceleyerek analizini yapmıştır.

İğci [42], poroz ortamlarda ısı geçişini incelemiş, sıkıştırılmış küresel yataklar için bir dispersiyon modeli kurarak dispersiyon etkilerini araştırmıştır.

Buonanno ve Carotenuto [43], gözenekli katıları iki fazlı sistem gibi kabul ederek efektif ısı iletim katsayısının hesaplanması için bir yöntem geliştirmişlerdir.

Peng ve Mizukami [44], gözenekli malzemelerin kurutulmasında ısı ve kütle transferini incelemişler, bu konuda matematiksel bir model geliştirmişlerdir.

Kim [45], gözenekli malzemelerde ısı transfer katsayısının bulunması ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Bu çalışmada ise bims agregası ile birlikte bağlayıcı olarak değişik kombinasyonlarda çimento ve kitre kullanılarak düşük yoğunluklu, ısı iletim katsayısı küçük yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir. Betonda reçine olarak kitrenin kullanıldığı bu tür malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılmak üzere cebirsel bir denklem geliştirilmiş,

deneysel ve kuramsal sonuçların uyum içerisinde olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği de araştırılmıştır.

2. BİMSLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Dünya rezervlerinin %40'ına sahip olan ülkemizde bims kaynaklarımızdan günümüze kadar yeterince yararlanılamamıştır. Dünya bims rezervlerinin 18 milyar ton civarında olduğu tahmin edilirken Türkiye rezervlerinin ise yaklaşık 7 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Dünyadaki bims rezervlerinin büyük bir kısmına Amerika sahip olup Türkiye ikinci sıradadır. Avrupa ülkeleri arasında ise en büyük rezerve sahip ülke konumundadır [5].

Endüstriyel bir hammadde olan bimsin yüksek gözenekliliğe sahip olması sebebiyle, birim ağırlığı küçük, ısı yalıtımı ve ses yutuculuk özellikleri yüksektir. Bu nedenle yakıt tasarrufu bakımından yaşanan mekânlarda ısı yalıtımı sağlarken doğal yapısı ve gözenekleri sayesinde nefes alan, sağlıklı mekânlar yaratır. Bu sebeple dünya üzerinde bims kullanımının her geçen gün arttığı gözlenmektedir. Gelişmiş ülkelerde enerji tüketimini karşılamak için tesisler kurmak yerine enerji tasarrufu yapılabilmesi için çalışılmaktadır [46].

İnşaat sektöründe bims agregaları, hafif beton agregası, dolgu malzemesi, yalıtım malzemesi, katkı malzemesi, yapı alanı örgü, sıva ve şap harcı agregası gibi kullanımlarının yanı sıra prefabrik ve prekast hafif yapı elemanlarının üretiminde de kullanılmaktadır. Günümüzde konut ihtiyacının karşılanabilmesi için çok katlı binalar yapılmaktadır. Çok katlı binalar bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi bina ölü ağırlığının artması sebebiyle depremde binanın yıkılma riskinin artmasıdır. Bu nedenle binalarda kullanılan malzemelerin birim ağırlığının, belirli mühendislik parametreleri sınırları içerisinde düşürülmeye çalışılması gerekmektedir [46].

2.1. Bimsin Tanımı ve Oluşumu

Bims, volkanik faaliyetler esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi aniden terk etmesi sonucu oluşmuş hafif bir yapı malzemesidir. Gözenekli, süngerimsi yapıda, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, zararsız, uzun ömürlü, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, camsı bir yapıya sahip volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genellikle bağlantısız ve boşluklu olduğundan

geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir [47].

Dilimizde süngertaşı, köpük taşı, topuk taşı, hışır taşı, nasır taşı, küveki taşı ve kisir gibi yöresel adlandırmalar ile anılmakla birlikte, diğler dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçeye pomza, ponza, bims, pümis ve pümisi terimleri olarak yerleşmiştir. Bims taşı farklı dillerde şu sözcüklerle adlandırılmaktadır; İtalyanca Ponza, Almanca Bims (iri taneli bims agregası), Bimstein (ince taneli bims agregası), Fransızca Ponce, İngilizce Pumice (iri taneli bims agregası), Pumicite (ince taneli bims agregası). Bims taşı, teknik terminolojide “doğal hafif agrega” olarak nitelendirilmekte olup “pomza taşı” olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 2.1’ de bims taşının kırma, eleme ve boyutlandırma ile elde edilmiş farklı tane boyutlarındaki malzeme hali görölmektedir. Bu farklı tane boyutlarındaki malzeme haline “bims agregası” (pomza agregası) adı verilmektedir. TS 1114 EN 13055-1 standardında öngörölen tabii hafif agrega tanımı; meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tuf, bims (pomza), sünger taşı, lav cürufu, diatomit vb. kırılmış veya kırılmamış agregalar olarak nitelendirilmiştir.

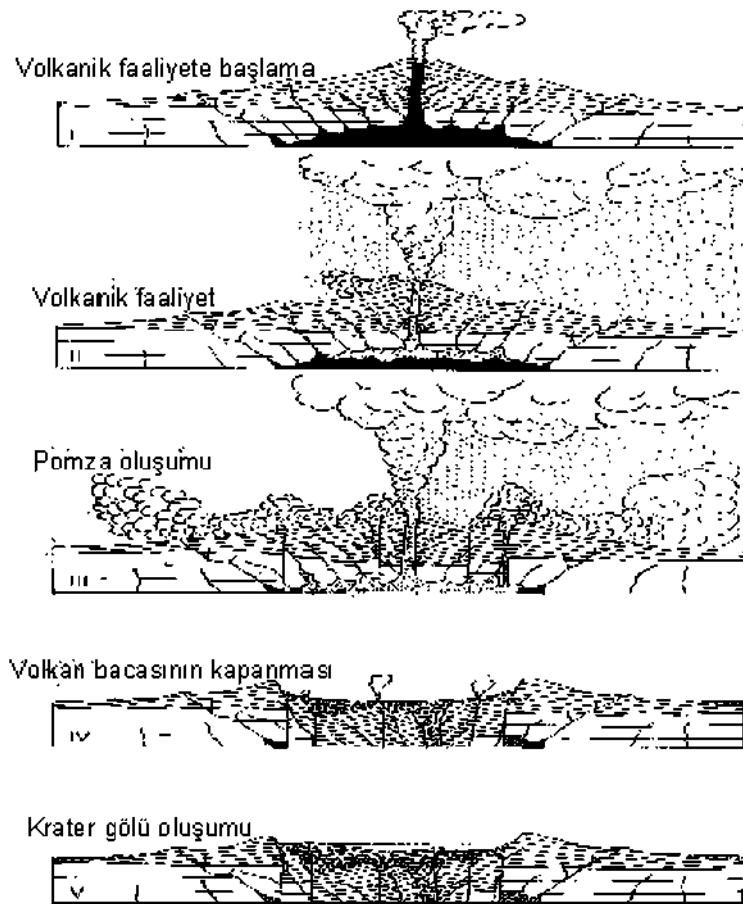


Şekil 2.1. Bims agregaları

TS 3234 standardına göre bims; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 g/cm^3 ’ten küçük, sertliğı Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır.

Bims magma köpürmesi ve bu esnada açığa çıkan gazların bünyeyi ani terk etmesiyle gözenekli taş camı karakterinde oluşur. Bu oluşum genellikle şu şekilde açıklanır: Asidik

magmanın bazik magmaya oranla daha viskoz bir yapıda olması ve yüksek silis içermesi sebebiyle bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur ve volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı durarak asidik kayaç ve kütleler meydana gelir. Volkanik baca içinde tıkanma sonucu oluşan doğal basınç birikimi ve basıncın artmasıyla da asidik malzeme ile birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç serbestleşmesi, ani genleşmelere neden olur ve bu esnada bünyedeki uçucu bileşenlerin ani kaçmasıyla arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle Şekil 2.2’ de görüldüğü üzere bims oluşur Bu oluşan bims parçaları volkan bacalarının yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının da etkisiyle, eski yüzey şekline uygun olarak depolanır ve bims yatakları oluşmuş olur [48,49].



Şekil 2.2. Bims oluşumunun sembolik gösterimi

2.2. Bimsin Sınıflandırılması

Bims oluşumlarının detaylı olarak incelenebilmesi için öncelikle kayaç oluşum mekanizmalarının etüt edilmesi gerekmektedir. Kayaç karakteristiğine bağlı olarak bimsin kullanım yeri ve amacı da değişmektedir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan etütlerde, kayaçlar farklı şekillerde sınıflandırılabilir [50,51].

Bunların başlıcaları:

- Mineralojik sınıflama,
- Kimyasal sınıflama,
- Dokusal sınıflama,
- Doğada bulunuş şekillerine göre sınıflama,
- Renk indisine göre sınıflama,
- Feldspat indisine göre sınıflama.

olarak sayılabilmektedir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan kimyasal sınıflama şeklidir. Bu sınıflandırma, kayacın kimyasal yöntemlerle analizi sonucu elde edilen elementlere dayanarak yapılmakta ve kayacın kimyasal bileşimine göre oluşum (jenerik), magma özellikleri, kayaç serilerini tanımlamaya yaramaktadır. Bu sınıflandırma kayacın yapı, doku ve direkt olarak mineralojik bileşimi hakkında bilgi vermez ancak, bazı yardımcı yöntemlerle mineralojik bileşimi saptanabilir [50].

Bir kayacın kimyasal analizi, çeşitli oksitlerin % oranlarını ifade eder. Bunların en yaygın olarak bilineni SiO_2 içeriğine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflamada esas olarak irdelenen, kayaç yapısındaki silika içeriğidir. Magmadan oluşmuş kayaçlarda SiO_2 oranı %35 - %80 arasında değişim göstermektedir ve bu geniş aralıkta değişim gösteren silis, diğer oksitlerin de değişim göstermesine neden olmaktadır. SiO_2 içeriğine göre kayaç oluşumları:

- %66 fazla SiO_2 içeren kayaçlar, asit kayaçlar
- %66 - 52 SiO_2 içeren kayaçlar, nötr kayaçlar
- %52 - 45 SiO_2 içeren kayaçlar, bazik kayaçlar

olarak adlandırılmaktadır. Bugün dünyada farklı bölgelerde bulunan sünger taşlarında, kimyasal olarak %75' e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Tablo 2.1 ' de görüldüğü üzere bimslerin genel olarak kimyasal bileşiminde; %55-%75 SiO_2 , %13-%17 Al_2O_3 , %1-%3 Fe_2O_3 , %1-%2 CaO , %7-%8 Na_2O ve eser miktarda TiO_2 ve SO_3 bulunmaktadır [50,52].

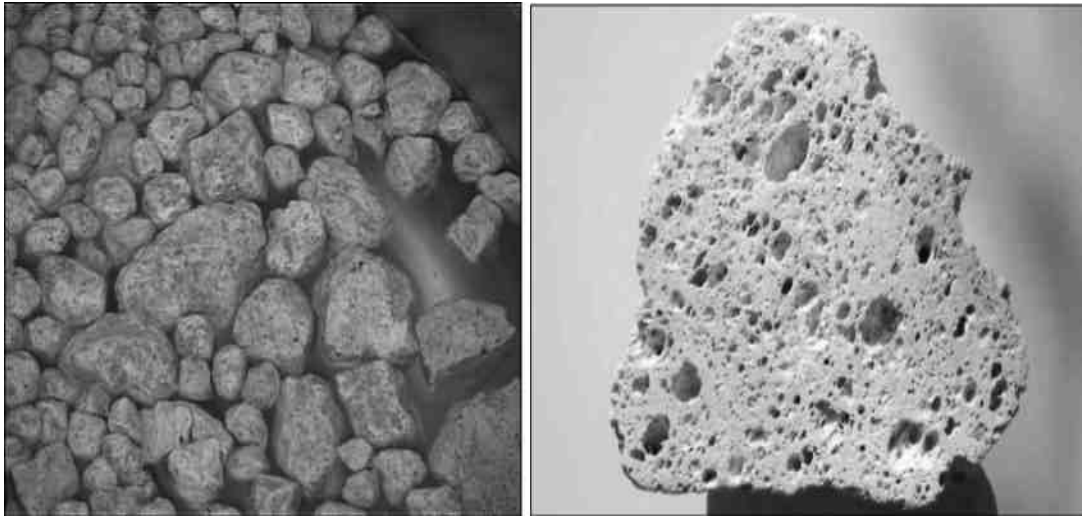
Tablo 2. 1. Bimslerin genel olarak kimyasal bileşimi

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	TiO ₂ +SO ₃
%	55-75	13-17	1-3	1-2	7-8	Eser miktar

Volkanizmanın oluşum sürecine ve volkanik oluşum şartlarına bağlı olarak iki ayrı karakteristik yapıya sahip bims oluşumu meydana gelmektedir. Bunlar;

- Asidik karakterde bims
- Bazik karakterde bims

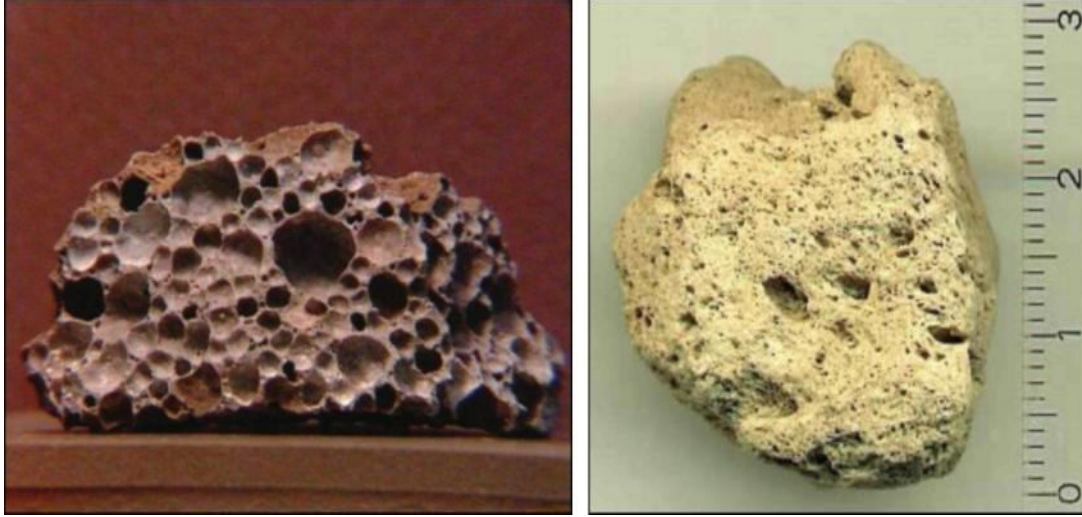
oluşumları olarak adlandırılır. Asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre oldukça düşük olup asidik karakterde bimsin gözeneklilik oranı çok daha yüksektir ve birim hacim ağırlığı 500-1000 kg/m³ aralığında değişmektedir. Şekil 2.3’ de görüldüğü üzere asidik özellikteki bims, açık gri-beyaz renk tonlarında olup silisyum oranındaki artış asidik özelliği artırdığı için renk de beyaza doğru yaklaşır. Bu karakterdeki bims oluşumlarının beyaz, kirli beyaz ve gri renklerde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Asidik karakterli bims

Bazik bims oluşumlarında ise gözeneklilik düşük olup birim hacim ağırlığı 1000-2000 kg/m³ civarında değişmektedir. Şekil 2.4’ de görüldüğü üzere bazik bims yabancıların “Scoria” dedikleri, Türkçe’de ise bazaltik bims olarak bilinen kahve-siyah arası koyu tonlarda olmaktadır. Renk ve genel görünüm itibarıyla bazı kayaç oluşumları bu tip bims oluşumları ile

kariştırılabilmektedir. Bu bakımdan kayacın tanımlamaları mutlaka kayacın mineralojisine ve petrografisine göre yapılmalıdır.



şekil 2.4. Bazik karakterli bims

Genel olarak asidik karakterli sünger taşlarında SiO_2 oranı $>\%50$, Fe_2O_3 oranı $<\%3$, bazik karakterli sünger taşlarında ise SiO_2 oranı $<\%50$, Fe_2O_3 oranı genel olarak $\%5$ 'ten büyüktür. İnşaat sektörü açısından silis oranı ve gözenekliliği yüksek, demir oranı düşük olan asidik bimsler tercih edilmektedir. Bazik bimsler ise alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda (örneğin gübre sanayinde kek maddesi olarak, toprak ışlahı amacıyla tarımda vs.) kullanım alanı bulabilmektedir. Bims oluşumlarının orjinini, malzemeyi meydana getiren kimyasal bileşenlerine göre tanımlayabilmek ve malzemeleri birbiri ile mukayese edebilmek mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda, bimsin bir volkanik patlama sonrası meydana geldiği bilindiğine göre bimsi oluşturan magmanın oluşum şekline göre bir değerlendirme yapabilmek mümkün olmaktadır. Tablo 2.2' de magmanın oluşum ve kimyasal bileşimine göre bir sınıflama sistemi tanımlanmıştır [53]. Bu tanımlamaya göre magmanın kimyasal bileşiminde bulunan silis, sodyum, potasyum, alüminyum ve titanyum oksitlerine göre bir değerlendirme kriteri belirlenmiş, bu kritere göre de kratonik magma, orejenik magma ve alkali magma olarak 3 ana grup ele alınmıştır.

Tablo 2.2. Asidik ve bazik karakterli bimslerin kimyasal bileşimleri

Bileşim	Asidik Karakterli Bims(%)	Bazik Karakterli Bims(%)
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2.5	7
CaO	0.9	1.1
MgO	0.6	7
Na ₂ O+ K ₂ O	9	8
A.K	3	1

2.3. Bimsin Fiziksel, Kimyasal, Teknik ve Mekanik Özellikleri

Yüksek gözenekliliğe (% 85'e varan gözenekliliğe) sahip olan bims tanelerinin büyük dayanımları yoktur ancak bu dayanıklılık, taşıyıcı duvar yapımında istenen kriterlere göre yeterlidir. Isı iletkenlik değeri oldukça küçük olan bimsin, ortalama ısı iletkenlik değeri 0.10-0.60 W/mK' dir.

2.3.1. Fiziksel Özellikleri

Bims köpürmüş magma kökenli taş camı karakteristiğinde olup oluşum mekanizmasına göre köşeli veya yuvarlak taneli bir yapı sergiler. Tablo 2.3' de görüldüğü üzere ülkemizde bims kayaçlarının fiziksel özellikleri açık griden kirli beyaza doğru kristal şekli, sertlik derecesi, özgül ağırlığı, gözenekliliği, ısı iletkenlik katsayısı, su emme kapasitesi vs. genel fiziksel özellikleri verilmiştir [53]. Bu nedenle bims kendine özgü bazı fiziksel özellikleri ile benzer volkanik camsı kayaçlardan ayrılır. Özgül ağırlık, özgül kütlenin kuru hacmine olan oranı (gözenek hacmi hariç) olarak değerlendirilen fiziksel bir özellik olup bims agregalarında genellikle 2.1 g/cm³' ün üzerindedir.

Agrega hacim ağırlığı kuru kütlenin tüm hacmine oranı olup yatağa ve tane iriliğine göre 300-1000 kg/m³ arasında değişim gösterir. Aynı yataktan alınan tüvenan bir malzemede boyut sınıflandırılması yapıldıktan sonra her bir grup için farklı birim hacim ağırlığı ortaya çıkacaktır. Yani malzemenin boyutu arttıkça malzemedeki gözenek oranı da artacağı için birim

hacim ağırlığı azalacaktır. Bims oluşumlarında, volkan bacasından uzaklaştıkça malzemenin gözenek oranı artar, birim hacim ağırlığı da azalır.

Tablo 2.3. Ülkemizdeki bims kayaçlarının genel fiziksel özellikleri

Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5 - 6.0
K:B.Hacim Ağırlığı(g/cm ³)	0.32 - 0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı(g/cm ³)	2.15 - 2.65
Gözenek (%)	45 - 90
Rötre (mm/m)	<1
Isı iletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.08 – 0.20
Isınma Isısı (cal/g.°C)	0.24 – 0.28
Ses Yutuculuğu (dB)	40 - 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 - 70
Buhar Difüzyon Direnç Faktörü (μ)	5 - 10

2.3.2. Kimyasal Özellikleri

Bimsin kimyasal bileşimi bulunduğu yöreye göre bir takım farklılıklar göstermektedir. Kimyasal olarak % 75'e varan SiO₂ içeriğine sahip olup bu durum bazik ya da asidik karakterde olmasına göre de değişmektedir. Asidik karakterli sünger taşlarında bu oran daha yüksek olup kayacın içerdiği SiO₂ oranı, kayaca abrasiflik özelliği kazandırmaktadır. Tablo 2.4' de bims kayaçlarının genel kimyasal özellikleri verilmiş olup içeriğindeki kimyasal bileşenlerinin ayrı ayrı görevleri bulunmaktadır [53]. SiO₂ oranından dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmekte, Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmakta, Na₂O ve K₂O ise tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir.

Tablo 2.4. Ülkemizdeki bims kayaçlarının genel kimyasal özellikleri

pH	7 – 7.3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	<0.15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	<2.9
Uçucu Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	Yok
Asitlerle Etkileşim (*)	inert.
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ergime Derecesi (°C)	> 900
(*) bims sadece hidroflorik asit ile etkileşerek toksik silikon tetroflorit gazı çıkarır.	
Kimyasal Bileşenler	
Silisyum dioksit (SiO ₂)	52-75
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	11-17
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	0.5 – 5.0
Kalsiyum oksit (CaO)	1.0 - 8
Magnezyum oksit (MgO)	0.5 - 3
Sodyum oksit + Potasyum oksit (Na ₂ O + K ₂ O)	3 - 9
Titanyum oksit (TiO ₂)	< 1
Sülfür trioksit (SO ₃)	< 1
Ateş kaybı (A.K.)	1 - 3

2.3.3. Mekanik Özellikleri

Basınç Mukavemeti: Bimsin basınç dayanımı, belirli boyutlardaki blok örneklerinin belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısında davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç karakteristiğidir. Bu değer 25-50 kg_f/cm² arasındadır.

2.4. Hafif Beton Agregası Olarak Kullanımı

Bimsin hafif beton eldesinde agrega olarak kullanımı son yıllarda üzerinde hassasiyetle durulan konulardan biridir. Ülkemizde yaşanan depremler neticesinde hafif betonların önemi giderek artmaktadır. Hafif beton üretiminde kullanılan agregalardan birisi

de bimsdir.

Şekil 2.5 'de görüldüğü üzere çeşitli eleklerden geçirilerek veya titreşime tabi tutularak bims kayaçları boyutlandırılmıştır. Bu boyutlandırmanın amacı bims kayaçlarının hafif beton eldesinde mekanik özelliklerini arttırmaktır. Çap arttıkça hafif betonun dayanımı azalmaktadır.



Şekil 2.5. Boyutlandırılmış bims agregaları

Bims, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılmaktadır. Perlit gibi genleştirmek için enerji ve yatırım gerektirmediğinden ekonomikliği sebebiyle inşaat sektöründe son yıllarda kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Bims normal kum ve çakılın 1/3-2/3' ü kadar yoğunluğa sahip olup aynı durum bims ile yapılan betonlarda da görülür. Bimsbeton ve ürünleri normal betondan hafif olması sebebiyle binaya gelen gereksiz yüklemeleri azaltmakta; zamandan, işçilikten, demirden, çimentodan ve nakliyeden yani toplam maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Zemin mekaniği açısından değerlendirildiğinde temele iletilen yükler azalacağı için inşaat demirinden %17 civarında tasarruf sağlanmaktadır. Bimsin ısı iletkenlik katsayısı dikkate alındığında, normal betondan 4-6 kat daha fazla ısı yalıtımı sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliği sayesinde yaşanan mekânların da kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlanması mümkün olmaktadır.

Ses yutuculuğu normal betonlara nazaran yüksek olan bimsin, ses denetiminde de avantaj sağladığı tesbit edilmiştir. Ayrıca yangına dayanıklılık açısından da normal betona kıyasla %20' ye varan oranda daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir. Bims ile üretilen betonun normal betona kıyasla önemli bir avantajı da deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesidir. Ayrıca bimsle üretilen beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir. Tablo 2.5'de hafif agregaların ısı iletkenlik değerleri verilmiş olup bimsin birim hacim ağırlığı 1000 (kg/m³)'den küçük ve ısı iletim katsayısı 0.18 W/mK ile diğer agregalara göre daha düşük çıkmıştır. Ayrıca geçmiş yıllarda yapılan bir çalışmada; bims ve ince malzemesi kullanılarak kumlu karışımlarla karşılaştırmalı dayanım, yanma, donma ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonuçlarından bims ince malzemesi kullanılarak yapılan sıvanın;

- Kum ile yapılan sıvaya göre 2 kat fazla basınç dayanımına sahip olduğu,
- Yangından sonra kum sıvaya göre 5 kat fazla basınç dayanımı gösterdiği,
- Dondan sonra kum sıvaya göre 3 kat fazla basınç dayanımına-sahip olduğu,
- Kum sıvaya göre ısı iletkenliği yarı yarıya düşük olduğu ve yaklaşık 3-4 kat ısı ve ses tasarrufu sağladığı saptanmıştır [54].

Tablo 2.5. Hafif agregaların ısı iletkenlik değerleri (TS 825)

Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Isı iletkenliği hesap değeri (W/mK)
Kum, çakıl, kırma taş	1800	0. 70
Bims çakılı	<1000	0. 18
Genleştirilmiş Perlit Agregası	<50 <100 <150	0. 046, 0. 058, 0. 070, 0.081

Isı yalıtım malzemeleri, beraber kullanıldığı diğer yapı malzemeleriyle ve yapı kabuğuyla uyumlu, insan sağlığına zararlı etkileri olmayan, yapı fiziği ve yapı biyolojisi kurallarına uygun, çevreye uyumlu, zararsız, mimari ve estetik beklentileri bozmayan, uygulaması pratik ve temini kolay malzemeler olmalıdır. Bims ısı yalıtım malzemesi olarak bütün bu beklentileri karşılamaktadır.

3. KİTRE

Kitre, diğ er bir ismiyle geven bitkisi zamb ı ile elde edilen *Astragalus* türleri çok yıllık, dikenli ve pennat yapraklı bitkilerdir.   ek ler kelebek biçiminde sarı, beyaz veya pembe renklidir. Yastık biçiminde kümeler yaparlar. 850-3000 m yüksekliklerde bulunurlar. Kitre elde edilen önemli Geven türleri: Türk kitresi (*astragalus gummi er*), İran kitresi (*astragalus brachycentrus*), Irak kitresi (*astragalus arabicus*), Türkistan kitresi (*astragalus brachycentrus*), Anadolu kitresi (*astragalus microcephalus*), Azeri kitresi (*astragalus elymaiticus*) ve Moğul kitresi (*astragalus mongholicus*) en önemlileridir [55]. Şekil 3.1’ de de kuru halde Türk kitresi g r lmektedir. Türk kitresi olarak bilinen *astragalus gummi er* en çok bilinen ve tanınan bir t rken Anadolu kitresi olarak bilinen *astragalus microcephalus* en kaliteli olandır. Türkistan kitresi olarak bilinen *astragalus membranaceus*  ok farklı Şekilde kullanılır. Bu türün zamb ı elde edilmez [55].



Şekil 3.1. Kuru halde kitre görünümü

Kitre  lkemizin güney ve g neydoğ  bölgelerinde kırlarda yetiş en geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan bir tür zamb ıdır. 0.5-3 mm kalınlığında, 1-3 cm çapında yuvarlak plakalar ya da değ şik biçimlerde parçalar halindedir. Beyaz ya da açık sarı renkli olup kokusuzdur.

3.1. Türk Kitresi (*Astragalus Gummifer*)

30-60 cm boyunda kısmen yükselen, kısmen yatay olarak çevresine yayılan ve kümeler halinde topluca yetişen, çok yıllık bir bitkidir. Yaprakları 9-13 çift ve sonda bir tek yapraktan meydana gelen kanat yapraklardır. Yaprakları uzun bir yumurta şeklinde, koyu yeşil renkte 3-10 mm uzunluğunda, 2-5 mm genişliğindedir. Çiçekleri başak şeklinde yaprak diplerinden çıkan uzun bir sap üzerine 30-50 çiçekten meydana gelir. Kupa yaprakları çan şeklinde, yeşilimsi sarı 5-8 mm ve taç yaprakları 8-12 mm büyüklüğünde sarı renkli bazen üzerinde kırmızısı veya morumsu damarlara rastlanır. Tohumları 2-4 mm büyüklüğünde ve oval şekildedir [55].

