

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

GAZBETON MALZEMESİNİN
FARKLI SIVA MALZEMELERİYLE BİRLİKTE
ISIL ÖZELLİKLERİNİN NEM VE SICAKLIKLA
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ZÜHTÜ PEHLİVANLI

OCAK 2010

ÖZET

GAZBETON MALZEMESİNİN FARKLI SIVA MALZEMELERİYLE BİRLİKTE ISIL ÖZELLİKLERİNİN NEM VE SICAKLIKLA DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

PEHLİVANLI, Zühtü

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. İbrahim UZUN

Ocak 2010, 130 sayfa

Bu tez çalışmasında; yapı sektöründe, özellikle düşük ısı iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı oldukça önemli bir yere sahip olan hafif yapı elemanı gazbeton malzemesi ve beraberinde sıvalar incelenmiştir.

Çalışmada öncelikle, gazbeton malzemesi incelenerek yapılarda özellikle duvar elemanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbetonun ısı iletkenliği araştırılmıştır. Hazırlanan G2/04 sınıfı gazbeton numuneleri sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve daha sonra ısı iletkenlik değerleri 0°C, 5°C, 10 °C, 15°C, 25°C, 35°C ve 45°C sıcaklıklarda ölçülmüştür. Kuru durumda yapılan ölçümlerin ardından malzeme nemlendirmeye tabi tutulmuş ve onbir farklı kütle nem içeriğinde (%2.1 - %48,6) malzemenin ısı iletkenlik değerleri tekrar ölçülmüştür. Isı akış metre metoduna göre yapılan bu ısı iletkenlik katsayısı ölçümlerinin neticesinde

malzemenin geniş bir sıcaklık ve nem aralığında ısı iletkenliğinin sıcaklık ve neme bağı ılı değişimi belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca piyasada bulunun ve gazbetonla kullanılan mevcut ısı yalıtımlı sıvaların fiziksel, mekanik ve ısı ılı özellikleri deneysel olarak incelenmiş olup yapılan bu deneysel incelemeler, gazbetonla kullanılabilcek ısı yalıtım özelliği olan yeni bir sıva geliştirme çalışmalarına öncü olmuştur. Aynı zamanda ısı yalıtım özelliği olduğu ve gazbetonla kullanılabilceği belirtilen sıvaların olumlu ve olumsuz etkileri de belirlenmiştir.

Mevcut hazır sıvaların dışında gazbeton atıklarının sıvada agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bu kapsamda agrega tane büyüklüklerine bağı ılı olarak üç farklı sıva numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan sıva numunelerinin ısı iletkenlik ve basınç dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Hazırlanan bu yeni sıvalar gazbeton üzerine uygulanarak toplam ısı geçiş katsayıları kuru durumda ve farklı nem değerlerinde sıcaklıkla değişimi deneysel olarak belirlenmiştir. Geliştirilen sıva numunelerinin, yapılan deneyler sonucunda ısı yalıtımlı sıva malzemesinde gaz beton atıklarının agrega olarak kullanılabilirliği tespit edilmiş ve bu malzemenin karışım içerikleri belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların ardından, kuru durumdaki gazbetonun ısı iletkenliğinin teorik olarak belirlenmesi amacıyla matematiksel bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model deneysel çalışma sonuçlarıyla ve literatürdeki diğer teorik modellerle karşılaştırılmıştır.

G2/04 sınıfı gazbetonun, farklı nem ve sıcaklık değerleri için geniş bir aralıkta kullanılabilen ısı iletkenlik ifadesi elde edilmiştir. Bu eşitliğin elde edilmesinde en

küçük kareler yöntemi kullanılmış ve farklı eğri eşitlikleriyle bu ifadelerin doğruluğu tablolarda verilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması aynı zamanda, Sanayi Bakanlığı tarafından koordine edilen Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) projesi kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi-Sanayi Bakanlığı ve AKG Gazbeton firmasının işbirliği ile yapılmış bir SAN-TEZ projesidir.

Anahtar Kelimeler: Gazbeton, ısıl iletkenlik, kütleli nem içeriği, ısı yalıtımlı sıva

ABSTRACT

A STUDY ABOUT HOW THE THERMAL CHARACTERISTICS
OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE MATERIAL WITH
DIFFERENT PLASTER MATERIALS CHANGES
WITH TEMPERATURE AND MOISTURE

PEHLİVANLI, Zühtü

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine, Dr. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. İbrahim UZUN

January 2010, 130 pages

In this study; plasters and autoclaved aerated concrete (AAC) material which is light construction element and has a rather important place due to its characteristics like low thermal conductivity and low density were examined.

Firstly, in the study, AAC material was examined and the thermal conductivity of G2/04 class AAC used as a wall element in constructions was studied. G2/04 class AAC samples were dried until it became a constant mass and their thermal conductivity values were measured on 0°C, 5°C, 10 °C, 15°C, 25°C, 35°C and 45°C temperatures. After these measurements done on dry position, material was subjected to moisture and the thermal conductivity values of the material was measured again on the eleven different moisture content (%2,1 - %48,6). As a result of this thermal

conductivity coefficient measured according to heat flow meter method, it has been observed that the thermal conductivity of the material changes related to the temperature and moisture.

Also in this study, physical, mechanical and thermal characteristics of the thermal insulation plasters used with AAC and available in the market were examined and it pioneered for the studies to develop new plasters that have a thermal insulation characteristic and can be used with AAC. At the same time, the positive and negative effects of the plasters which have thermal insulation characteristic and can be used with AAC were determined.

It was examined that AAC wastes could be used as aggregate in plaster except from available plasters and within this scope three different plaster samples were prepared depending on aggregate size. The thermal conductivity and pressure strength of prepared plaster samples were examined empirically. These new plasters prepared were applied on AAC and the heat change of total temperature transfer coefficients were determined empirically on dry situation and different moisture values. As a result of the experiments, it was determined that AAC wastes could be used as aggregate in thermal insulated plaster material and the mixture contents of this material were determined.

After the empirical studies, to determine the thermal conductivity of dry AAC theoretically, a mathematical model was developed. This model was compared with empirical study results and the other theoretical models in literature.

The thermal conductivity term that can be used in a wide range was obtained for different moisture and temperature values of G2/04 class AAC. The least squares

method was used for obtaining this equation and the validity of these terms with different curve equations were given in tables.

This thesis is a SAN-TEZ project that was prepared with the cooperation of Kırıkkale University, Industrial Ministry and AKG AAC Company and that is within the scope of Industrial Thesis (SAN-TEZ) project coordinated by Industrial Ministry.

Key Words: Autoclaved aerated concrete (AAC), thermal conductivity, moisture content, thermal insulation plaster.

Büyükbabam
Derviş PEHLİVANLI'ya

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. İbrahim UZUN'a, tezimi San-Tez projesi kapsamında destekleyen T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na ve AKG Gazbeton A.Ő. 'ye, bana her zaman destek olan sevgili aileme, bana her konuda sabırla yardımcı olan sevgili eşim Azize Pehlivanlı'ya ve varlığıyla bana destek olan kızım Öykü'ye teşekkür ederim.

SİMGELER DİZİNİ

A	Malzemenin kesit alanı (m ²)
A _r	r yarıçapındaki malzemenin alanı (m ²)
e	Hata miktarı
k	Isıl iletkenlik değeri (W/m.K)
k _e	Gözenegin ısıl iletkenliği (W/m.K)
k _{eff}	Karma malzemenin efektif ısıl iletkenliği (W/m.K)
k _m	Matrisin ısıl iletkenliği (W/m.K)
L	Malzeme kalınlığı (m)
m _{dry}	Kuru haldeki kütle (kg)
m _w	Nemli durumdaki kütle (kg)
q ^{II}	Isı akısı (W/m ²)
R _e	Gözenegin ısıl direnci (m ² .K/W)
R _{eş}	Malzemenin eşdeğer ısıl direnci (m ² .K/W)
R _m	Matrisin ısıl direnci (m ² .K/W)
R _x	x numaralı malzemenin ısıl direnci (m ² .K/W)
T	Sıcaklık (°C)
T _m	Ortalama sıcaklık (°C)
T _{sc}	Sıcak plakanın yüzey sıcaklığı (°C)
T _{sg}	Soğuk plakanın yüzey sıcaklığı (°C)
T _x	x numaralı yüzeyin sıcaklığı (°C)
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
V _g	Numune hacmi (m ³)

w	Nem miktarı (gr)
%w	Yüzde nem miktarı (gr/gr)
β	Regresyon denklemleri sabitleri
ρ_n	Numunenin net kuru yoğunluk (kg/m^3)
\emptyset	Ara faz malzemesine hacimsel oranı
μ	Buhar geçirgenlik direnç faktörü

KISALTMALAR

AAC	Autoclaved Aerated Concrete
TS	Türk Standardı
EN	Avrupa Standardları
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
DIN	Alman Standardları Organizasyonu
ISO	Uluslararası Standardlar Kuruluşu
ASTM	Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
2.1. Gazbeton	9
2.1.1. Gazbeton Üretimi	10
2.1.2. Gazbetonun Sınıflandırılması.....	13
2.1.3. Gazbetonun Özellikleri.....	13
2.2. Sıvalar.....	18
2.2.1. Sıvaların Sınıflandırılması	18
2.2.2. Sıvaların Görevleri ve Özellikleri	20
2.3. Isıl İletkenlik Değeri.....	22
2.3.1. Isıl İletkenlik Değerinin Belirlenmesi	25
2.3.1.1. Isıl İletkenlik Değerinin Teorik Olarak Belirlenmesi.....	26
2.3.1.2. Isıl İletkenlik Değerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi.....	32
2.3.1.2.1. Sürekli Rejim Metodu.....	33

2.3.1.2.2. Geçici Rejim Metodu.....	38
2.4. Regresyon Analizi	41
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	45
3.1. Mevcut Sıvaların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi.....	46
3.1.1. Priz Başlangıcı ve Priz Bitişi Deneyi.....	47
3.1.2. Yoğunluk Tayini Deneyi.....	48
3.1.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı Tayini	50
3.1.4. Elastisite Modülü Tayini Deneyi.....	52
3.1.5. Sertleşmiş Sıvada Su Emme Oranı Deneyi.....	53
3.1.6. Isıl İletkenlik Değeri Ölçüm Deneyi.....	54
3.2. Gazbetonun Isıl İletkenliğinin Deneysel İncelenmesi.....	55
3.2.1. Gazbeton Numunelerin Hazırlanması.....	56
3.2.2. Kullanılan Standartlar ve Cihazlar	57
3.2.3. Deneyler ve Sonuçları.....	61
3.3. Yeni Sıva Geliştirilmesi ve Deneysel İncelenmesi	67
3.3.1. Yeni Sıva Numunelerin Hazırlanması	67
3.3.2. Isıl İletkenlik Değeri Ölçüm Deneyi Sonuçları.....	70
3.3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	83
3.4. Isıl İletkenlik Değeri İçin Teorik Model Geliştirilmesi	84
3.5. Regresyon Modeli Geliştirilmesi.....	94
3.5.1. Doğrusal Regresyon Modeli-1	94
3.5.2. Doğrusal Regresyon Modeli-2.....	103
3.5.3. İkinci Dereceden Regresyon Modeli.....	114
4. SONUÇ	124
KAYNAKLAR.....	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Gazbetonun malzemesini üretim süreci ⁽¹⁹⁾	12
2.2. Gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi.....	14
2.3. Gazbeton gözenek miktarının yoğunluğa bağlı değişimi.....	15
2.4. Normal sıcaklık ve basınç şartlarında maddenin değişik halleri için ısı iletkenlik değerleri ⁽²⁴⁾	22
2.5. Bazı gazların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi ⁽²⁴⁾	23
2.6. Bazı sıvıların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi ⁽²⁴⁾	24
2.7. Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi. ⁽²⁴⁾	25
2.8. Muhafazalı sıcak plaka metodu a)İki numuneli cihaz b)Tek numuneli cihaz. ⁽²⁸⁾	35
2.9. Mahfazalı sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünümü ⁽²⁹⁾	36
2.10. Kalibre edilmiş sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünüşü ⁽²⁹⁾	37
2.11. Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapan deney cihazı şematik görünüşü.....	38
2.12. Sıcak tel metodunun şematik görünümü	39
2.13. Laser Flash Metodu Çalışma Prensipleri ⁽²⁷⁾	40
3.1. Deney numunelerinin alındığı bölgenin şekilsel gösterimi	57
3.2. Lasercomp Fox 314 cihazı.....	59
3.3. Hava dolaşım ılı kurutma fırını.....	60
3.4. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi.....	62
3.5. G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi	66

3.6. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS1 sıvasıyla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi	71
3.7. G2/04 gazbeton, YS1 sıvası ve G-YS1'in ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması.....	72
3.8. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS2 sıvasıyla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi	73
3.9. YS2 sıvasının G2/04 gazbetonla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi.....	76
3.10. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbeton, YS2 sıvası ve G-YS1'in ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması	77
3.11. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS3 sıvasıyla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi.....	78
3.12. G-YS3 sıvasının G2/04 gazbetonla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi	80
3.13. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbeton, YS3 sıvası ve G-YS3'in ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması	81
3.14. Nemsiz durumdaki YS1, YS2 ve YS3 sıvalarının ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması.....	82
3.15. G2/04 gazbeton malzemesinin yüzey fotoğrafı	85
3.16. G2/04 gazbetonun taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (35 büyütme)	85
3.17. Matematiksel model için kullanılan temsili malzeme yapısı.....	87
3.18. Matematiksel model için ele alınan $(2a) \times (2a) \times (2a)$ uzunluğundaki birim hacim elemanı.....	88
3.19. Matematiksel model için matris, matris-gözenek bölgesi ve kontrol hacmi	89

3.20. Efektif ısı iletkenlik değeri modellerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	92
3.21. Doğrusal regresyon modeli-1'in G2/04 gazbeton deney sonuçları ile karşılaştırılması.....	96
3.22. Doğrusal regresyon modeli-1'e göre G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişimi.....	103
3.23. Doğrusal regresyon modeli-2 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	106
3.24. Doğrusal regresyon denklemi-2'e göre G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişimi.....	114
3.25. İkinci dereceden regresyon modeli ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	116
3.26. İkinci dereceden regresyon modeline göre G2/04 malzemesinin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişimi.....	123

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Gazbeton malzemelerinin basınç dayanımları ve kuru yoğunlukları ⁽¹⁸⁾	17
3.1. Mevcut hazır sıvaların priz başlangıç ve bitiş deney sonuçları	48
3.2. Mevcut hazır sıvaların kuru ve taze haldeki yoğunluk deney sonuçları	49
3.3. Mevcut hazır sıvaların eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.....	50
3.4. Mevcut hazır sıvaların elastisite modülü deney sonuçları.....	52
3.5. Ssertleşmiş sıvada su emme oranı tayini deney sonuçları.....	53
3.6. Mevcut hazır sıvaların ısı iletkenlik deneyi sonuçları	55
3.7. Hazırlanan yeni sıva numunelerinin özellikleri.....	69
3.8. Yeni sıvalara ait basınç dayanım deneyi sonuçları	83
3.9. Doğrusal regresyon modeli-1 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	100
3.10. Doğrusal regresyon modeli-2 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	110
3.11. İkinci dereceden regresyon modeli ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	120

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının her geçen gün azalması mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasının önemini artırmaktadır. Enerji kaynaklarının tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyük bir bölümü (yaklaşık olarak %30'u) konutların ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin karşılanabilmesi için harcanmaktadır. Bir bina için enerji kayıplarına bakıldığında ise en yüksek oranda enerji kaybının binanın dış ortamla temasta olduğu yapı elemanlarından yani duvarlardan olduğu görülmektedir. Bu durum, yapılarımızda kullandığımız yapı elemanlarının ısı özellikleriyle doğrudan bağlantılı olup ısı iletkenlik değeri düşük malzemeler kullanmamızın enerji ekonomisi açısından ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Bu noktadan hareket edilerek bakıldığında, mevcut yapı elemanlarının bazılarının düşük bazılarının ise yüksek ısı iletkenlik değerine sahip oldukları görülmektedir. Düşük ısı iletkenlik değerine sahip yapı malzemelerinden birisi de gazbeton (otoklavlanmış beton) malzemesidir. Gazbetonun düşük yoğunluk ve ısı iletkenlik gibi üstün özellikler gösterdiği ve yapılarda her geçen gün artan bir kullanım yüzdesine sahip olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılarda farklı noktalarda kullanılan gazbeton malzemesinin duvar elemanı olarak kullanımını ele alınmıştır ve bu malzemenin farklı sıva malzemeleriyle birlikte ısı iletkenlikleri üzerinde nem içeriğinin ve sıcaklığın etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Yapı malzemelerinde düşük ısı iletkenlik değeri malzemenin içyapısıyla ve gözenek oranıyla doğrudan ilişkilidir. Gözenekli malzemelerde gözenek miktarı artıkça ısı iletkenlik değeri düşmeye başlar. Ancak artan gözenek miktarı beraberinde başka sorunları getirir örneğin boşluk oranı artıkça malzemenin mukavemeti de azalmaya başlar. Gazbeton açısından bakıldığında da malzemenin gözenekliliğinin miktarının artması ile ısı iletkenlik değeri düşmektedir ancak bununla birlikte gazbetonun mukavemetinin de düştüğü çok açık olarak kendini göstermektedir.

Gazbeton malzemesinin içyapısı itibariyle yüksek oranda gözenekli bir yapıya sahip olması onun ısı iletkenlik değerinin diğer malzemelere göre daha düşük olmasını sağlamaktadır. Ancak yapı içerisindeki gözenekler aynı zamanda nem transferi sırasında bu boşlukların su veya su buharı depolanmasına neden olabilmektedir ve malzeme içerisindeki bu su bileşeni malzemenin ısı iletkenlik değerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Özellikle yapı malzemeleri açısından bakıldığında nem, malzemeler için olumsuz bir etken olup malzemenin ısı iletkenliğini arttırdığı gibi kullanım ömrünü de azaltmaktadır. Bu kapsamda yapılmış birçok çalışması mevcuttur. Bunlarda bazılarına özetle bakacak olursak;

Karoglou⁽¹⁾ ve diğerleri bir binanın duvarlarındaki nem transferinin bina yüzeylerine olan olumsuz etkilerinden yola çıkarak bir simülasyon programı hazırlamışlar ve bu programın, bina kötüleşme evrimi ve uygun kuruma stratejisinin seçimi, örneğin sıva seçimi (malzeme, ebat, değiştirme zamanı), duvarların güçlendirilmesine katkı ile ilgili karar alınmasında yardımcı olabilecek güçlü bir araç olduğunu belirtmişlerdir.