Anadolu kitresi bu türden farklı olarak 50-150 cm boyunda, yaprakları 11-17 adet uzun yumurta veya oval şekilde 5-10 mm uzunluğunda 2-4 mm enindeki yan yapraklardan meydana gelir. Türkiye'nin orta, doğu ve güneydoğu bölgelerinde yabani olarak yetişir. Şayet tohumları mera, çimenlik, yol kenarları, bahçe ve tarlalara ekilirse kendiliğinden oralarda bakıma gerek kalmadan yerleşir ve yayılırlar [55].

3.2. Türkiye’de Yetişen Geven Türleri

a) *Astragalus Angustifolius* (Keçi Geveni): Nisan-Ağustos aylarında beyaz çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Türkiye’nin batı yarısında (Trakya hariç), 800-2900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

b) *Astragalus Anthylloides* (Şişik Geven): 17-25 cm boylarında, Mayıs-Ağustos aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık endemik bitkidir. Akdeniz, Orta Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinde, 750-1900 m yükseklikteki bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

c) *Asrtagalus Brachypterus* (Kısa Kanatlı Geven): 7-15 cm boylarında, Haziran-Ağustos aylarında pembe-mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Orta ve Doğu Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 300-2400 m yükseklikteki ormanlarda, çalılıklar ve makiler, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

d) *Astragalus Campylosema* (Kıvrık Geven): Mayıs-Haziran aylarında mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Orta ve Doğu Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 300-2400 m yükseklikteki ormanlarda, çalılıklar ve makilerde, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

e) Astragalus Glycyphyllos (Meyan Yapraklı Geven): 2 m boyunda, Haziran-Ağustos aylarında sarıçiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde, 280-1400 m yükseklikteki ormanlarda, bataklık ve sulak alanlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

f) Astragalus Girsutus (Sert Tüylü Geven): Haziran-Temmuz aylarında sarıçiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Karadeniz, Marmara, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 800-3200 m yükseklikteki çayırlar ve yol kenarlarında kayalık yaşlık yamaçlarda yetişir.

g) Astragalus Hyalolepsi (Şeffaf Pullu Geven): Haziran-Ağustos aylarında eflatun çiçekler açan çok yıllık bitkidir. Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde, 1600-2400 m yükseklikteki dağlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

h) Astragalus Karamasicus (Kayseri Geveni, Karamas Geveni): 10-20 cm boylarında, Haziran-Temmuz aylarında eflatun veya mor çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Batı Karadeniz, Orta Anadolu, Doğu Akdeniz bölgelerinde, 450-2060 m yükseklikteki bozkırlarda, bataklık ve sulak alanlarda yetişir.

i) Astragalus Lagurus (Tavşan Kuyruğumsu Geven): Haziran-Ağustos aylarında sarı çiçekler açan bir veya çok yıllık otsu bitkidir. Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde 1200-2890 m yükseklikteki dağlarda, çalılıklar ve makilerde, bozkırlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

j) Astragalus Micropterus (Küçük Kanatlı Geven) : 15-25 cm boylarında, Haziran-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Batı Karadeniz, Orta Anadolu, Akdeniz bölgelerinde, 850-1860 m yükseklikteki kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

k) Astragalus Onobrychis (Korungamsı Geven): 25-40 cm boylarında, Mayıs-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Marmara (Trakya hariç) Karadeniz, Doğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde ve Hatay yöresinde, 975-2400m yükseklikteki bozkırlarda ve kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

l) Astragalus Pinetorum (Çamsı Geven) : Haziran-Ağustos aylarında sarıçiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Akdeniz bölgelerinde, 1100-3300 m yükseklikteki dağlar, ormanlar, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

m) Astragalus Ponticus (Laz Geveni): 0.75-1.5 m boylarında, Mayıs-Ağustos aylarında sarı çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu, Batı Akdeniz bölgelerinde, 900-2800 m yükseklikteki bataklık ve sulak alanlarda, etkili

alanlarda, bozkırlarda yetişir.

n) Astragalus Ptilodes (Kuş Tüylü Geven): 14-30 cm boylarında, Haziran-Temmuz aylarında beyaz çiçekler açan 1 veya 2 yıllık otsu endemik bitkidir. Marmara, Ege, Akdeniz bölgelerinde, 0-500 m yükseklikteki ormanlarda ve bozkırlarda yetişir.

o) Astragalus Sibthorpianus: 10 cm boyunda, Haziran-Ağustos aylarında kırmızı çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Marmara bölgesinde (Trakya hariç), 950-2350 m yükseklikteki ormanlarda ve kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

p) Astragalus Strictifolius (Sert Yapraklı Geven): 10-20 cm boylarında, Haziran-Ağustos aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu bitkidir. Doğu Anadolu Bölgesinin doğu ve güneydoğu kısımlarında 850-1900 m yükseklikteki ormanlarda yetişir.

r) Astragalus Xylobasis (Tabanı Odunumsu Geven): 20-35 cm boylarında, Mayıs-Temmuz aylarında pembe çiçekler açan çok yıllık otsu endemik bitkidir. Orta ve Doğu Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da 450-2230 m yükseklikteki ormanlarda, kayalık taşlı kurak yamaçlarda yetişir.

3.3. Kitre Zamkının Elde Edilmesi

Mayıs sonu veya Haziran başında bitkinin kökleri açılır. Temmuz ortalarında gövde veya kökle gövde arasında 2-3 yerden bıçakla çizilerek eğri bir yara açılır. Bu çiziklerden dışarı çıkan bitki özü sertleşerek zamk şeklini alır. Yaralamadan 10 gün sonra toplama işlemi başlar. İlk elde edilen zamk, şeffaf renkte ve birinci kalitedir. Toplama, el ile yapılır ve bir işçi günde 1-2 kilo kadar kitre toplayabilir. Toplanan mal, tüccar tarafından temizlenip kalitesine göre ayrıldıktan sonra ihraç limanlarına sevk edilir. Elde edilen zamkın özellikleri bitkiye, bölgeye ve elde ediliş yöntemine bağlı olarak büyük değişiklik göstermektedir. Halen Türkiye'de iki cins kitre zamkı elde edilmektedir [56].

3.3.1. Yaprak Kitre

1-3 cm uzunlukta, en az 0.5 cm genişlikte, donuk beyaz veya sarımsı renkli şeritler halindedir. Gövdeye yapılan yaralamalar sonucu elde edilir. Piyasada iyi kaliteli kitre olarak kabul edilir [56].

3.3.2. Tragakanton veya Firde

Değişik şekillerde tane, çubuk veya ince şeritler halindedir. Rengi, beyaz veya sarımsıdır. Gövde ve dallarda meydana gelen delik veya çatlaklardan dışarı çıkarak katılaşmış olan zamkın toplanması ile elde edilir. Düşük kaliteli bir ürün olarak kabul edilir ve ancak sanayide (boya, kumaş vs.) kullanılır [56].

3.4. Kitrenin Bileşimi

Bir polisakkarit karışımıdır. Suda çözünen kısmı trigakantin, suda çözünmeyip şişen kısmı ise bassorin ismini alır. Asit hidroliz sonunda monosakkaritler ve uron asitlerine ayrılır. Mono-sakkaritler, kitrenin elde edildiği bitki türüne göre değişiklik göstermektedir [57].

3.5. Kitrenin Kullanım Alanları

Eczacılık tekniğinde emülsyon, süspansiyon, pastil ve tablet gibi preparatların yapılmasında, ebru sanatında, boya ve kumaş endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'nin ihraç maddesidir [57].

4. GÖZENEKLİ KATI MALZEMELERDE ISI İLETKENLİK KATSAYISININ KURAMSAL OLARAK İNCELENMESİ

4.1. Gözenekli Katı Malzemelerin Isı İletim Katsayısının Hesaplanmasında Kuramsal Bir Model

Gözenekli malzemeler, gözenekli katı malzemeler, taneli malzemeler ve lifli malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada, gözenekli katı malzemeler esas alınarak inceleme yapılmıştır.

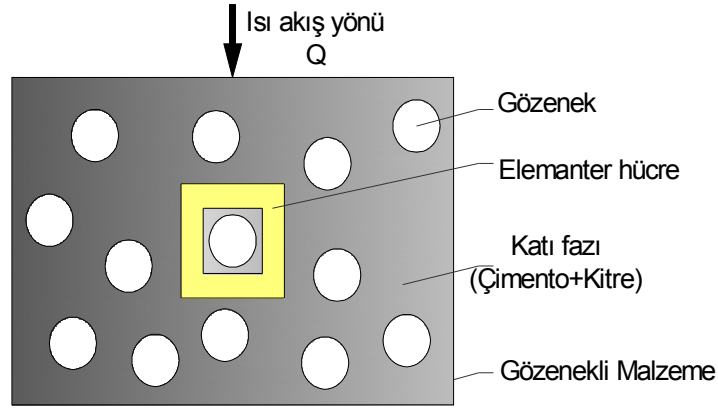
Gözenekli malzemeler, karmaşık şekil ve boyuttaki katı partiküller ve boşluklardan oluşur. Özellikleri, yapılarında bulunan maddelerin özelliklerine ve hacimsel oranlarına bağlıdır. Gözeneksiz yapı malzemelerine uygulanabilen temel hidrodinamik ve termodinamik bağıntıları, gözenekli yapı malzemelerine uygulayarak, analitik olarak incelemek zordur. Ancak bazı kabuller yapılarak malzemenin herhangi bir elemanter hücre yapısı incelenip, yapının tümü hakkında fikir edinilebilir.

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

- Bu çalışmada, bimslerin gözenek çapları 1 mm den küçüktür. Bu sebeple; $Ra = Gr.Pr < 10^{-3}$ olacağından, doğal ısı taşınımının olmayacağı kabul edilmiştir.
- Işınilma ısı geçişi Stefan –Boltzman kanununa göre $Q_{ış} = \epsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4)$ bağıntısı ile verilmektedir. Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından $(T_1 \cong T_2)$, ışınilma ısı geçişi ihmal edilebilir.
- Gözenek şekilleri düzensiz bir halde ve kompleks geometrik şekle sahip olup küresele yakındır. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.
- Malzeme yapısında, rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

Farklı ısı iletim katsayılarına sahip malzemelerden oluşan, heterojen bir yapının, ortalama ısı iletim katsayısına efektif ısı iletim katsayısı (k_{ef}) denir. Gözenekli katı malzemelerin efektif ısı iletim katsayısı, gözenek içi gazın ısıl iletim katsayısı, kullanılan

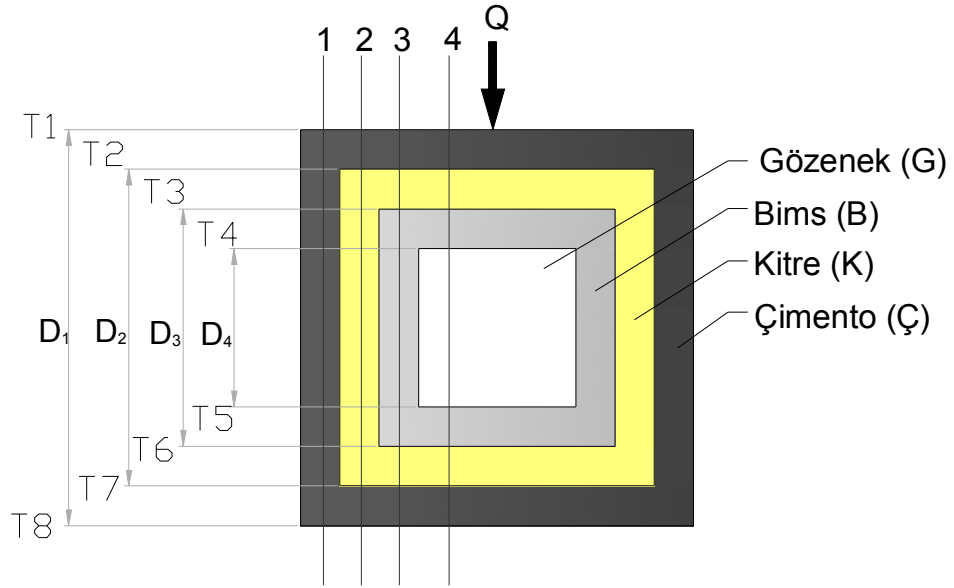
malzemelerin ısı iletim katsayıları, gözeneklilik oranı, yoğunlukları gibi birçok parametrenin bir fonksiyonudur [58]. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise malzemenin gözeneklilik oranı da o kadar büyük olur. Gözenekler yapıda genellikle irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için Şekil 4.1’ deki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir.



Şekil 4.1. Gözenekli malzemenin fiziksel modeli

4.1.1. Elemanter Hücrenin Fiziksel Modeli

Şekil 4.1’de görülen elemanter hücreye ait dikey kesit resmi Şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde elemanter hücreye ait sol ve sağ yan matris tabakaları olan çimento 1 numaralı eleman, kıtre tabakası ile alt ve üst matris olan çimento tabakaları 2 numaralı eleman, bims tabakası ile alt ve üst matris olan kıtre ve çimento tabakaları 3 numaralı eleman, gözenek ile alt ve üst matris olan bims, kıtre ve çimento tabakaları 4 numaralı eleman olarak düşünülebilir.



Şekil 4.2. Kitreli numunelerin elemanter hücre kesiti

Elemanter hücrenin kesitinin gözenek, bims(matris-katı), kitre ve çimento olmak üzere 4 tabakadan oluştuğu ve ısı akış yönü elemanter hücrenin düşey hatlarına paralel olduğu kabul edilmiştir. Fourier ısı iletimi kanununa göre tek boyutlu ısı iletim ifadesi;

$$Q = -kA(dT/dx) \quad (4.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin integrali alınarak,

$$Q = \frac{T_{sic} - T_{soğ}}{(1/kA)L} \quad (4.2)$$

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

$$Q R = T_{sic} - T_{soğ} \quad (4.3)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem elemanter hücre kesitine uygulanırsa;

(1) nolu kesit için;

$$T_1 - T_8 = Q_1 R_{1Ç} = Q_1 R_{1eş} \quad (4.4)$$

(2) nolu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_2 R_{2Ç}$$

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

$$T_7 - T_8 = Q_2 R_{2Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_8 = Q_2 (R_{2Ç} + R_{2K} + R_{2Ç})$$

$$T_1 - T_8 = Q_2 (2R_{2Ç} + R_{2K})$$

$$T_1 - T_8 = Q_2 (R_{2eş}) \quad (4.5)$$

(3) nolu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_3 R_{3Ç}$$

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

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

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

$$T_7 - T_8 = Q_3 R_{3Ç}$$

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_8 = Q_3 (R_{3Ç} + R_{3K} + R_{3B} + R_{3K} + R_{3Ç})$$

$$T_1 - T_8 = Q_3 (2R_{3Ç} + 2R_{3K} + R_{3B})$$

$$T_1 - T_8 = Q_3 R_{3eş} \quad (4.6)$$

(4) nolu kesit için;

$$T_1 - T_2 = Q_4 R_{4Ç}$$

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

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

$$T_4 - T_5 = Q_4 R_{4G}$$

$$T_5 - T_6 = Q_4 R_{4B}$$

$$T_6 - T_7 = Q_4 R_{4K}$$

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

bağıntıları taraf tarafa toplanırsa;

$$T_1 - T_8 = Q_4 (R_{4C} + R_{4K} + R_{4B} + R_{4G} + R_{4B} + R_{4K} + R_{4C})$$

$$T_1 - T_8 = Q_3 (2R_{4C} + 2R_{4K} + 2R_{4B} + R_{4G})$$

$$T_1 - T_8 = Q_4 R_{4eş} \quad (4.7)$$

eşitliği elde edilir. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için;

$$Q = k_{efs} A \frac{T_1 - T_8}{D_1} = \frac{T_1 - T_8}{D_1 / k_{efs} A} = \frac{T_1 - T_8}{R_{eş}} \quad (4.8)$$

bağıntısı yazılabilir. Şekil 4.1' de kesit görünümü verilen elemanter hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (4.9)$$

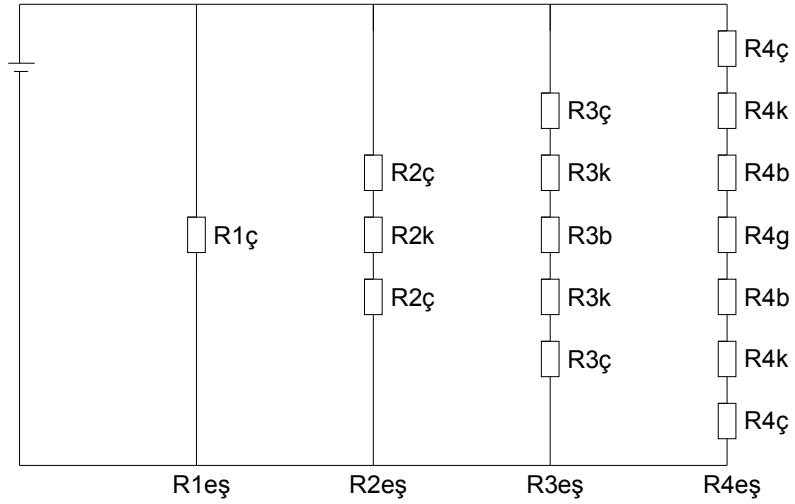
şeklinde yazılır. (4.4), (4.5), (4.6), (4.7), (4.8) numaralı denklemlerden Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 ve Q değerleri çekilip (4.8) numaralı denklemde yerine konulursa,

$$\frac{T_1 - T_8}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_8}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{2eş}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{3eş}} + \frac{T_1 - T_8}{R_{4eş}} \quad (4.10)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifadenin iki tarafındaki $(T_1 - T_8)$ değerleri yok edilirse,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{1eş}} + \frac{1}{R_{2eş}} + \frac{1}{R_{3eş}} + \frac{1}{R_{4eş}} \quad (4.11)$$

bağıntısı bulunur. Bu eşitlik Şekil 4.3’ de gösterilen ve Şekil 4.2’ ye ait elemanter hücre kesitinin elektriksel benzeşim devre şemasından dirençlerin, paralel bağlı ifadesidir. Bu elemanter hücre için Tablo 4.1’ de 1 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi çimento matrisi için belirlenmiş, 2 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi kitre ve çimento matrisi için belirlenmiş, 3 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi kitre, bims ve çimento matrisi için belirlenmiş, 4 numaralı elemanın eşdeğer direnç ifadesi kitre, bims, çimento ve gözenek içi gazların matrisi için belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Elemanter hücre bileşenleri ısı dirençlerinin elektriksel benzeşim devre şeması

Tablo 4.1. Elemanter hücre bileşenlerine ait ısı dirençlerinin matematiksel ifadeleri

1 no'lu eleman	2 no'lu eleman	3 no'lu eleman	4 no'lu eleman
$R_{1\zeta} = \frac{D_1}{k_{\zeta}(D_1^2 - D_2^2)}$	$2R_{2\zeta} = \frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}(D_2^2 - D_3^2)}$	$2R_{3\zeta} = \frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}(D_3^2 - D_4^2)}$	$2R_{4\zeta} = \frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}D_4^2}$
	$R_{2K} = \frac{D_2}{k_K(D_2^2 - D_3^2)}$	$2R_{3K} = \frac{(D_2 - D_3)}{k_K(D_3^2 - D_4^2)}$	$2R_{4K} = \frac{(D_2 - D_3)}{k_KD_4^2}$
		$R_{3B} = \frac{D_3}{k_B(D_3^2 - D_4^2)}$	$2R_{4B} = \frac{(D_3 - D_4)}{k_BD_4^2}$
			$R_{4G} = \frac{D_4}{k_GD_4^2}$

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

$$R_{1eş} = R_{1\zeta}$$

$$R_{2eş} = 2R_{2\zeta} + R_{2K}$$

$$R_{3eş} = 2R_{3\zeta} + 2R_{3K} + R_{3B}$$

$$R_{4eş} = 2R_{4\zeta} + 2R_{4K} + 2R_{4B} + R_{4G}$$

Bu eşdeğer dirençler (4.11) eşitliğinde yerine konur ve ara işlemler yapılırsa (4.12) ve (4.13) eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_{eş}} = & \frac{1}{\frac{D_1}{k_{\zeta}(D_1^2 - D_2^2)}} + \frac{1}{\frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}(D_2^2 - D_3^2)} + \frac{D_2}{k_K(D_2^2 - D_3^2)}} + \frac{1}{\frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}(D_3^2 - D_4^2)} + \frac{(D_2 - D_3)}{k_K(D_3^2 - D_4^2)} + \frac{D_3}{k_B(D_3^2 - D_4^2)}} \\
 & + \frac{1}{\frac{(D_1 - D_2)}{k_{\zeta}D_4^2} + \frac{(D_2 - D_3)}{k_KD_4^2} + \frac{(D_3 - D_4)}{k_BD_4^2} + \frac{D_4}{k_GD_4^2}}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{R_{e\gamma}} = & \frac{k_{\zeta}(D_1^2 - D_2^2)}{D_1} + \frac{k_K k_{\zeta}(D_2^2 - D_3^2)}{k_K(D_1 - D_2) + k_{\zeta} D_2} + \frac{k_K k_{\zeta} k_B(D_3^2 - D_4^2)}{k_K k_B(D_1 - D_2) + k_{\zeta} k_B(D_2 - D_3) + k_K k_{\zeta} D_3} \\
& + \frac{k_K k_{\zeta} k_B k_G D_4^2}{k_K k_B k_G(D_1 - D_2) + k_{\zeta} k_B k_G(D_2 - D_3) + k_K k_{\zeta} k_G(D_3 - D_4) + k_K k_{\zeta} k_B D_4} \quad (4.13)
\end{aligned}$$

Diğer taraftan (4.8) denkleminde $R_{e\gamma}$ ifadesi (4.14) şeklinde yazılıp,

$$R_{e\gamma} = \frac{D_1}{k_{efs} A} = \frac{D_1}{k_{efs} D_1^2} = \frac{1}{k_{efs} D_1} \quad (4.14)$$

(4.13) eşitliğinde yerine konulur ve ara işlemler yapılırsa,

$$k_{efs} = \frac{1}{R_{e\gamma} D_1} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned}
k_{efs} = & \frac{k_{\zeta}(D_1^2 - D_2^2)}{D_1^2} + \frac{k_K k_{\zeta}(D_2^2 - D_3^2)}{k_K D_1(D_1 - D_2) + k_{\zeta} D_1 D_2} + \frac{k_K k_{\zeta} k_B(D_3^2 - D_4^2)}{k_K k_B D_1(D_1 - D_2) + k_{\zeta} k_B D_1(D_2 - D_3) + k_K k_{\zeta} D_1 D_3} \\
& + \frac{k_K k_{\zeta} k_B k_G D_4^2}{k_K k_B k_G D_1(D_1 - D_2) + k_{\zeta} k_B k_G D_1(D_2 - D_3) + k_K k_{\zeta} k_G D_1(D_3 - D_4) + k_K k_{\zeta} k_B D_1 D_4} \quad (4.16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{efs} = & k_{\zeta} \left[1 - (D_2/D_1)^2 \right] + \frac{k_K k_{\zeta}(D_2^2 - D_3^2)}{k_K D_1^2 \left[1 - (D_2/D_1) \right] + k_{\zeta} D_1^2 (D_2/D_1)} \\
& + \frac{k_K k_{\zeta} k_B(D_3^2 - D_4^2)}{k_K k_B D_1^2 \left[1 - (D_2/D_1) \right] + k_{\zeta} k_B D_1^2 [(D_2 - D_3)/D_1] + k_K k_{\zeta} D_1^2 (D_3/D_1)} \\
& + \frac{k_K k_{\zeta} k_B k_G D_4^2}{k_K k_B k_G D_1^2 \left[1 - (D_2/D_1) \right] + k_{\zeta} k_B k_G D_1^2 [(D_2 - D_3)/D_1] + k_K k_{\zeta} k_G D_1^2 [(D_3 - D_4)/D_1] + k_K k_{\zeta} k_B D_1^2 (D_4/D_1)} \quad (4.17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{efs} = k_{\zeta} \left[1 - (D_2/D_1)^2 \right] + \frac{k_K k_{\zeta} (D_2^2 - D_3^2)/D_1^2}{k_K [1 - (D_2/D_1)] + k_{\zeta} (D_2/D_1)} \\
+ \frac{k_K k_{\zeta} k_B (D_3^2 - D_4^2)/D_1^2}{k_K k_B [1 - (D_2/D_1)] + k_{\zeta} k_B [(D_2 - D_3)/D_1] + k_K k_{\zeta} (D_3/D_1)} \\
+ \frac{k_K k_{\zeta} k_B k_G D_4^2/D_1^2}{k_K k_B k_G [1 - (D_2/D_1)] + k_{\zeta} k_B k_G [(D_2 - D_3)/D_1] + k_K k_{\zeta} k_G [(D_3 - D_4)/D_1] + k_K k_{\zeta} k_B (D_4/D_1)} \quad (4.18)
\end{aligned}$$

bağıntıları elde edilir.

$$D_2^3 / D_1^3 = X \quad (\text{Kitre Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$D_3^3 / D_1^3 = Z \quad (\text{Bims Hacmi/Toplam Hacim})$$

$$D_4^3 / D_1^3 = \phi \quad (\text{Gözenek oranı=Gözenek Hacmi/Toplam Hacim})$$

değerleri (4.19) eşitliği yerine konulur ve matematiksel işlemler yapılırsa gözenekli katı malzemenin ısı iletim katsayısını veren bağıntı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
k_{efs} = k_K k_B k_{\zeta} k_G \left[\frac{1}{k_K k_B k_G} (1 - X^{2/3}) + \frac{(X^{2/3} - Z^{2/3})}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G X^{1/3}} \right. \\
+ \frac{Z^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G (X^{1/3} - Z^{1/3}) + k_K k_G k_{\zeta} Z^{1/3}} \\
\left. + \frac{\phi^{2/3}}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G (X^{1/3} - Z^{1/3}) + k_K k_{\zeta} k_G (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_K k_B k_{\zeta} \phi^{1/3}} \right] \quad (4.19)
\end{aligned}$$

(4.19) nolu denklem gözenekli katı malzemeler için bulunmuştur. Dolayısıyla kitre, çimento ve bims karışımli malzemelerde karışım oranlarına göre katı yapı oluşturulamayan numuneler için bu denklem kullanılamaz. Tablo 4.2 'de numunelerin kuramsal modelleme için toz haldeki bims agregasının ısı iletim katsayısı ve değişik oranlarda kitre katkılı çimento numunelerinin ısı iletim katsayısı ölçülmüştür.

Tablo 4.2. Sıfır gözenekli bims ve %0.5- %1- %1.5 kitre katkılı çimento bileşiminin ısı iletkenlik değerleri

Numuneler	Isıl İletkenlik(k)W/mK	Numuneler	Isıl İletkenlik(k)W/mK
Toz Haldeki Bims	0.12	Ç-K _{0.5}	0.510
		Ç-K ₁	0.477
		Ç-K _{1.5}	0.441

Bu çalışmada, hesaplama için farklı çaplardaki değişik gözenek şekline sahip bims agregası ile bağlayıcı olarak farklı oranlarda çimento ve kitre kullanılarak yalıtım özellikli kompozit türü ve rastgele gözenekli yeni bir ısı engelleyici yapı malzemeleri üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin yoğunluk, ısıl iletkenlik, özgül ısı kapasiteleri, su emme oranları, kuruma hızları, çekme, basınç dayanımı, aşınma gibi ısı ve mekanik özellikleri ve bu malzemelerin kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

4.2. Gözeneklilik Oranı Tayini

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

Literatürde gözenekli bir maddenin gözenek oranı (ϕ), gözenek hacminin toplam hacme oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür [59].

ϕ = Gözeneklerin hacmi / Toplam hacim

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

$$V_G + V_K = V \quad (4.20)$$

yazılabilir. (4.20) eşitliğinin her iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$\frac{V_G}{V} + \frac{V_K}{V} = 1 \quad (4.21)$$

denklemini elde edilir.

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

$$\begin{aligned} V_K / V &= 1 - (V_G / V) = 1 - \phi \\ (\rho / \rho_K &= V_K / V = 1 - \phi) \end{aligned} \quad (4.22)$$

yazılır.

Numunenin kütlesi;

$$\begin{aligned}\rho.V &= \rho_K.V_K & \rho.V &= \rho_{bims}V_{bims} + \rho_{bağ}V_{bağ} \\ \rho &= (\rho_{bims}V_{bims} + \rho_{bağ}V_{bağ})/V\end{aligned}\quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir.

V = Numune hacmi

V_K = Sıfır gözenekli numunenin yani katı kısmın hacmi

olduğuna göre;

$$\begin{aligned}V &= V_{bims} + V_{bağ} \\ V_{bims} &= V - V_{bağ}\end{aligned}\quad (4.24)$$

$$V_{bağ} = V_K - V_{bims\text{matrisi}}\quad (4.25)$$

(4.25) denklemi, (4.24) denkleminde yerine koyulursa;

$$V_{bims} = V - (V_K - V_{bims\text{matrisi}})\quad (4.26)$$

denkemi elde edilir.

Gözenekli numunenin yoğunluğunu tespit etmek için (4.23) denkleminde (4.25) ve (4.26) denklemleri yerine yazılırsa;

$$\rho = \rho_{bims} (V - V_K + V_{bims\text{matrisi}}) / V + \rho_{bağ} (V_K - V_{bims\text{matrisi}}) / V$$

ara işlemler yapılırsa;

$$\rho = \rho_{bims} + (\rho_{bağ} - \rho_{bims}) \frac{V_K}{V} \left(1 - \frac{V_{bims\text{matrisi}}}{V}\right)$$

Hacimce bims oranı; $Z = \frac{V_{bims\text{matrisi}}}{V}$ olduğuna göre;

$$\rho = \rho_{bims} + (\rho_{bağ} - \rho_{bims})(1 - \phi)(1 - Z)\quad (4.27)$$

denklemini elde edilir.

$$\phi = 1 - \frac{\rho}{\rho_K} \quad \text{ifadesinde (4.27) denklemi yerine konursa gözeneklilik oranı (4.28)}$$

denklemindeki gibi bulunmuş olur.

$$\phi = \{\rho_K - [\rho_{bims} + (\rho_{bağ} - \rho_{bims})(1 - \phi)(1 - Z)]\} / \rho_K$$

$$\phi = \frac{\rho_K - \rho_{bims} - (\rho_{bağ} - \rho_{bims})(1 - Z)}{\rho_K - (\rho_{bağ} - \rho_{bims})(1 - Z)} \quad (4.28)$$

$$\rho_{bağ} = \frac{W_{bağ} \rho_{bims} Z}{W_{bims} (1 - Z)} \quad (4.29)$$

Bu denklemde; $\rho_{bağ} = \rho_{kitre+çimento}$ dur.

4.3. Kitre ve Çimento Bağlayıcı Karışımlarında Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi

Ağırlık= yoğunluk x hacim x yerçekimi ivmesi şeklindedir. Kitre ve bims ağırlıklarının bulmak için,

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

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

$$W = \rho V g$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler taraf tarafa bölünürse;

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

$$\frac{W_{bims}}{W} = \frac{\rho_{bims}}{\rho} \cdot \frac{V_{bims}}{V} \quad (4.30)$$

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

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

$$\frac{V_{bims}}{V} = Z = \text{Hacimce bims oranı}$$

dönüşümleri (4.29) denklemlerinde yerlerine yazılırsa,

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

$$Z = \frac{V_{bims}}{V} = \frac{\rho}{\rho_{bims}} \cdot \frac{W_{bims}}{W} \quad \text{denklemleri elde edilir.} \quad (4.31)$$

Bu çalışmada 8-12 mm çaplı, %1.5 kitre ve ağırlıkça %80 bims agregası içeren (**C3-8 kodlu**) numunede düşük yoğunluk, en düşük ısı iletim katsayısı dolayısıyla en yüksek gözeneklilik oranı tespit edilmiştir. Ayrıca her bir numunenin ısı iletim katsayısı ve gözeneklilik oranının tayini için Tablo 4.3 ' de yoğunluk değerleri 0-4mm çaplı tozhaldeki bims agregası için 2.37 g/cm³, 4-8mm çaplı tozhaldeki bims agregası için 2.31 g/cm³, 8-12mm çaplı tozhaldeki bims agregası için 2.26 g/cm³, kitre için 1.8 g/cm³ ve çimento için 3.1 g/cm³ olarak verilmiştir.

Tablo 4.3. Bims ve bağlayıcılara ait yoğunluk değerleri (g/cm³)

Malzemeler	0-4mm çaplı tozhaldeki bims agregası	4-8mm çaplı tozhaldeki bims agregası	8-12mm çaplı tozhaldeki bims agregası	Kitre	Çimento
Yoğunluk(g/cm ³)	2.37	2.31	2.26	1.8	3.1

Tablo 4.4' de görüldüğü üzere bims matrisinin içerisindeki bileşenlerin oranı ve bileşenlerinin yoğunluğuna göre toplam bims matrisi $\rho_{bimsmatrisi} = 2.785 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. Bims matrisleri yoğunluk değerleri tayini tablosu

Bileşen	Bileşen Yüzdesi	Bileşen Yoğunluğu	Bileşen x Bileşen Yüzdesi
SiO ₂	% 70	2.56	1.792
Al ₂ O ₃	% 14	4	0.56
Fe ₂ O ₃	% 2.5	5.2	0.13
CaO	% 0.9	3.3	0.0297
MgO	% 0.6	3.6	0.0216
Na ₂ O	% 6	2.3	0.138
K ₂ O	% 6	1.9	0.114
Toplam	100		2.785

4.4. Gözenek İçindeki Gazların Isı İletim Katsayıları

Burada azot ve karbondioksit gazlarının oranının diğer bileşenlere göre fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple gözenekler içindeki gazın sadece azot ve karbondioksit gazı karışımı olduğu kabul edilmiştir.

Bu gaz karışımının ısı iletim katsayısı azot ve karbondioksit gazlarının ısı iletim katsayılarının ortalaması olarak alınmıştır. Tablo 4.5’ de oda sıcaklığında (300⁰K) muhtelif gazlara ait ısı iletim katsayıları verilmiştir [36,60].

$$k_G=(k_{CO_2}+k_{N_2})/2=(0.01666+0.0262) / 2 =0.0214 \text{ (W/mK)} \quad (4.32)$$

Çalışmada kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları $k_{bağ} = k_{kitre+çimento}$, formüllerde kullanılan kitre+çimento ve bims belirlenmiş oranlarda kullanılarak harçlar üretilmiştir. Bu harçlar kalıplara dökülüp numunelerin yoğunlukları belirlenmiş, daha sonra İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarlarında ısı iletim katsayıları tespit edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Tablo 4.5. 300 K sıcaklığında muhtelif gazların yoğunlukları ve ısı iletim katsayıları.

Gaz	Yoğunluk (g/cm ³)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
CO	1.139	0.0253
CO ₂	1.797	0.01666
N ₂	1.142	0.0262
O ₂	1.301	0.0267
H ₂	0.0819	0.182
SO ₂	----	0.072

4.5. Kitleli Numunenin Isı İletim Katsayısının Sayısal Olarak Hesabı

Kitleli numunelerin kuramsal olarak ısı iletim katsayısı ve gözeneklilik oranının hesabı için numuneyi oluşturan malzemelerin hacimsel ve ağırlık oranları ilişkisi, yoğunlukları ve ısı iletim katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle aşağıdaki örnekte A 1-2 numunesinin ısı iletim katsayısı ve gözeneklilik oranı hesaplanmış olup bu hesap tüm numuneler için uygulanabilir.

A 1-2 numunesinin ısı iletim katsayısı ve gözeneklilik oranı hesabı için;

$$W_{kitre} = 13.054g \quad \rho_{kitre} = 1.8 g/cm^3 \quad \rho_{kmatrisi} = 2.785 g/cm^3$$

$$W_{bims} = 434.304g \quad \rho_{bims} = 2.37 g/cm^3 \quad \rho_{bağ} = 1.468 g/cm^3$$

$$W = 2623.870g \quad \rho = 1.567 g/cm^3$$

Bu değerler Denklem 4.29' da kullanılırsa,

$$\frac{W_{kitre}}{W} = \frac{\rho_{kitre}}{\rho} \cdot \frac{V_{kitre}}{V} = \frac{13.054}{2623.870} = \frac{1.8}{1.567} \cdot \frac{V_{kitre}}{V}$$

$$X = \frac{V_{kitre}}{V} = 0.00433 \text{ bulunur.}$$

$$\frac{W_{bims}}{W} = \frac{\rho_{bims}}{\rho} \cdot \frac{V_{bims}}{V} = \frac{434.304}{2623.870} = \frac{2.37}{1.567} \cdot \frac{V_{bims}}{V}$$

$$Z = \frac{V_{bims}}{V} = 0.10942 \text{ bulunur.}$$

Gözeneklilik oranının tayini için Denklem (4.28) kullanılıp yukarıdaki değerler yerine yazılırsa;

$$\phi = \frac{2.785 - 2.37 - (1.468 - 2.37)(1 - 0.10942)}{2.785 - (1.468 - 2.37)(1 - 0.10942)} = 0.340 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Isı iletim katsayısının tayini için;

$$\begin{aligned} k_K &= 0.15 \text{ W / mK} & X &= 0.00433 \\ k_B &= 0.12 \text{ W / mK} & Z &= 0.10942 \\ k_{\zeta} &= 0.498 \text{ W / mK} & \phi &= 0.340 \\ k_G &= 0.0214 \text{ W / mK} \end{aligned}$$

$$k_{efs} = k_K k_B k_{\zeta} k_G \left[\frac{1}{k_K k_B k_G} (1 - X^{2/3}) + \frac{(X^{2/3} - Z^{2/3})}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G X^{1/3}} + \frac{Z^{2/3} - \phi^{2/3}}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G (X^{1/3} - Z^{1/3}) + k_K k_G k_{\zeta} Z^{1/3}} + \frac{\phi^{2/3}}{k_K k_B k_G (1 - X^{1/3}) + k_B k_{\zeta} k_G (X^{1/3} - Z^{1/3}) + k_K k_{\zeta} k_G (Z^{1/3} - \phi^{1/3}) + k_K k_B k_{\zeta} \phi^{1/3}} \right]$$

$$k_{efs} = 0.308 \text{ W/mK elde edilir.}$$

A 1-2 kodlu numuneye ait deneysel ısı iletim katsayısı 0.359 W/mK olarak tespit edilmiştir. Aynı numuneye ait kuramsal ısı iletim katsayısı yukarıdaki işlem aşamalarından sonra 0.308 W/mK olarak belirlenmiştir. Sonuçta deneysel olarak ölçülen değerlerle, cebirsel denklemin verdiği sonuçların birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

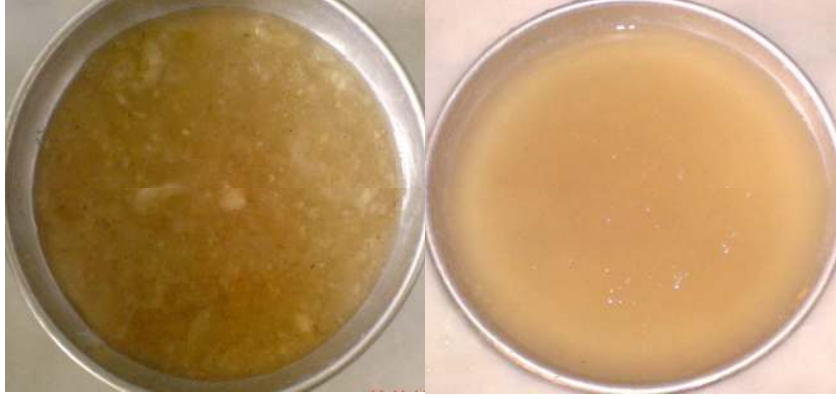
Deneysel çalışma için numunelerin hazırlanmasında Van'ın Ahlat bölgesindeki geniş rezervlere sahip olan bimsler kullanılmıştır. Bu malzemeler elekten geçirilerek tane çaplarına göre 0-4, 4-8, 8-12 mm üç gruba ayrılmış ve bağlayıcı olarak farklı oranlarda kitre ile KPÇ portland çimentosu karışımı hazırlanarak Diyarbakır ili içmesuyu ile hazırlanan karışım Şekil 5.1' de de görüldüğü gibi sert plastik kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan her numune 28 günlük standart kuruma dönemini tamamladıktan sonra ısı iletkenlik, basma, çekme, yoğunluk, aşınma, özgül ısı kapasitesi, su emme ve kuruma hızı tespiti için deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 5.1. Plastik kalıplara dökülmüş numuneler

5.1. Kitrenin Hazırlanması

Deney numunelerinin üretilmesi için ilk olarak kitrenin kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Kitre, geven bitkisinin gövdesinde açılan yaralardan sızan bir tür reçine olup 0.5-3 mm kalınlığında, 1-2 cm çapında yuvarlak plakalar ya da değişik biçimlerde parçalar halindedir. Kitreyi hazır hale getirmek zaman gerektirir. Hazırlanmak istenen miktara göre kuru kitre hesaplanıp içerisinde çalışılabilecek bir kaba konur ve harç işlemini yapmak için istenen eriyik kitre miktarına uygun su hesaplanır [61]. Hesaplanan suyun 1/5'i kitre üzerine dökülür. 12 saatlik bekleme sonunda bu su kitre tarafından tamamen emilir. Kitre kap içerisinde bütün haldedir. El yardımıyla kitre parçalanır ve üzerine yeniden hesaplanan suyun 1/5'i dökülür. Yaklaşık 12 saat sonra kitrenin o suyu da emdiği ve adeta denizanası görünümü aldığı gözlenmektedir. Kitre el ile iyice ezilir ezilmeyen bazı küçük parçacıkların o şekilde kalmasında sakınca yoktur. Tekrar üzerine, kalan sudan bir miktar dökülür, kitrenin su emme hız ve kapasitesi azaldığından daha uzun süre beklemek gerekmektedir. Bu durum, bulunulan ortamın sıcaklığına veya mevsime göre 24 saat dolaylarındadır. Takip işlemi yapılmalı ve kesinlikle suyun tamamen emilmesi beklenmelidir. Eğer acele edilirse ezilmeyen küçük parçacıklar suyu kabulde zorlanır. Erimeye başlamış olan kitre el ile veya plastik bir kepçeyle iyice karıştırılır ve kalan su son olarak üzerine dökülür. Bundan sonra 36 veya 48 saat süresince kitre vakit buldukça karıştırılır. Daha sonra süzme işlemi, kitrenin içindeki erimeyen parçacıkları kum veya bitkisel artıkları temizlemekten daha çok kitrenin homojen bir hal alması içindir. Süzülen kitre, sabunlu su görünümünde olup koyu ayran kıvamındadır. Kıvamı birim su içerisinde eritilebilen kitre miktarına göre değişir. Şekil 5.2' de kitrenin, üzerine dökülen suyu emip el ile ezilerek karıştırıldıktan sonraki görünümü ve kitrenin tamamen erimesi sağlanıp süzme işleminden sonra kullanıma hazır durumu gösterilmiştir. Çalışmada bims-çimento karışım ağırlığının en fazla %1.5' u kadar kitre kullanılmasının sebebi, harç yapmak için gerekli olan suyun içinde bu orandan daha fazla kitrenin eriyememesidir.



Şekil 5.2. Kitrenin (a-Eritilme safhasındaki, b-Süzüldükten sonraki) görünümü

5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Tane çaplarına göre üç gruba ayrılan bimsler 0-4, 4-8 ve 8-12 mm çaplı; %0.5, %1, %1.5 ağırlık oranında kitre, ayrıca %20, %40, %60, %80 ağırlık oranında çimento katılarak kitre-çimento bağlayıcılarla ayrı ayrı karışımlar oluşturulmuştur. Kitre malzemesi, karışım ağırlığının yaklaşık olarak 2/3'ü kadar su içerisinde eritilerek kullanılmıştır. Bu karışımlar oda sıcaklığında (20°C) cam yüzey üzerinde ısıl iletkenliği ölçmek için ısıl iletkenlik ölçme aleti probunun ölçüleri esas alınarak hazırlanmış olan 20x60x150 mm sert plastik kalıplar ve mekanik deneyler içinde 100x100x100 mm ebatlarındaki sert plastik kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra üst yüzeyler sıvanarak kurumaya bırakılmıştır. İlk grup numuneler 48 saat, ikinci grup numuneler 72 saat kalıp içerisinde bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında standart kuruma dönemine bırakılmıştır. Kuruma dönemi sonunda numuneler ambalajlanarak ölçüm anına kadar muhafaza edilmiştir.

Bütün numuneler kendisini oluşturan maddelerin tane çapı ve karışım oranlarına göre harf ve rakamlarla kodlanmıştır. Bu kodlamada;

0-4 mm çaplı bims agregası=A

4-8 mm çaplı bims agregası=B

8-12 mm çaplı bims agregası=C

ile kodlanmıştır. Harflerden sonra gelen ilk rakam ağırlıklı yüzde olarak kitre miktarını

“0”= %0 kitre

“1”= %0.5 kitre

“2”= %1 kitre

“3”= %1.5 kitre,

ikinci rakam ise ağırlıklı yüzde olarak bims miktarını

“0”= %0 bims

“2”= %20 bims

“4”= %40 bims

“6”= %60 bims

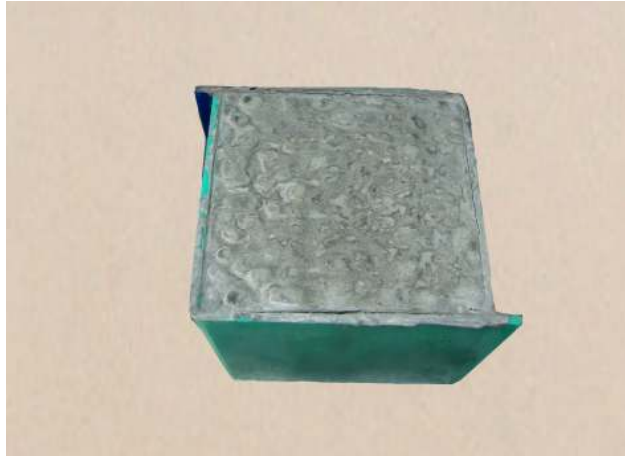
“8”= %80 bims

göstermektedir. Örneğin; “A1-2” kodu, 0-4mm çaplı, %0.5 kitre ve ağırlıkça %20 bims agregası içeren numuneyi tarif etmektedir. Şekil 5.3’ de 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims-kitre-çimento karışımları ile hazırlanmış deney numunelerine ısı iletim katsayısı, yoğunluk, gözeneklilik oranı, su emme- kuruma hızları ölçümü yapılmıştır. Şekil 5.4 ’ de ise 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims-kitre-çimento karışımları ile hazırlanmış deney numunelerine aşınma, çekme ve basma deneyleri ölçümü yapılmıştır.





Şekil 5.3. Isı iletim katsayısının ölçülmesi için hazırlanan 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bimsler ve %0- %0.5- %1- %1.5 kitreli deney numuneleri





Şekil 5.4. Mekanik deneyler için 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bimsler ile hazırlanmış deney numuneleri

5.3. Isıl İletkenlik Deneyi

Numunelerin ısı iletkenlik ölçümleri, geçici rejimde ölçme yapan sıcak tel (Hot Wire) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedenleri;

- 1- Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının kolay olarak ölçülebilmesi,
- 2- Numunenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletkenlik katsayılarının ölçmesi,
- 3- Isı iletkenlik katsayısı ölçülen malzemenin yapısının heterojen olması,
- 4- Isı iletkenliğinin kısa sürede hassas olarak saptanabilmesi şeklinde sıralanabilir.

5.4. Isı İletkenlik Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi

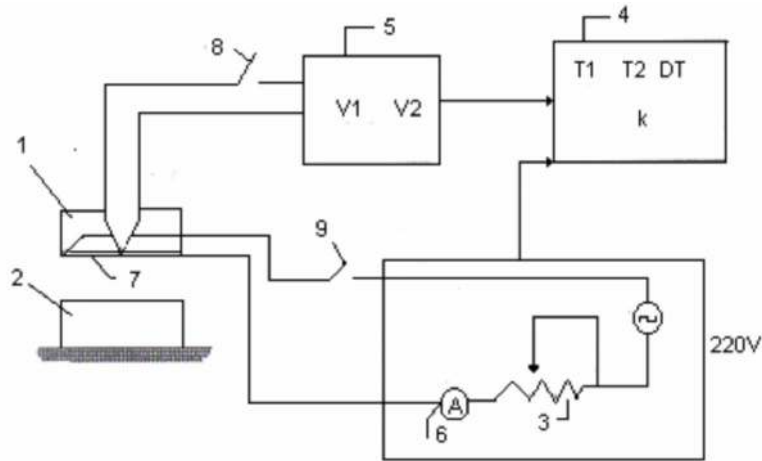
Bu çalışmada, ısı iletim katsayılarının ölçümünde İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarlarında bulunan Şekil 5.5’ de görülen DIN51046’ya göre geliştirilmiş geçici rejimde ısı iletim katsayısının ölçümünde kullanılan ve Hot-Wire (sıcak tel) yöntemi ile çalışan Shotherm QTM-D2 aleti kullanılmıştır. Bu yöntemin en büyük avantajı, malzemenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletim katsayısının ölçülebilmesidir. Bu yöntemin levha tipi ısı iletim katsayısı ölçme yönteminden farkı ısı iletim katsayısı ölçülen ortamın heterojen yapılı olması durumunda bile ölçümün yapılabilmesidir [62]. Bu

yöntemle ölçme duyarlılığı ($\pm\%5+1$ digit), ölçme aralığı ise 0.02-10 W/mK olarak verilmektedir.



Şekil 5.5. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı

Bu yöntemde ısıtıcı tel (krom-nikel) ve bu tele orta noktasından dokunacak şekilde lehimlenmiş termoeleman (krom nikel - nikel) iki örnek arasına yerleştirilir. Üstteki örnek yalıtılmış ve ısı iletim katsayısı bilinen bir plaka (prob) alttaki örnek ise ısı iletim katsayısı ölçülecek olan numunedir. Hot-wire (sıcak tel) ölçme yöntemine göre cihazın devre şeması Şekil 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.6. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı devre şeması

[1:ölçme probu 2: ısı iletim katsayısı bilinmeyen malzeme 3:ayarlı direnç (potansiyometre)
4:mikro bilgisayar 5:milivoltmetre 6:ampermetre 7:sıcak tel 8,9:anahtar]

Cihazda ölçüme başlamadan önce cihazın kalibrasyon işlemi yapılır. Bundan sonra 8 numaralı anahtar kapatılarak, termoeleman devresindeki 5 numaralı milivoltmetre ile V_1 gerilimi tespit edilir. Bu gerilime tekabül eden T_1 sıcaklığı, dijital ekranda okunur. Bu işlemin ardından 9 numaralı anahtar kapatılıp ısıtıcı tele, 60 saniye süre ile elektrik akımı verilerek, tel sıcaklığındaki yükselme V_2 gerilimine kadar ekrandan T_2 sıcaklığı olarak tespit edilir. Bu arada $T_1 - T_2$ sıcaklık farkı da ΔT şeklinde ekrandan görülerek aynı anda ısı iletim katsayısı dijital olarak W/mK biriminde okunur. Bu işlemler her ölçüm için yeniden tekrarlanarak sürdürülür.

Bu yöntemde ısı iletim katsayısı 5.1 eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{q \ln(T_1 / T_2)}{4\pi \Delta T} \quad (5.1)$$

$$q = \frac{RI^2}{L} \quad (5.2)$$

5.2 denklemi yardımıyla yapılan elektrik-ısı enerjisi dönüşümü ile (L ısıtıcı tel uzunluğu),

$$V_2 - V_1 = \xi(T_2 - T_1) = \xi \Delta T \quad (5.3)$$

Termoelemanın gerilim-sıcaklık ilişkisi kullanılırsa;

$$k = \frac{(RI^2 / L) \ln(T_1 / T_2)}{(4\pi / \xi)(V_2 - V_1)} \quad (5.4)$$

elde edilir. Bu denklemde;

$$K = R\xi / 4\pi L \quad (5.5)$$

değeri sabit olup, kullanılan prob üzerinde (K) değeri verilmiştir.

Bu durumda;

$$k = \frac{K \ln(T_1 - T_2)}{(V_2 - V_1)} \quad (5.6)$$

şeklini alır. Ölçme probu ısı iletim katsayısı bilinen bir malzeme olup, çok iyi izole edilmesine rağmen çalışma sırasında bazı ısı kayıplar H ile gösterilirse;

$$k = \frac{KI^2 \ln(T_1 / T_2)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (5.7)$$

şeklini alır.

Deney numunelerinin ölçümlerinde QTM-D2 tipi ve 10190 seri numaralı prob kullanıldı. Bu proba ait sabit katsayılar cihaz kataloğundan alınmış olup aşağıda verilmiştir.

$$K = 252.10^{-4}$$

$$H = 33.10^{-3}$$

Ölçülecek numunenin toz veya blok halinde olması ve yüzey pürüzlülüğüne göre farklı prob kullanılır. Her standart QTM probunun cihaz ince ayarı ölçümlerden önce farklı K ve H sabitlerine göre ayarlanarak, ısı iletim katsayısı değeri (5.7) eşitliğinden cihaz içindeki mikrobilgisayar ile hesaplanır.

Ölçüm esnasında, probun ve malzemenin yüzeyi temiz olmalı ve malzeme oda sıcaklığında tutulmalıdır. Cihazın doğru ölçüm yaptığını kontrol etmek için ilk ölçüm referans plakalarından biri ile yapılabilir. Referans plakasının verilen ısı iletim katsayısı ile bu plakanın ölçüm sonucu elde edilen ısı iletim katsayısı $\pm$ %5 arasında farklılık gösteriyorsa ölçüm doğru kabul edilir ve sapma miktarı ölçülen ısı iletkenlik katsayılarına ilave edilir. Her standart QTM probunun farklı K, H sabitleri vardır. Isı iletim katsayısı cihaz içerisindeki bir mikro işlemci tarafından hesaplanarak 60 sn içinde malzemenin belirli bir sıcaklık değeri için ısı iletim katsayısı dijital olarak ekranda verilir.

Deney numunelerinin her birinin ısı iletim katsayısı, 28-30 °C oda sıcaklığında, üç ayrı noktadan üçer defa yukarıda bahsedilen yöntemle ölçülmüş, sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen ısı iletim katsayıları Tablo 5.1’ de gösterilmiştir. Ayrıca 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims agregası ile hazırlanmış numuneler için de kitle yüzdesi arttıkça numunelere ait ısı iletim katsayılarının küçüldüğü gözlenmiştir.