$Q_{in}^{(2)}$ ve diğeri gözenekli yapı malzemelerindeki geçici ısı ve nem transferini incelemiştir. Bu amaçla ısı ve nem transferinin birlikte gerçekleştiğini dikkate alarak teorik bir model geliştirmişler ve bu modelle duvar elemanı içerisindeki sıcaklığın ve nemin duvar kalınlığı boyunca değişimini hesaplamışlardır. Daha sonra ise hazırlamış oldukları modelden elde edilen sonuçları literatürdeki deneysel ve teorik modellerle kıyaslamışlardır. Sonuç olarak modelin deneysel sonuçlarla tam bir uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Goual⁽³⁾ ve diğeri yaptıkları çalışmada, otoklavlanmamış (CAC) betonun efektif ısı iletkenliği araştırmışlardır. Hazırladıkları farklı yoğunluklardaki otoklavlanmamış beton numunelerinin ısı iletkenliğini deneysel olarak sıcak tel (hot wire) metoduna göre ve literatürde yer alan efektif ısı iletkenlik değeri modellerini kullanarak teorik olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, otoklavlanmamış beton için kullandığı bu teorik modelleri gazbetona da uygulayarak elde edilen sonuçları literatürle karşılaştırmışlar ve otoklavlanmamış betona uygun olan efektif ısı iletkenlik modellerini belirtmişlerdir.

Cerny⁽⁴⁾, pozzolan katkılarının kireç sıvalarının mekanik, ısı ve higrik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada, kireç katkılı sıva ile farklı oranlarda pozzolan katkısı ilave ettiği sıvalar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Yaptığı deneysel çalışmalarda sıvaların çekme ve basma dayanımlarını, kuru durumda ve farklı nem içeriklerinde ($0-0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) ısı iletkenliklerini ve ısı kapasitelerini ölçmüştür. Ayrıca ($0-0,3 \text{ kg/kg}$) arasında değişen farklı nem içeriklerinde nem difüzyon değerlerini belirlemiştir. Mevcut kireç sıvalarına göre pozzolan ilave edilen kireç sıvalarının mekanik özelliklerinde artış görülürken ısı ve higrik özelliklerin benzerlikler gösterdiğini belirtmiş ve pozzolan katkılı kireç

sıvalarının tarihi binaların yeniden restorasyonunda kullanımının uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Deru⁽⁵⁾, binaların zeminlerinde yağış ve diğer etkenlerle oluşan nemin ısıyla birlikte transferini incelemiştir. Bu amaçla bir sonlu eleman modeli oluşturarak zemin sıcaklıklarının sezonluk değişimlerini mukayese etmiştir.

Bouguerra⁽⁶⁾ ve diğerleri yüksek gözenekli bina malzemelerinin termal geçirgenliği, termal yayılma kuvveti ve ısı kapasitesi değerlerinin deneysel olarak ölçümlerini yapmışlar ve bunları geliştirdikleri teorik model ile karşılaştırmışlardır. Farklı gözenek miktarlarına sahip kuru haldeki ahşap kompozit malzemeler için teorik değerlerin deneysel değerlerle uyumlu olduğunu ve teorik modelin yüksek gözenek oranına sahip yapı malzemeleri içinde kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Mendes⁽⁷⁾, gözenekli bina malzemelerinden olan havalandırılmış hücreli beton (ACC), tuğla (BRK), kireç harcı (LMT) ve ahşabın termal geçirgenliğine nemin etkisini araştırmıştır. Bu amaçla teorik ısı iletkenlik modellerini kullanarak malzemelerin tamamen kuru ve tamamen suya doymuş durumdaki ısı iletkenliklerini belirlemiştir. Gözenek ve katı matristen oluşan iki fazlı malzemelerin ısı iletkenliklerinin teorik olarak belirlenmesinde gerekli olan, matrisin ısı iletkenlik değerini ise geometrik ortalama modelinin kullanarak malzemenin kuru durumdaki ısı iletkenliği ile havanın ısı iletkenliği arasındaki bağıntı ile ifade etmiştir.

Ochs⁽⁸⁾ ve diğerleri, ısı enerji depolarında kullanılan izolasyon malzemelerinin, çevre koşullarının ve özellikle nemin etkisi altında ısı iletkenliğinin değişimini incelemiştir. 80°C'ye kadar olan ve serbest su doygunluğunun altındaki nem içeriklerindeki gözenekli yığma malzemelerin etkili ısı iletkenliğinin modellenmesi ve ölçümünün detaylı bir açıklamasını vermişlerdir.

Söylemez⁽⁹⁾ , çalışmasında gözenek tipli bina tuğlalarının etkin ısı iletkenliğini araştırmıştır. Malzemenin ısı iletkenliğinin belirlenmesinde, malzeme içerisinde gerçekleşen ısı transferi şekillerinin (iletim, konveksiyon ve radyasyon) etkisini kararlı hal şartları için yaptığı sayısal çalışmada dikkate alınmıştır. Tuğla için yaptığı sayısal çalışmada, ısı iletkenliğin düğüm sayısına göre değişimini de incelemiştir. Çalışmanın sonucunda sayısal çalışma sonuçlarını deneysel verilerle karşılaştırmış ve uyguladığı modelinin uygun olduğunu açıklamıştır.

Akkuzugil⁽¹⁰⁾ yaptığı tez çalışmasında, tarihi binalardaki sıva kullanımının binanın uzun dönemdeki performansına etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla sekiz farklı tarihi konuttan alınan sıva örnekleri üzerinde fiziksel testler gerçekleştirmiş, bu konutlarda kerpiç, kireç ve alçı sıvaların kullanımını gözlemlemiş ve bu üç sıvanın genel özelliklerini açıklamıştır. Özellikle sıvaların buhar geçirgenliği ve bu özelliğin tanecik dağılımı ve diğer fiziksel özellikler ile ilişkisini araştır ve ortaya koymuştur.

Çolakoğlu⁽¹¹⁾, Isparta yöresinde Gölcük volkanizması sonucu bol miktarda bulunan pomza ve kalker kullanarak ısı yalıtım özelliğine sahip bir sıvanın yapılabilişliğı araştırılmıştır. Pomzanın, ısı ve ses yalıtım özelliğine sahip, kalkerin ise yaygın şekilde harç yapımında agrega olarak kullanılan ucuz bir hammadde olması nedeniyle seçtiğı çalışmada, pomza ve kalkerin kırıldıktan sonra uygun şekilde boyutlandırılmış türlerinden, hidrolik bağlayıcı olarak çimento ve işlenebilirlikle performansı arttırıcı bir takım kimyasal malzemeler kullanılarak, çeşitli sıva karışımları hazırlamıştır. Hazırlanan karışımları, perlitli sıva ve harçlar için öngörülen Türk Standartları Enstitüsü Kumrunun TS 6433 numaralı standardına uygun şekilde deneysel olarak incelemiştir. Karışımların ısı iletkenlik değerlerini, ses dalgası geçiş hızını (v, m/s) belirledikten sonra, başka bir çalışmadan esas aldığı,

$k(W/m.K)=0,0681.e^{0.0006.v}$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, TS 6433 standardına uygun olan sıva numunesinin belirtmiştir.

Oruç⁽¹²⁾, kerpiç duvar yüzeylerine ve sıvalarına etki eden çevresel etmen-hasar ilişkisini ele alarak, kerpiç yüzeyler ve kil bağlayıcılı sıva türlerini incelemiştir. Bu amaçla Diyarbakır bölgesinde seçilen bir yapıdan sıva numuneleri almış ve bu numunelerin, Ph deneyi, organik madde analizi, nem, kıvam limitleri, elek analizi, yoğunluk, gözeneklilik, su emme, buhar geçirgenliği ve basınç dayanımı deneylerini yapmıştır. Elde edilen her bir sonucu ilgili TSE standardına göre değerlendirmiş ve numunelerin standarda uygun olduğunu sonucunu vermiştir.

Değirmenci⁽¹³⁾ kerpiç duvarların, çevresel etkenlerden korunması amacıyla kullanılabilir bir sıva geliştirmek için, tuğla tozu, uçucu kül ve sönmüş kireç kullanarak farklı karışım oranlarına sahip puzolanik sıva numuneleri hazırlamış ve daha sonra bu sıva numunelerini fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutarak en uygun puzolanik sıva numunesini belirlemiştir. Daha sonra ise uygun görülen puzolanik sıva numunesini, çimento-kireç sıva ve toprak sıva ile karşılaştırmak için kerpiç duvarlara uygulamıştır. Sonuçta geliştirilen sıva numunesinin fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle kerpiç yapıların korunmasında ideal bir malzeme olduğunu belirtmiştir.

Toprak⁽¹⁴⁾, gazbeton malzemesinin yapı kabuğunda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla gazbetonun ısı iletkenliğine etki eden faktörleri belirleyerek deneysel çalışmalar çerçevesinde ısı iletkenlik değerini azaltmaya çalışmıştır. Düşük ısı iletkenlik değerine sahip malzemenin, kabukta kullanımı sırasında maruz kalacağı yükler ve dış ortam koşullarını belirleyerek, hazırlanan numunelerin, yoğunluk, basınç dayanımı, ısı iletkenliği, eğilme dayanımı,

elastisite modülü ve su emme deneylerini yapmıştır. Elde edilen sonuçları G2/04 sınıfı gazbetonla karşılaştırmıştır. Isıl iletkenliği düşürmek için hazırlanan ve yoğunluğu 300 kg/m^3 'in altında olan numunelerde, deformasyon, içyapıda bozulma, ufalanma gibi sorunlar görülmüştür. Numune hazırlığının yapıldığı gazbeton fabrikasının imkanlarıyla üretilebilen en uygun numunenin 300 kg/m^3 yoğunluğunda olduğu belirterek numunelerin diğer özellikleri verilmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda farklı nitelikte alüminyum tozunun kullanılması veya silis esaslı alternatif bir katkı maddesi ile düşük yoğunluklu üretimin denenmesinin yararlı olacağını belirtmiştir.

Andolsun⁽¹⁵⁾, Türkiye' de üretilmekte olan gazbeton malzemesinin, komşu sıvalarının ve gazbeton yapıştırıcısının temel fiziksel, mekanik, bileşim ve dayanıklılık özelliklerini incelemiştir. Gazbetonun çimento esaslı sıvalarının ise, tarihi dokuya ciddi zararlar verecek tuz problemlerine sebep olacakları belirtilmiş ve bu sebeple onarım amaçlı kullanılmalarının uygun olmadığını vurgulamıştır.

Bilici⁽¹⁶⁾ ve diğerleri yaptıkları çalışmada ASTM ve TSE standartlarında istenilen ısı yalıtım ve mekanik özelliklere uygun fiber takviyesi ile güçlendirilmiş çamur duvar elemanı geliştirilmesi için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada farklı karışım oranlarında hazırladıkları duvar elemanları ile deney odaları hazırlamışlar ve bu odaların uzun bir zaman periyodunda sıcaklık değerlerini (iç ve dış sıcaklık) gözlemlemişlerdir. Bu gözlemler sonucunda numunelerin yoğunluk ve ısıl iletkenlik değerlerini karşılaştırarak en uygun olan fiber takviyeli çamur duvar elemanını belirlenmişlerdir.

Baysal⁽¹⁷⁾ yaptığı doktora tez çalışmasında diferansiyel elektrik benzeşim yöntemini kullanarak, silindirik elyaf takviyeli ve küresel tanecik katkılı karma

malzemelerde, matris-elyaf ara yüzeyinde mükemmel temasın kabul edildiği ve ara yüzey temassızlık direncinin göz önüne alındığı haller için efektif ısı iletim katsayısının hesaplandığı yeni bir matematik model geliştirilmiştir. Geliştirdiği modelin, uygulamada hangi tür silindirik elyaf takviyeli ve küresel tanecik katkı karma malzemeler için, hangi koşullar altında ve hangi elyaf hacim oranı ve matris-elyaf ısı iletim katsayıları oranı aralıklarında geçerli olduğunun araştırmasını yapmıştır. Çalışmasının sonunda, geliştirdiği modeli deneysel sonuçlar karşılaştırmış ve geliştirilen modelin %4'lere varan oranlarda doğru sonuçlar verdiğini, matris-elyaf ara yüzey temassızlık direncinin göz önünde bulundurulması halinde ise aradaki fark daha da azaldığını belirtmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Gazbeton

Hafif ve yangına dayanıklı bir yapı elemanı olan gazbeton, TS 453 e göre, ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilâvesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli hafif bir beton olarak tanımlanmaktadır.⁽¹⁸⁾

Yaklaşık bir asırdır var olan ve kullanılan gazbeton ilk olarak, 1889 yılında harç içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesinin ilave edilmesi ile ortaya çıkmış ve bu tarihte gözenekli harç imalatı için ilk patent alınmıştır. Daha sonra sürekli gelişerek devam eden gözenekli beton arayışları 1920'li yıllarda İsveç'li mimar Johan Axel Eriksson'ın, ince öğütülmüş gazbeton hammaddeleri içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesi olarak alüminyum tozunu ilave etmesi ve bu karışıma basınçlı buhar altında mukavemet kazandırması ile bugünkü gazbeton ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaları sonucunda Eriksson 1923 yılında ilk gözenekli hafif beton patenti almıştır. Bu keşiften sonra hızla yaygınlaşan gazbeton bugün tüm dünyada kullanılan bir yapı malzemesi durumuna gelmiştir. Ülkemizde ise ilk olarak 1950'lerde bir otel inşaatında kullanılan gazbeton 1960'larda İstanbul'da kurulan bir fabrikada üretilmeye başlanmıştır.

Gazbetonun temel özelliği gözenekli yapısıdır. Hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturan bu gözenekli yapı gazbetonun hafifliğini sağlamakla birlikte gözeneklerde bulunan ve ısı iletim katsayısı çok düşük olan hava yardımıyla da iyi bir yalıtım

özelliği sağlamaktadır. Hafif olması yapıda oluşan deprem yüklerini azaltması açısından oldukça önemli bir yapı elemanıdır. Gazbeton, yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanı olarak farklı noktalarda, kullanım alanına uygun olarak geliştirilmiş ürün çeşitleriyle yer almaktadır.

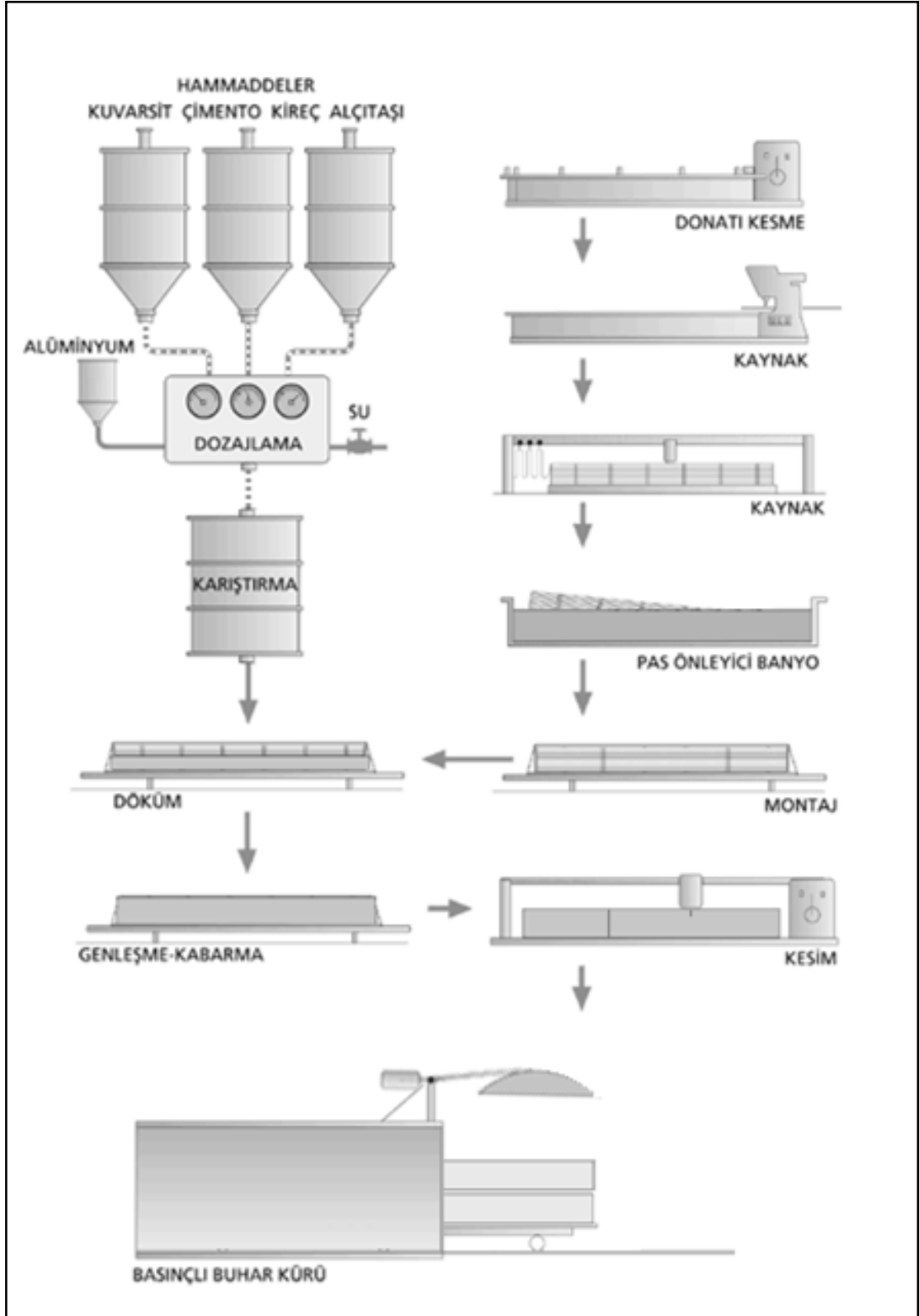
Bu tez çalışması kapsamında, duvar elemanı olarak kullanılan ve taşıyıcı olmayan G2/04 sınıfı gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem içeriği ve sıcaklığa bağlı değişimi deneysel olarak incelenecektir. Ayrıca G2/04 sınıfı gazbeton ile kullanılabilen ısı yalıtım sıvalarının da ısı iletkenliklerinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimleri deneysel olarak incelenecektir.