Tablo 5.1. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait özellikler

Numune Kodu	Ağır. Bims Oranı (%Bims)	Yoğunluk $\rho(\text{gr/cm}^3)$	Gözeneklilik Oranı Φ	DeneySEL k (W/mK)	Kuramsal k (W/mK)	Sapma %
Kitresiz Numuneler						
A 0-2	20	1,772	0,299	0,433	0,350	24
A 0-4	40	1,506	0,335	0,401	0,307	31
A 0-6	60	1,411	0,382	0,335	0,277	21
A 0-8	80	1,211	0,413	0,243	0,273	11
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcı Numuneler						
A 1-2	20	1,567	0,340	0,359	0,308	16
A 1-4	40	1,339	0,379	0,322	0,268	20
A 1-6	60	1,283	0,388	0,279	0,234	19
A 1-8	80	1,111	0,414	0,230	0,211	9
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcı Numuneler						
A 2-2	20	1,389	0,377	0,343	0,303	13
A 2-4	40	1,289	0,393	0,301	0,261	15
A 2-6	60	1,117	0,419	0,265	0,231	14
A 2-8	80	0,950	0,443	0,217	0,212	3
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcı Numuneler						
A 3-2	20	1,150	0,420	0,340	0,301	13
A 3-4	40	0,961	0,447	0,300	0,268	12
A 3-6	60	0,911	0,453	0,255	0,239	7
A 3-8	80	0,783	0,460	0,203	0,223	9
Kitresiz Numuneler						
B 0-2	20	1,717	0,316	0,420	0,347	21
B 0-4	40	1,533	0,351	0,389	0,305	27
B 0-6	60	1,283	0,394	0,319	0,275	16
B 0-8	80	1,022	0,441	0,235	0,272	14
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcı Numuneler						
B 1-2	20	1,444	0,361	0,329	0,308	7
B 1-4	40	1,206	0,400	0,298	0,273	9
B 1-6	60	1,094	0,416	0,253	0,245	3
B 1-8	80	0,911	0,442	0,215	0,228	6
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcı Numuneler						
B 2-2	20	1,317	0,389	0,314	0,305	3
B 2-4	40	1,150	0,414	0,295	0,269	10
B 2-6	60	0,978	0,439	0,252	0,243	3
B 2-8	80	0,800	0,462	0,209	0,227	6
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcı Numuneler						
B 3-2	20	0,694	0,422	0,301	0,314	4
B 3-4	40	0,722	0,450	0,272	0,284	4
B 3-6	60	0,761	0,472	0,230	0,252	9
B 3-8	80	0,694	0,477	0,189	0,232	19
Kitresiz Numuneler						
C 0-2	20	1,672	0,330	0,405	0,345	17
C 0-4	40	1,467	0,368	0,375	0,304	23
C 0-6	60	1,350	0,395	0,291	0,271	7
C 0-8	80	0,878	0,445	0,250	0,269	7
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcı Numuneler						
C 1-2	20	1,283	0,388	0,319	0,307	4
C 1-4	40	1,272	0,390	0,291	0,275	6
C 1-6	60	1,217	0,398	0,248	0,242	2
C 1-8	80	0,878	0,446	0,198	0,232	15
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcı Numuneler						
C 2-2	20	1,306	0,390	0,306	0,307	1
C 2-4	40	1,172	0,411	0,265	0,271	2
C 2-6	60	0,978	0,439	0,226	0,245	8
C 2-8	80	0,811	0,461	0,186	0,228	18
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcı Numuneler						
C 3-2	20	1,150	0,420	0,266	0,306	13
C 3-4	40	0,928	0,451	0,248	0,274	10
C 3-6	60	0,822	0,476	0,215	0,247	13
C 3-8	80	0,728	0,481	0,177	0,229	23

5.5. Basma Mukavemeti Deneyi

Basma deneyi, basma plakaları birbirine paralel olan bir makine ile yapıldığından numunelerin itina ile hazırlanmış olması gerekir. Basma numunelerinde yükün kullanıldığı alt ve üst yüzeyler numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Şekil 5.7’ de basma mukavemetini belirlemeye yarayan deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Basma mukavemeti deney cihazı

Deneysel çalışmada, 100x100x100 mm boyutlarında küp şeklinde toplam 51 adet farklı numune kullanılmış ve deney cihazında basma mukavemeti (kg_f/cm^2) cinsinden dijital olarak okunmuştur. Basma mukavemeti, basma kuvvetinin (F) numunenin kesit alanına (A_0) bölünmesiyle elde edilmektedir. Deney sonucunda, numunelere ait ölçüm sonuçları Tablo 5.2’ de gösterilmiştir. Ayrıca TS 500’e göre basma mukavemetinden çekme dayanımı hesaplanmış ve Tablo 5.2’ de verilmiştir.

$$\text{Basma Mukavemeti; } \sigma_b = \frac{F}{A_0} \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Tablo 5.2’ den de görüldüğü gibi üretilen numunelerde kullanılan kitle miktarındaki artışa, bims çapındaki artışa ve çimento miktarındaki azalmaya bağlı olarak basma ve çekme dayanımı azalmaktadır.

Tablo 5.2. Numunelere ait mekanik dayanım sonuçları

Numune Kodu	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Çekme Mukavemeti (kg/cm ²)	Aşınma (%)
Kitresiz Numuneler			
A 0-2	258,8	17,8	
A 0-4	195,9	15,5	
A 0-6	140,6	13,1	
A 0-8	39,4	6,9	
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler			
A 1-2	98,9	11,0	1,2
A 1-4	75,2	9,6	1,0
A 1-6	57,7	8,4	1,2
A 1-8	13,1	4,0	1,3
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler			
A 2-2	88,4	10,4	0,5
A 2-4	67,0	9,1	0,9
A 2-6	42,3	7,2	1,5
A 2-8	4,3	2,3	1,6
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler			
A 3-2	27,2	5,8	5,0
A 3-4	12,3	3,9	6,0
A 3-6	8,1	3,2	9,4
A 3-8	0,0	0,0	0,0
Kitresiz Numuneler			
B 0-2	229,7	16,8	
B 0-4	176,1	14,7	
B 0-6	98,1	11,0	
B 0-8	23,4	5,4	
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler			
B 1-2	73,4	9,5	0,9
B 1-4	68,1	9,1	1,2
B 1-6	51,5	7,9	1,6
B 1-8	7,2	3,0	1,8
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler			
B 2-2	63,2	8,8	1,3
B 2-4	55,8	8,3	1,7
B 2-6	30,1	6,1	1,8
B 2-8	0,0	0,0	4,3
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler			
B 3-2	18,5	4,8	1,6
B 3-4	11,9	3,8	2,0
B 3-6	6,1	2,7	17,2
B 3-8	0,0	0,0	0,0
Kitresiz Numuneler			
C 0-2	179,3	14,8	
C 0-4	114,5	11,8	
C 0-6	91,0	10,6	
C 0-8	22,3	5,2	
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler			
C 1-2	69,9	9,3	0,9
C 1-4	51,3	7,9	1,0
C 1-6	43,9	7,3	1,7
C 1-8	0,0	0,0	10,1
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler			
C 2-2	52,1	8,0	1,4
C 2-4	41,4	7,1	2,6
C 2-6	6,5	2,8	11,1
C 2-8	0,0	0,0	15,4
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler			
C 3-2	14,2	4,2	2,8
C 3-4	9,3	3,4	4,3
C 3-6	0,0	0,0	19,9
C 3-8	0,0	0,0	0,0

5.6. Aşınma Kaybı Deneyi

Bu çalışmada aşınma deneyi Şekil 5.8’ de gösterilen Böhme aleti ile yapılmıştır. Böhme aleti yaklaşık 750 mm çapında bir disk, dakikada 30 devir dönmesini sağlayan bir motor, devir sayısını gösteren numaratör ve her 22 devir tamamlandığında motoru otomatik olarak durduran bir mekanizmaya sahiptir [63]. Böhme yüzey aşındırma deneyi, numunelerin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen azalmanın ölçülmesi suretiyle yapılır. Bu çalışmada sürtünme yolu ile aşınma kaybının bulunmasında, ağırlık azalmasının ölçülmesi tercih edilmiş ve sonuçlar buna göre yorumlanmıştır. Böhme cihazının sürtünme şeridine 20g standart zımpara tozu serpildikten sonra numune yerleştirilmiş ve çelik manivela aracılığı ile yükleme koluna 6 kg yüklenerek disk harekete geçirilmiştir. Toplam 100 devir sonunda numune orta sertlikte bir kıl fırça ile temizlenmiş ve yine 0.1g duyarlılıkta tartılarak son ağırlık bulunmuştur. Tablo 5.2’ den de görüldüğü üzere üretilen numunelerde kullanılan kitle miktarındaki artışa, bims çapındaki artışa ve çimento miktarındaki azalmaya bağlı olarak aşınma dayanımı azalmaktadır.



Şekil 5.8. Böhme aleti

5.7. Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi

Su ile doğrudan ilişkili olabilecek yapı malzemelerinde, donma sonucu malzemelerin bünyesinde buz kristalleri oluşacaktır. Şayet malzemeler, içerisinde donma neticesinde oluşan genleşmeyi karşılayabilecek bir kuru hacme sahip değilse don hasarları meydana gelecektir. Bu deneyin amacı malzemelerin böyle bir kuru hacme sahip olup olmadıklarının araştırılmasıdır.

Malzeme içerisinde kritik rutubet miktarı, hacmin %30'udur [20]. Bu oranın altında malzemeler dursa bile hasara uğramamaktadır. Malzeme içerisindeki rutubet miktarının kritik değerin üzerinde olması durumunda malzemelerde don hasarları meydana gelecektir. Malzeme bünyesindeki rutubet miktarı ne kadar çok olursa hasarın büyüklüğü o oranda artacak ve hasar, malzemenin tamamen dağılmasına kadar ilerleyecektir.

Deney numuneleri, sabit oda sıcaklığında kurutulup numuneler üzerindeki tozlar bir fırça ile temizlendikten sonra 1g duyarlılıkta terazi ile tartılarak kuru numune ağırlıkları (W_k) tespit edildi. Bu şekilde kurutulmuş numuneler, Şekil 5.9' da oda sıcaklığında bulunan derecelendirilmiş su kabına yerleştirildi. İlk anda numunelerin 2/5'i, 20 dakika sonra 3/5'i, 40. dakikada 4/5'i ve 60. dakikada tamamı su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler, bir bez parçası ile silinerek Şekil 5.9' da görülen tartıda tartılarak su emdirilmiş ağırlıkları (W_d) bulundu. Bu iki ağırlık değerleri kullanılarak su emme yüzdesi aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 5.3' te verilmiştir.

$$\text{Su Emme \%} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100$$

Kuruma hızı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır. 24 saat su kabı içinde bekletilen numuneler, sudan çıkarılıp bir bezle kurulandıktan sonra 20 °C oda sıcaklığında doğal kurumaya bırakılmıştır. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma ile olduğundan burada malzeme iç yüzeyinden dış yüzeye doğru kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Numunelerin kuruma hızı 24 saatlik kuruma süresindeki ağırlık kaybının numunenin su emdirilmiş ağırlığı olan W_d ' ye oranı alınarak hesaplanmıştır. Kuruma süresindeki ağırlık kaybı ve kuruma hızı sonuçları Tablo 5.4' te gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Su emme, kuruma deneyi kabı ve tartı aleti

Tablo 5.3. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait su emme deneyi

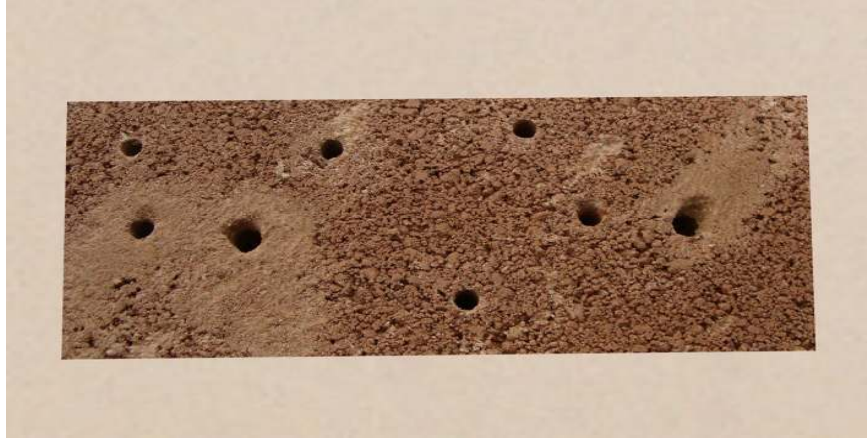
Numune Kodu	Oda Sıcaklığında Numune Ağırlığı (gr)	Su İçerisinde Numunelerin Ağırlık Ölçümleri						Su Emme Oranı (%)
		20.dk	40.dk	1.saat	2.saat	3.saat	24.saat	
Kitresiz Numuneler								
A 0-2	319	345	355	358	379	380	385	20.7
A 0-4	271	293	301	306	324	333	338	24.7
A 0-6	254	282	291	297	317	320	323	27.2
A 0-8	218	265	279	282	285	286	290	33.0
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler								
A 1-2	282	311	318	322	339	340	352	24.8
A 1-4	241	278	285	290	304	305	307	27.4
A 1-6	231	268	276	282	297	298	301	30.3
A 1-8	200	242	254	262	267	268	271	35.5
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler								
A 2-2	250	294	307	312	313	313	316	26.4
A 2-4	232	275	287	295	297	297	298	28.4
A 2-6	201	262	267	268	268	270	275	36.8
A 2-8	171	241	242	243	245	245	253	48.0
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler								
A 3-2	207	274	274	275	275	276	279	34.8
A 3-4	173	237	238	238	239	240	244	41.0
A 3-6	164	229	229	229	230	231	237	44.5
A 3-8	155	225	225	225	221	222	229	48
Kitresiz Numuneler								
B 0-2	309	334	343	347	365	374	377	22.0
B 0-4	276	290	297	302	320	331	338	22.5
B 0-6	231	251	257	261	277	288	294	27.3
B 0-8	184	231	242	246	249	249	253	37.5
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler								
B 1-2	260	295	303	309	329	330	337	29.6
B 1-4	217	245	251	256	274	279	284	30.9
B 1-6	197	243	251	257	264	264	267	35.5
B 1-8	164	224	230	231	234	235	241	47.0
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler								
B 2-2	237	283	296	301	305	305	307	29.5
B 2-4	207	257	266	270	274	274	277	33.8
B 2-6	176	241	241	243	244	245	250	42.0
B 2-8	144	212	213	216	217	218	222	54.2
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler								
B 3-2	204	268	273	274	275	276	279	36.8
B 3-4	168	235	236	236	238	239	243	44.6
B 3-6	137	201	202	202	205	207	212	54.7
B 3-8	130	197	198	198	201	204	208	60.0
Kitresiz Numuneler								
C 0-2	301	332	339	343	360	371	372	23.6
C 0-4	264	281	288	293	309	319	327	23.9
C 0-6	243	260	265	268	286	297	302	24.3
C 0-8	158	185	189	193	205	210	215	36.1
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler								
C 1-2	231	274	284	289	301	302	305	32.0
C 1-4	229	274	280	285	294	295	303	32.3
C 1-6	219	251	261	268	284	288	295	34.7
C 1-8	158	225	227	227	229	230	236	49.4
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler								
C 2-2	235	296	308	309	310	310	312	32.8
C 2-4	211	253	262	269	279	280	283	34.1
C 2-6	176	242	243	244	245	246	251	42.6
C 2-8	146	210	213	213	213	214	219	50.0
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler								
C 3-2	207	268	272	273	273	274	276	33.3
C 3-4	167	225	233	234	234	234	238	42.5
C 3-6	132	190	197	198	198	198	201	52.3
C 3-8	125	185	192	193	193	193	196	56.8

Tablo 5.4. Her üç çaptaki bims agregaları ile üretilen numunelere ait kuruma hızı deneyi

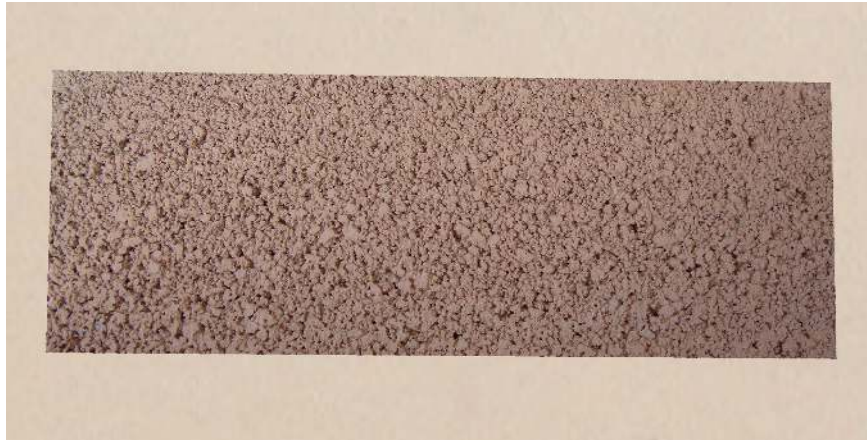
Numune Kodu	Su Kabından Çıkış Ağırlığı (gr)	Oda Sıcaklığında Numunelerin Ağırlık Ölçümleri					Kuruma Hızı (gr/24saat)
		30.dk	1.saat	3.saat	9.saat	24.saat	
Kitresiz Numuneler							
A 0-2	385	384	383	380	337	364	5.45
A 0-4	338	336	336	336	334	330	2.37
A 0-6	323	323	322	322	319	314	2.79
A 0-8	290	288	288	287	284	279	3.79
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler							
A 1-2	352	351	350	348	347	326	7.39
A 1-4	307	306	306	303	298	290	5.54
A 1-6	301	299	298	297	292	284	5.65
A 1-8	271	269	268	267	261	252	7.01
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler							
A 2-2	316	313	313	311	303	292	7.59
A 2-4	298	298	298	296	293	286	4.03
A 2-6	275	274	273	271	267	259	5.82
A 2-8	253	252	252	248	244	239	5.53
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler							
A 3-2	279	277	276	274	271	254	8.96
A 3-4	244	243	243	241	238	232	4.92
A 3-6	237	236	235	234	230	221	6.75
A 3-8	229	228	227	226	222	213	6.99
Kitresiz Numuneler							
B 0-2	377	376	375	373	360	352	6.63
B 0-4	338	336	336	335	333	328	2.96
B 0-6	294	293	292	291	288	283	3.74
B 0-8	253	252	251	249	246	240	5.14
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler							
B 1-2	337	334	333	330	332	305	9.50
B 1-4	284	280	279	277	273	268	5.63
B 1-6	267	266	265	263	259	252	5.62
B 1-8	241	239	238	236	232	226	6.22
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler							
B 2-2	307	306	305	303	300	285	7.17
B 2-4	277	276	276	274	271	263	5.05
B 2-6	250	248	248	246	241	231	7.60
B 2-8	222	220	219	217	211	201	9.46
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler							
B 3-2	279	278	278	275	269	262	6.09
B 3-4	243	242	240	238	234	223	8.23
B 3-6	212	211	209	207	202	191	9.91
B 3-8	208	207	205	203	199	189	9.13
Kitresiz Numuneler							
C 0-2	372	367	365	362	359	341	8.33
C 0-4	327	324	324	323	321	316	3.36
C 0-6	302	302	302	301	299	295	2.32
C 0-8	215	213	212	211	207	199	7.44
Ağırlıklı Kitre Oranı %0,5 Bağlayıcılı Numuneler							
C 1-2	305	303	303	301	298	276	9.51
C 1-4	303	296	295	293	290	283	6.60
C 1-6	295	289	289	286	281	274	7.12
C 1-8	236	233	232	229	225	216	8.47
Ağırlıklı Kitre Oranı %1 Bağlayıcılı Numuneler							
C 2-2	298	297	295	293	285	270	9.40
C 2-4	283	282	282	280	276	266	6.01
C 2-6	251	250	249	247	243	236	5.98
C 2-8	214	212	209	201	201	192	10.28
Ağırlıklı Kitre Oranı %1,5 Bağlayıcılı Numuneler							
C 3-2	276	275	274	271	262	245	11.23
C 3-4	238	238	237	234	231	221	7.14
C 3-6	201	200	198	196	191	180	10.45
C 3-8	196	195	192	190	185	175	10.71

5.8. İşlenebilir Özelliği

Deney numuneleri üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve neticede numunelerin testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına müsait olduğu ve Şekil 5.10’ da matkapla uygulama yapılmış numunelerin matkapla delinebildiği görülmüştür. Ayrıca üretilen numunelerin boya tutma özelliği ve dış cephe için dekoratif amaçlı kaplama yapılabilme özelliklerinin belirlenebilmesi için Şekil 5.11’ de numuneler boya ve kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, Şekil 5.11’ de de görüldüğü gibi boya tutma ve dekoratif amaçlı kaplama işlemleri için son derece iyi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Matkapla numunelerin delinebilirliği





Şekil 5.11. Boya işlemeine tabi tutulmuş ve dekoratif amaçlı kaplama yapılmış numuneler

5.9. Ölçülen Değerlerin Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalar, incelenen sistemler hakkında daha doğru ve kesin bilgileri vermeleri bakımından her zaman sayısal ve analitik çalışmaların önünde yer almıştır. Son yıllarda daha ucuz ve kolay olması nedeniyle sayısal çalışmalar ağırlık kazanmasına rağmen, bu çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel olarak desteklenmesi, deneysel çalışmaların önemini ayrıca artırmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli bir başka nokta; ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek

belirsizliklerdir. Literatürde belirtilen standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerde, belirsizlik iki farklı şekilde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, deney setinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan kaçınılmaz belirsizlikler, diğeri ise, deneyi yapan kişiden kaynaklanan belirsizliklerdir. Bahsedilen ikinci tür belirsizliklerin, yetenekli bir deneycinin deneyleri yapması ile giderilmesi mümkündür. Fakat birinci tür belirsizliklerin giderilmesi ve belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bunun nedeni, belirsizliklerin doğrudan deneyde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanmasıdır.

Bu belirsizliklerin genlikleri genellikle belli olmaması nedeniyle literatürde hata diye adlandırılmaktadır [64]. Yukarıda genel olarak birinci tür belirsizlikler diye ifade edilen, deneysel çalışma sonuçlarının belirsizliğini etkileyen belirsizlik tiplerini üç ana grupta toplamak mümkündür [65].

Birinci olarak; deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatından kaynaklanan belirsizlikler, ikinci olarak; sebebi genellikle kesin olarak bilinmeyen, aynı büyüklüğün tekrar okunması sırasında ortaya çıkan sabit belirsizlikler, üçüncü olarak; deney ve gereçlerinde rastgele elektronik salınımlardan, sürtünme etkilerinden vs. kaynaklanan rastgele belirsizliklerdir. Çoğu zaman sabit belirsizlikler ile rastgele belirsizlikleri birbirinden ayırt etmek zordur [64]. Sabit belirsizlikler, deney sırasında okunan her değer için aynıdır ve uygun bir kalibrasyon ve düzeltme ile ortadan kaldırılabilir. Ölçü aletinin imalatının da doğru yapıldığı kabul edilirse, belirsizlik analizi; sabit ve rastgele belirsizlikleri belirleyerek bunların deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasıdır [64].

Belirsizlik analizi sadece deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm yönteminin ve ölçü aracının seçiminde önemli rol oynamaktadır. Ölçülecek büyüklük ve ölçü araçlarının seçiminden önce belirsizlik analizinin yapılması ve buna uygun büyüklük ve ölçüm aracının seçilmesi, sonuçların içinde yer alabilecek belirsizliğin minimuma indirilmesine yardımcı olacaktır [64]. Diğer taraftan, ölçülen büyüklüklerden hangisinin toplam belirsizlik üzerinde en etkin rol oynadığının tespit edilmesi, bu ölçümlerin daha hassas yapılması için önlem almayı gerektireceğinden sonuçların belirsizliğinin azaltılmasına ayrıca katkıda bulunacaktır.

Deneysel çalışmalarda, planlama aşamasından itibaren önemli bir yere sahip olan belirsizlik analizine, deneysel çalışmaların literatürde bir hayli fazla olmasına karşın çok

fazla rastlanamamıştır. Ancak son yıllarda önemi artan belirsizlik analizi, deneysel çalışmaların önemli ve vazgeçilmez bir bölümünü teşkil etmektedir [64].

Tez çalışmasının bu kısmında ele alınan kriterler belirtilerek belirsizliklerin dereceleri ve miktarları konusunda sistematik olarak bilgiler verilmiştir. Bu amaçla, numunelerin ısı iletim katsayısının, su emme ve kuruma miktarları, aşınma kaybı, basma ve çekme mukavemeti deneyleri için belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçülen büyüklüklerin belirsizlik değerleri ise, ölçü araçlarının üretici firmaları tarafından önerilen belirsizlik değerleri yanında yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve deneysel tecrübelerden teorik olarak belirlenmiştir. Her ne kadar belirsizlik analizi, rastgele belirsizliklerin belirlenmesi de olsa yukarıda belirtildiği gibi sabit belirsizliklerle rastgele belirsizliklerin birbirinden ayırt edilmesinin zor olmasından dolayı her bir büyüklük için elde edilen belirsizlik değerleri, yukarıda belirtilen iki tip belirsizliği de kapsamaktadır. Bunun yanında diğer bir belirsizlik tipi olarak bahsedilen deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılmış herhangi bir belirsizliğin olmadığı kabul edilmiştir. Bütün bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek belirsizlik değerleri şu şekilde belirlenebilir.

5.9.1. Isı İletim Katsayısının Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler

Isı iletim katsayısı ölçümünde ortaya çıkabilecek belirsizlikler deneylerde kullanılan ölçüm aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında sistemde üç noktada yapılan ısı iletim katsayısı ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlikler;

- Ölçme probundan kaynaklanan belirsizlik,
- Ayarlı dirençten(potansiyometre) kaynaklanan belirsizlik,
- Mikro bilgisayardan kaynaklanan belirsizlik,
- Sıcak telin yapısından ve iletim kabiliyetinden kaynaklanan belirsizlik ve
- Numunelerin ısı iletim katsayısının ölçülmesindeki ortalama belirsizlik şeklinde sıralanabilir.

(a1) Bu belirsizlikler cihazdan kaynaklanan belirsizlikler olduğundan

$$\text{değeri} = \frac{0.05 \text{ W / mK}}{0.282 \text{ W / mK}} = 0.177$$

5.9.2. Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler

Su emme, kuruma, aşınma sırasında zaman değerleri dijital bir saat yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen zaman değerleri su emme, kuruma ve aşınma süresinin belirlenmesinde önemli bir faktör olduğundan ortaya çıkabilecek belirsizlikler;

$$(a2) \text{ Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan belirsizlik} = \frac{0.1 \text{ dakika}}{1440 \text{ dakika}} \cong 0$$

$$(b2) \text{ Numunelerin su içerisinde beklemesinden dolayı yapılabilecek ortalama belirsizlik} = \frac{0.1 \text{ dakika}}{20 \text{ dakika}} = 0.005$$

$$(c2) \text{ Numunelerin su içerisinde çıkarılıp kurutulmasından dolayı yapılabilecek ortalama belirsizlik} = \frac{0.1 \text{ dakika}}{30 \text{ dakika}} = 0.003$$

$$(d2) \text{ Numunelerin aşınma miktarlarının dönme süresinden dolayı yapılabilecek ortalama belirsizlik} = \frac{1 \text{ dakika}}{51 \text{ dakika}} = 0.019 \text{ şeklinde sıralanabilir.}$$

5.9.3. Ağırlık Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlik

Ağırlık kayıplarının ölçümünde ortaya çıkabilecek belirsizlikler, deneyler sırasında kullanılan hassas terazi ve okuyucuya bağlı değişmektedir. Deneyler sırasında ağırlık ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlikler,

$$(a3) \text{ Hassas teraziden kaynaklanan belirsizlik} = 1$$

$$(b3) \text{ Okumaktan kaynaklanan belirsizlik} = 1$$

$$(c3) \text{ Numunelerin aşındırıcı diske sürtünmesinden kaynaklanan belirsizlik} = 1$$

$$(d3) \text{ Numunelerin su emme deneylerindeki ağırlıklarının tartımının alınmasında yapılabilecek ortalama belirsizlik} = \frac{71 \text{ g}}{208.58 \text{ g}} = 0.340$$

$$(e3) \text{ Numunelerin kuruma deneylerindeki ağırlıklarının tartımının alınmasında yapılabilecek ortalama belirsizlik} = \frac{18 \text{ g}}{280 \text{ g}} = 0.064$$

(f3) Numunelerin aşınma miktarlarının tartımının alınmasında yapılabilecek ortalama belirsizlik $= \frac{912.74 \text{ g}}{943.38 \text{ g}} = 0.967$ şeklinde sıralanabilir.

5.9.4. Basma ve Çekme Mukavemeti Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler

Deneyler sırasında numunelerin basma ve çekme mukavemetleri deney cihazı ile tespit edilmiştir. Ölçülen basma ve çekme mukavemetleri belirlenmesinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler;

(a4) Basma deneyi cihazının hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik

$$= \frac{0.1 \text{ kg}_f / \text{cm}^2}{57 \text{ kg}_f / \text{cm}^2} = 0.001$$

(b4) Numunelere uygulanan yükten kaynaklanan belirsizlik $= \frac{0.1 \text{ kg}_f / \text{cm}^2}{50 \text{ kg}_f / \text{cm}^2} = 0.002$

(c4) Basma çekme ölçümleri sırasındaki belirsizlik $= \frac{0.1 \text{ kg}_f / \text{cm}^2}{50 \text{ kg}_f / \text{cm}^2} = 0.002$

(d4) Basma ve çekme mukavemeti ölçümleri sırasında numunelerin kesit alanındaki belirsizlik $= \frac{50 \text{ kg}_f / \text{cm}^2}{100 \text{ kg}_f / \text{cm}^2} = 0.5$ şeklinde sıralanabilir.