2.1.1. Gazbeton Üretimi

Gazbeton hammadde olarak kuvarsit, çimento ve kireçten oluşmaktadır. İnce toz kıvamında hazırlanan bu hammaddelere su ve gözenek oluşturucu alüminyum ilave edilerek gazbeton harcı hazırlanır. Daha sonra hazırlanan bu karışım kalıp arabalarına dökülür. Donatılı yapı elemanı üretimi yapılacak ise döküm işlemi öncesinde, yapı elemanları için korozyona karşı korunmuş, çelik hasır donatılar kalıba yerleştirilir. Bu sırada kalıp arabalarına dökülen karışım harcı içerisinde bulunan kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan enerji yardımıyla alüminyum tozu da reaksiyona girer ve reaksiyon sonucu hidrojen açığa çıkar. Bu hidrojenin oluşturduğu gaz kabarcıkları sonucu karışım kabarmaya başlar ve gazbetonun asıl özelliği olan gözenek yapısı oluşur. Kalıp arabaları döküm işleminin ardından sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulan bekleme tüneline sertleşmeye

bırakılır. 3-4 saatlik süre sonunda kesim sertliğine ulaşan gazbeton, kesim tezgahlarına alınır ve burada istenilen boyutlarda milimetrik olarak kesilir.

Bu işlemler sonucunda gazbetonun gözenekli yapısı tam olarak oluşmuş ve kullanım ölçülerinde kesilmiştir ancak mukavemet açısından henüz istenilen özelliklere sahip değildir. Mekanik özelliklerin kazandırılması amacıyla, kesim işlemi tamamlanan gazbeton otoklavlara alınarak basınçlı buhar altında şartlandırmaya tabi tutulur ve bu şartlandırma işlemi sonucunda gazbeton istenilen basınç dayanımına ulaşır. Otoklavlardaki buhar küründen çıkan ürünler, kalite kontrol işleminden sonra kullanıma sunulur. Gazbetonun üretim süreci şematik olarak Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Gazbetonun malzemesini üretim süreci⁽¹⁹⁾

2.1.2. Gazbetonun Sınıflandırılması

Gazbeton TSE 453'e göre, yapıda taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan yapı elemanı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bununla birlikte, sınıflandırma yapılırken basınç dayanımına göre; G2 (2,5 N/mm²), G3 (3,5 N/mm²), G4 (5,0 N/mm²) ve G6 (7,5 N/mm²) olmak üzere dört sınıfa, kuru yoğunluklarına göre ise; 400 kg/m³, 500 kg/m³, 600 kg/m³, 700 kg/m³ ve 800 kg/m³ olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar. Gazbeton yapı elemanları yapıda kullanım yerleri açısından incelendiğinde ise, kapı ve pencere lentoları, döşeme plâkları, çatı plâkları, düşey duvar elemanları ve yatay duvar elemanları ve bölme panoları olmak üzere dört tipe ayrılır.⁽¹⁸⁾

2.1.3. Gazbetonun Özellikleri

Yoğunluğu: Gazbeton boşluklu yapısı sayesinde yoğunluğu 300 – 800 kg/m³ arasında değişirken boşluksuz yoğunluğu yaklaşık olarak 2600 kg/m³ 'dir.

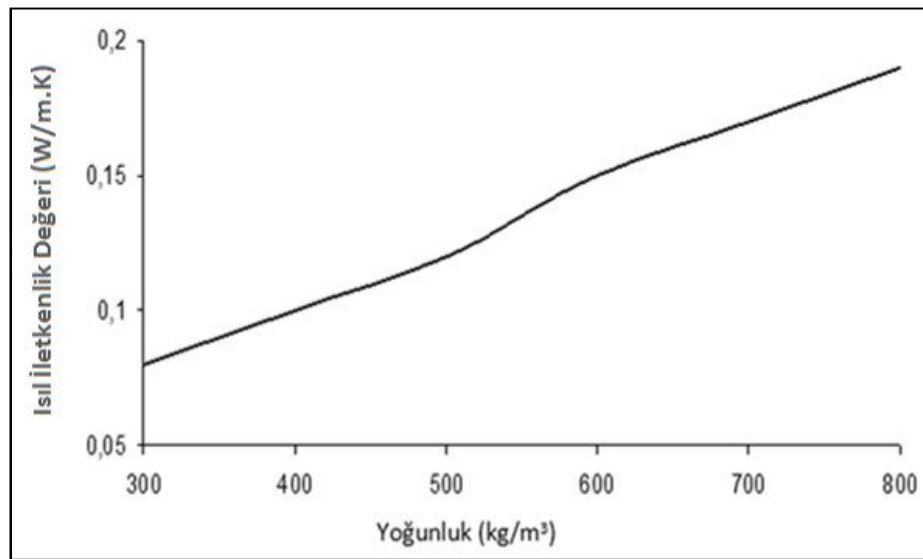
Isıl Genleşme: Gazbetonun ısıl genleşme katsayısı, 20°C ile 100°C arasında 0.008 mm/m°C civarındadır.⁽²⁰⁾

Erime Noktası: Gazbeton yanmayan bir yapı malzemesi olup 1000°C civarında sinterleşmeye, 1100–1200°C civarında da erimeye başlar.⁽²⁰⁾

Rötre: Bir yapı elemanının boyutlarında zamanla kısılma olması rötre olarak tanımlanır. TSE 453' göre gazbetonun rötre değerleri 0,5 mm/m'den fazla olmamalıdır. Gazbetonun rötre değeri TS EN 680'e uygun olarak tespit edilir.

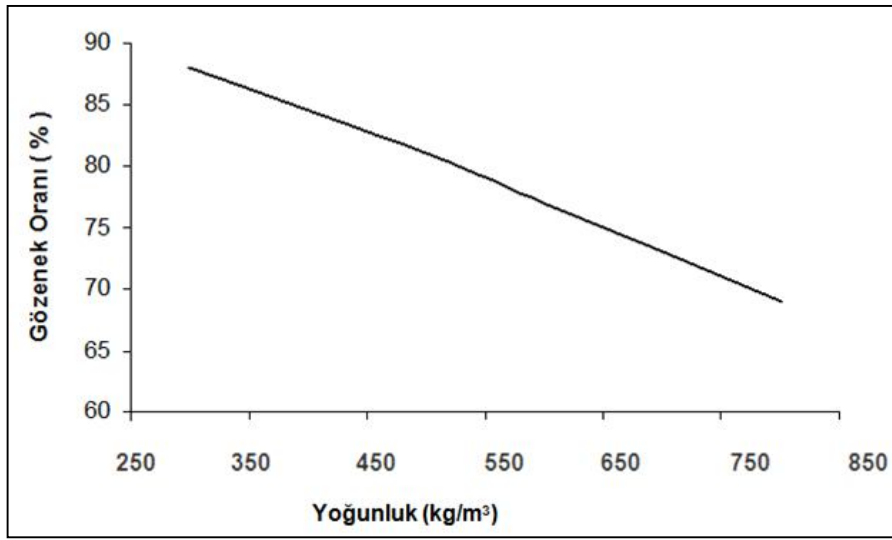
Isıl İletkenlik Değeri: Gazbetonun en önemli ve üstün özelliklerinden biriside düşük ısıl iletkenlik özelliğidir. Gazbeton gözenekli bir yapı malzemesi olup içerisindeki

makro ve mikro düzeydeki gözeneklerin tüm yapı içerisindeki oranı %60 – 85 arasında değişmektedir. Bu yüksek gözenek oranı gazbetonun ısı iletkenliğinin düşük olmasını sağlar. Malzeme bünyesinde bulunan bu gözeneklerin hava ile dolması durumunda (kuru hal için), havanın ısı iletkenliğini 0,026 W/m.K düzeylerinde olduğu için otomatik olarak yüksek gözenek oranından dolayı malzemenin ısı iletkenlik değeri düşmektedir. Ancak bu gözeneklerin fazlalığı aynı zamanda nemli ortamlarda gözeneklerdeki havanın su yada su buharı ile yer değiştirmesine neden olur bu da havaya göre ısı iletkenliği yaklaşık 20 kat büyük olan suyun miktarına bağlı olarak malzemenin ısı iletkenliğini artırır. Dolayısıyla gazbeton yoğunluğuna bağlı olarak en düşük ısı iletkenlik değerine kuru halde ulaşırken nem içeriğinin artmasıyla birlikte ısı iletkenliği de artmaya başlar. Nemsiz durumdaki gazbetonun ısı iletkenlik - yoğunluk ilişkisi Şekil 2.2’de görülmektedir. Gazbetonun ısı iletkenliğinin malzeme içerisinde bulunan nem miktarına bağlı olarak değişimi bu doktora tezinin ana fikrini oluşturmakta olup ilerleyen bölümlerde daha geniş olarak işlenecektir.



Şekil 2.2. Gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi

Gözeneklilik: Gözeneklilik diğer bir deyişle porozite, malzemenin birim hacmindeki boşluk oranının ifadesidir. Gazbeton malzemesinin gözenek oranı üretim sınıfına bağlı olarak %70–88 arasında değişmektedir. Gazbetonun gözenek miktarının artmasıyla birlikte ısı iletkenliği ve kuru yoğunluğu istenilen bir şekilde azalır ancak buna paralel olarak mekanik dayanımı da azalmaktadır. Gazbetonun yoğunluk–gözeneklilik ilişkisi Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Gazbeton gözenek miktarının yoğunluğa bağlı değişimi

Buhar geçirgenliği: Yapı malzemeleri için önemli olan bir diğer özellik de buhar geçirgenliğidir, çünkü yapının rahatlıkla nefes almasını, iç konforu, malzemenin buhar geçirgenlik özelliği sağlar. Gazbeton gözenekli bir yapı elemanı olması nedeniyle iyi ve düşük bir buhar geçirgenlik direnci göstermekte olup, yoğunluğuna bağlı olarak buhar geçirgenliği direnç faktörü $\mu=5-7$ arasında değişmektedir. Ancak bu özellik, gazbetonun negatif sıcaklığın hakim olduğu bölgelerde kullanımı

durumunda malzemede oluşabilecek donma çözülme sonucu malzemeye ciddi zararlar verebilmektedir.

Su emme-kuruma: Yapay taş malzemelerin su emmesinin başlıca nedenleri (üretim hataları dikkate alınmazsa), üretim suyunun açığa çıkan kısmının bünyeden atılırken oluşturduğu kılcal yapıdır. Üretim sırasında karışıma verilen suyun pek az miktarı kimyasal bağlantı ile bünyede kalmakta, serbest kalan diğer kısım buharlaşma yolu ile bünyeden atılmaktadır. Atılan su miktarı gazbetonda %50 civarında olmaktadır. Bu arada bir diğer önemli nokta da, bu suyun bünyeden atılış hızıdır. Kuruma ne kadar hızlı olursa, bünyede oluşan kılcal yapı da o kadar gelişmiş olacaktır. Gazbeton üretiminde açığa çıkan suyun az olması, üretim sırasında kurutma ve pişirme işlemi olmayıp tersine yoğun su buharında kimyasal sertleştirme işlemi olmasından ileri gelmektedir. Bunun sonucunda zayıf bir kılcal yapı oluşmakta ve suyun hareketi gözenekler dolayısıyla engellenmektedir.

Suya doymuş duruma gelen yapı malzemesinin içerdiği nem miktarı, o malzemenin su kapasitesini belirlemektedir. Yapı malzemelerinde su miktarı toplam boşluk miktarına yaklaştığı oranda, malzeme donmaya karşı hassas duruma gelmekte, ayrıca nemin etkisi ile ısı yalıtım özelliğini kaybetmektedir. Gazbeton malzemesinin, suya doymuş durumdayken dahi, bünyesindeki boşlukların yaklaşık %60'ının kuru kaldığı belirtilmektedir.⁽²¹⁾

Basınç Dayanımı: Gazbetonun basınç dayanımı için gerekli bilgi TSE 453' "Önyapımlı (prefabriğe), Donatılı yapı elemanları" standardın da verilmiştir. Buna göre gazbetonun basınç dayanımı, TS EN 680 – Gazbeton Basınç Dayanım Tayini standardına uygun olarak tespit edilir. Deney sonucunda elde edilecek değerlerin yine TSE 453'de belirtilen ve Çizelge 2.1'de verilen değerlere uygun olması gerekir.

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi gazbetonun basınç dayanımı kuru yoğunluğun artmasıyla birlikte artmaktadır. Ayrıca malzeme bünyesinde ki nem basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

Çizelge 2.1. Gazbeton malzemelerinin basınç dayanımları ve kuru yoğunlukları⁽¹⁸⁾

Sınıfı	Ortalama En Küçük Basınç Dayanım değeri N/mm ²	En küçük basınç dayanımı değeri N/mm ²	Kuru Yoğunluk kg/m ³	Ortalama Kuru Yoğunluk kg/m ³	Sınıf İşareti
G2	2,5	2,0	400	310 – 400	G2 / 0,4
			500	410 – 500	G2 / 0,5
G3	3,5	3,0	500	410 – 500	G3 / 0,5
			600	510 – 600	G3 / 0,6
G4	5,0	4,0	600	510 – 600	G4 / 0,6
			700	610 – 700	G4 / 0,7
G6	7,5	6,0	700	610 – 700	G6 / 0,7
			800	710 – 800	G6 / 0,8

Elastisite Modülü: Gazbetonun elastisite modülü, malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olup yoğunluk arttıkça elastisite modülü de artmaktadır. Gazbetonun elastisite modülü TS EN 1352 - “Gazbeton ve hafif agregalı gözenekli beton – basınç altındaki statik elastisite modülünün tayini”⁽³²⁾ standardına uygun olarak belirlenir. G2/0,4 sınıfı bir gazbetonun elastisite modülü yaklaşık olarak 27500 N/mm² iken G6/0,8 sınıfı gazbetonda bu değer 42000 N/mm² değerine kadar çıkmaktadır.

2.2. Sıvalar

Sıva, yapının duvar, tavan ve taşıyıcı elemanlarına uygulanarak yapı elemanını dış etkenlerden koruyan, bir bağlayıcı madde, ince agrega ve sudan oluşan bir kaplama malzemesidir. Sıva, kaplanacak yapı elemanına plastik kıvamda iken mala veya sıva makineleriyle uygulanan ve daha sonra kaplandığı yapı elemanı üzerinde kuruyarak katılaştıran bir malzemedir.

Sıvaların, yapıyı güzelleştirmenin ötesinde birçok önemli görevi vardır. Sıva, duvarların iç ve dış yüzeylerini, kaba yapının bütün derzlerini ve pürüzlerini örter. Sıva sayesinde duvar ve tavanlardaki düzgün olmayan yerler düzeltilir, içte duvar kağıdı ve boya için pürüzsüz alanlar oluşturulur. Fakat daha da önemlisi, sıvanın yapının nem miktarı ve ısı korunumu konusundaki ayarlayıcı etkisidir. Bundan başka sıva, ses yalıtımında ve genellikle yapının yangına karşı korunmasında vazgeçilmez bir etkidir.⁽¹¹⁾

2.2.1. Sıvaların Sınıflandırılması

Sıvaları üretim yöntemine, kimyasal bağlayıcısına, uygulandığı duvar türüne ve duvarın uygulanma yerine göre dört farklı gruba ayırabiliriz.

a) Üretim Şekline Göre Sıvalar: Üretim şekillerine göre sıvalar geleneksel sıvalar ve hazır sıvalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Geleneksel sıvaların en önemli özelliği, sıva karışımının sıvanın uygulanacağı zaman hazırlanmasıdır. Bu tür sıvalarda bağlayıcı madde olarak çimento, kireç ve alçı kullanılır. Agrega olarak ise genellikle kum kullanılır. Hazır sıva ise, karışımı bir üretim merkezinde kuru karışım olarak hazırlanan ve kullanım sırasında su ile karıştırılarak geleneksel olarak elle ya

da makine ile püskürtülerek uygulanabilen bir sıva türüdür. Hazır sıvalar, yapı üretiminde standart uygulama ve seri üretim açısından oldukça kolaylık sağlamaktadırlar. Yüzeyle direkt olarak uygulanabilen hazır sıvalar doku ve renk alternatifini sayesinde iç yüzeylerde de kullanılmaktadır.⁽¹²⁾

b) Uygulandıkları duvar yüzeyine göre sıvalar: Sıvalar farklı kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip beton, tuğla, gazbeton ve yalıtım malzemesi gibi farklı yüzeylere uygulanırlar. Bu, farklı kullanım yüzeylerine ve yüzey özelliklerine bağlı olarak sıvalar farklı özellikler gösterebilmektedirler.

c) Bağlayıcı özelliklerine göre sıvalar: Bağlayıcı özelliklerine göre sıvalar mineral ve sentetik bağlayıcı sıvalar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Mineral bağlayıcı sıvalar, bağlayıcı maddesi olarak çimento, kireç ve alçı gibi inorganik bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan sıvalara verilen genel isimdir. Mineral bağlayıcı sıvalarda bağlayıcı olarak kullanılan bu maddeler ayrı ayrı kullanılabilen gibi birkaçının karışımı şeklinde de kullanılabilirler. Sentetik bağlayıcı sıvalar ise bağlayıcı olarak çeşitli sentetik maddelerin kullanıldığı sıvalardır. Sentetik esaslı sıvalar genellikle mineral esaslı yüzeylerin kaplanmasında kullanılırlar. Sentetik esaslı sıvalar mineral esaslı sıvalara göre daha çabuk priz alırlar ve daha elastiktirler. Aynı zamanda sentetik esaslı sıvaların, bağlayıcıların içyapı özelliğine göre su geçirimsizlikleri ve buhar difüzyon direnç faktörleri daha fazladır.⁽²²⁾

d) Kullanıldıkları yere göre sıvalar: Sıvalar kullanıldıkları yere göre de iç sıva ve dış sıva olarak isimlendirilmektedirler. İç sıva, duvarların çevreledikleri mekânların iç yüzeylerine uygulanan ve koruyuculuk amacı yanında daha düzgün, duvar gövdesini gizleyen, toz ve kir tutmayan, kolay temizlenebilen dekoratif bir yüzey elde etmek ya da kendisinden daha estetik bir bitirme malzemesine uygun zemin

hazırlamak amacıyla yapılan sıvalardır. Dış sıva ise duvarların dış yüzeylerine uygulanan sıvalar ise dış sıvalardır. Atmosfer etkilerine yoğunlukla maruz kalan duvar elemanlarının dolayısıyla tüm yapının korunması ve yapının karakterine uygun görünüm sağlaması amacıyla dış duvarların dış yüzeylerine yapılan sıvalardır.⁽²³⁾

2.2.2. Sıvaların Görevleri ve Özellikleri

Kullanım alanına bağlı olarak sıvanın sağlaması gereken bazı şartlar vardır. Bunlardan önemli olanları ve görevleri aşağıda açıklanmıştır.

Sıvanın dayanıklılığı: Sıvanın dayanıklılığı öncelikle sıva harcı karışımının, tabakaların yapılarının ve tekniklerinin doğruluğuna bağlıdır. Bunlardan başka dayanıklılık, sıva yüzeyinin söz konusu sıva türüne uygun olup olmadığına, sıvanın ustaca uygulanıp uygulanmamasına ve sonraki işlemlere bağlıdır. Sıvanın kullanımına göre dayanıklılık, başka şartları da yerine getirmek zorunda kalabilir. Örneğin sıvaların hava şartlarına ve darbelere dayanıklı olması istenir. Genel olarak bir sıvadan beklenen özellikler; sıva yapılacak yüzeye ve tabakalar arasında iyi bir tutunma, sıva yüzeyi ve tabaka arasında boşlukların olmaması, her bir sıva tabakası içinde doku ve tabaka kalınlıklarının farklılık göstermemesi, yeterli sertlik, özellikle aşınmaya ve dökülmeye karşı dayanıklılık, homojen ve lekesiz bir görünüm ve dış etkilere karşı dayanıklılıktır.⁽¹¹⁾

Hava şartlarına karşı dayanıklılık: Dış sıvalarda dayanıklılık özelliğine eklenmesi gereken bir özelliktir. Dış sıva sadece belli aralıklarla gelen yağmur ve güneş etkilerine karşı dayanıklı olmaktan başka, don ve kırağıya karşı da sağlam olmalıdır. Yani sıva nemli durumda olduğu gibi dona karşı da dayanıklı olmalıdır. Bundan

başka, belli durumlarda kırılmadan veya patlamadan hareket etme olanağı sağlayan bir ısı genleşme değeri olmalıdır. Ayrıca boyası ışıktan ve hava şartlarından etkilenmemelidir ve bağlayıcılarla çözülmeyen veya rengini kaybetmeyen boyalar kullanılmalıdır. Örneğin, kireçli sıvalarda kireç boyası, çimentolu sıvalarda ise çimento boyası renklendirilmiş yüksek nitelikli sıvalar son derece uygundur.⁽¹¹⁾

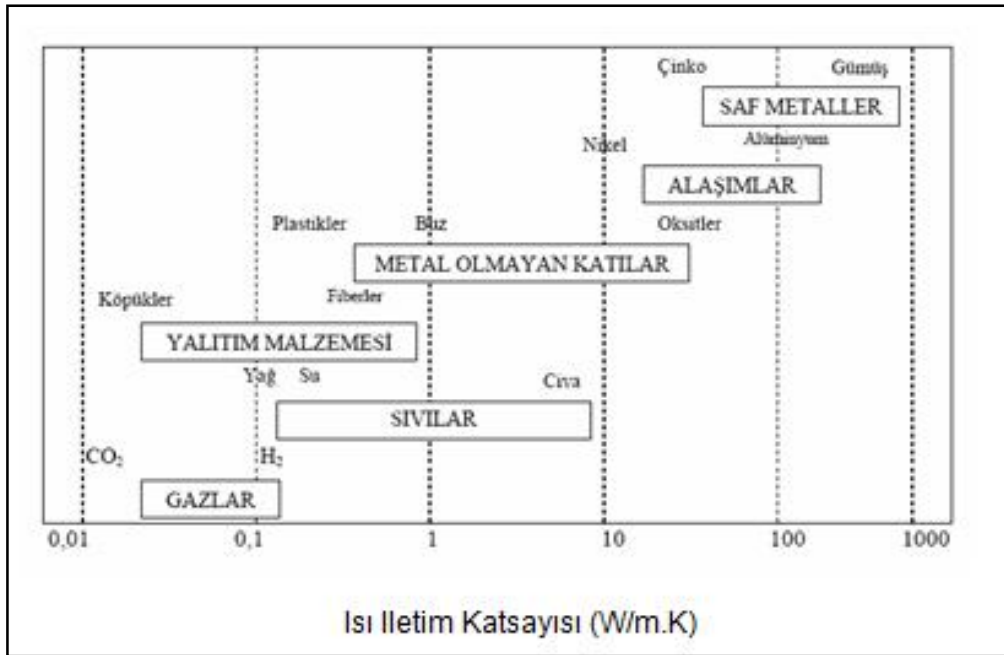
Isıl iletkenlik değerleri: Sıvaların ısı iletkenlik değerleri, sıva harcının cinsine ve sıvanın nemine göre, dış sıvalarda 0,81 ile 1,51 W/m.K arasında, iç sıvalarda ise 0,46 ile 1,05 W/m.K arasında değişir. Dış sıva kalınlığı azami 20 mm, iç sıva kalınlığı da genellikle 15 mm olduğu için, pratikte sıvanın ısı yalıtımında diğer faktörlere göre daha az rolü vardır. Buna karşı, en başta duvarın teneffüsünü, yani dış ortamdan nem girişinin engellenmesi ve dışa doğru hareketini sağladığı için, ısı yalıtımını yinede etkiler.⁽¹¹⁾

Sıva, yapı elemanlarının ses yalıtımında da etkilidir. Gözenekli yapı bloklarından örülmüş duvarlarda, ancak sıva verimli bir ses yalıtımı sağlar. Çimento ve kireçli çimento sıvalar (örneğin dış duvarlardaki yüksek vasıflı sıvalar) ses yalıtıcı etki açısından, alçı sıvalardan genellikle üstündür. Gözenekli levhalardan yapılmış basit duvarlarda, sıvanın ses yalıtımı çok daha etkindir.

Sıvanın bütün yapı elemanları için DIN 4102 ye göre yangından koruyucu etkisi vardır. Böylece ahşap yünü levhalar sadece sıva ile örtüldükleri zaman yangından koruyucu etki yaparlar. Betonarme tavanlarda, tavan sıvasının büyük önemi vardır. Asgari 15 mm kireçli çimento sıvayla kaplanmış betonarme tavanlar, sıvasız tavanlara göre, üç kat daha uzun süre ateşe dayanıklılık gösterirler.⁽¹¹⁾

2.3. Isıl İletkenlik Değeri

Isıl iletkenlik değeri malzemenin fiziksel bir özelliği olup, birim uzunluğundaki bir maddenin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması durumunda birim yüzey alanından geçen ısı miktarı olarak tanımlanır. Bütün maddelerin ısıl iletkenlik değerleri farklı olup en düşük ısıl iletkenlik değerleri gazlarda, en büyük değerler ise saf metallerde görülmektedir. Maddenin değişik halleri için ısıl iletkenlik değerleri Şekil 2.4'de görülmektedir. Malzemelerin ısıl iletkenliği, malzemenin yapısına, sıcaklığına ve nem miktarına bağlı olarak değişebilmektedir.

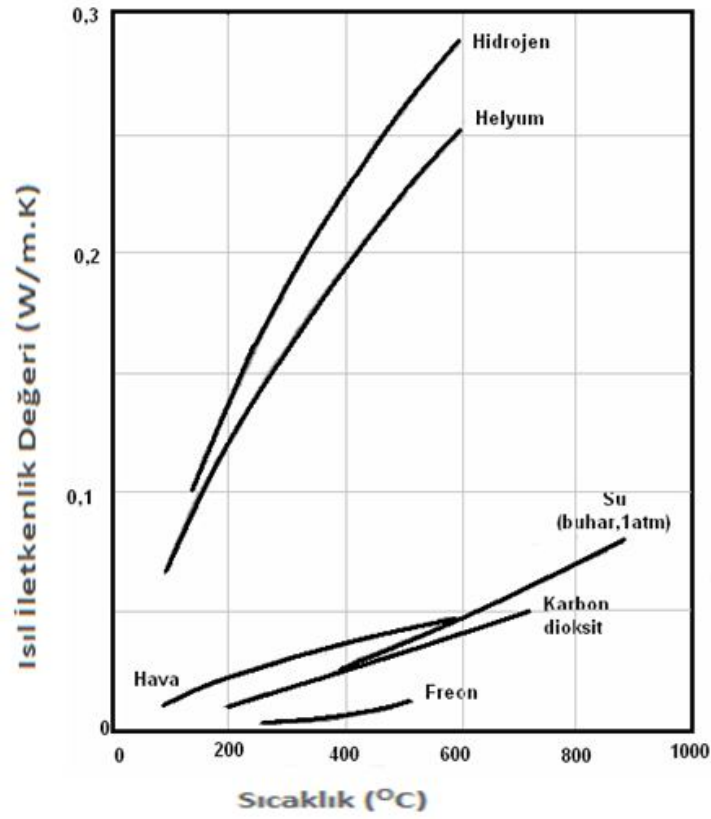


Şekil 2.4. Normal sıcaklık ve basınç şartlarında maddenin değişik halleri için ısıl iletkenlik değerleri⁽²⁴⁾

Katı maddelere göre akışkan maddelerin molekülleri arasındaki mesafe daha büyük ve moleküllerin hareketleri daha rastgele olduğundan ısıl enerji geçişi daha

azdır. Bu nedenle, gazların ve sıvıların ısı iletkenlik değerleri genellikle katılarınkinden daha kucktr.

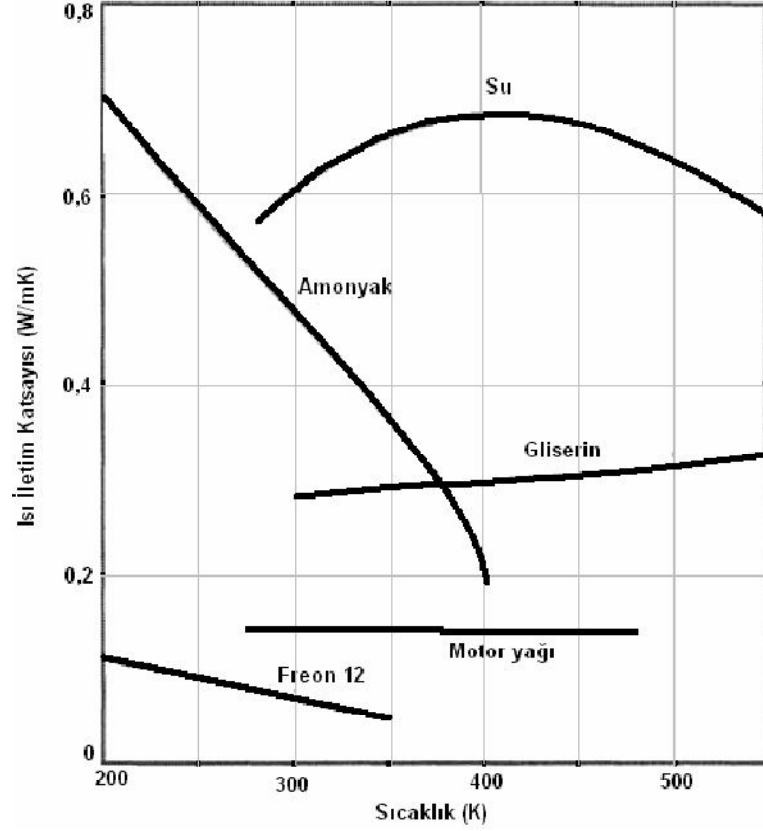
Gazlarda ısı iletkenlik değeri sıcaklık artışı ve moleküler ağırlılığın azalması ile artmaktadır. Bununla beraber ısı iletkenlik değeri basınçtan bağımsızdır. Fakat çok yüksek (2000 at'den fazla) ve çok alçak (20 mmHg'den az) basınçlar istisna teğkil eder. Bazı gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 2.5'de grlmektedir.⁽²⁴⁾



Şekil 2.5. Bazı gazların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi⁽²⁴⁾

Sıvılarda ısı iletim mekanizması gazlarınkine benzer. Yalnız moleküller daha sıkı temas halinde olduklarından ve moleküler kuvvetler elastik çarpma ile enerji

transferi üzerinde kuvvetli tesir ettiklerinden durum daha karışıktır.⁽¹²⁾ Bazı sıvıların ısı iletkenlik değeri sıcaklıkla değışimi Şekil 2.6’de görölmektedir. Su, gliserin ve glikol istisna durum olmakla birlikte genellikle sıvıların ısı iletkenlik değeri sıcaklıkla azalır.

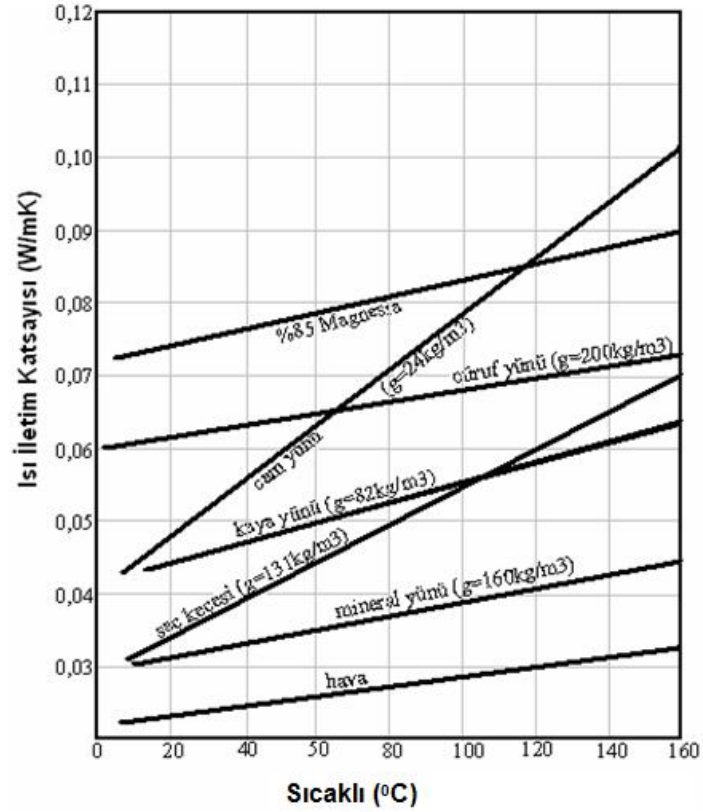


Şekil 2.6. Bazı sıvıların ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değışimi⁽²⁴⁾

Yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik çok düşük değerlerdedir. Örneğin fırın ve kazan yanma odalarında kullanılan yansıtıcı yapı malzemeleri ile ısı yalıtkan malzemelerin ısı iletkenlik değeri yaklaşık 0,02 ile 2,5 W/m.K arasında değışir ve Şekil 2.7’de göröldüğü gibi sıcaklıkla artar.

Genellikle yoğunluk arttığı zaman ısı iletkenlik değeri artar. Bu artış maddenin iç yapısına, madde içerisinde bulunan gözeneklere ve nem derecesine de

bağlıdır. Nemli bir malzemenin ısı iletkenlik değeri, kuru malzemenin ve suyun ayrı ayrı ısı iletim katsayılarından fazla olabilir. Isıl iletkenlik değeri 0,2 W/m.K'den daha küçük malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak nitelendirilir.⁽²⁴⁾



Şekil 2.7. Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değışimi.⁽²⁴⁾

2.3.1. Isıl İletkenlik Değeri Belirlenmesi

Malzemelerin ısı iletkenlik değeri belirlenmekte kullanılan yöntemleri analitik hesaplama, sayısal hesaplama ve deneysel hesaplama şeklinde ana başlıklara ayırabiliriz. Her bir yöntem kendi içerisinde de ısı iletkenlik değeri belirlenecek maddenin fazına, yapısına, türüne, ısı özelliklerine göre farklı metotlar içermektedir. Bu yöntemler ve ayrıntıları kısaca aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1.1. Isıl İletkenlik Değerinin Teorik Olarak Belirlenmesi

Efektif ısı iletkenliği ölçmek için tam, yaklaşık ve sadece sayısal olan çeşitli metotlar, farklı sistemler için farklı araştırmacılar tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yeni teorik modellerin, günümüz ihtiyaçları ve yeni teknolojik gelişmeler yüzünden ortaya çıkan yeni sistemleri desteklemesine halen ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilen teorik modeller, aşağıdaki yaklaşımlardan yola çıkılarak sınıflandırılabilir:

a) Alan yaklaşımı: Manyetik geçirgenlik, yalıtkan sabiti, elektrik iletimi ve ısı iletkenlik Laplace denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu özellikler için Laplace denkleminin çözümleri matematiksel olarak tanımlıdır. Bu yüzden, sistemin mikro yapısı ile ilişki ortaya çıkaran bir konfigürasyon varsayılır ve ısının lineer akışına yapısal elemanlar yüzünden ortaya çıkan bozukluklar tanımlanır. Direnç yaklaşım modellerinin elde edilmesinde, akış çizgilerinin düz olduğu farz edilirdi. Aslında, akış çizgileri, yayılmış taneciklerin etrafında yoğunlaşmış veya arıtılmış bölgeleri oluşturur. Seyrelme veya yoğunlaşma derecesi bileşen kesimlerinin ısı iletkenliğinin oranına bağlıdır. Kesimlerin iletkenliğini bilerek, molekülün içinden veya dışından ilgili akış yoğunluğunu çıkarmak mümkündür. Bu bilgi ile birlikte, karışımın efektif ısı iletkenliği hesaplanabilir.

b) Direnç yaklaşımı: Bu yaklaşımda aralıksız ve yayılmış kesimler, ısı akışına karşı bir ısı direnç olarak davranan (Ohm kanununa uyum sağlayan dirençler gibi) paralel plakalar gibi düzenlenmiştir ve akış çizgileri, düz bir çizgiyi izlemiştir. Farklı modellerde farklı plaka konfigürasyonları uygulanabilmektedir.

c) Ortalama faz yaklaşımı. Bu yaklaşımda, efektif ısı iletkenliği, bileşen fazlarının karışımının ortalama özelliği olarak elde edilir. Her bir fazda sıcaklık taneciğinin ortalama miktarı alınır ve bu ilerideki ortalama sıcaklıkla ilgilidir.