5.9.5. Aşınma Kaybı Ölçümünden Kaynaklanan Belirsizlikler

Deneyler sırasında numunelerin aşınma miktarı Böhme cihazı ile tespit edilmiştir. Ölçülen aşınma miktarının belirlenmesinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler;

(a5) Böhme cihazının hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik $= \frac{0.1 \text{ g}}{30.64 \text{ g}} = 0.003$

(b5) Numunelere uygulanan devir sayısından kaynaklanan belirsizlik $= \frac{0.1 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0.001$

(c5) Aşınma ölçümleri sırasındaki belirsizlik $= \frac{0.1 \text{ g}}{30.64 \text{ g}} = 0.003$ şeklinde sıralanabilir.

5.9.6. Diğer Belirsizlikler

Deneysel verileri kullanarak yapılan hesaplamalarda ihtiyaç duyulan tablo değerlerinin ya da fiziksel değerlerin okunması sırasında yapılabilecek belirsizliklerde hesap sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu kapsamda, fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik;

$$W_p = W_{cp} = \dots W_{hsb} = \pm 0.1-0.2 \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

5.10. Ölçülen Değerlerden Kaynaklanan Toplam Belirsizlikler

Numunelerin deneylerinde ısı iletim katsayısının, zamanın, su emme, kuruma ve aşınma ağırlık kayıplarının, basma ve çekme mukavemetinin, aşınma miktarının, ölçülmesi sırasında hem sabit belirsizliklerden hem imalat belirsizliklerinden hem de rastgele belirsizliklerden kaynaklanan hataların etkili olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen değerler dikkate alarak numunelerin bu değerlerden kaynaklanan toplam belirsizliklerin hesaplanması gerekir.

Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit belirsizlikler, rastgele belirsizlikler ve imalat belirsizlikleri nedeniyle ortaya çıkan belirsizlikler dikkate alınarak toplam belirsizlik hesabı (5.8) denklemindeki gibi yapılabilir.

$$W_x = \left[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots (x_n)^2 \right]^{1/2} \quad (5.8)$$

Numunelerin deneylerdeki ölçümlerden kaynaklanan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

a. *Isı iletim katsayısının ölçümünde ortaya çıkan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri*

Ortalama ısı iletim katsayısının (k) ölçülmesinde yapılabilecek toplam belirsizlik (W_k), (5.9) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_k = \left[(a_1)^2 \right]^{1/2} \quad (5.9)$$

b. Zaman ölçümünde ortaya çıkan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri

Su emme deneylerinde periyodik olarak okunan ağırlık kayıplarının tespitinde her bir tartım periyodunda (t_s) meydana gelebilecek toplam zaman belirsizliği (W_{ts}), (5.10) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ts} = \left[(a_2)^2 + (b_2)^2 \right]^{1/2} \quad (5.10)$$

Kuruma deneylerinde periyodik olarak okunan ağırlık kayıplarının değerlerinin tespit periyodunda (t_k) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam zaman belirsizliği (W_{tk}), (5.11) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{tk} = \left[(a_2)^2 + (c_2)^2 \right]^{1/2} \quad (5.11)$$

Aşınma deneylerinde periyodik olarak okunan ağırlık kayıplarının değerlerinin tespit periyodunda (t_a) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam zaman belirsizliği (W_{ta}), (5.12) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ta} = \left[(a_2)^2 + (d_2)^2 \right]^{1/2} \quad (5.12)$$

c. Ağırlık kayıplarının ölçümünde ortaya çıkan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri

Numunelerin su emme, kuruma, aşınma sırasında ağırlık kayıplarının (W) ölçülmesinde yapılabilecek toplam belirsizlik (W_w), (5.13) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_w = \left[(a_3)^2 + (b_3)^2 + (c_3)^2 + (d_3)^2 + (e_3)^2 + (f_3)^2 \right]^{1/2} \quad (5.13)$$

d. Basma ve çekme mukavemetinden ortaya çıkan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri

Basma ve çekme mukavemetinin ($b\epsilon$) ölçülmesinde yapılabilecek toplam belirsizlik ($W_{b\epsilon}$), (5.14) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{b\epsilon} = \left[(a4)^2 + (b4)^2 + (c4)^2 + (d4)^2 \right]^{1/2} \quad (5.14)$$

e. Aşınma kaybı ölçümünden ortaya çıkan toplam belirsizliklerin analitik ifadeleri

Aşınma kaybı (ϕ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam belirsizlik (W_{ϕ}), (5.15) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{\phi} = \left[(a5)^2 + (b5)^2 + (c5)^2 \right]^{1/2} \quad (5.15)$$

Tablo 5.5. Numunelerin Deneylerinde Yapılan Belirsizliklerin Toplam Değerleri

Belirsizlik oluşturan parametreler	Toplam belirsizlik
Isı iletim katsayısı ölçümündeki toplam belirsizlik	
W_k	± 0.177
Zaman ölçümündeki toplam belirsizlik	
W_{ts}	± 0.005
W_{tk}	± 0.003
W_a	± 0.019
Ağırlık kaybının ölçümündeki toplam belirsizlik	
W_w	± 2.01
Basma ve çekme mukavemeti ölçümünden kaynaklanan belirsizlikler	
$W_{b\check{c}}$	± 0.5
Aşınma kaybı ölçümünden kaynaklanan belirsizlikler	
W_{φ}	± 0.004
Diğer belirsizlikler	
$W_{\rho} = W_{cp} = \dots\dots\dots W_{hsb}$	$\pm 0.1-0.2$

6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

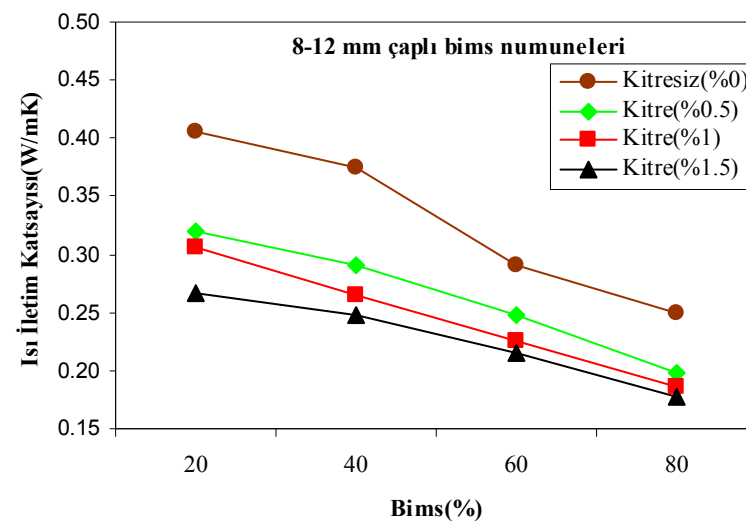
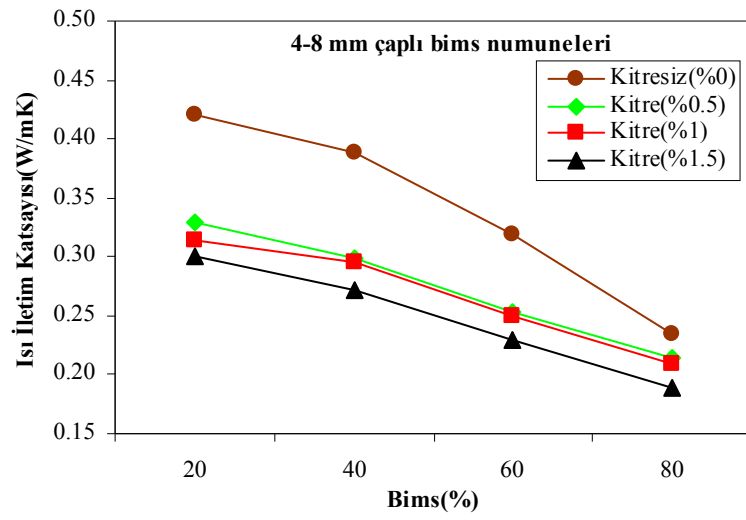
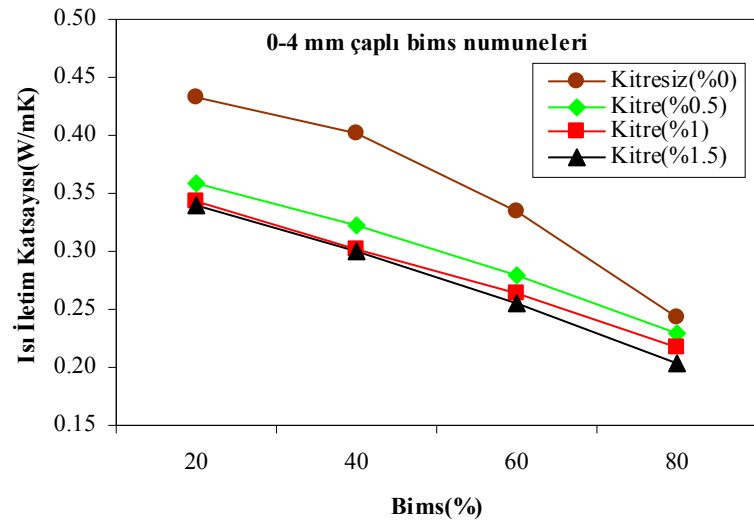
Van-Ahlât bölgesinden temin edilen ve değişik çaplara ayrılmış bims agregalarına bağlayıcı olarak belirli oranlarda kitle ve çimento katılarak oluşturulan beton numunelerin ısı ve mekanik özellikleri üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki bulgular özetlenerek tartışılmıştır.

6.1 Isı iletkenlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

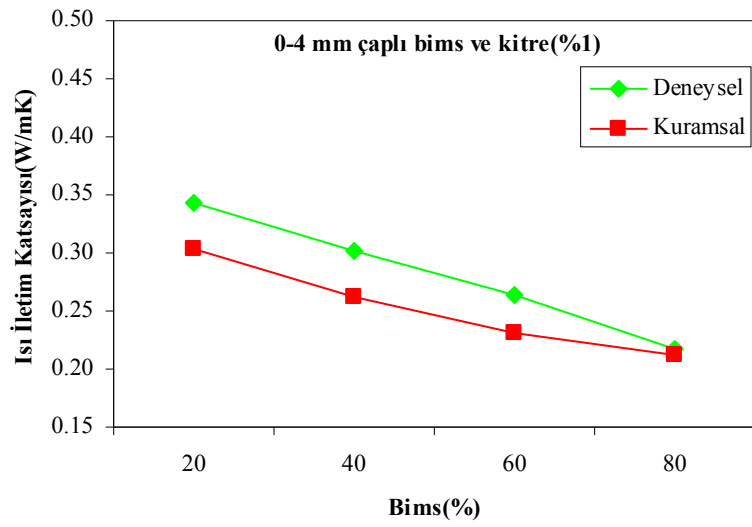
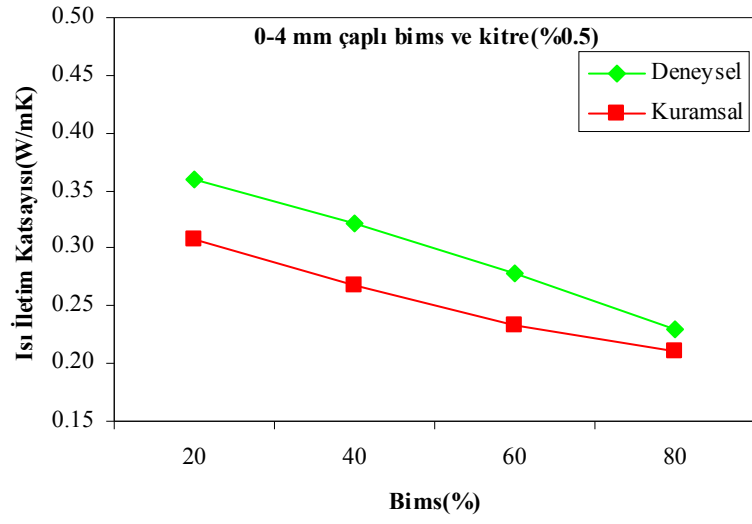
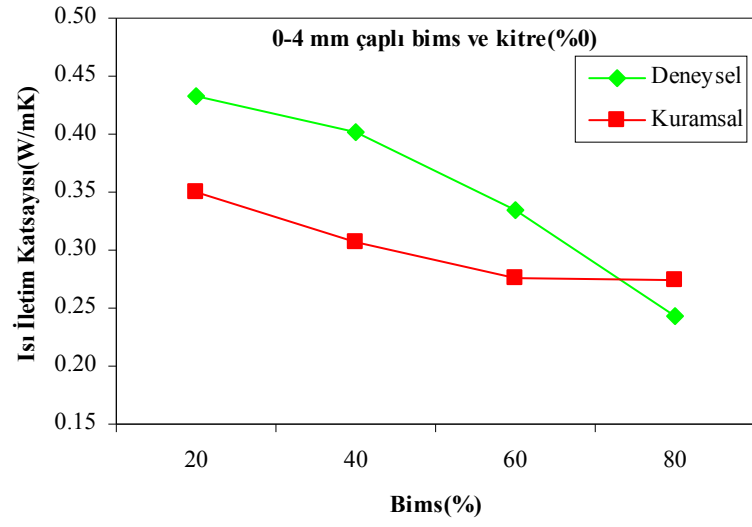
Tablo 6.1’ de Shoterm QTM cihazı ile ölçülmüş ısı iletim katsayıları küçük olan değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu tablodan anlaşılabacağı gibi üretilen numunelerin ısı iletkenlikleri birçok yapı malzemesine göre küçük çıkmıştır. Bunun en önemli sebebi bimslerin gözenekli yapısı ve bağlayıcı olarak kitle kullanılmasıdır. Kitrenin gerek gözeneksiz blok halde ısı iletkenlik katsayısının 0.150 W/mK düzeyinde olması ve gerekse sıvı haldeki kitrenin kuruma sonunda yapay gözenekler oluşturması sebebiyle miktarının arttırılmasına bağlı olarak ısı iletkenlik değerini düşürmektedir. Bu çalışmada en küçük ısı iletkenlik katsayısı 8-12 mm çaplı bims-çimento ve ağırlıkça %1.5 kitle kullanılarak üretilen C 3-8 numunesine ait olup 0.177 W/mK değerinde ve en büyük ısı iletkenlik katsayısı ise 0-4 mm çaplı bims ile kitresiz ağırlıkça bimsin %80’ i kadar çimento kullanılarak üretilen A 0-2 numunesine ait olup 0.433 W/mK değerindedir. Numune bünyesinde kullanılan çimento miktarı arttıkça bims çapı ve miktarındaki azalmaya bağlı olarak daha küçük gözenekli numuneler üretilecektir. Çimento betonunun ısı iletim katsayısı 0.498 W/mK düzeyindedir [10]. Çimento betonunun ısı iletim katsayısının büyük ve dayanım değerleri yüksektir. Bundan dolayı üretilen numunelerin nerede kullanılmak istendiği ve kullanım yerine uygun istenen mekanik ve işleme özellikleri çok iyi belirlenmelidir. Şekil 6.1’ de 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims numunelerinde, numune bünyesindeki kitle ve bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayısındaki değişim gösterilmiştir [36,66]. Tane çapının büyümesi ve kitle oranı ile bims miktarındaki artış gözenek miktarını artırırken ısı iletim katsayısının küçülmesini sağlamıştır. Ayrıca yine bu grafiklerde, kitrenin betonun ısı iletim katsayısını küçültmesine olan etkisi de görülmektedir.

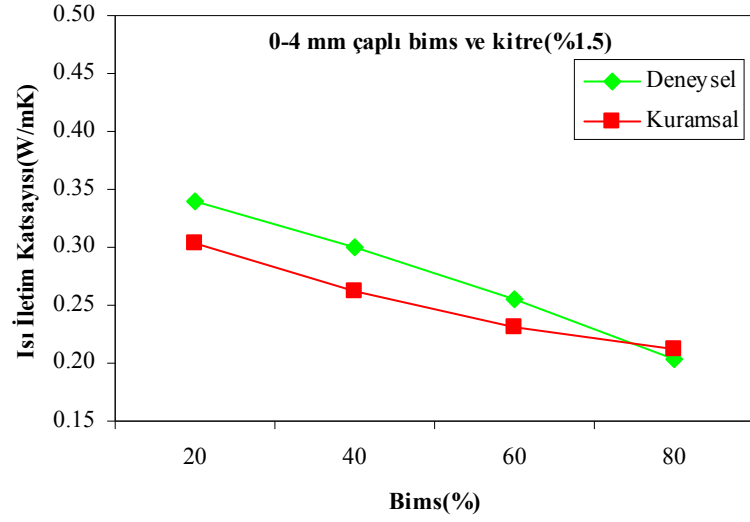
Tablo 6.1. Shoterm QTM cihazı ile ölçülen değişik malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin tesbiti

Malzeme	Ölçülen Değerler			Literatürdeki Değerler		
	Yoğunluk(g/cm ³)	T _{ort} (°C)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Yoğunluk(g/cm ³)	T _{ort} (°C)	Isıl İletkenlik (W/mK)
Dış Sıva Harcı (Kaba)	1.856	31	1.173	1.6 1.8	20 20	0.93 1.163
İç Sıva Harcı (İnce)	1.763	33	1.163	1.68 1.68	20 20	0.779 0.93
Alçılı İnce Sıva (Perlitli)	0.465	34	0.244	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Alçılı Kaba Sıva (Perlitli)	0.465	50.7	0.168	0.4-0.5	20	0.139-0.162
Çimentolu Sıva (Perlitli)	0.672	51.3	0.173	0.7	20	0.244
Alçılı Blok (Perlitli)	1.047	40	0.372	0.9	20	0.221
Çimentolu Blok (Perlitli)	0.427	37.7	0.292	0.1046	20	0.3
Beton	2.5	27	1.42	2.272	24	1.512
Seramik Toprak	1.077	27.7	0.214	2	20	0.988
Stropor	0.016	26.3	0.0308	0.2	20	0.0395
Ytong	0.0617	38.7	0.18	0.8	20	0.383
Cam Yünü	0.15	33.7	0.034	0.2	20	0.0372
Tuğla Duvar	2.093	45.7	1.148	1.8-2.0	20	0.972
A 0-8	1.211	30	0.243	-	-	-
A 1-8	1.111	31	0.230	-	-	-
A 2-8	0.950	31	0.217	-	-	-
A 3-8	0.783	30	0.203	-	-	-
B 0-8	1.022	30	0.276	-	-	-
B 1-8	0.911	31	0.215	-	-	-
B 2-8	0.800	30	0.209	-	-	-
B 3-8	0.694	31	0.189	-	-	-
C 0-8	0.878	30	0.250	-	-	-
C 1-8	0.878	31	0.198	-	-	-
C 2-8	0.811	31	0.186	-	-	-
C 3-8	0.728	30	0.177	-	-	-
Blok Toz Kitre		30	0.150	-	-	-



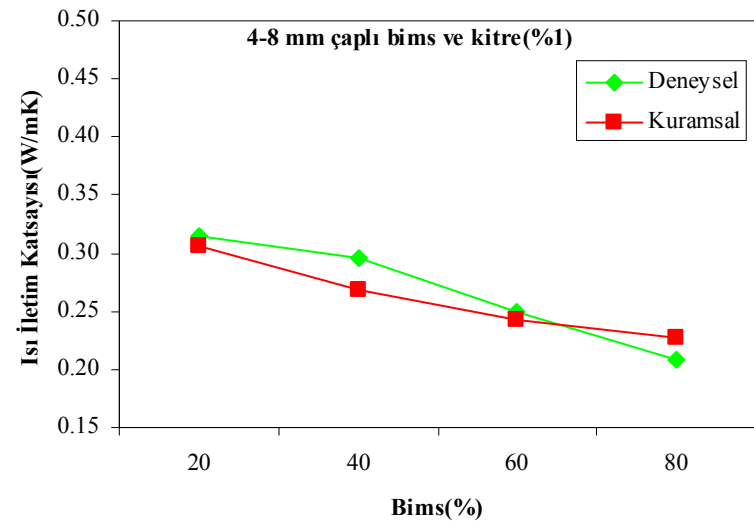
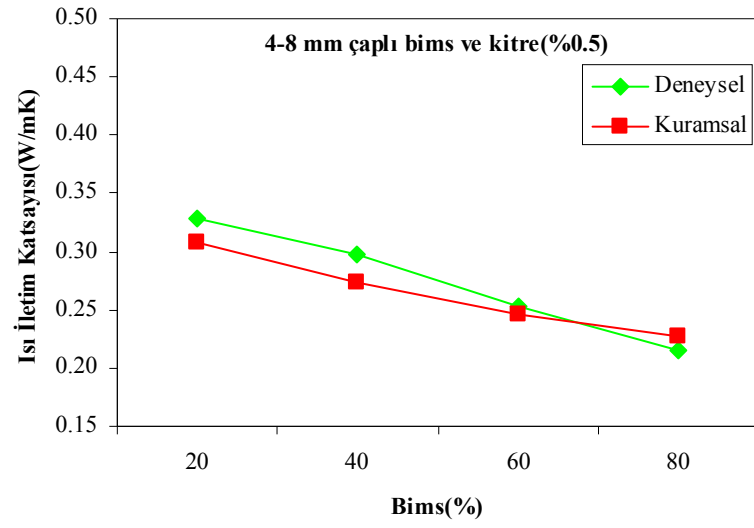
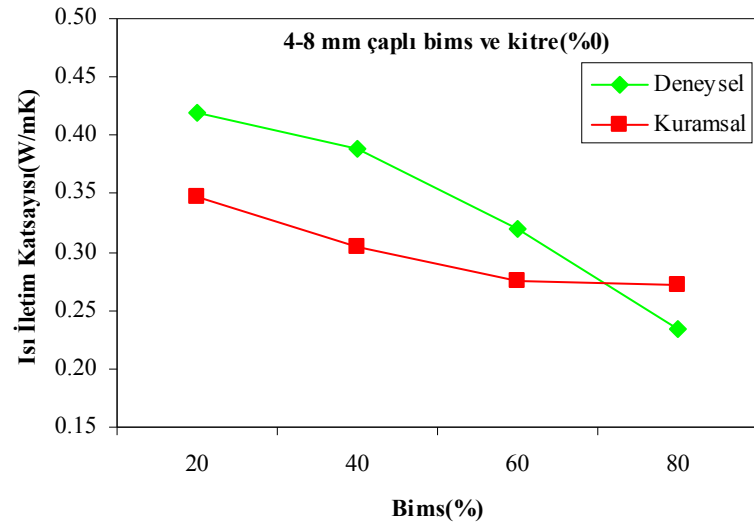
Şekil 6.1. Numunelerin bünyesindeki kitre ve bims miktarına bağı olarak ısı iletim katsayısındaki değışim

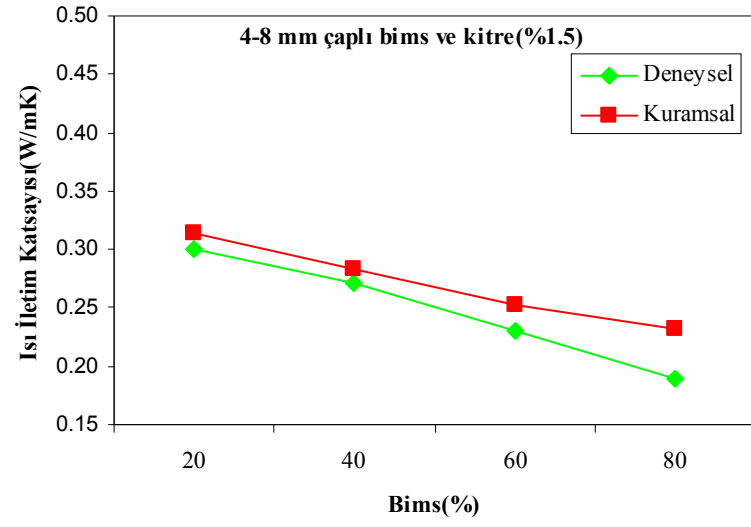




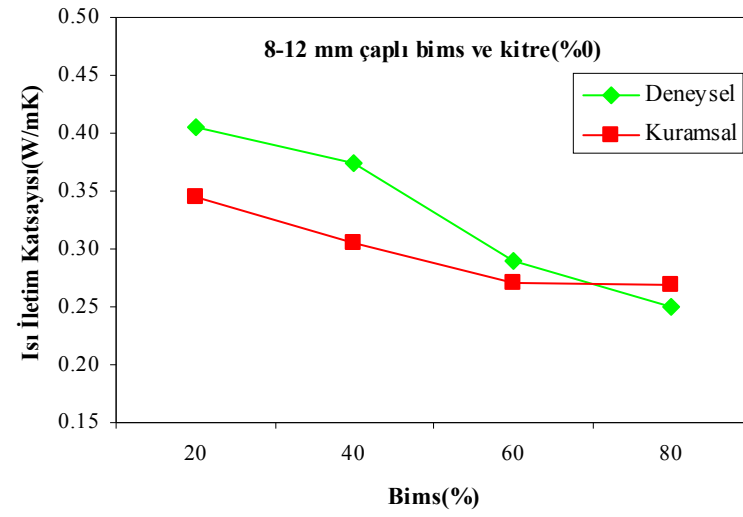
Şekil 6.2. 0-4 mm çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deney sel ve kuramsal karşılaştırılması

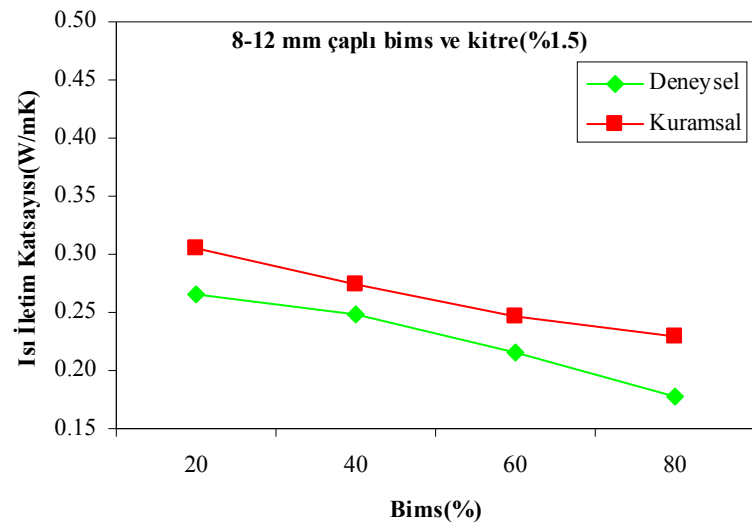
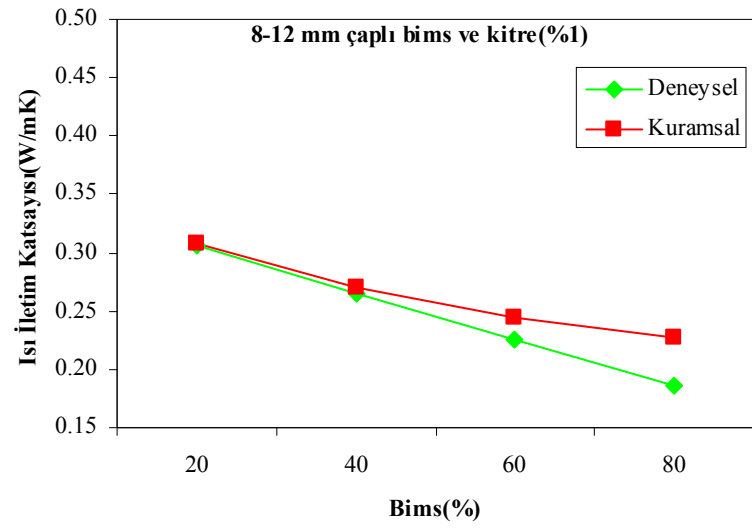
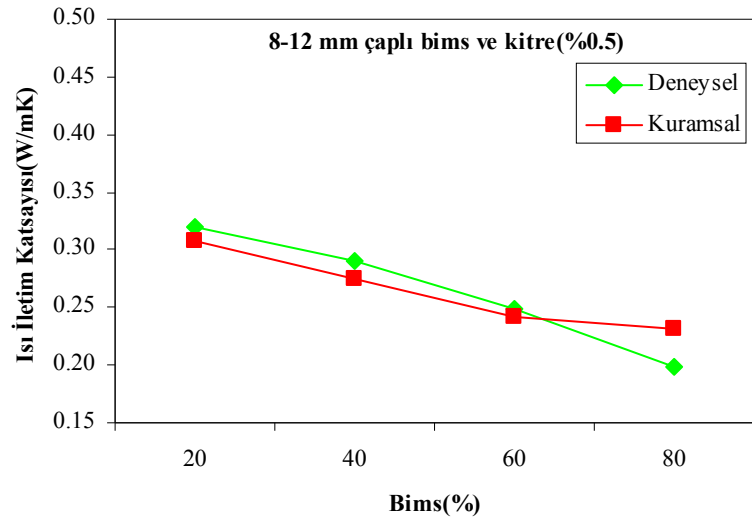
Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de ise ısı iletim katsayılarının kuramsal ve deney sel sonuçları kıyaslanarak gösterilmiştir. Bazı numunelerde deney sel sonuçların cebir sel denklem sonuçlarından büyük çıkmasının nedenleri; yapılan kabullerde malzeme bünyesinde nem olmadığı fakat gerçekte numunelerin kuruma sırasında bünyelerinde nem kalabileceği, kuruma sonrası yapay gözeneklilik oranındaki artış, ölçüm hataları ve küçük gözeneklerin bir kısmının dolu olmasından kaynaklandığı söylenebilir.