Aşağıda, gözenekli malzemelerin efektif ısı iletkenliğinin hesabı için geliştirilmiş popüler modellerden bazıları verilmiştir. ⁽²⁵⁾

Paralel Model: Bu konfigürasyonda, eşdeğer plakaların yüzeyi ısı akış yönüne paraleldir. Paralel konfigürasyon için efektif ısı iletkenlik, katı ve sıvı kesimlerin iletkenliklerinin aritmetik ortalaması olarak açıklanabilir ve şu şekilde yazılır,

$$k_e = [\phi k_f + (1 - \phi)k_m] \quad (2.1)$$

Paralel konfigürasyon, efektif ısı iletkenliğinin maksimum değeri ile sonuçlanan minimum yalıtım ortaya koyar. ⁽²⁵⁾

Seri Model: Isı akışının yönü plaka yüzeyine dikey olduğunda, maksimum yalıtım ortaya çıkar ve efektif ısı iletkenlik değeri minimum olur. Bu modelde, oluşan kesimler ısı akış yönü olarak seriler halindedir. Bu durumdaki efektif ısı iletkenlik, oluşan kesimlerin iletkenliklerinin uyumluluk ortalaması ile verilir ve

$$k_e = \left[\frac{\phi}{k_f} + \frac{(1 - \phi)}{k_s} \right]^{-1} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Maxwel, potansiyel teoriyi kullanarak, homojen bir ortamdaki rastgele dağılımlı ve birbirleriyle etkileşimsiz homojen kürelerden oluşan bir karma malzemenin ısı iletkenlik değerini hesaplamak için aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

$$k_e = k_c \frac{[2 \cdot k_c + k_d - \phi_d(k_c - k_d)]}{[2 \cdot k_c + k_d + \phi_d(k_c - k_d)]} \quad (2.3)$$

Burada k_c sürekli fazın ısı iletkenliğini, k_d süreksiz fazın ısı iletkenliğini ve ϕ_d süreksiz fazın hacim oranını göstermektedir. ⁽²⁶⁾

Fricke ve Burgers elips şeklindeki parçalar için Maxwell modelini yeniden düzenlemiştir. Fricke ve Burgers tarafından elde edilen ifade,

$$k_e = \frac{k_c \cdot \phi_c + k_d(1 - \phi_c) \cdot F}{\phi_c + (1 - \phi_c) \cdot F} \quad (2.4)$$

şeklinde olup burada,

$$F = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 [1 + \left\{ \left(\frac{k_d}{k_c} \right) - 1 \right\} g_i]^{-1}$$

ve $\sum_{i=1}^3 g_i = 1$ dir. Parçacıkların birbirlerinden etkilenmediğini kabul etmişlerdir ve (F) iki fazdaki ortalama sıcaklık değişiminin oranı ve g_i elipsin yarı asal eksenidir.⁽³³⁾

Rayleigh, parçacıkların küresel olduğunu ve kübik bir düzende sıralandıklarını kabul etmiştir. Rayleigh tarafından belirtilen efektif ısı iletkenlik ifadesi

$$k_e = \frac{k_c \left[1 - 2\phi m - 1,65(\phi)^{\frac{10}{3}} A s \right]}{\left[1 + \phi m - 1,65(\phi)^{\frac{10}{3}} A s \right]} \quad (2.5)$$

şeklinde olup burada,

$$m = \frac{(k_c - k_d)}{(2k_c + k_d)}$$

ve

$$A = \frac{(3k_c - 3k_d)}{(4k_c + 3k_d)}$$

Rayleigh'in modeli o kadar sabit ve yapaydır ki pratik durumlarda karışımların k_e değerini belirlemez.

Lichtenecker, “karışımın logaritmik kanunu” adındaki iki fazlı sistemin davranış şeklini açıklamak için deneysel bir ilişki vermiştir. Efektif ısıl iletkenlik için ifadeyi,

$$\log(k_e) = \phi_f \log(k_f) + \phi_s \log(k_s) \quad (2.6)$$

şeklinde belirtmiştir. Burada iletkenlikler ve hacim oranları s ve f simgeleriyle belirtilmiştir. Karışımın k_e değeri, sistemlerin farklı şekillerde yayılmış tipi için daha üst ve daha alt sınırlamaları arasında bulunmalıdır. Bu denklemin ayrıca,

$$k_e = (k_f)^\phi \cdot (k_s)^\phi \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabileceğini belirtmiştir. Bu denklem sadece üçüncü yöndeki yönlendirilmiş ve iki yönlü rastgeleleştirmeye sahip parçacıklar için yapmıştır. Üç yönlü rastgeleleştirmeye sahip parçacıklar için, Bruggeman Lichtenecker’in bağıntısını

$$k_e = k_f^{\phi(1+m\phi)} k_s^{\phi(1+m\phi)} \quad (2.8)$$

olarak geliştirmiştir. Burada

$$m = \frac{3}{2} \left(\frac{k_s - k_f}{(2k_s + k_f)(k_s + k_f)} \right) \text{ 'dir.}$$

(2.6) ifadesinin (n) sayıdaki faza göre genişletilebileceğini ve

$$\log k_e = \sum_{i=1}^n \phi_i \log(k_i) \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabileceğini belirtmiştir.

Gözenekli malzemeler için, Ribaud gözeneklerin kübik halde birleştirildiğini kabul ederek bir denklem hedeflemiş ve

$$k_e = k_s \phi_s^{\frac{2}{3}} + k_f \phi_f^{\frac{1}{3}} \quad (2.10)$$

eşitliğini elde etmiştir.

Woodside ve Messmer, direnç yaklaşımını kullanarak ısı iletiminin üç yöntemini hedeflemiştir. Metalden metale iletim, sıvıdan sıvıya iletim, sıvıdan metale iletim ve metalden sıvıya iletim olduğunu varsaymışlar ve efektif ısı iletkenlik ifadesini

$$k_e = \alpha \left[\frac{k_s k_f}{k_s(1-\gamma) + k_f \gamma} \right] + \beta k_s + \delta k_f \quad (2.11)$$

olarak belirlemişlerdir. Burada $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ve $\alpha \cdot \gamma + \beta = (1 - \Phi)$, λ , β , ve γ küp formasyonu için parametreler olduğunu ve δ 'yi ise F'nin karşıtı şeklinde ifade etmişlerdir.

Buradaki δ 'yi

$$\delta = \frac{1}{F} = \phi - 0,03$$

olarak tanımlamışlardır.

Chauldhary ve Bhandari ise iki fazlı sistem için seri ve paralel direnç kavramını göz önüne alarak Lichtnecker modelini geliştirmişlerdir. Seri ve paralel dirençlerin rastgele dağılımı, ısı akış yönündeki paralel dirençlerin yönlendirilmesi ihtimalini gösteren n deneysel faktörü ile göstermişler ve efektif ısı iletkenlik için elde edilen sonuç ifadeyi ise,

$$k_e = (k_{\parallel})^n (k_{\perp})^{1-n} \quad (2.12)$$

şeklinde vermişlerdir, burada

$$k_{\parallel} = [\phi k_f + (1 + \phi)k_s] \quad (2.13)$$

$$k_{\perp} = \left[\frac{\phi}{k_f} + \frac{(1 - \phi)}{k_s} \right] \quad (2.14)$$

$$n = \frac{h(1 - \log\phi)}{\log [\phi(1 - \phi) \left(\frac{k_s}{k_f} \right)]}$$

olup h deneysel sabitini ifade ettiğini belirtmişler ancak h için daha fazla bir açıklama vermemişlerdir.⁽²⁵⁾

Cheng ve Vachon, süreksiz fazın parabolik bir dağılıma sahip olduğunu varsayarak, süreksiz fazın hacim oranının bir fonksiyonu olarak parabolik dağılım sabitlerini belirlemişlerdir. $k_f > k_m$ olması durumunda efektif ısı iletkenlik değerini;

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{\sqrt{C(k_f - k_m)[k_m + B(k_f - k_m)]}}$$

$$\cdot \ln \frac{\sqrt{k_m + B(k_f - k_m)} + (B/2)\sqrt{C(k_f - k_m)}}{k_m + B(k_f - k_m) - (B/2)\sqrt{C(k_f - k_m)}} + \frac{1 - B}{k_m} \quad (2.15)$$

şeklinde vermişler ve $B = \sqrt{(3\phi/2)}$ ve $C = -4 \cdot \sqrt{(2/3\phi)}$ şeklinde tanımlanmışlardır.⁽²⁶⁾

Literatürde bu efektif ısı iletkenlik değeri modellerine ilave olarak verilebilecek daha bir çok model mevcuttur. Bu modellerin tamamı malzemeyi oluşturan fazların ayrı ayrı ısı iletkenliklerine, hacim oranlarına ve geometrik şekillerine göre değişmektedir. Her karma malzemenin yapısı bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olacağına dolaylı bir modelin tüm malzemeler için geçerli olabileceğini söylemek olanaksızdır. Ancak her bir teorik model, geliştirilmesi sırasında esas alınan malzemenin özelliklerine yakın özellik gösteren benzer malzemeler için gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir.

2.3.1.2. Isıl İletkenlik Değerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

Malzemelerin ısı iletkenlik değerinin deneysel olarak belirlenmesi için farklı deney metotları geliştirilmiştir. Bu deney metotları, sürekli rejimde ölçüm ve geçici rejimde ölçüm olmak üzere iki farklı metoda göre ölçüm yapmaktadır. Sürekli rejim ve geçici rejim metotlarına göre ölçüm yapan farklı yöntemler geliştirilmiş olup, ölçümü yapılacak malzemenin türüne, boyutuna, iç yapısına ve ölçüm sıcaklığı aralığına göre farklı yöntemler bulunmaktadır.

Literatürde sürekli rejim prensibine göre ölçüm deney metotları olarak; sıcak plaka metodu, silindir metodu, ısı akış metre metodu, mukayeseli metot, doğrudan ısıtma metodu ve boru metodu yer almaktadır. Bu deney metotları genel olarak metaller, plastikler, seramikler, yalıtım malzemeleri ve benzeri katı malzemelerin ısı iletkenliklerini ölçmek için geliştirilmiş metotlardır. Bununla birlikte, sıcak tel metodu ve laser flash metodu sıvı, katı ve gazların ısı iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan geçici rejim ölçüm metotlarıdır. Ayrıca bunlara ilave olarak, ışık etkisine maruz bırakılan bir malzemenin sıvı, katı ve gaz halinde, ısı iletkenliklerindeki değişikliğin ölçülmesi şeklinde tanımlanan fototermal ve fotoakustik metot da mevcuttur.

Yukarıda belirtildiği gibi ısı iletkenliğin ölçümü için farklı deney yöntemleri geliştirildiği görülmektedir. Bu yöntemlerin bazıları malzemelerin ısı iletkenlik değerinin ölçümünde ön plana çıkmış ve ölçümü yapılabilecek malzemeler için standartlar geliştirilmiştir. Aşağıda daha sık kullanılan ve standart hale getirilmiş deney yöntemlerinde bazıları kısaca açıklanmıştır.

2.3.1.2.1. Sürekli Rejim Metodu

Sürekli rejim metodunun temeli bir boyutlu fourier ısı iletimi denkleminde dayanmaktadır. Malzemenin olan ısı geçişinin sadece bir boyutta gerçekleştiği kabul edilerek, malzemenin ölçüme esas alınan karşılıklı iki yüzeyinde belirli bir sıcaklık farkı oluşturulup malzeme yüzeyinden geçen ısı akısının ve sıcaklıkların ölçülmesi neticesinde ısı iletkenlik değerinin belirlenmesi esasına dayanır.

$$k = \frac{q'' \cdot L}{T_2 - T_1} \text{ (W/(m.K))} \quad (2.16)$$

Burada;

q'' : Isı akısı (W/m^2)

T_2-T_1 : Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)

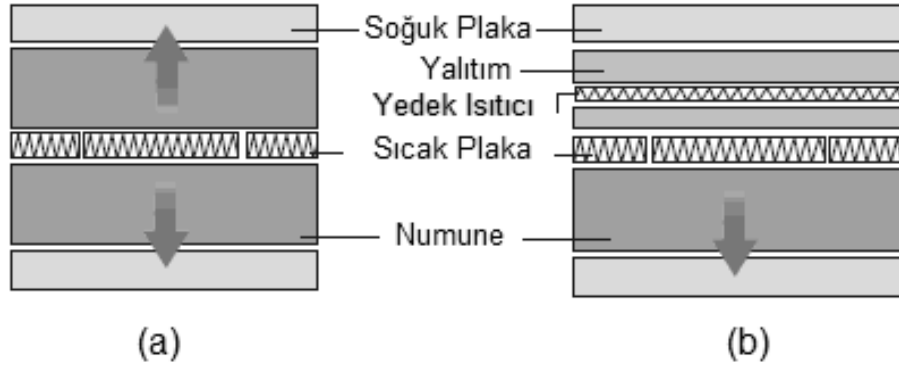
L: Sıcaklık farkı oluşturan yüzeyler arasındaki mesafe (m)'dir.

Sürekli rejim metodunda ısı akısı, ısı kaynağından verilen ısının numune kesit alanına oranından, sıcaklık farkı ise numunenin yüzeylerindeki sıcaklıkların ölçülmesi neticesinde belirlenir. Ölçümü yapılacak numunenin ölçüleri genellikle cihaz tasarımları esnasında standart hale getirilir. Numune boyutları diğer bir deyişle cihazların numune hazneleri, ölçümü yapılacak malzemenin yapısına ve ısı iletkenlik değerine bağlıdır.

Sürekli rejim metodu esasına göre ölçüm yapan deneylerden sıkça kullanılan ve önemli olanları; sıcak plaka, ısı akış metre ve sıcak kutu (hot box) metodudur. Bu deney yöntemlerinin kapsamı ve uygulamaları standartlarla ayrıntılı olarak açıklanmış olup kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir.

a) Sıcak Plaka Metodu: Bu metot, metal dışı cam, seramik, polimer, yapı elemanları ve yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerini bulmakta kullanılır. Numune geometrisi malzemenin homojenliğine ve ısı iletme kabiliyetine göre seçilir ve kalınlık birkaç milimetreden birkaç desimetreye kadar çıkabilir. Sıcaklık aralığı $-190^{\circ}\text{C} \pm 525^{\circ}\text{C}$ arasında değişir.⁽²⁷⁾

Bu metoda göre ölçüm yapan muhafazalı sıcak plaka cihazları tasarlanmış ve bu yöntem için standartlar oluşturulmuştur. Bu mahfazalı sıcak plâka cihazlarının amacı, düz ve paralel yüzeylere sahip tekdüze levha(lar) halindeki deney parçalarında, iki düz paralel izotermal yüzey arasındaki sonsuz bir levhada var olan tek yönlü tekdüze ısı akış hızı yoğunluğunu, kararlı hal şartlarında tayin etmektir. Sıcak plaka metoduna göre tasarlanan cihazlar, çift deney parçalı (ve bir merkezî ısıtma ünitesi) ve tek deney parçalı olmak üzere iki tipte imal edilmekte ve kullanılmaktadır. Çift deney parçalı cihazlarda (Şekil 2.8.a), ısıtma ünitesi olarak adlandırılan bir ısıtıcı ve metal yüzey plâkalarından oluşan bir merkezî yuvarlak veya kare şeklinde düz plâka hemen hemen aynı iki deney parçası arasında sandviç yapılıdır. Isı akışı deney parçalarının içinden soğutma ünitesi olarak adlandırılan yuvarlak veya kare şeklindeki, izotermal tertibata doğru gerçekleştirilir. Tek deney parçalı cihazlarda (Şekil 2.8.b) ise, ikinci deney parçası yerine yalıtım parçası ve koruma plâkası konulmuştur. Böylece yalıtım parçası ve koruma plâkasının oluşturduğu kombinasyonun bir yüzeyi ile diğer yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı sıfır olur.⁽²⁸⁾



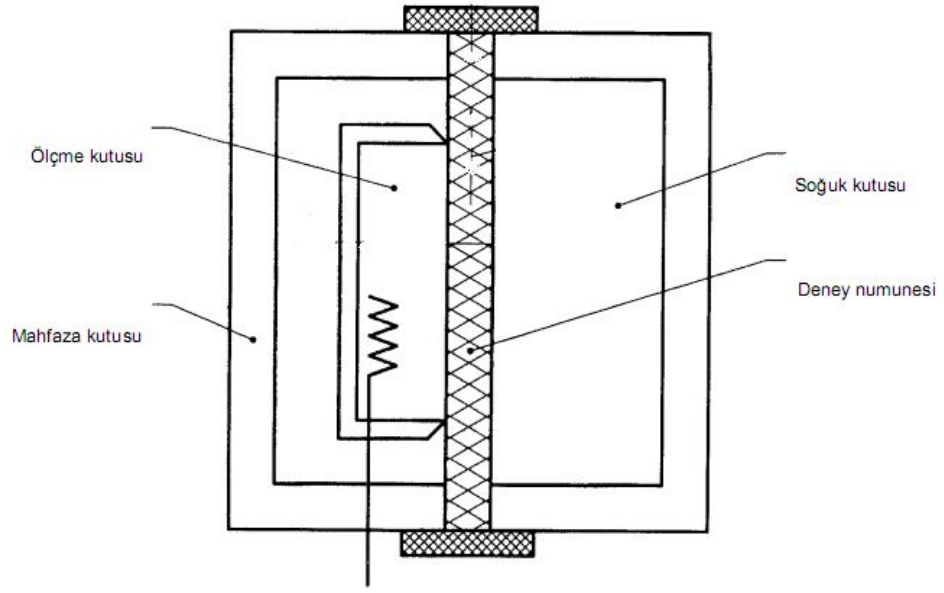
Şekil 2.8. Muhafazalı sıcak plaka metodu a) İki numuneli cihaz b) Tek numuneli cihaz. ⁽²⁸⁾

b) Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu metodu: Bu deney yönteminde, deney numunesinin bir tarafından diğerine, verilen bir sıcaklık farkında, ısı transferi şeklinden bağımsız olarak aktarılan ısının toplam miktarı ölçülmektedir. Bu nedenle, deney sonuçları bu özelliğin gerekli olduğu durumlara uygulanabilir. Bununla birlikte, ısı iletkenlik özelliği, çoğunlukla deney numunesine, kendisine ve sınır şartlarına, numune boyutlarına, ısı transferinin yönüne, sıcaklıklara, sıcaklık farklarına, hava hızlarına ve bağıl neme bağlı olmaktadır. ⁽²⁹⁾