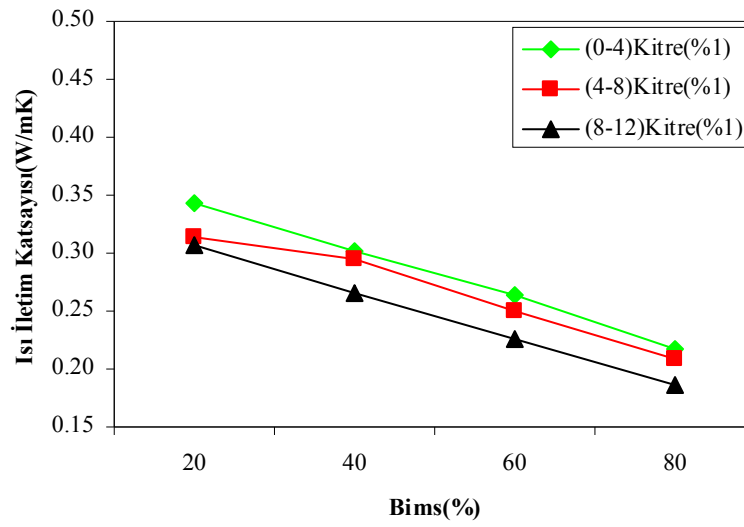
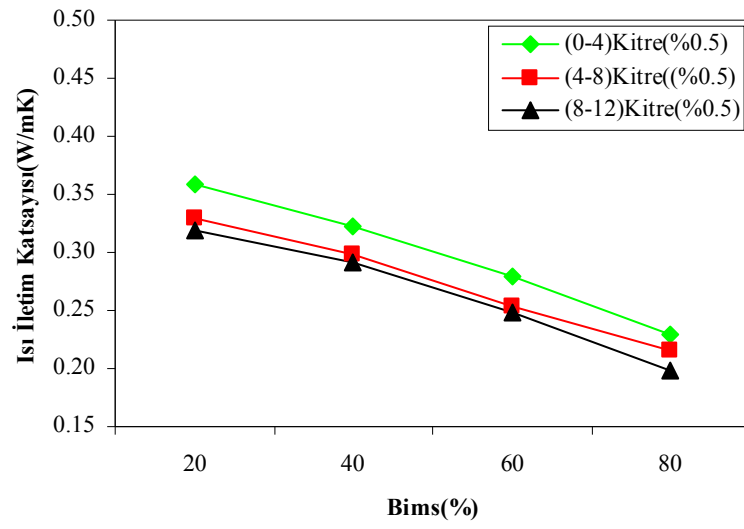
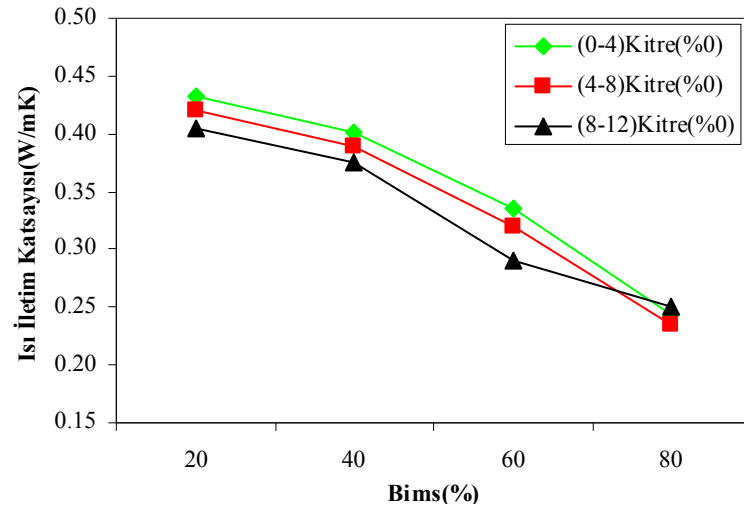
Şekil 6.3. 4-8 mm çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deneysel ve kuramsal karşılaştırılması

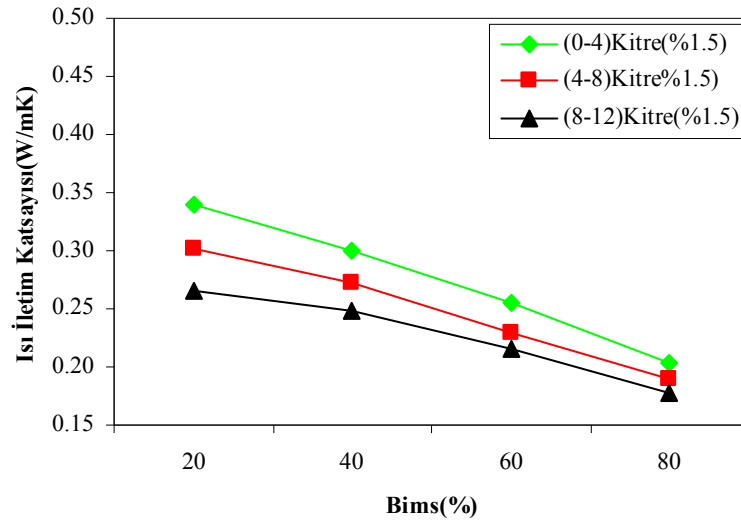




Şekil 6.4. 8-12 mm çaplı numunelerin bünyesindeki kitre-bims miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının deneysel ve kuramsal karşılaştırılması

Şekil 6.1’ de görüldüğü gibi karışımda kullanılan çimento miktarı değiştirilmeksizin kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri küçülmektedir. Aynı şekilde kitre miktarı sabit tutularak karışımda kullanılan çimento oranı arttığında ısı iletkenlik değeri büyümektedir. Burada kitreli numuneler içerisinde en düşük ısı iletkenlik katsayısı 8-12 mm çaplı bims ağırlıkça %20 çimento ve ağırlıkça %1.5 kitre kullanılarak üretilen numuneye ait olup 0.177 W/mK değerinde ve en büyük ısı iletkenlik katsayısı 0-4mm çaplı bims ile bağlayıcı olarak ağırlıkça %80 kadar çimento ve karışım ağırlığının %0.5’i kadar kitre kullanılarak üretilen numuneye ait olup 0.359 W/mK değerindedir. Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ de üretilen numunelerin ısı iletim katsayıları kuramsal ve deneysel açıdan incelendiğinde deneysel bulgular kuramsal bulgulara göre kitre miktarındaki artışa bağlı olarak yaklaşık %1 ile %23 aralığı oranında değişim göstermiştir. Ancak kitre kullanılmaksızın üretilen numunelerde ısı iletim katsayısı deneysel bulguları, kuramsal bulgulardan %7 ile %31 aralığına kadar büyümektedir. Bu durumlar kuruma sonrası bünyede kalan nemden kaynaklanmaktadır. Yukarıdan da anlaşılabileceği üzere kullanılan kitre miktarı arttıkça 0-4, 4-8 ve 8-12 mm çaplı bimsli numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark büyümekte bunun aksine 0-4, 4-8 ve 8-12 mm çapında numunelerin bünyesindeki çimento miktarı arttıkça ısı iletim katsayıları arasındaki fark küçülmektedir. 0-4 mm çaplı bims ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark % olarak hesaplandığında %9 ile %20, %1 kitreli numunelerin %3 ile %15 ve %1.5 kitreli numunelerin %7 ile %13, 4-8 mm çaplı bims ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark % olarak hesaplandığında %3 ile % 9, %1 kitreli numunelerin %3 ile %10 ve %1.5 kitreli numunelerin %4 ile %19, 8-12 mm çaplı bims ve %0.5 kitreli numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki fark yüzde olarak hesaplandığında %2 ile %15, % 1 kitreli numunelerin %1 ile %18 ve %1.5 kitreli numunelerin %10 ile %23 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

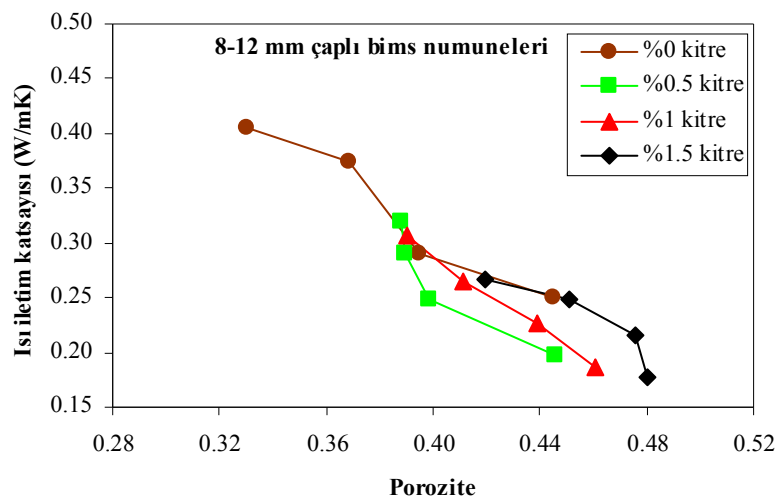
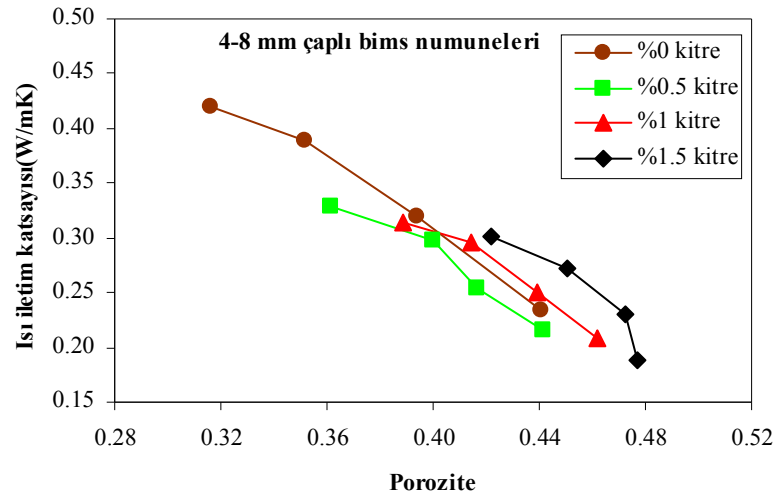
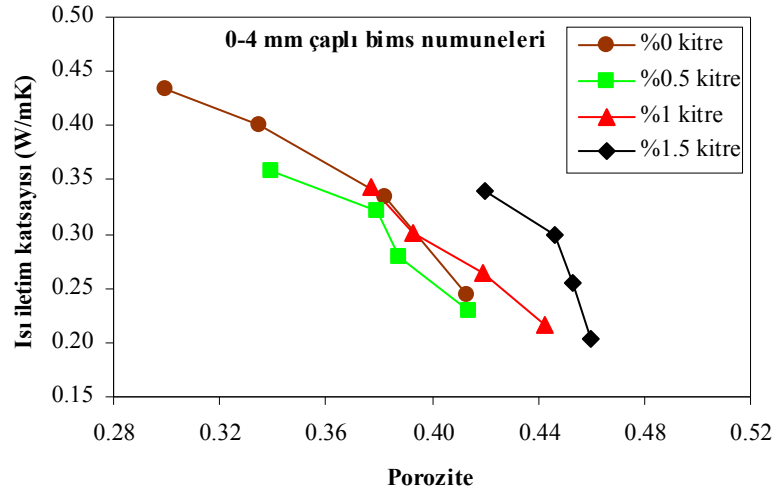




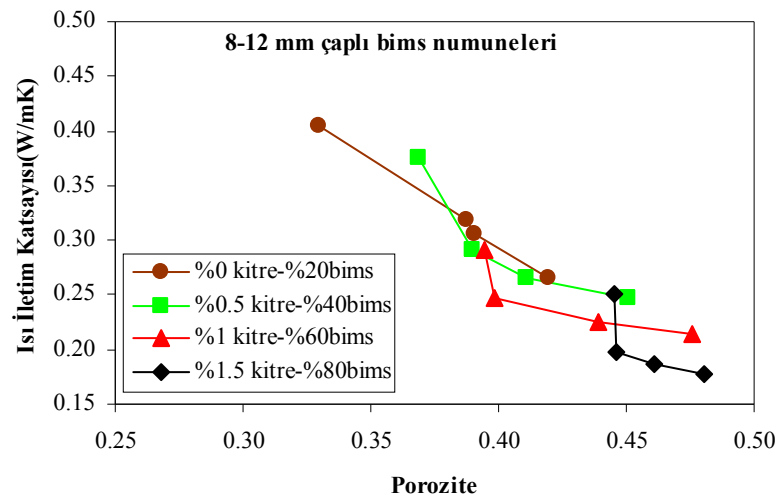
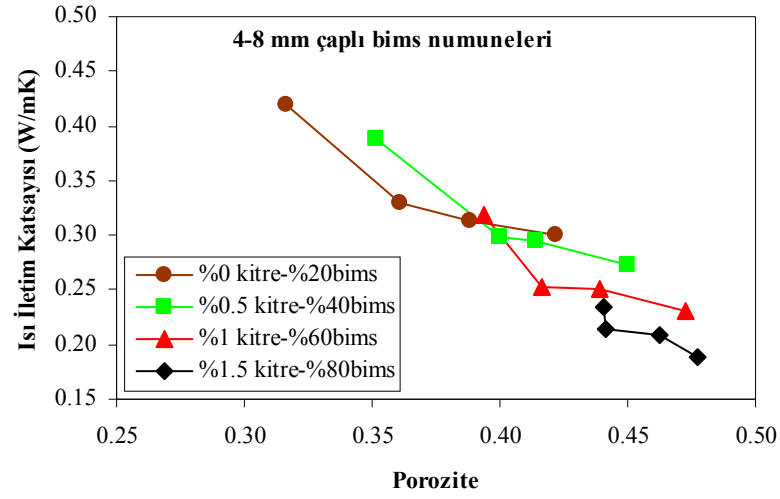
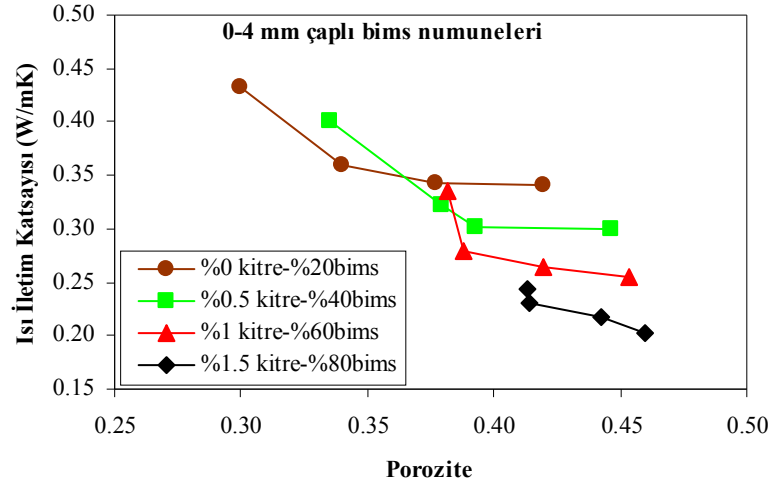
Şekil 6.5. Farklı çaplı ve aynı kitre oranlı numunelere ait ısı iletim katsayısı ve kitre miktarındaki değişim

Şekil 6.5’ de değişik çaplı ve aynı kitre oranlı numunelere ait ısı iletim katsayıları incelendiğinde kitre miktarı arttıkça ısı iletim katsayısının düştüğü görülmektedir.

Şekil 6.5’ de de görüldüğü üzere 8-12 mm çaplı bimsler ile üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısının daha düşük çapla üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısından düşük olmasının sebebi 8-12 mm çaplı numunelerin daha düşük çaplı bimslerle üretilen numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe ve daha küçük yoğunluğa sahip olmasıdır. Üretilen numunelerde kullanılan bims miktarına bağlı olarak gözeneklilik tüm yapı içerisinde %30 ile %48 aralığında değişim göstermektedir. Malzeme bünyesinde bulunan azot (N_2), ve karbondioksit (CO_2), gözenek içi gazlar olarak kabul edilmiştir. Bu gazların ortalama ısı iletkenliği 0.0214 W/mK düzeyindedir. Numune bünyesinde yüksek orandaki gözenek miktarı ve gözenek içerisindeki gazların ısı iletkenlik katsayısının küçük olması üretilen numunelerin ısı iletkenliğinin düşük olmasını sağlamaktadır. Bu gözeneklerin fazlalığı daha düşük yoğunlukta numune üretilmesini sağlamaktadır. Ancak bu durum nemli ortamlarda gözeneklerdeki gazların su ya da su buharı ile yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu da gözenek içerisinde bulunan gazlara göre ısı iletkenliği yaklaşık 20 kat büyük olan su miktarına bağlı olarak malzemenin ısı iletkenliğini artırır. Bu değişimler direkt numunenin yoğunluk değişimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aşağıda Şekil 6.6’ da bims oranı farklı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin proziteye bağlı değişimi, Şekil 6.7’ de bims oranı aynı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğinin proziteye bağlı değişimi gösterilmiştir.



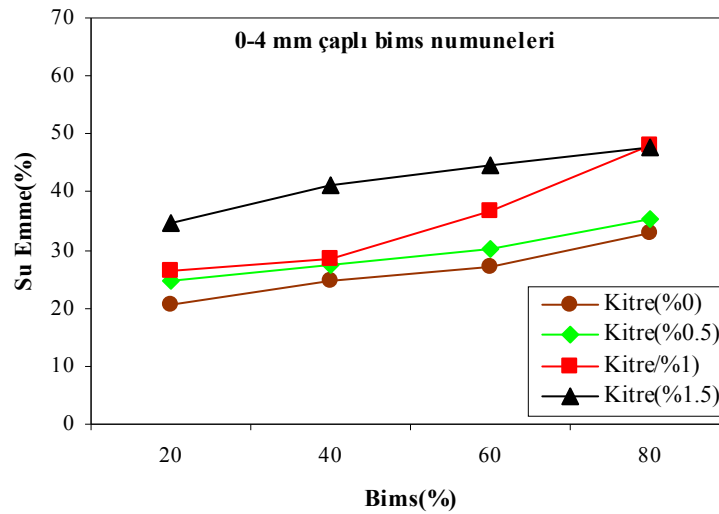
Şekil 6.6. Bims oranı farklı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğin proziteye bağlı değişimi

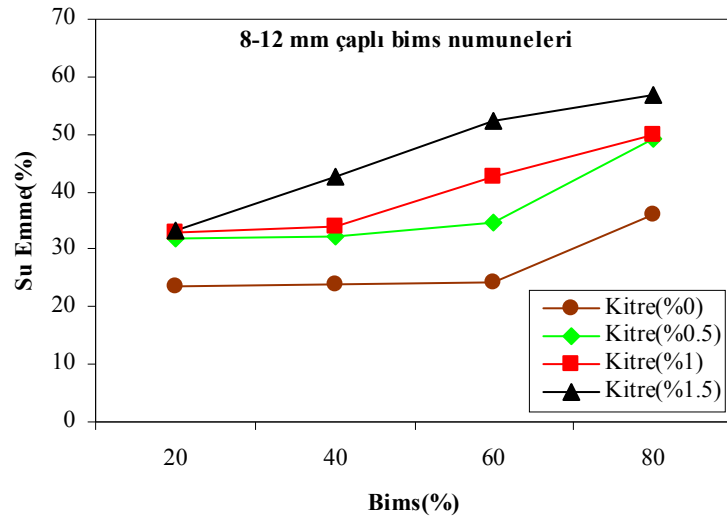
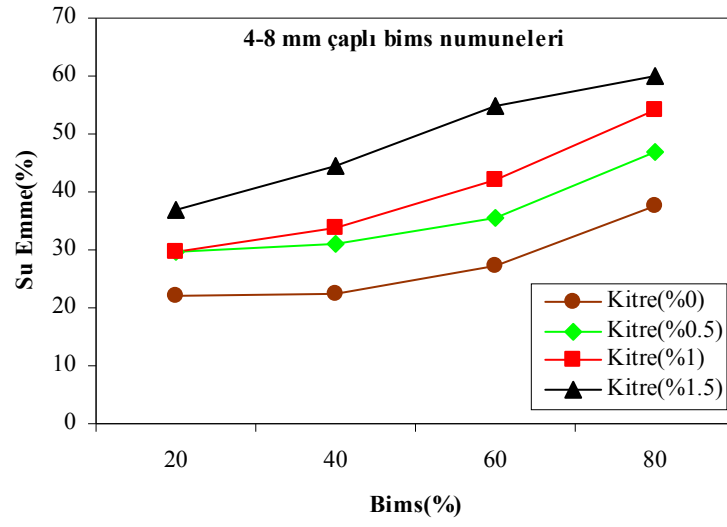


Şekil 6.7. Bims oranı aynı olarak üretilen numunelerde ısı iletkenliğin proziteye bağlı değişimi

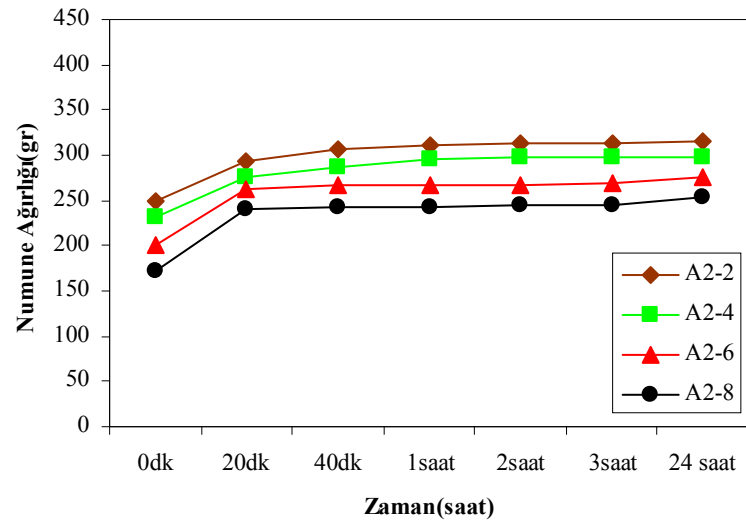
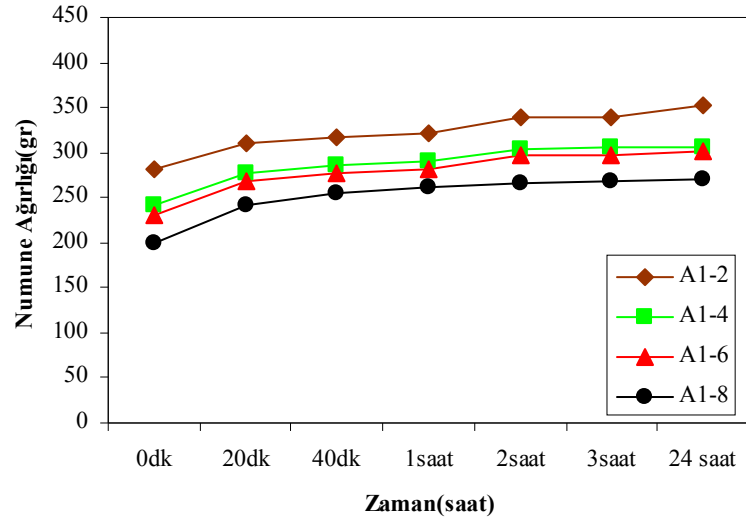
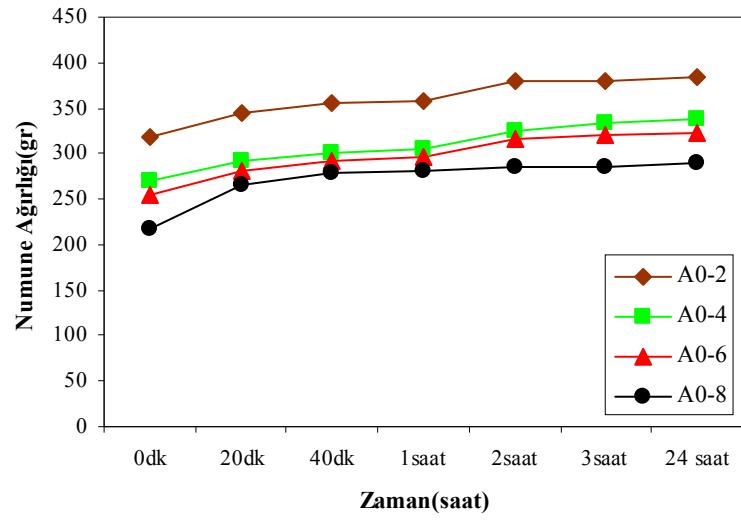
6.2. Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

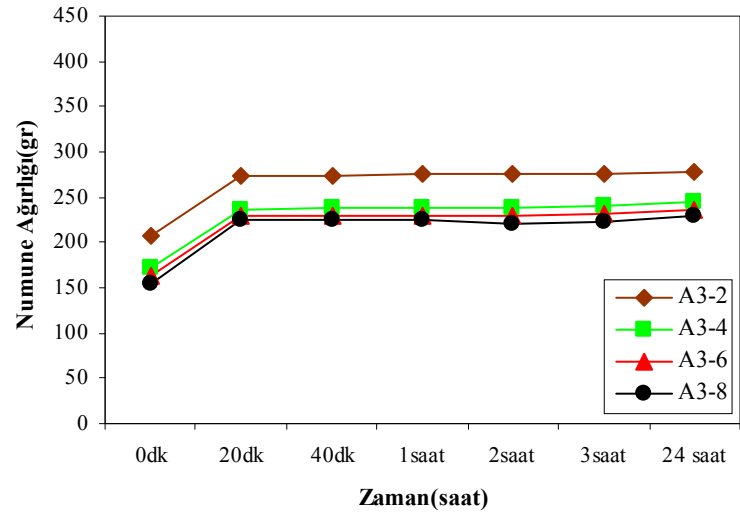
Üretilen numunelerin su emme oranları kritik değer %30'un üzerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle numunelerin bünyesinde bulundurduğu su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donma meydana getirecektir. Su donduğunda hacimde %9 oranında bir artış meydana gelir. Buradan da anlaşılabacağı üzere donma olayı malzemelerde, bünyesinde tuttuğu su miktarına bağlı olarak belirgin bir ölçüde genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşmenin sonunda ise malzemelerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar, biraz daha genişlemekte ve bu durum, malzemenin su absorbe etme kapasitesinde artışa sebep olmaktadır. Donma-çözülme olayının tekrarı neticesinde malzeme yüzeyinde önemli derecede çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Ayrıca bu durum malzemenin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilmektedir. Tablo 5.1' den de görüleceği gibi üretilen numuneler, boşluklu bir yapıya sahip olup kullanılan bims çapı ve miktarına bağlı olarak gözeneklilik oranı, tüm yapı içerisinde yaklaşık %30 ile %48 aralığında değişim göstermektedir. Bu durum, numuneler su ile temas ettiğinde bu boşluklarda suyun tutulmasına imkân sağlayarak su emme kapasitesini ve numunelerin su emme hızını arttırmaktadır. Şekil 6.8' de 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims numunelerinin bims ve kitre miktarındaki değişime göre su emme kapasitesi ve hızı, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11' de su emme deneyinde numune ağırlıklarının zamanla değişimi ve Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14' de ise numunelerin kuruma hızları grafiksel olarak gösterilmiştir.



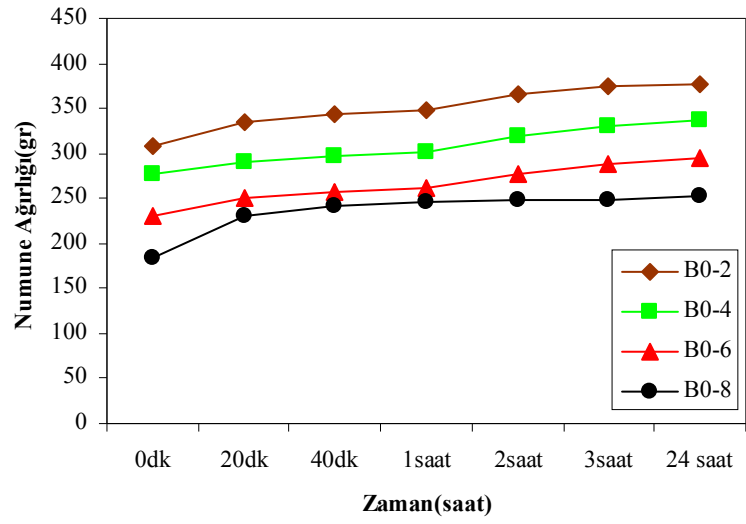


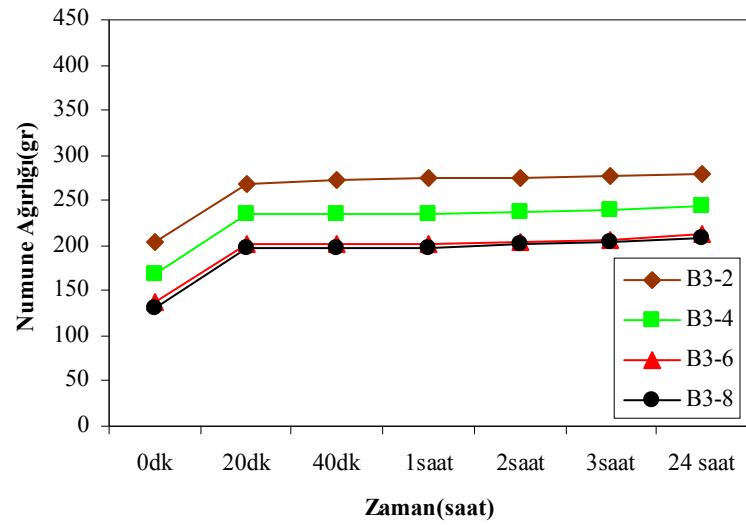
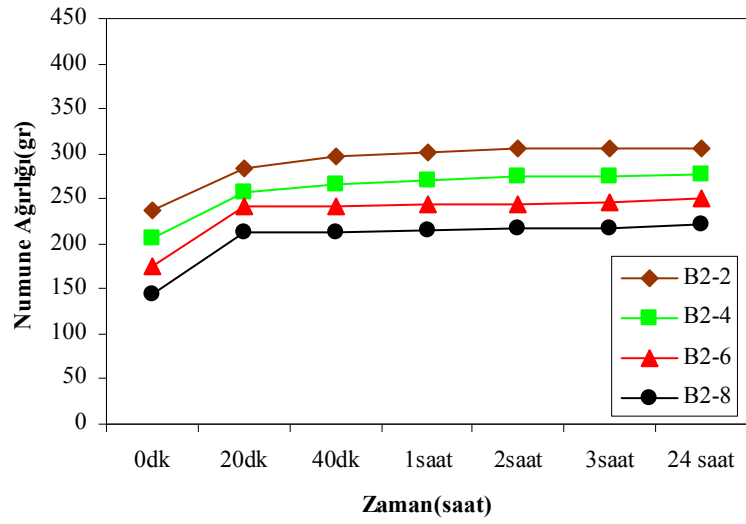
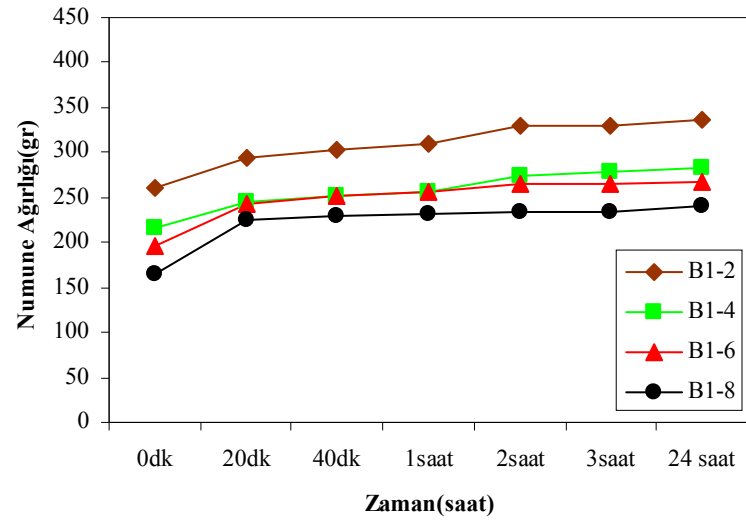
Şekil 6.8. 0-4, 4-8, 8-12mm aplı bimsli numunelerin bims ve kitre miktarındaki değişime gre su emme oranları



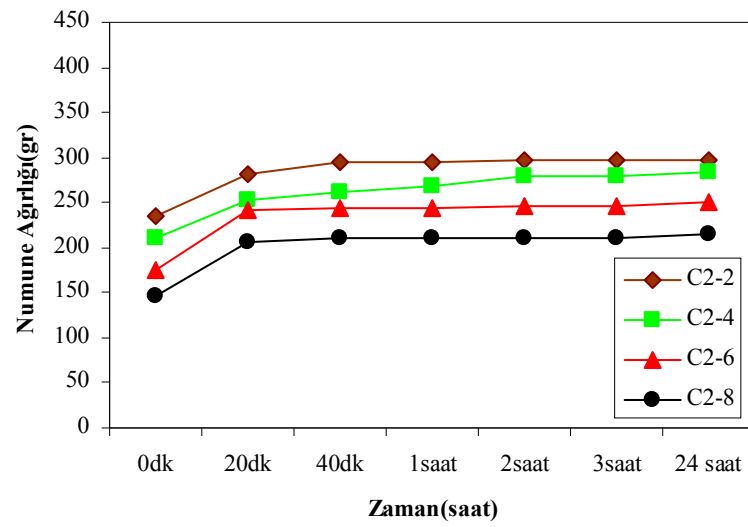
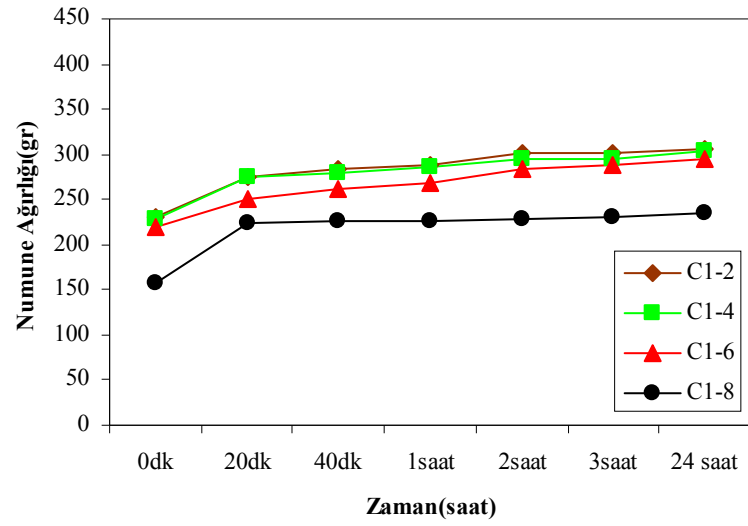
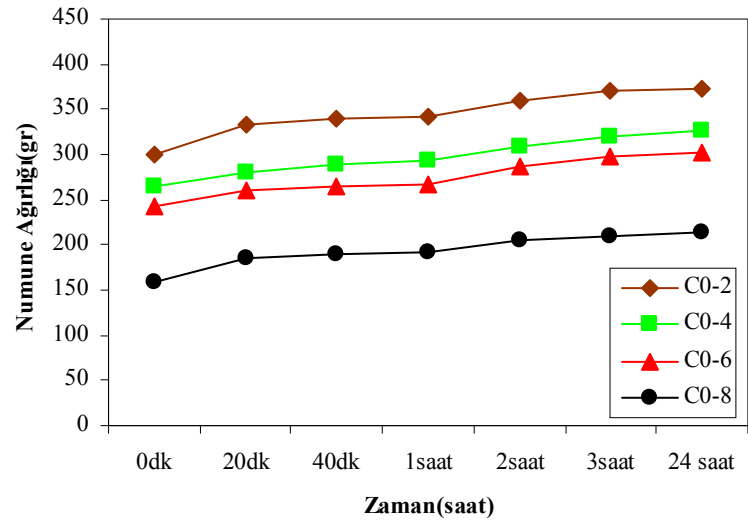


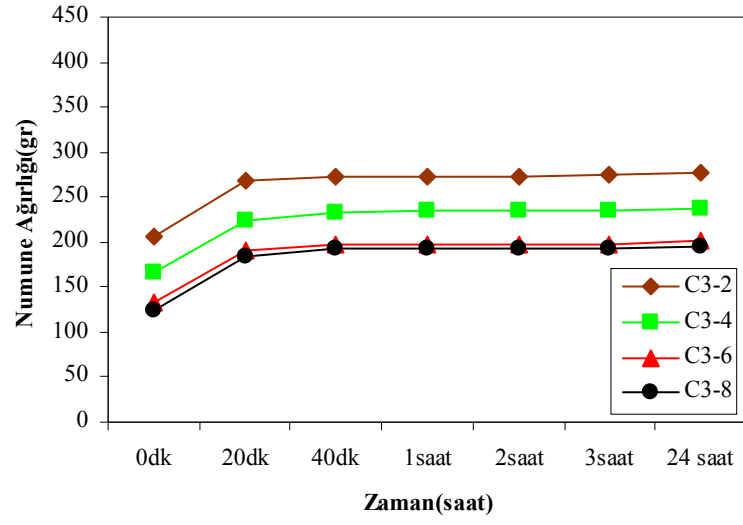
Şekil 6.9. 0-4mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi



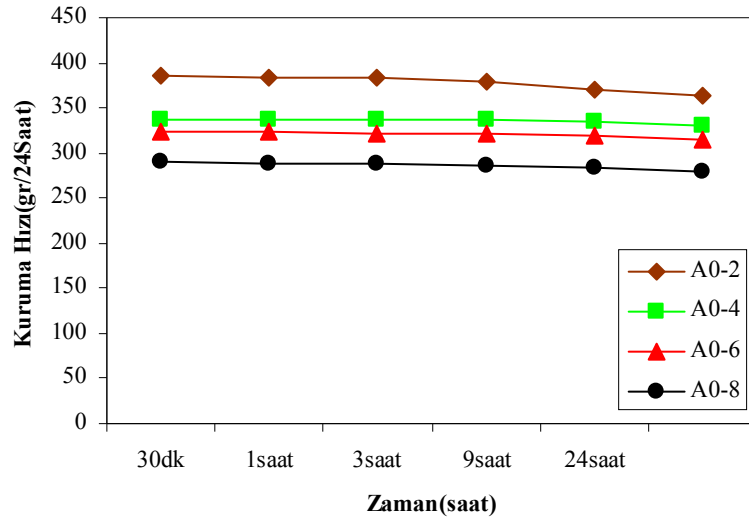


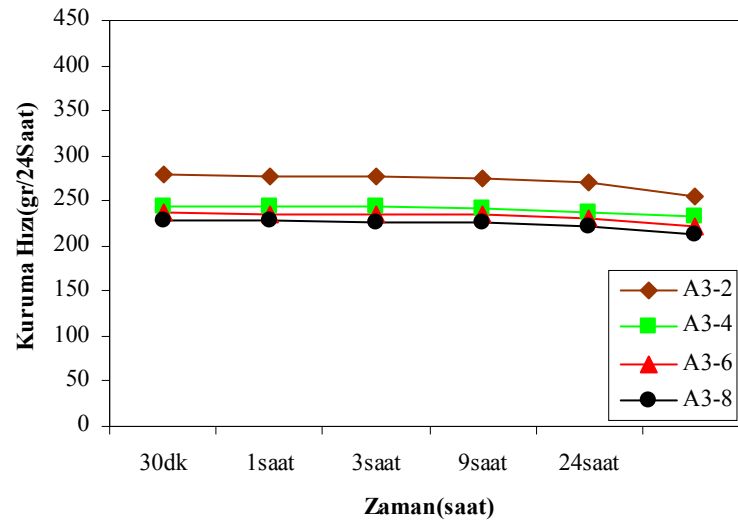
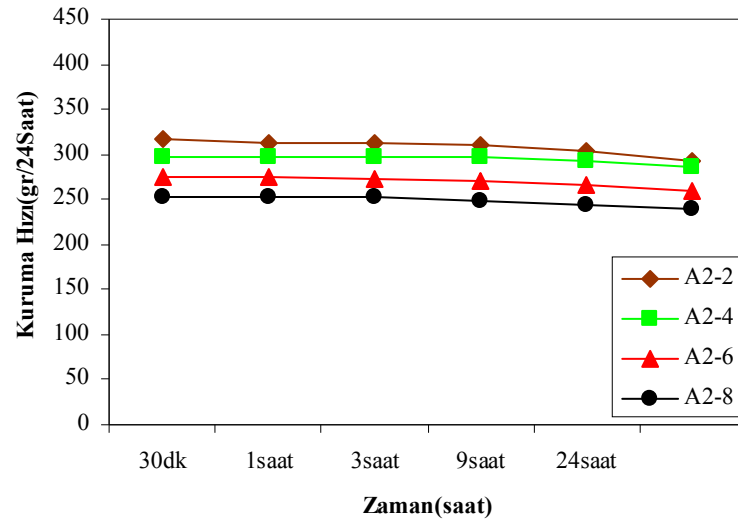
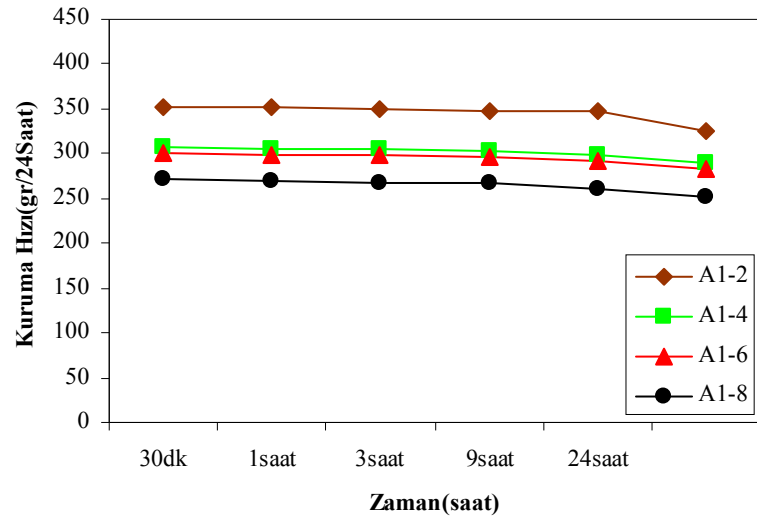
Şekil 6.10. 4-8mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi



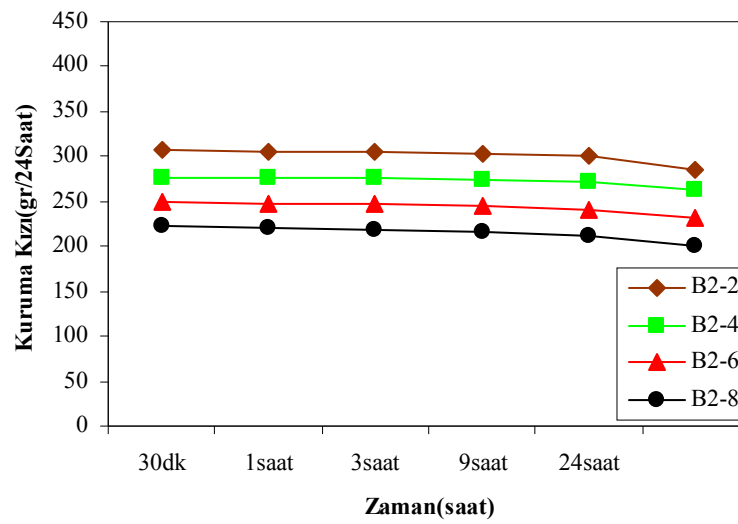
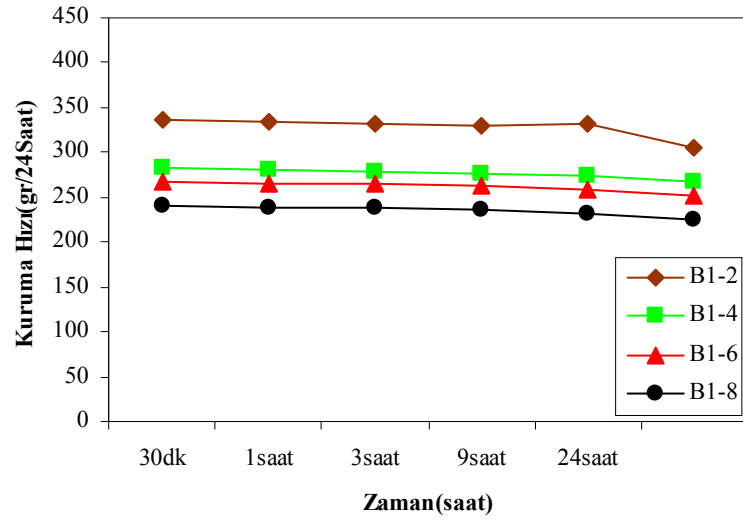
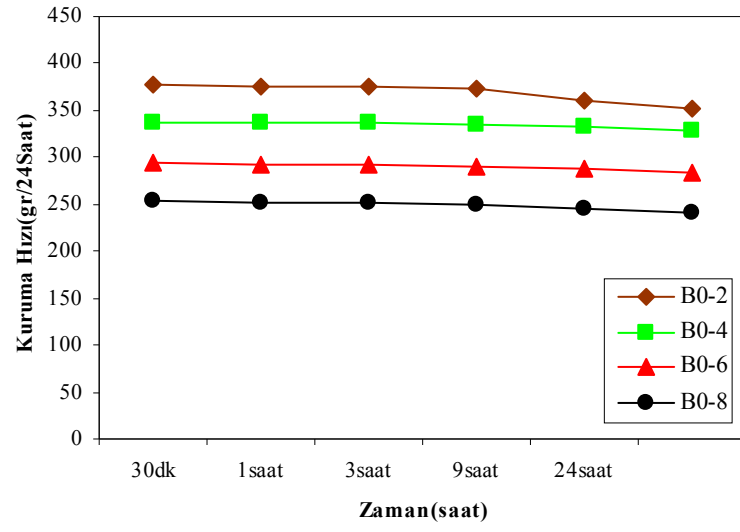


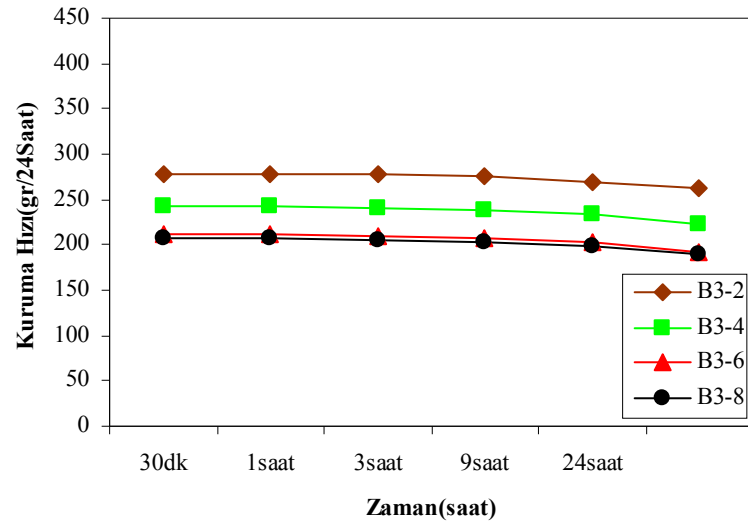
Şekil 6.11. 8-12mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin su emme deneyinde ağırlığının zamana göre değişimi



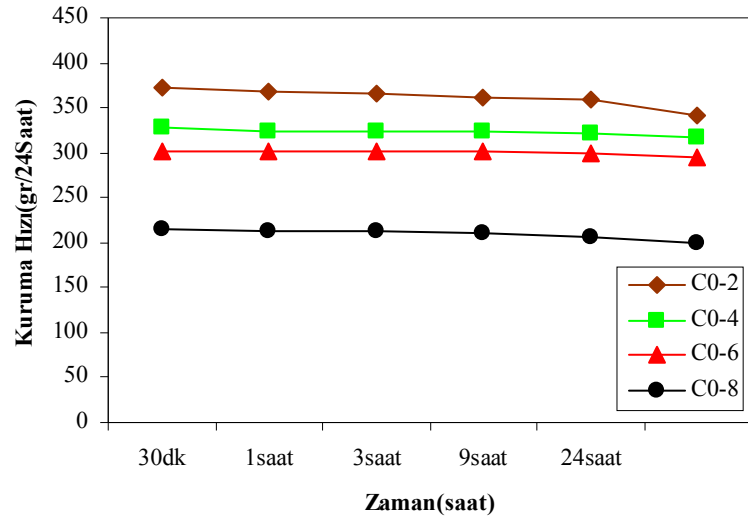


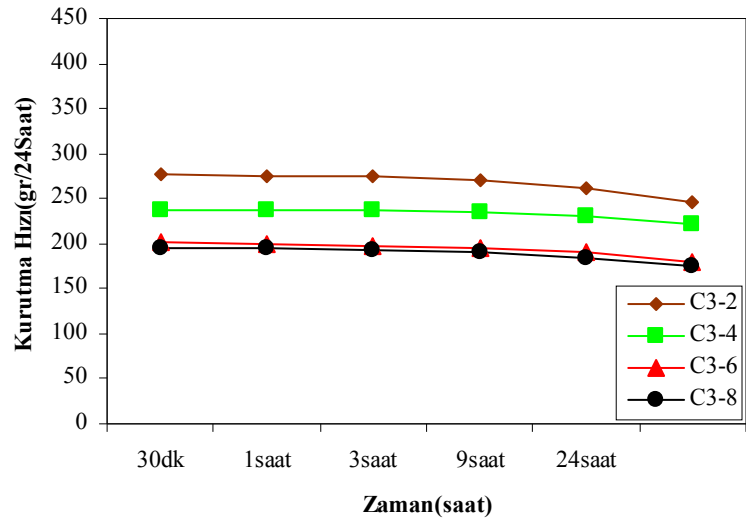
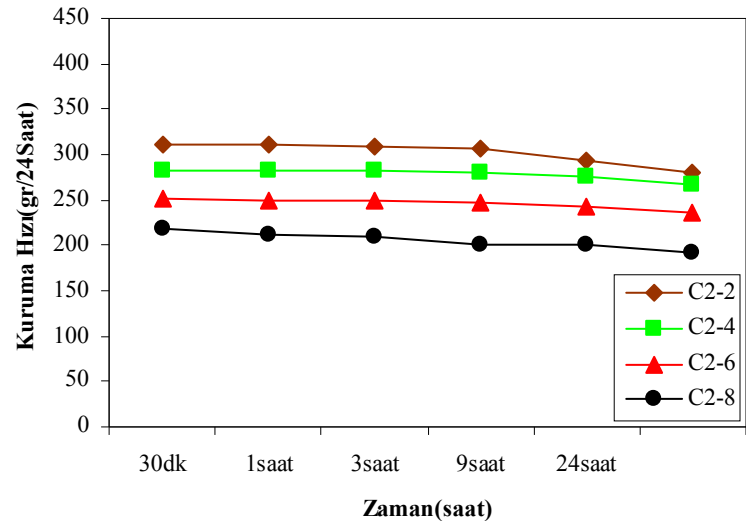
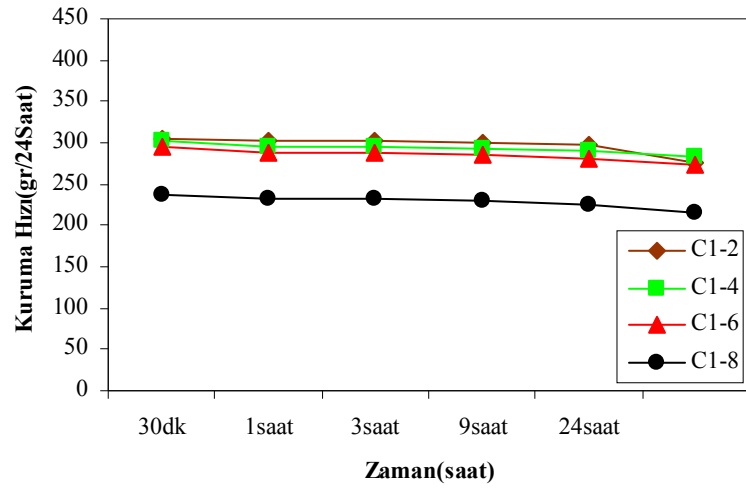
Şekil 6.12. 0-4mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıkların zamana göre değişimi





Şekil 6.13. 4-8mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıkların zamana göre değişimi





Şekil 6.14. 8-12mm çaplı (%0, %0.5, %1, %1.5) kitreli numunelerin kuruma hızı deneyinde ağırlıkların zamana göre değişimi.

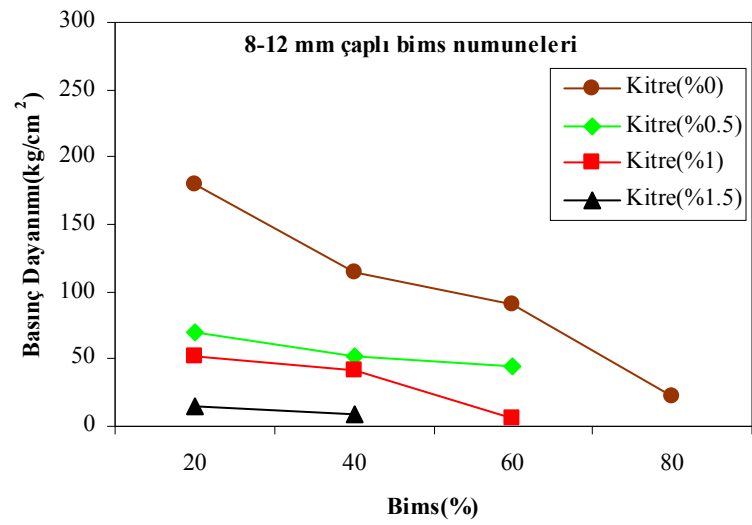
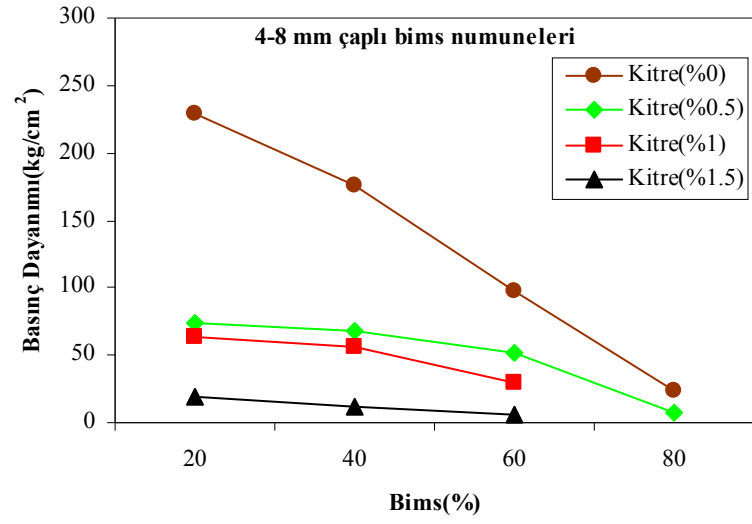
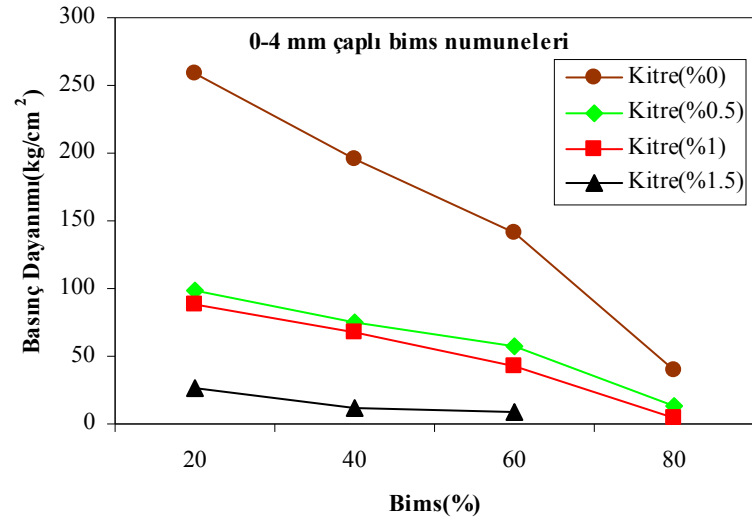
Şekil 6.8' den görüleceği üzere üretilen 0-4 mm çaplı numunelerin su emme oranı %20.7 - %48, 4-8 mm çaplı numunelerin su emme oranı %22 - %60 ve 8-12 mm çaplı numunelerin su emme oranı ise %23.6 - %56.8 aralığında değişmektedir. Bu nedenle üretilen numuneler donma olayının etkisi altında kalmaya ve bunun sonucu olarak da hasar görmeye elverişli malzemelerdir.