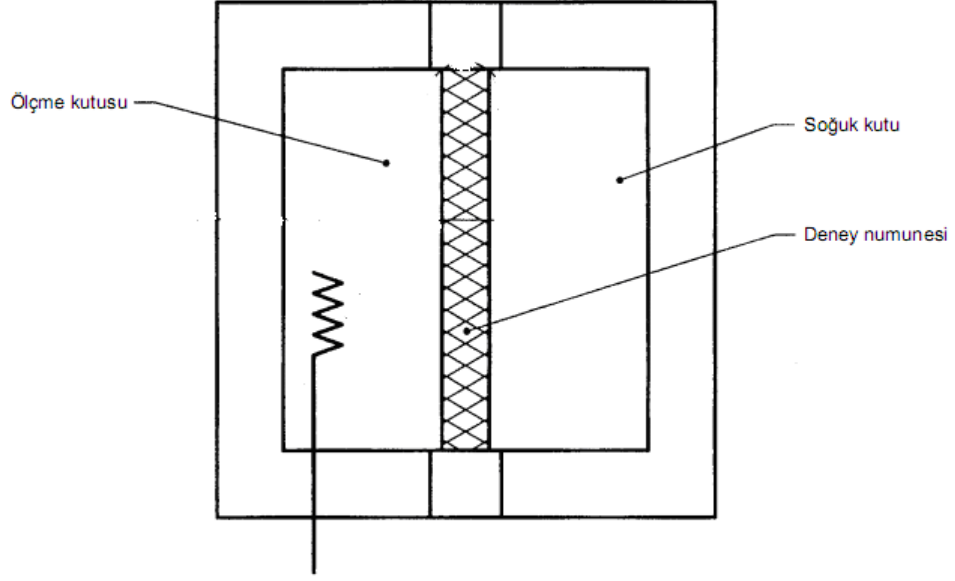
Sıcak kutu deneyi için iki alternatif metot mevcuttur. Bunlar, kalibre edilmiş sıcak kutu ve mahfazalı sıcak kutu metotlarıdır. Her iki metot da, duvarlar gibi düşey konumda kullanılan deney numuneleri ve tavan ve döşeme gibi yatay konumda kullanılan deney numunelerine uygulanmaya uygundur. Donanım, gerçek boyutlarıyla deney numunelerinin değerlendirilmesine imkân verecek büyüklükte olabilir. ⁽²⁹⁾

Mahfazalı sıcak kutuda ölçme Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, deney numunesinde yanal ısı akışını ve ölçme kutusunun duvarlarında olan ısı akışını

küçültebilmek için etrafı, içinde ortamın kontrol altında tutulduğu mahfaza kutusu ile çevrelenmiştir. Kalibre edilmiş sıcak kutu (Şekil 2.10) yönteminde ise, sıcaklık kontrollü ama ölçme kutusunun içindeki hava sıcaklığı ile aynı seviyede olması gerekmeyen bir ortamla çevrelenmiştir. Ölçme kutusunun duvarlarından geçen ısı kayıpları, yüksek ısıl direnci olan bir yapı kullanılarak düşük seviyede tutulur. (29)



Şekil 2.9. Mahfazalı sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünümü⁽²⁹⁾



Şekil 2.10. Kalibre edilmiş sıcak kutu deney düzeneğinin şematik görünüşü⁽²⁹⁾

c) Isı akış metre metodu: Kararlı hal metotlarının en önemli dezavantajı ısı kayıpları ve kararlı halden sapmalar sebebiyle kararlı hale ulaşmak için çok uzun süre gerektirmesidir. Ölçüm prensibi Şekil 2.11’de görülen ısı akış metre metodundaki temel mantık, bir ısı direnç boyunca sıcaklık düşüşünü ölçerek ısı akısını hesaplamaktır. Bunun için bir elektrik rezistansı boyunca meydana gelen voltaj düşmeleri analiz edilerek neticeye varılır. Bu iş için ya sertifikalı bir rezistans ya da ısı akış sensörü kullanılır. Çoğu ısı akış sensöründe ısı çifti seri bağlı ince bir seramik veya plastik plaka vardır. Plaka boyunca meydana gelecek olan voltaj düşmesiyle sıcaklık düşmesi orantılıdır. Isı akış sensörleri genellikle ısı akısı iyi bilinen bir kararlı hal ortamında kalibre edilmişlerdir. Tasarım olarak sıcak plaka düzeneğine çok benzerlik göstermekle beraber oradaki sıcak plaka yerine burada ısı akış sensörleri kullanılmaktadır. İnce bir tel, aynı özellikte iki refraktör plaka arasına yerleştirilerek ölçüm yapılır. Sabit bir elektrik gücü tel vasıtasıyla onu çevreleyen

refraktöre iletilir ve telin sıcaklığı izlenir. Eğer refraktör yüksek ısı iletkenliğe sahipse tel sıcaklığı düşük, yalıtkanlığı fazla olursa tel sıcaklığı yüksek olur.⁽²⁷⁾



Şekil 2.11. Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapan deney cihazı şematik görünüşü

Isı akış metre metodu genellikle izolasyon malzemeleri, polimerler, yapı elemanları, cam ve seramikler için kullanılır. Isı akış metre metodu için sıcaklık limiti 200°C, mukayeseli metot için ise 1300°C' dir. Düşük sıcaklıklarda hata payı %3 civarında iken yüksek sıcaklıklarda bu oran %10 ile %20 arasında değişmektedir.⁽²⁷⁾

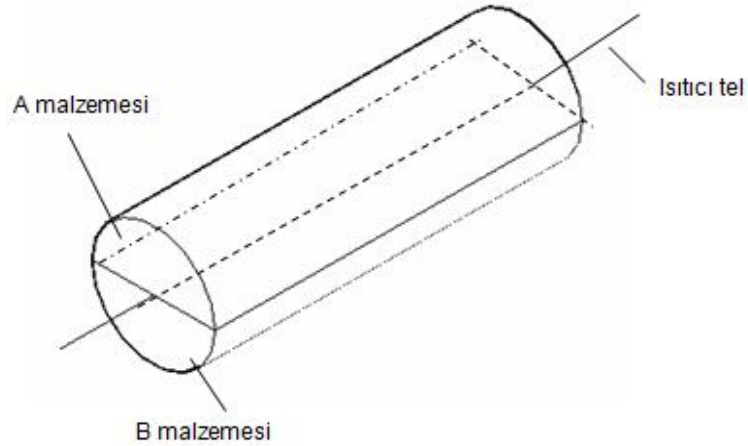
Isı akış metre metoduna göre ölçüm yapacak cihazlar ve ölçüm yöntemleri içinde standartlar oluşturulmuştur. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ısı akış metre metoduna göre ölçüm yapan test cihazı kullanılmıştır.

2.3.1.2.2. Geçici Rejim Metodu

Geçici rejim metodu bilgisayar teknolojisi ve veri alım sistemlerindeki gelişmeler sayesinde daha popüler olmaya başlamıştır. Bu metodun en belirgin avantajı, ısı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin çok kısa zamanda

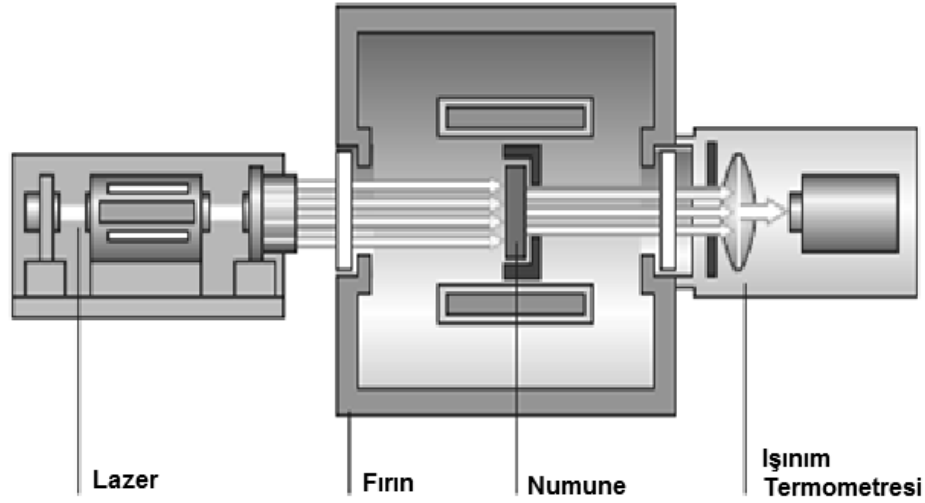
neticelenmesi ve aynı deneyde birden fazla ısı özelliğinin belirlenebilmesidir. Kararlı hal metodunda bir saat süren bir deney bu metotta birkaç dakikada yapılabilmektedir. Diğer metotlarda iki zıt yüzey sıcaklığının ölçülme gerekliliği yerine, burada sadece bir noktadaki sıcaklığın zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi yeterli olmaktadır. Bu durum kararlı hal metotlarına kıyasla daha hassas netice elde edilmesini sağlamaktadır. Bu metotlardan en fazla kullanılanlar sıcak tel metodu (Hot Wire) ve laser flash metodudur. Bu metodları kısaca açıklayacak olursak;

a) Sıcak tel metodu: Bu metod, ölçümü yapılacak malzeme üzerine konulan ince bir telde zamanla meydana gelen sıcaklık değişiminin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçüm zamanı çok kısa olan bir metoddur. Bu yöntemde Şekil 2.12’de görüldüğü gibi ısıtıcı tel, biri ısı iletkenliği bilinen ve iyi yalıtılmış diğeri ise ölçümü yapılacak iki malzeme arasına yerleştirilir. Böylece Isı iletim katsayısı ilgili bağıntılar kullanılarak istenen malzemenin ısı iletkenliği hesaplanır.



Şekil 2.12. Sıcak tel metodunun şematik görünümü

b) Laser flash metodu: Büyük bir sıcaklık aralığında (-100°C – 3.000°C) çalışabilme özelliğinden dolayı homojen katı malzemelerin ısı transfer özelliklerini ölçmekte en sık kullanılan metottur. Cam, seramik, plastik ve metalik malzemelerin disk şeklindeki rijit ve homojen numuneleriyle önemli bir sınırlama olmadan çalışılabilmektedir. Çalışma prensibi basitçe, ön yüzü kısa lazer flaşları ile ısıtılan numunenin arka yüzündeki sıcaklık artışının radyasyon termometreyle ölçülmesi olarak açıklanabilir. Enerji kaynağı olarak zenon (xenon) flaş lambası, lazer veya elektron kullanılabilir. Şekil 2.13’de şematik bir şekli görülen laser flash metodun en önemli avantajı mutlak sıcaklık ve ısının ölçülme gerekliliğinin olmamasıdır. Bunun yerine zamana bağlı relatif sıcaklık farkının belirlenmesi ile neticeye varılmasıdır. Hata payı, yüksek sıcaklıklarda bile %3-5 civarındadır. Spesifik ısı ve yoğunluk önceden bilinmelidir.⁽²⁷⁾



Şekil 2.13. Laser Flash Metodu Çalışma Prensibi⁽²⁷⁾

2.4. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerdeki bağımlı değişken ile bağımsız değişken veya değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyonla açıklanması işlemidir. Regresyon analizinde amaç, varsayılan matematiksel fonksiyonu gözlemlenen değişkenlere uydurmaktır. Tahmin edilen model yardımı ile bağımsız değişkenlerin çeşitli değerlerine karşılık bağımlı değişkenin alacağı değer tahmin edilir.

Regresyon analizinde tek bir bağımlı değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Ayrıca, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında doğrusal bir ilişki varsa doğrusal regresyon eğer doğrusal bir ilişki yok ise doğrusal olmayan regresyon analizi olarak ifade edilir.

Bir bağımlı bir bağımsız değişken içeren bir gözlem sonucunda bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişki;

$$y=a + b.x \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilmesi durumunda, Eşitlik 2.17 için tek bağımsız değişkenli doğrusal regresyon modeli;

$$Y_i= \beta_0 + \beta_1.X_i + e_i \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Birden fazla bağımsız değişken içeren çoklu doğrusal regresyon modeli ise en genel haliyle;

$$Y_i= \beta_0+ \beta_1.X_{1i} + \beta_2.X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + e_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.19)$$

şeklinde tanımlanır. Burada (n) gözlem sayısını, $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi}$ bağımsız değişkenlere, Y_i bağımlı değişkene ait (i)'inci gözlemleri ve (e) hata terimini temsil etmektedir. β_j , ($j=0,1,\dots,p$) (j)'inci bağımsız değişkenin bilinmeyen katsayısı olan parametreyi temsil eder ve regresyon katsayısı olarak adlandırılır.

Regresyon analizi ile ele alınan modellere uyan veriler üzerinden β parametrelerinin en iyi tahminlerinin elde edilmesi amaçlanır. β parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem en küçük kareler metodudur. En küçük kareler yöntemi, teorik y değerleri ile gerçek y değerleri arasındaki farkların yani hata miktarlarının karelerinin toplamını en küçük yapma fikrine dayanır. Bu yöntem, denklemdeki sabit sayıları (bir değişkenli doğrusal model için Eşitlik 2.17'deki a, b katsayıları), söz edilen kareler toplamını en küçük yapacak şekilde seçer.

En küçük kareler yöntemiyle regresyon parametrelerinin belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerinde yaklaşım aynı olup örneğin Eşitlik 2.18'de verilen bir değişkenli doğrusal regresyon modeli için hata miktarı;

$$e_i = Y_i - (\beta_0 + \beta_1 \cdot X_i) \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edilir. Tüm gözlemlerdeki hata değerlerinin toplamlarının karesi ise;

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)^2 \quad (2.21)$$

şeklinde ifade edilir. Farkların karelerinin toplamını minimum yapmak için hataların karelerinin toplamını veren ifadenin, kullanılan modelde yer alan regresyon parametrelerine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenir. Bir değişkenli doğrusal

regresyon modeli için Eşitlik 2.21'in β_0 ve β_1 parametrelerine göre türevleri alınıp sifıra eşitlendiğinde;

$$\frac{de}{d\beta_0} = 2 \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot X_i) = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{de}{d\beta_1} = 2 \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot X_i) \cdot (X_i) = 0 \quad (2.23)$$

elde edilir ve bu iki eşitlik düzenlenerek;

$$\sum Y = n \cdot \beta_0 + \beta_1 \sum X \quad (2.24)$$

$$\sum Y \cdot X = \beta_0 \sum X + \beta_1 \sum X^2 \quad (2.25)$$

denklemleri elde edilir. Daha sonra elde edilen bu denklemlerde, matris formunda $(n \times n)$ 'lik katsayılar matrisi, $(n \times 1)$ 'lik bilinmeyenler matrisi ve $(n \times 1)$ 'lik eşitlik matrisi şeklinde yazılır ve matrisin çözümü sonucunda regresyon parametrelerinin $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)$ tahmini olan denklem sabitleri elde edilir.

Seçilen modeldeki regresyon parametreleri belirledikten sonra bu modelden elde edilen değerlerin gözlem değerlerine ne kadar iyi uyduğunu bilmemiz gerekir. Bu amaçla belirlilik katsayısı olarak ifade edilen (R^2) değeri hesaplanır. Belirlilik katsayısı, bağımlı değişkendeki değişimlerin ne kadarının bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını göstermektedir. Belirlilik katsayısı $0 \leq R^2 \leq 1$ arasında değerler almakta olup 1'e yakın değerler olması regresyon modelinin uygun olduğunu 0'a yaklaşması ise regresyon modelinin uygun olmadığını göstermektedir. Belirlilik katsayısı (R^2) değeri;

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (2.26)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmakta olup, (\hat{Y}) regresyon modelinden elde edilen bağımlı değişken değerini, (Y) gözlemlerden elde edilen bağımlı değişken değerini ve (\bar{Y}) n adet gözlem sonucunda elde edilen (Y) değerlerinin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.⁽³⁰⁻³¹⁾

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmada öncelikle deneysel incelemeler yapılmıştır. Deneysel çalışma üç aşamadan oluşmuş olup, birinci aşamada gazbeton duvar elamanı ile birlikte kullanılan ve piyasada mevcut olan hazır sıva malzemelerinin mekanik ve ısı özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. İkinci aşamada gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem miktarına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Üçüncü aşamada ise gazbetonla kullanılacak ısı yalıtımlı sıva malzemesi geliştirme çalışmaları yapılmış ve bu aşamada oluşturulan sıva numunelerinin gazbetonla birlikte ısı iletkenliğinin neme ve sıcaklığa bağlı değişimi ve sıva numunelerinin mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışma tamamlandıktan sonra, G2/04 gazbeton malzemenin kuru durumda ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimini teorik olarak belirleyebilmek amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir ve deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca deneysel sonuçlar kullanılarak deneysel verilere bir eğri uydurma ve eşitlik geliştirme çalışması yapılmış ve regresyon modelleri kullanılarak G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi eşitliklerle ortaya konulmuştur.

3.1. Mevcut Sıvaların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Deneysel çalışmanın bu birinci aşamasında, gazbetonla kullanılabilen mevcut hazır sıvalar incelenmiştir. Bu deneysel inceleme aşamasında öncelikle gazbetonla kullanılabileceği önerilen ve mevcut olarak kullanılan hazır sıvalar araştırılarak bunlardan öne çıkanlardan on iki adet sıva numunesi seçilmiştir. Daha sonra ise seçilen bu farklı ısı yalıtımlı sıva numunelerinin, taze haldeki özellikleri, fiziksel, mekanik ve ısı özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Sıvaların taze haldeki özelliklerin tespiti için; taze ve kuru haldeki yoğunluk tayini ve priz süresi tayini deneyleri, fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için ise eğilme ve basınç dayanımı tespiti ve deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler devamında da ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi için ısı iletkenlik ölçüm deneyi yapılmıştır.

Isı yalıtımlı sıvaların deneysel çalışmalarında kullanılan numuneler üretici firma tarifleri öncü alınarak hazırlanmıştır.

Mevcut hazır sıvaların incelenmesi kapsamında sıvalar bir takım deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneylerin bir kısmı Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazır sıvalar için belirtilen standart deneyler olup bir kısmı ise sıvaların özelliklerini inceleme ve değerlendirme açısından esas alınan deneylerdir. Deneyler yapılırken sıvaların dökümü ya da üretilmesi zaman almaktadır. Çünkü her bir deney için neredeyse yeni numune oluşturulmaktadır. Deneylerin bir kısmında numune deneysel ölçüme bağlı olarak tahrip olmakta bir diğer kısmında ise numune boyutları değişebilmektedir.