Numunelerin kuruma deneyinde Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14' de görüldüğü gibi azda olsa ağırlık değişimi mevcuttur. Bu da malzemelerin tenefüs kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir.

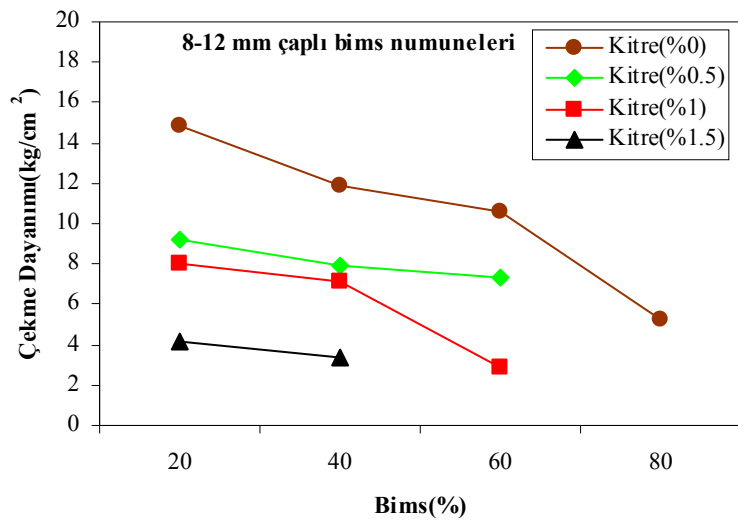
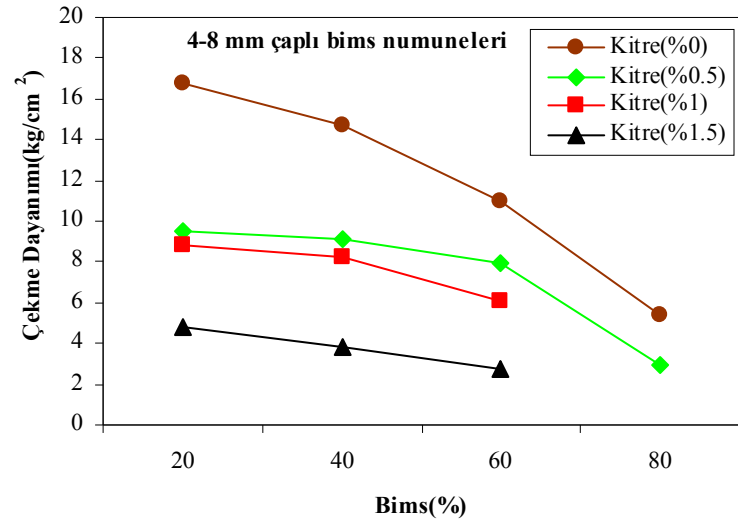
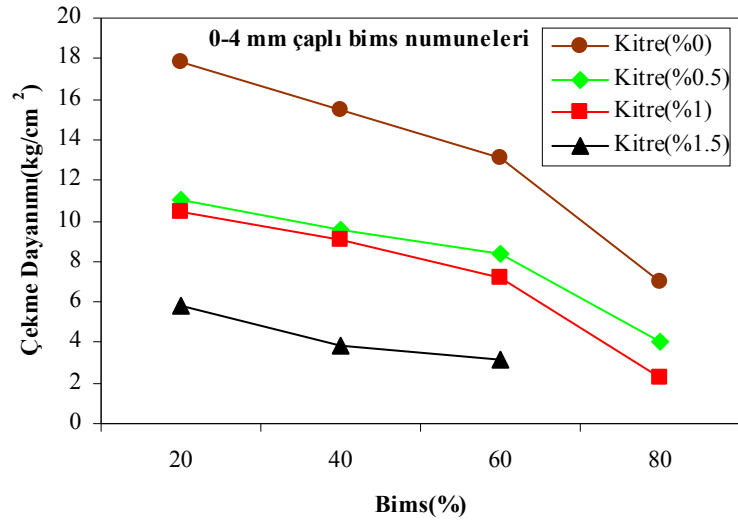
6.3. Mekanik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims ve kitle-çimento bağlayıcılı numunelerin basınç ve dayanımları incelendiğinde 0-4 mm çaplı numunelerde basınç dayanımı 8.10 - 98.9 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.30 – 11.00 kgf/cm², 4-8 mm çaplı numunelerde basınç dayanımı 6.10-73.40 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.70 - 9.50 kgf/cm² aralığında, 8-12 mm çaplı numunelerde ise basınç dayanımı 6.50 - 69.9 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.80 – 9.30 kgf/cm² aralığında değişmektedir. Her üç tip için de numune bünyesinde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak basınç ve çekme dayanımı artmaktadır. Numune bünyesinde kullanılan kitle miktarına bağlı olarak basınç ve çekme dayanımı düşüş göstermektedir.

0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims agregaları ile farklı oranlardaki kitle-çimento bağlayıcılı numunelere ait basma ve çekme mukavemet sonuçlarıyla, bünyesinde aynı miktarda çimentoya sahip kitle-çimento bağlayıcılı numunelerin basma ve çekme mukavemetleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16 ' da karşılaştırılmış olup kitrenin basma-çekme mukavemeti üzerine etkisi hesaplanmıştır. 0-4 ve 4-8 mm çaplı bims agregaları ile kitle oranı %1.5 ve bims oranı %60' ın üstünde üretilmiş numuneler ve 8-12 mm çaplı bims agregaları ile kitle oranı %1.5 ve bims oranı %40'ın üstünde üretilmiş numunelerin hemen dağıldığı görülmüştür.



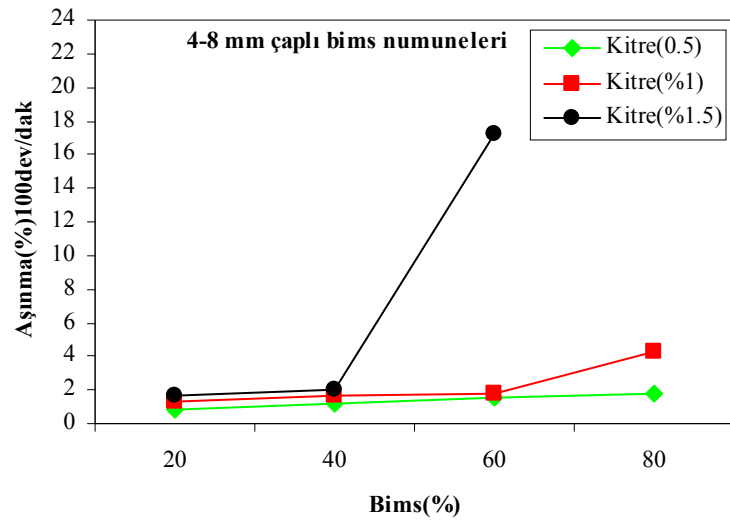
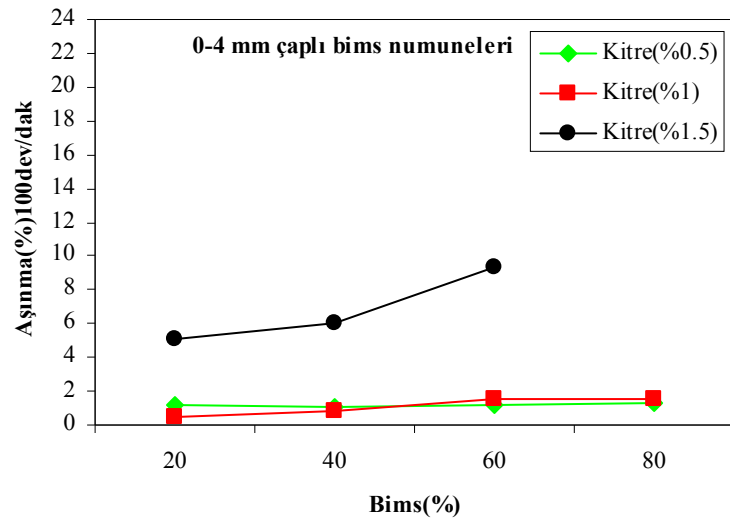
Şekil 6.15. 0-4, 4-8, 8-12mm. aplı numunelerin kitre oranına göre basınç dayanımı

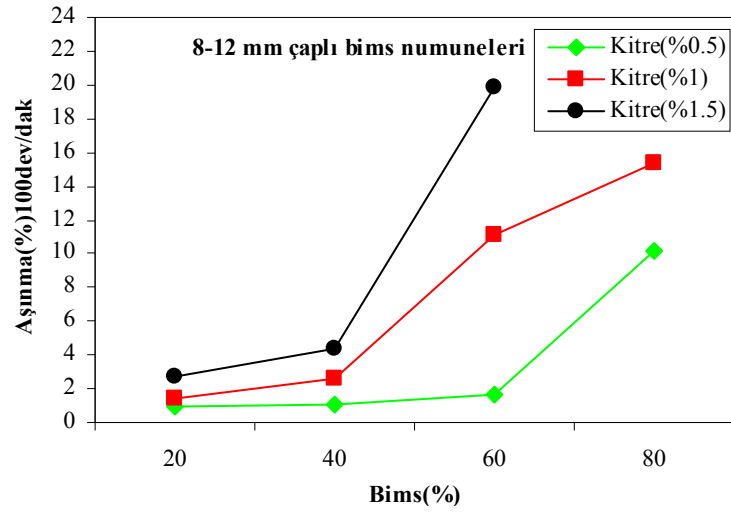


Şekil 6.16. 0-4, 4-8, 8-12mm çaplı numunelerin kitre oranına göre çekme dayanımı

6.4. Aşınma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Böhme yöntemi ile ve TS 699 ile TS 2824 yöntemlerine uygun olarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Böhme yöntemi ile sertleşmiş betonlarda sürtünme yolu ile aşınma kaybı deneyi TS 699' a uygun olarak yapılmış olup elde edilen sonuçlar TS 2824 esasına göre Tablo 6.2' de verilmiştir. TS 2824'e göre sürtünme yolu ile aşınma kaybı değeri 50 cm^2 de ortalama 13 cm^3 den fazla ise beton aşınmaya karşı mukavemetsiz kabul edilir (TS 2824, 1989).





Şekil 6.17. 0-4, 4-8, 8-12mm çaplı numunelerde kitrenin sürtünme ile aşınma üzerine etkisi

Bu değerlendirmeye göre Tablo 6.2' deki sonuçlar deneylerde kullanılan beton karışımlarından bims çapının büyük ve kitre oranının fazla olduğu numunelerin aşınmaya dayanıklı olmadığını göstermektedir. Sürtünme ile aşınma Şekil 6.17' de karşılaştırılmış ve kitrenin sürtünme ile aşınma üzerine etkisi araştırılmıştır. Bims çapı 0-4, 4-8 ve 8-12 mm olan numunelerin, kitre oranı %1.5, bims oranı % 60'ı aşan oranlarda dağıldığı görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Van ili Ahlât yöresindeki bims agregasının, kitre ve kitre-çimento bağlayıcı kombinasyonları, ısı yalıtım amaçlı yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmiş, ısı ve mekanik özellikler incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bims agregası ile üretilen numuneler hafifliğinden dolayı depreme dayanıklı konut üretiminde taşıyıcı, bölme veya dolgu elemanı olarak kullanılabilir.

2. Üretilen numunelerin, ısı iletkenliklerinin birçok yapı malzemesine göre düşük olduğu ve ısı iletimine karşı direnç gösterecek şekilde yalıtım özelliğine sahip oldukları saptanmıştır. Bu özellik nedeniyle, bu tür malzemeler bina veya konutlarda kullanılması halinde enerji tasarrufu sağlanacaktır. Üretilen numunelerde kullanılan kitre miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri küçülürken, çimento oranı arttırıldığında ısı iletkenlik değeri büyümektedir. Numunelerin en küçük ısı iletkenlik katsayısı 8-12 mm çaplı bims ağırlıkça %20 çimento ve ağırlıkça %1.5 kitre kullanılarak üretilen numuneye ait olup 0.177 W/mK değerinde ve en büyük ısı iletkenlik katsayısı 0-4mm çaplı bims ile bağlayıcı olarak ağırlıkça %80 kadar çimento ve karışım ağırlığının %0.5' i kadar kitre kullanılarak üretilen numuneye ait olup 0.359 W/mK değerindedir.

3. Çalışmada homojen bir yapıya sahip olmayan bu tür malzemelerin ısı iletim katsayılarının hesabı için cebirsel bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklemin verdiği kuramsal değerleri ile numunelerin ölçülen ısı iletim katsayıları değerlerinin uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

4. 0-4, 4-8, 8-12 mm çaplı bims ve kitre-çimento bağlayıcılı numunelerin basınç ve dayanımları incelendiğinde (0-4) mm çaplı numunelerde basınç dayanımı 8.10-98.9 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.30-11.00 kgf/cm², 4-8 mm çaplı numunelerde basınç dayanımı 6.10-73.40 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.70-9.50 kgf/cm² değerleri arasında, 8-12 mm çaplı numunelerde ise basınç dayanımı 6.50-69.9 kgf/cm² ve çekme dayanımı 2.80–9.30 kgf/cm² değerleri arasında değişmektedir. Her üç tip için de numune bünyesinde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak basınç ve çekme dayanımı artmaktadır. Numune bünyesinde kullanılan kitre miktarına bağlı olarak basınç ve çekme dayanımı düşüş göstermektedir. 0-4 ve 4-8 mm'li numunelerden kitre oranı %1.5 ve bims oranı %60' tan sonraki numuneler hemen dağılırken, 8-12 mm' li numunelerde ise kitre oranı %1.5 ve bims oranı %40 ve üstündeki numunelerin dağıldığı görülmüştür. Ayrıca aşınma miktarı incelendi

ğinde deneylerde kullanılan beton karışımlarından bims çapının büyük ve kitre oranının fazla olduğu numunelerin aşınmaya dayanıklı olmadığı görülmüştür. 0-4, 4-8 ve 8-12 mm'li numunelerden kitre oranı %1.5 ve bims oranı %60' tan sonraki numunelerin dağıldığı görülmüştür.

5. Üretilen numunelerin su emme oranları kritik değer olan % 30' un üzerinde çıkmıştır. Bu nedenle bu tür yapı malzemeleri su ile direkt ilişkili yerlerde kullanılmamalıdır. Buna karşılık iç sıva malzemesi, sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi, çatı altı kaplama sıva malzemesi olarak kullanılabilir.

6. Üretilen deney numuneleri üzerine çeşitli uygulamalar yapılmış ve neticede numunelerin testere ile kesilebildiği, vidalanabildiği, tesisat çalışmaları için kanal açılmasına müsait olduğu ve matkapla delinebildiği görülmüştür. Ayrıca üretilen numunelerin boya tutma özelliğinin belirlenebilmesi için boyalarla işleme tabi tutulmuş ve sonuçta numunelerin boya tutma özelliğinin son derece iyi olduğu tespit edilmiştir.

7. Numune harcı için gerekli olan suyun içinde bims-çimento karışım ağırlığının en fazla % 1.5' i kadar kitre eriyebilmekte yani bu oranda doygunluğa ulaşılmaktadır. Bu durum bir avantajdır. Çünkü daha az çimento kullanımına imkân sağlayacaktır. Ayrıca kitre kullanılarak üretilen numunelerde çimento miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlikteki artış kitresiz numunelere göre daha küçüktür. Üretilen yapı malzemelerinin bu özellikleri dikkate alınarak elde edilen numunelerin nerede kullanılmak istendiği ve kullanım yerine uygun istenen ısı, mekanik ve işleme özellikleri çok iyi belirlenmeli ve istenen özelliklere uygun bims çapı seçimi yapılarak bağlayıcı oranları belirlenmelidir.

8. Üretilen numuneler sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi veya çatı yalıtım sıvası olarak kullanılabilir ayrıca bağlayıcı olarak kitre takviyesi yapıldığında ısı iletkenlik değeri daha küçülmüş olacaktır.

9. Kitrenin ısı özelliklere olumlu ve mekanik özelliklere ise olumsuz katkısı dikkate alındığında, farklı katkı malzemeleriyle birlikte kullanılması halinde daha uygun sonuçlar verebileceği göz ardı edilmemeli bu yönde araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Şener, F. ve Doğan, H.**, Hafif Yapı Malzemeleri (Pompa-Perlit-Ytong- Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, MTA Maden Etüt ve Arama Daire Başkanlığına, 2004.
- [2] **Özder, A.**, Binalarda Isı Yalıtımın Enerji Tasarrufuna ve Çevre Kirliliğine Etkileri, Yalıtım 2001 Kongresi ve Sergisi, Eskişehir, 2001.
- [3] **Aksoy vd.**, Kompozit Bir Duvar da Mevsimlik Isı Kayıp-Kazancı ve Yön İlişkisinin Belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 115-125, 2004.
- [4] **Gündüz, L.**, Binalarda Isı Yalıtımında Styronit ve Bims Agregalarının Kombinasyonel Olarak Kullanımı Üzerine Bir Analiz, Styronit, <http://www.styronit.com/images /rapor3.doc>
- [5] **Gündüz, L., 1998.** Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt1, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta.
- [6] **Postacıoğlu, B.**, “Yapı Malzemesi Dersleri”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Sayı: 2022, İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, 1987.
- [7] **Kuş, H. ve Uzun, Ö., 2008,** On-Site Investigations of Pumice Aggregate Concrete Block Wall Construction, The XXXVI IAHS World Congress on Housing Science, Paper 72, India.
- [8] **Gündüz, L., Davraz, M. ve Ortaçşme, H.**, “Bimsblok ve Isı Yalıtım Özellikleri”, Türkiye Pomza Sempozyumu, Isparta, 278-286 (2005).
- [9] **Neville, A.M.**, “Properties of concrete”, Pitman publishing, London, 606-607 (1975).
- [10] **Rogers, T.S.**, “Thermal Design of Buildings”, John Wiley&Sonc Inc, 95 (1963).
- [11] **Çuhadaroğlu, B.**, “Thermal conductivity analysis of a briquette with additive hazelnut shells”, Building and Environment, 40, (7): 942-948 (2005).
- [12] **Demirboğa, R. ve Gül, R.**, “The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete”, Cement and Concrete Research, 33, (5):723-727 (2003).

- [13] **Şimşek, O.**, “Madenşehir (Karaman) doğusundaki pomza taşının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-9 (1987).
- [14] **Serin, G.**, “Pomza’nın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 100 (1999).
- [15] **Ağırdır, L.M.**, “Altınapa bims agregasından TS 3234’e uygun hafif beton briket imali”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 69 (1989).
- [16] **Kılınçkale, F.**, “Çeşitli puzolanların puzolanik aktivitesi ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımı”, İMO Teknik Dergi, İstanbul, (7):3 (1996).
- [17] **Kars, F.**, “Türkiye briketlerinin ısı davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 29 (1994).
- [18] **Çankıran, O.**, “Pomza agregalı hafif betonun mekanik özellikleri ve kimyasal katkıları dayanımının artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 71-73 (1998).
- [19] **Oğuz, C. ve Türker, F.**, “Pomza betonda fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler”, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 87 (1997).
- [20] **Kan, Ü.**, “Türkiye briketlerinin nemsel davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 20 (1994).
- [21] **Özdeniz, B.M.**, “Yeni briket”, IX. Mühendislik Sempozyumu, Mimarlık Bildirileri, Isparta, 13-19 (1996).
- [22] **Biçer, Y., Pıhtılı, K. ve Ayhan, T.**, “Gözenekli katı malzemelerde ısı iletimi hesabı için kurumsal bir model”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 14:4-9 (1991).
- [23] **Demirboğa, R.**, “Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 129 (1999).
- [24] **Dal, A.R.**, “Niğde yöresi pomza taşının ısı ve ses yalıtımında kullanılmasının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 46 (1998).
- [25] **Maxwell, J.C.**, “A Teatise on Electricity and Magnetism”, 3d Edn., Clarendon Pres, Oxford, vol. 1, 1892.

- [26] **Grangjean, S., Absi, J. and Smith, D.S.**, “Numerical calculation of the Thermal Conductivity of Porous Ceramics Based on Micrographs”, Journal of The European Ceramic Society, Vol.26, pp.2669-2676, 2006.
- [27] **Nait-Ali, B., Haberkö, K., Vesteghem, H., Absi, J. and Smith, D.S.**, “Thermal Conductivity of highly porous zirconia”, Journal of the European Ceramic Society, vol.26, pp.3567-3574, 2006.
- [28] **Landauer, R.**, “The Electrical Resistance of Binary Metallic Mixtures”, J. Appl. Phys. Vol.21, 779-784, 1952.
- [29] **Bjornekleit, A., Haukeland, L., Wigren, J. and Kristiansen, H.**, “Effective Medium Theory And The Thermal conductivity of Plasma-Sprayed Ceramic Coatings”, Journal of Material Science, Vol.29, pp. 4043-4050, 1994.
- [30] **Collishaw, P.G. and Evans, J.R.G.**, “An assessment of expressions for the apparent thermal conductivity of cellular materials”, Journal of Material Science, Vol.29, pp.2261-2273, 1994.
- [31] **Fu, X., Viskanta, R., and Gore, J.P.**, “Prediction of Effective Thermal Conductivity of Cellular Ceramics”, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol.25, No.2, pp.151-160, 1998.
- [32] **Singh, K.J. and Chaudhary, D.R.**, “Heat Conduction and a Porosity Correction Term for Spherical and Cubic Particles in a simple Cubic Packing”, J.Phys.D. Applied Physics, Vol.31, pp.1681-1687, 1998.
- [33] **Samantray, P.K., Karthikeyan, P. and Reddy, K.S.**, “Estimating Effective Thermal Conductivity of Two-Phase Materials”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.49, pp.4209-4219, 2006.
- [34] **Luikov, A.V., Shashkov, A.G., Vasiliev, L.L. and Fraiman, E.**, “Thermal Conductivity of Porous Systems”, Heat Mass Transfer, 44, 117-140, 1968.
- [35] **Zumbrun, D.A. and Viskanta, R.**, “Heat Transfer”, Soviet Research Ins., 20 (1), 137-142, 1986.
- [36] **Biçer, Y.**, Termik Santral Uçucu Küllerinin Değişik Bağlayıcı Kombinasyonlarda Isı İletim Özelliklerinin Analizi Ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1990.
- [37] **Kımaş, T.**, Gevenciler ve geven otu- Türk Folklor Araştırmaları 16 (309): 7292 (1975).

- [38] **Biçer, Y., Pehlivan, D., Tanyıldızı, V. ve Yıldırım, Ş.**, 1993, Fırat havzasında bulunan doğal taşların bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8, 2, 53–60.
- [39] **Tavman, İ.H. and Tavman, Ş.**, 1994. Thermal conductivity of granular porous media. American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, 64, 1, 101-106.
- [40] **Tavman, İ.H. and Tavman, Ş.**, 1996. Thermal conductivity of granular food materials. American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division, 78, 6, 123-127.
- [41] **Esen, D.Ö.**, 1997. Gözenekli cisimlerde ısı geçişi analizi. Yük. Lis. Tezi, Kocaeli Üniv. Fen Bil. Enst., Kocaeli, 98 s.
- [42] **İğci, A.S.**, 1990. Poroz ortamlarda ısı geçişi. Yük. Lis. Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Enst. İstanbul, 75 s.
- [43] **Buonanno, G. and Carotenuto, A.**, 1997. Effective thermal conductivity of a porous medium with interconnected particles. Int. J. Heat and Mass Transfer, 40, 2, 393-405.
- [44] **Peng, S.W. and Mizukami K.**, 1996. Mathematical modelling of moisture desorption in porous medium. Int. J. Energy Research, 20, 10, 923-931.
- [45] **Kim, L.V.**, 1993. Determination of heat transfer coefficients in porous media. Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal, 65, 6, 663-667.
- [46] **Kıvrak, O.S.**, 2006, Uçucu Kül Katkılı Bims Blokların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 71 s.
- [47] **D.P.T, 2001**, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- [48] **Gündüz, L., Saruışık, A., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O.**, 1998, Pomza Teknolojisi Cilt II, SDÜ Yayını, Isparta.
- [49] **Ritmann, L.**, 1976, Volcaoes, Orbis Publishing, London UK.
- [50] **Uz, B.**, 1987, Petrografi-I, C.I. Magmatik Kayaçlar, Ocak, İstanbul, 286s.
- [51] **Gass, I.G., Smith, P.J. and Wilson, R.C.L.**, 1973, Understanding the Earth, Open University Set Book, 383 pp.

- [52] **Gündüz, L., Rota A. ve Hüseyin, A.**, 2001, “Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi”,4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 18-19 Ekim.
- [53] **Gündüz, L.**, 2005, İnşaat Sektöründe Bimsblok, SDÜ, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta.
- [54] **Özkan, Ş.G. ve Tuncer, G.**, 2001,“Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış”, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 118-19 Ekim.
- [55] **Yıldız, T.**, “Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Değişik Kombinasyonlarda Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi”,Doktora Tezi, Fırat Üniv. Metalurji ABD, Elazığ, 1998.
- [56] **Baytop, A. ve Gözler, T.**, Türk kitre zambının menşei ve terkibi hakkında-İstanbul Ecz. Fak. Mecn. 7: 56 (1971).
- [57] **Baytop, T.**, Kitre zambk, Erciyes adağında yapılmakta olan istihsal hakkında – T. Eczacıları Birliği Mecn. 2:7 (1959).
- [58] **Freidin, C.**, “Influence of Variability of Oil Shale Fly Ash on Compressive Strength of Cementless Building Compounds, Construction and Building Materials”, 19, 127–133, 2005.
- [59] **Doğan, A. ve Tekin, A.**, “Yağların Fiziksel Özellikleri”, A.Ü. Fen Bil. Enst. Seminer Notu, Ankara, 1991.
- [60] **Sharma, V. and Kundu, P.P.**, “Addition Polymers From Natural Oils-A Review”, Prog. Polym. Sci, 31, 983–1008, 2006.
- [61] **Yılmaz, Ş.**, 2010, Kitre bağlayıcılı termik santral uçucu küllerin yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s.
- [62] **Vysniauskas, V.V. and Zikas, A.A.**, “Determination Of Thermal Conductivity By The Hot Wire Technique”, Heat Transfer Soviet Research 1988.
- [63] **H.K.**, (1985). Beton Deneyleri El Kitabı. Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü. DSİ Basım ve Foto-Film İşletmesi Müdürlüğü Matbaası.
- [64] **Akpınar, K.E.**, 2002, Tarımsal ürünler için siklon tip bir kurutucunun geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 253s.
- [65] **Holman, J.P.**,“Experimental Methods for Engineers”, McGraw-Hill, U.S.A,1971

- [66] **Toksoy, M.**, 1988, “Endüstriyel malzemelerin ısı iletim katsayıları” T.M.M.O. Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 347, pp. 12-15.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Diyarbakır'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı yerde tamamladım. 1996 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne üçüncülükle girdim. 2000 yılında bölüm birinciliği fakülte ikinciliğiyle mezun oldum. 2004–2006 yıllarında Dicle Üniversitesi Siirt M.Y. O Makine Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yaptım. 2006 yılında kurumlar arası geçişle İller Bankası A.Ş. Diyarbakır Bölge Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak göreve başladım. Halen bu kurumda Teknik Uzman olarak görev yapmaktayım. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansı bitirdim ve aynı yılda doktora başladım. Evliyim ve bir çocuk babasıyım.