Deneysel çalışmada incelenen mevcut sıvalar “S” ile simgelenmiş ve numune sırasına göre 1 ile 12 arasında numaralar verilmiştir.

3.1.1. Priz Başlangıcı ve Priz Bitişi Deneyi

Sıvanın su ile hazırlanmasından itibaren katılma süresinin başladığı ana kadar geçen zaman priz başlangıcı, katılmanın tamamlandığı süre ise priz bitişi olarak ifade edilir. Priz başlangıcı ve bitişi sıvanın uygulama süresinin bir göstergesidir. Sıvaların rahat uygulanabilmeleri açısından priz sürelerinin uzun olması istenir.

Mevcut sıvaların priz sürelerinin tayini, sıvalar için hazırlanmış bir standart olmadığı için TSE'nin “Çimento deney metotları, priz süresi ve hacim genleşme tayini”⁽³²⁾ isimli TS EN 196-3 numaralı standarda göre yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, mevcut sıvaların priz başlangıcı sürelerinin 310 ile 1320 dakika arasında değiştiği görülmüştür. Hazır sıvalar için ideal bir priz başlangıç süresi olmamakla birlikte sıvanın rahat uygulanabilmesi için sıvanın kısa sürede priz almaya başlamaması istenir. Ancak çok uzun priz başlangıç zamanı aynı zamanda sıvanın çok uzun sürede katılacağına bir göstergesidir. Bu durum, yapılan sıva üzerine yeni bir işlem yapılacağı durumlarda zaman kaybına neden olabilmektedir. Buradaki sıvalar birbirleri ile karşılaştırıldığında bazı sıvaların (S9, S11) çok uzun priz başlangıç sürelerine sahip olduğu görülmüştür. Diğer sıvalarında ortalama 8-10 saat gibi uzun kabul edilebilecek bir priz başlangıç zamanı göstermişlerdir. Priz tamamlama süreleri de priz başlangıç sürelerine paralel sonuçlar göstermiştir.

Katılma süresi açısından bakıldığında ise bazı sıvaların S1, S3 ve S4 sıvalarının katılmalarının ortalama 10 saat sürdüğü görülmüştür. Kesin bir kıtas olmamakla birlikte bu sıvaların katılma sürelerinin çok uzun olduğu, S10 ve S12 sıvaların katılmasının da çok hızlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.1. Mevcut hazır sıvaların priz başlangıç ve bitiş deney sonuçları

Numune Kodu	Priz Başlama Süresi (Dakika)	Priz Sona Erme Süresi (Dakika)	Katılma Süresi (Dakika)
S1	480	1020	540
S2	310	600	290
S3	720	1380	660
S4	570	1350	780
S5	350	540	190
S6	720	1020	300
S7	600	750	150
S8	710	995	285
S9	1200	1380	180
S10	460	540	80
S11	1320	1450	130
S12	555	620	65

3.1.2. Yoğunluk Tayini Deneyi

Mevcut hazır sıvaların yoğunlukları, taze haldeki sıva harçlarının ve priz işlemini tamamlamış durumdaki sıva harçlarının yoğunlukları olmak üzere iki farklı şekilde yapıldı. Taze durumdaki yoğunluklarının belirlenmesi TSE'nin TS EN 1015–6/A1 numaralı⁽³³⁾ standardında belirtildiği şekilde yapıldı. Bu standarda göre; hazırlanan sıva harçlarının hacmi belli olan bir kap içerisine sıkıştırılarak doldurulduktan sonra, kabı dolduran taze sıva harcının kütlesinin kap hacmine

bölünmesiyle taze harcın yoğunluğu belirlenmiştir. Kuru yoğunlukları ise hacmi bilinen kap içerisine konulan sıva numunelerin priz işlemini tamamlamasının ardından, 105°C'lik fırında 24 saat bekletildikten sonra ölçülen kütlelerinin, kabın hacmine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Mevcut hazır sıvaların kuru ve taze haldeki yoğunluk deney sonuçları

Numune Kodu	Kuru Yoğunluk (kg/m ³)	Taze Yoğunluk (kg/m ³)
S1	432	600
S2	396	660
S3	1057	1060
S4	913	1360
S5	1110	1340
S6	1760	1650
S7	1500	1780
S8	1800	1690
S9	1760	1770
S10	1510	1630
S11	1700	1680
S12	1610	1760

Çizelge 3.2'de verilen deney sonuçlarına bakıldığında, mevcut olarak kullanılan gazbeton sıvalarının bir çoğunun yoğunluğunun gazbetona göre çok fazla olduğu görülmektedir. Gazbeton hafif bir elaman olarak yapıya getirdiği statik yük diğer yapı elemanlarına göre çok düşük iken üzerine uygulanan sıva nedeniyle yapının yükü ve gazbeton duvar elemanının yükü ciddi miktarda artmaktadır. Bu da yapı açısından istenmeyen bir durumdur. S1 ve S2 haricindeki sıvaların yoğunluklarının çok fazla olduğu direkt olarak görülmektedir. Bu durum S1 ve S2 haricindeki sıvaların gözenekli bir yapıya sahip olmadıklarını açıkça göstermekte

olup bu sıvaların alçı veya çimento esaslı ısı yalıtım özelliğinden uzak sıvalar olduğu açıkça görülmektedir.

3.1.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı Tayini

Sıva harçlarının eğilme ve basınç dayanımı deneyleri, TS EN 1015–11 Kâgir Harcı - Deney Metotları: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini⁽³⁴⁾ standardı esas alınarak yapılmıştır. Prizmatik deney kalıplarına dökülerek hazırlanan deney numuneleri 28 günlük koşullandırma süresi sonunda eğilme dayanımı deneyine tabi tutulurlar. Eğilme dayanımı, numuneye üç noktadan kırılıncaya kadar uygulanan yükleme sonucunda belirlenir. Daha sonra ise eğilme dayanımı deneyinde kırılan numuneler basınç dayanımı için, tekrar kırılıncaya kadar sürekli artan bir yükleme ile sıkıştırılırlar ve bu işlem sonucunda da basınç dayanımları tespit edilir. Piyasada bulunan ısı yalıtımlı hazır sıvalar için yapılan eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Mevcut hazır sıvaların eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları

Numune Kodu	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
S1	0,07	0,73
S2	0,33	3,01
S3	0,15	0,89
S4	0,13	0,81
S5	0,55	4,05
S6	0,70	3,68
S7	0,95	5,74
S8	1,18	3,86

Çizelge 3.3. (Devam)

S9	1,36	5,69
S10	1,22	7,48
S11	0,77	2,98
S12	1,65	11,80

Çizelge 3.3 incelendiğinde sıvaların çok birbirlerine göre çok farklı değerlere sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 2.1’de gazbeton için verilen basınç dayanımları ile bu mevcut sıvalar karşılaştırıldığında S1, S3 ve S4 sıvalarının basınç dayanımlarının gazbetona göre çok küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bu sıvalarda kullanılan bağlayıcı maddenin uygun olmamasından ya da bağlayıcı miktarının yetersizliğinden kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla bu, S1, S3 ve S4 sıvalarının gazbetonla kullanımı durumunda, basınç dayanımlarının düşük olması nedeniyle yapı yükleri karşısında çatlama ve dökülmeler gösterebileceği söylenebilir.

Diğer taraftan, S5, S6, S7, S8, S9 ve S10 sıvaların basınç dayanımları ise gazbetona göre (özellikle duvar elemanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbeton) oldukça yüksektir. Bu sıvaların basınç dayanımlarının yüksek olması daha önceki kısımlarda da belirtildiği gibi bu sıvaların yoğunluklarının yüksek olmasından ve bağlayıcı olarak çimento ve alçı gibi maddeler kullanılmasından dolayı olduğu söylenebilir. Ayrıca deney çalışmalar sırasında S12 numaralı sıva karışımının elyap lif parçacıkları içerdiği görülmüştür.

S2 sıvasının basınç dayanımının ise $3,01 \text{ N/mm}^2$ değerinde olup özellikle duvar elemanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbetona yakın bir değere sahip olduğu

görülmüştür. Bu durumun S2 sıvasında kullanılan agrega ve bağlayıcı maddesinden kaynaklandığı açıkça görülmektedir.

3.1.4. Elastisite Modülü Tayini Deneyi

Mevcut hazır sıvaların elatisite modüleri, TS EN 1352 Gazbeton veya Hafif Agregalı Gözenekli Beton – Basınç Altında Elastisite Modülü Tayini⁽³⁵⁾ standardı esas alınarak yapılmıştır. Elastisite modülü deneyinde ise sonuçlar 2452,51(N/mm²) ile 18036,60(N/mm²) arasında olup bazı sıvaların kırıldığı gözlenmiştir. Elastisite Modülü deneyine ait sonuçlar Çizelge 3.4’da verilmiştir.

Çizelge 3.4. Mevcut hazır sıvaların elastisite modülü deney sonuçları

Numune Kodu	Elastisite Değeri (N/mm ²)
S1	Kırıldı
S2	Kırıldı
S3	2452,51
S4	Kırıldı
S5	15970,12
S6	10876,49
S7	17935,79
S8	8853,73
S9	13562,60
S10	17203,51
S11	3274,60
S12	18036,60

3.1.5. Sertleşmiş Sıvada Su Emme Oranı Deneyi

Bu deney, TS 3624 Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu⁽³⁶⁾ standardı esas alınarak yapılmıştır. Sertleşmiş sıvada su emme oranı % olarak gösterilmiştir. En düşük değere sahip olan değer S12 olup %11 ve en yüksek değere sahip olan sıva S1 olup % 85'dir.

Çizelge 3.5. Sertleşmiş sıvada su emme oranı tayini deney sonuçları

Numune Kodu	Sertleşmiş Sıvada Su Emme Oranı (%)
S1	85
S2	54
S3	35
S4	43
S5	40
S6	20
S7	22
S8	23
S9	25
S10	24
S11	19
S12	11

Malzemedeki gözenek miktarı arttıkça emebileceği su miktarı da artmaktadır. Dolayısıyla sıvanın suyu az emmesi yoğunluğunun fazlalığından diğer bir değişle gözenek oranının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Daha önceki bölümde verilen yoğunluk deney sonuçları (Çizelge 3.2) göz önünde bulundurularak Çizelge 3.5 incelendiğinde yoğunluğu yüksek olan sıvaların su emme oranlarının da düşük olduğu görülmektedir.

3.1.6. Isıl İletkenlik Değeri Ölçüm Deneyi

Sıvaların ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi için oluşturulmuş bir standart bulunmamakla birlikte bu deneysel çalışmada ısı akış metre metodu prensibine göre ölçüm yapan Lasercomp Fox314 cihazı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde için 30x30x3 cm³ ebatlarında hazırlanan kalıplara dökülen sıva harçları tamamen katılaştıktan sonra fırında kurularak içerisindeki nem miktarı sıfırlandıktan sonra ölçümler yapıldı. Bütün sıvalar kuru iken ölçüldüklerinden hepsi aynı şartlarda denenmişlerdir. Deney öncesi ve sonrası kütleli değişimler izlendiğinden ölçüm esnasında kuru olduğu ve nem içermediği sonucuna varılmıştır.

Gazbeton malzemesi ısı iletkenliği düşük bir yapı elmanı olduğu için gazbetonla kullanılan sıvalarında ısı iletkenliğinin düşük olması beklenmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda mevcut hazır sıvaların ısı iletkenlik değerinin 0,09 W/m.K ile 0,45 W/m.K arasında değiştığı görülmüştür. Bu durum mevcut sıvaların birçoğunun gazbeton ile birlikte kullanıldığında toplam ısı direnci ciddi oranda düşürdüğü görülmüştür. Çizelge 3.6'da verilen deney sonuçları incelendiğinde birçok sıvanın gazbetonun ısı iletkenliğinden çok yüksek olduğu bazıların normal beton sıvanın ısı iletkenlik değerinde olduğu görülebilir. Isı iletkenlik açısından S1, S2, S8 ve S10 sıvaları gazbetonla kullanıma daha uygun oldukları görülmektedir. Elbette amaç sadece ısı iletkenliğinin düşük olduğu bir sıva belirlemekse bu çok açık şekilde çizelgeden görülebilir. Ancak ısı iletkenliğinin yanında mekanik özellik ve su emme gibi diğer özelliklerin de uygunluğu söz konusu olduğundan incelemeler biraz daha karmaşıklaşmaktadır.

Çizelge 3.6. Mevcut hazır sıvaların ısı iletkenlik deneyi sonuçları

Numune Kodu	Isıl İletkenlik Değeri (W/m.K)
S1	0,093
S2	0,133
S3	0,356
S4	0,215
S5	0,302
S6	0,466
S7	0,379
S8	0,164
S9	0,356
S10	0,469
S11	0,449
S12	0,134

3.2. Gazbetonun Isıl İletkenliğinin Deneysel İncelenmesi

Deneysel çalışmanın bu kısmında gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem içeriğine ve sıcaklığına bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmada, ana malzeme olan ve farklı yoğunluklarda üretilen gazbetonun G2-04 sınıf ürünü üzerinde incelemeler ve çalışmalar yapılmıştır. Bunun nedeni olarak da gazbetonun yapılarda dayanım ve ısı iletkenlik açısından en çok kullanılan gazbeton ürün türü olması olarak açıklaması yapılabilir.

Çalışmalarda deney cihazına uygun olarak hazırlan gazbeton numunelerinin nemsiz durumdaki ısı iletkenliği öncelikli olarak ölçülmüştür daha sonra ise farklı nem içeriklerine şartlandırılarak ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Farklı nem içeriklerinde yapılan bu ölçümler ve aynı zamanda her bir nem içeriğinde malzemenin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi de deneysel olarak belirlenmiştir.

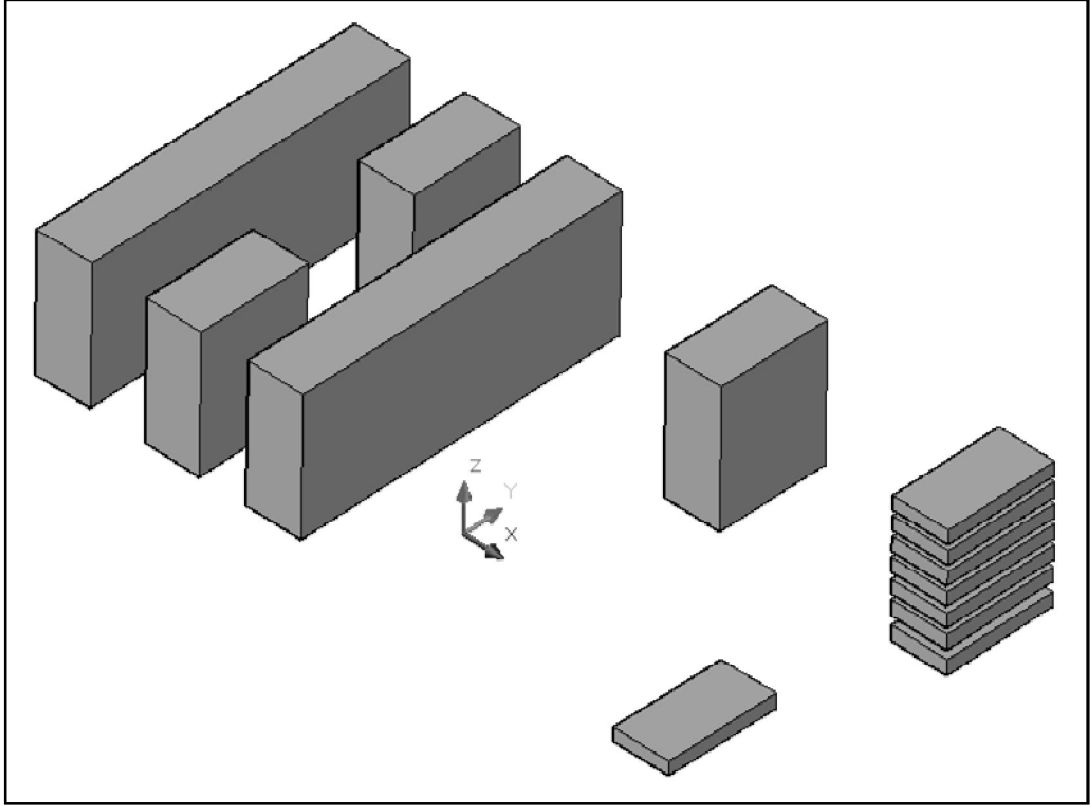
Deneysel çalışmanın bu kısmında yapılan işlemler ve deney sonuçları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. Gazbeton Numunelerin Hazırlanması

Bilindiği gibi gazbeton malzemesi, döküm kalıbına döküldükten sonra zamanla kabarmaya başlar ve bir süre sonra kalıbın şeklini alır. Bu kabarma sırasında gazbeton en önemli özelliklerinden biri olan gözenekli bir hacim oluşturarak belirli bir gözenek değerine ulaşır. Ancak kalıp içerisinde bu kabarma işlemi gazbetonun kalıbın alt bölgesi ile üst bölgesi arasında çok fazla olmasa da yoğunluk farkı oluşmasına neden olur. Kalıbın alt bölgesinden alınan gazbeton numunelerinin üst bölgeden alınan numunelere göre daha büyük yoğunluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların deney sonuçlarını etkilememesi için numuneler mümkün olduğunca aynı bölgeden alınmıştır.

Ayrıca, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, gazbeton malzemesinin yoğunluğunun değişmesiyle birlikte gözenek miktarı ve ısı iletkenlik değerleri de değişmektedir. Bu durumun deneysel çalışmamızda olumsuzluk oluşturmaması ve yapılan deneysel ölçümlerin bütünü temsil etmesi bakımından Şekil 3.1’de gösterildiği gibi gazbeton bloğu kesildikten sonra (x), (y) ve (z) doğrultusunun orta bölgesi belirlenerek numuneler bu bölgeden alınmıştır.

Bu prosedüre uygun olarak kesilen gazbeton bloklarından alınan numuneler, ısı iletkenlik değeri ölçümünün yapılmasında kullanılacak olan ve ilerleyen kısımlarda ayrıntılı olarak açıklanacak olan Lasercomp Fox 314 cihazı için uygun olan 300x300x30 mm³ numune ölçülerine uygun hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Deney numunelerinin alındığı bölgenin şekilsel gösterimi

3.2.2. Kullanılan Standartlar ve Cihazlar

DeneySEL çalışmanın bu bölümünde, gazbeton ve gazbetonla kullanılabilen farklı sıva malzemelerinin ısı iletkenlik değeri üzerinde nem içeriğinin ve sıcaklığın etkisi araştırıldığı için ısı iletkenlik değeri ölçümünde kullanılan metot ve bu metoda uygun cihazlar öncelikle belirlenmiştir.

Isı iletkenlik değeri ölçüm metotları 2. bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ölçüm cihazımız, bu metotlardan sürekli rejim metoduna göre ölçüm yapan ısı akış metre (Heat Flow Meter) prensibine göre çalışmakta olup deneysel ölçümler bu metod üzerinde yapılmıştır.

TSE'nin bu ölçüm metodunu esas alarak ölçüm yapacak cihazlar için "TS ISO 8301 - Isı yalıtımı – kararlı haldeki ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini – ısı akış sayacı cihazı"⁽³⁷⁾ standardını yayınlamıştır. TS ISO 8301 (ASTM C 518) standardı, düz, levha halindeki deney parçalarında kararlı hal ısı aktarımını ölçmek için ısı akış sayacının (HFM) kullanılmasını ve deney parçalarının ısı aktarım özelliklerinin hesaplanmasını kapsar. Bu standard da verilen metot, deney parçasının/parçalarının ısı dirençlerini, standard bir deney parçasının/parçalarının ısı dirençleri ile karşılaştırarak belirlediği için bağıl bir metottur.

Çalışma prensibi olarak; levha halindeki deney parçası ısı akış sayacının ısıtma ve soğutma üniteleri arasına yerleştirilir. Deney parçasının iki yüzeyinin sıcaklık ortalaması ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı sabit kalacak şekilde sürekli rejim şartları temin edilir. Isı akış sayacı deney parçalarının merkezi bölgesinden ve cihazın merkezi ölçme bölgesinden eş zamanlı geçen, tek yönlü ve sabit yoğunluklu bir akış hızı sağlar.

Standard deney parçasının ısı akış hızı (ψ_s) ve deneye tâbi tutulan (ısıl özellikleri bilinmeyen) deney parçasının ısı akış hızı (ψ_u) kullanılarak, ölçme alanında ısı akış hızı yoğunluğunun sabit olduğu varsayılarak ve sıcaklık farkı (ΔT) ile ortalama sıcaklık (T_m)'in sabit olduğu kabul edilerek; standard deney parçasının ısı direnci (R_s) ile deneye tâbi tutulan bilinmeyen deney parçasının ısı direncinin (R_u) oranı, aşağıdaki bağıntı ile verilir.⁽³⁷⁾

$$\frac{R_u}{R_s} = \frac{\psi_s}{\psi_u} \quad (3.1)$$

Bu bağıntı yardımıyla R_u hesaplanır ve deney parçasının kalınlığı (d) yardımıyla da deney parçasının ısıl iletkenlik değeri belirlenir.

Bu prensibe yani TS ISO 8301'e uygun olarak ölçüm yapan, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Isı Transferi Laboratuvarında bulunan Lasercomp Fox 314 cihazı deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Şekil 3.2'de görülen Lasercomp Fox 314 cihazında ölçümü yapılacak numunelerin minimum $200 \times 200 \times 100 \text{ mm}^3$, maksimum $300 \times 300 \times 100 \text{ mm}^3$ ebatlarında olması gerekmektedir. Cihaz ısı iletkenli değerinin ölçümünde, malzemede olan ısı geçişinin bir boyutlu (kalınlık boyunca) olduğu kabulüne göre çalıştığından dolayı daha düşük yüzey alanına sahip numunelerde ısı geçişi bir boyutlu olduğu kabulünden uzaklaşacağı için daha düşük yüzey alanına sahip numunelerin bu cihazda ölçümü uygun değildir.



Şekil 3.2. Lasercomp Fox 314 cihazı

Bir diğer deneysel ölçüm ise numunelerin yoğunluklarının ölçümüdür. Yoğunluk ölçümleri Türk Standartları Enstitüsünün TS EN 772-13/Nisan 2002

numaralı “Kargir birimlerde net ve brüt yoğunluk tayini” isimli standardı esas alınarak yapılmıştır.

TS EN 772-13 standardına göre; yoğunluk ölçümü için ilk olarak; alınan gazbeton numuneleri (100 ± 5) °C sıcaklıktaki hava dolaşimli etüvde sabit kütleyle ulaşması için kurutulur ve 24 saat aralıklı yapılan tartımlarda belirlenen kütleler arasındaki farkın, toplam kütlenin %0,2’sinden az olmasıyla kuru durumdaki kütle (m_{dry}) belirlenir. Daha sonra numunenin hacmi (V_g), ölçülen uzunluk, genişlik ve yükseklik kullanılarak belirlendikten sonra net kuru yoğunluk (ρ_n) Eşitlik (3.2) kullanılarak hesaplanır.

$$\rho_n = \frac{m_{dry}}{V_g} \quad \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (3.2)$$

Kurutma işlemi için Kırıkkale Üniversitesi Isı Transferi Laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.3’de görülen hava dolaşimli etüv kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Hava dolaşimli kurutma fırını

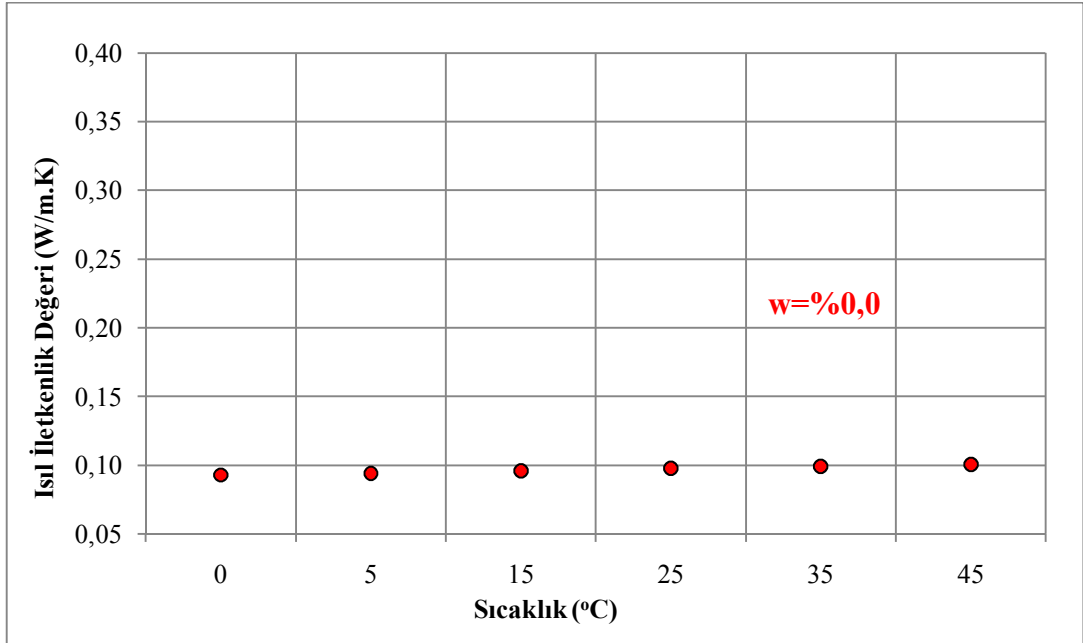
3.2.3. Deneyler ve Sonuçları

Gazbeton malzemesinin ısı iletkenlik değerinin nem içeriğine ve sıcaklığına bağlı olarak değişimini belirlemek için önceki bölümlerde belirtilen prosedürlere uygun Şekilde alınan numuneler ilk olarak 105°C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde kurutularak içerisindeki nemi tamamen atması sağlanmıştır. Daha sonra, nemsiz duruma getirilen gazbeton numunelerinin yoğunluk ölümleri yapıldıktan sonra, kuru durumdaki numunenin ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimi deneysel olarak llmştr.

Sıcaklığın ve nemin gazbetonun ısı iletkenliği üzerindeki etkisi incelenirken daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi tamamen kurutularak nemsiz duruma getirilmiş ve bu Şekilde malzemenin ısı iletkenlik değeri farklı sıcaklık değerleri için llmştr. Daha sonra belirli miktarda nem içeren gazbetonun bu mevcut nem içeriğindeki ısı iletkenlik değerleri farklı sıcaklık değerlerinde llmştr. Nemli durumdaki ölümler ktlice nem miktarı %0,0 ile %48,6 aralığında değişen farklı nem oranları için yapılmıştır. Nem miktarının st sınırı belirlenirken, üretim aşaması tamamlanarak kullanıcıya gönderilen gazbeton bloklar içerisinde bulunabilen nem miktarı oranları belirlenerek yaklaşık st sınır olarak kabul edilmiştir. Nemli durumdaki gazbeton numunelerinin kütlesel nem içeriği yüzdesi Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmış olup yapılan tüm ölümler yine TS ISO 8301' e uygun olarak Lasercomp Fox314 cihazında yapılmıştır. Deneyler esnasında malzeme ayrıca bir nemlendirmeye tabi tutulmamış içindeki nem miktarı başlangıçtaki nem miktarından kuru duruma gelinceye kadar, kurutma yöntemiyle değiştirilerek, ölümler yapılmıştır.

$$\%w = \frac{m_w - m_{dry}}{m_{dry}} \times 100 \quad (\text{gr/gr}) \quad (3.3)$$

G2/04 gazbetonun, nemsiz durumda ve on farklı kütleli nem içeriğinde ısı iletkenlik değeri sıcaklıkla değişimi için yapılan deneysel ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir. Şekil 3.4 sadece kuru durumdaki sonuçları göstermekte olup nemsiz ve farklı nem değerlerinde ki sonuçlar Şekil 3.5’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

Gazbetonun kuru durumda ısı iletkenliğinin sıcaklıkla doğrusal olarak arttığı Şekil 3.4’de görülmektedir. Ancak bu değişim cihaz olanakları ölçüsünde 0°C-45°C aralığında alınmıştır. Şekil 3.4, G2/04 gazbeton numunesinin ısı iletkenliğinin 0°C-45°C sıcaklık aralığında sıcaklıkla çok az değiştiğini göstermektedir. Bu artış gözeneklerde bulunan kuru havanın ve matris malzemesinin ısı iletkenliklerinin

sıcaklıkla olan artışından kaynaklanmaktadır. Diğer bir değişle havanın ve matris malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla arttığını ancak bu artışın çok az olduğunu bize göstermektedir.

Elde edilen deney sonuçları kullanılarak, kuru durumdaki G2/04 sınıfı gazbetonun ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi için;

$$k(T)=0,0956 + 0,00017.T \quad (W/m.K) \quad (3.4)$$

şeklinde bir doğrusal eşitlik verilebilir. Eşitlik 3.4 de sıcaklık çarpanının değerinin 0,00017 olması da G2/04 gazbetonun ısı iletkenliği üzerinde sıcaklığın etkisinin çok düşük olduğunu diğer bir göstergesidir.

Şekil 3.5’de aynı G2/04 gazbeton malzemesinin, %2,1 ile %48,6 aralığında değişen on farklı kütle sel nem içeriğinde, ısı iletkenlik değerinin deneysel ölçüm sonuçları görülmektedir. Nemli durumdaki malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin ölçümleri de kuru durumda olduğu gibi, 0°C, 5°C, 15°C, 25°C, 35°C ve 45°C olmak üzere altı farklı sıcaklık değeri için yapılmıştır.

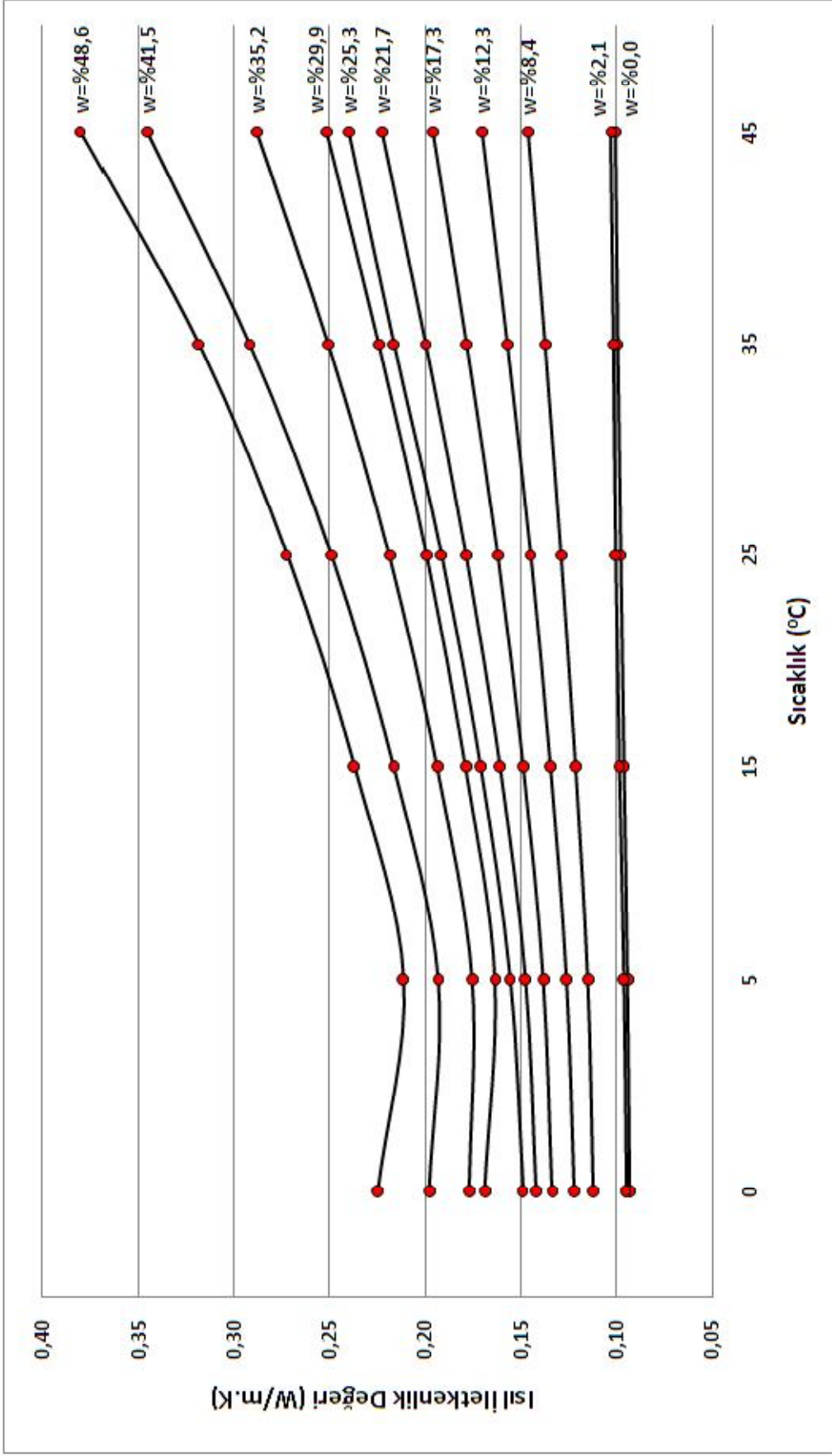
Şekil 3.5 de verilen sonuçlar incelendiğinde, düşük nem düzeyleri için, nemli malzemenin ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla arttığı ancak bu artışın nemsiz durumdaki gibi fazla olmadığı görülmektedir. Bu durum gözeneklerde henüz fazla miktarda hava bulunması nedeniyle nemin etkili olamamasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte artan nem içeriğine bağlı olarak malzemenin ısı iletkenlik değerinin giderek artan bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu durum yüksek gözenek oranına sahip gazbeton malzemesi içerisinde bulunan kuru havanın yerine nemli havanın yer alamaya başlamasının bir sonucudur. Nemli hava içerisinde bulunan su buharının yoğunlaşması sonucunda malzemedeki su oranı artmaya başlar. Suyun ısı iletkenlik değerinin 0,6 W/m.K (normal şartlarda) mertebesinde iken havanın ısı

iletkenlik değerinin 0,026 W/m.K (normal şartlar altında) düzeyinde olması nedeniyle malzemenin ısıl iletkenlik değeri Şekil 3.5’de de görüldüğü gibi nem artışına bağlı olarak artış göstermektedir.

%29,9, %35,2, %41,5, %48,6 nem içerikleri için elde edilen sonuçlar da ise, 0°C’de ki ısıl iletkenlik değerinin 5°C’de ki ısıl iletkenlik değerine göre daha yüksek olduğu, 0°C’den itibaren sıcaklık arttıkça ısıl iletkenlik değerinin azaldığı görülmektedir. Ancak bu düşüş 5°C sıcaklık noktasına kadar devam etmekte olup 5°C’den itibaren ısıl iletkenlik değeri tekrar artmaya başlamaktadır. Bu durum G2/04 gazbeton içerisinde artan su miktarına bağlı olarak 0°C sıcaklığında malzeme içerisinde buzlanmanın oluşmaya başlamasından kaynaklanmaktadır. Malzeme sıcaklığının, suyun donma sıcaklığı olan 0°C sıcaklığına gelmesiyle birlikte malzeme içerisinde bulunan su buz kristallerine dönmeye başlar. Oluşan buz kristalleri malzemeyi, gazbeton matris malzemesi, su ve buzdan oluşan bir karma malzeme durumuna getirir. Eğer negatif sıcaklıklara inilecek olursa malzeme içerisindeki su tamamen buz haline gelecektir. Malzeme içerisinde, sıcaklığın 0°C olması durumunda oluşan buz kristalleri, buzun ısıl iletkenlik değerinin yaklaşık 2,2 W/m.K olması nedeniyle gazbeton matris-su-buz olarak ifade ettiğimiz karma malzemenin ısıl iletkenlik değerinin artmasına neden olur. Şekil 3.5’de görülen 5°C sıcaklığından 0°C sıcaklığına inildikçe malzemenin ısıl iletkenlik değerinde artış görülmesinin nedeni de bu buzlanmadan kaynaklanan durumdur. Buzlanma malzemenin ısıl iletkenliğini artırmanın yanında donma-çözülme nedeniyle de çoğu zaman malzemede kalıcı deformasyonlara neden olabilmektedir.

G2/04 sınıfı gazbeton malzemesinden alınan numuneler üzerinde yapılan deneysel ölçümlerden elde edilen tüm sonuçlar dikkate alındığında, G2/04

gazbetonun ısı iletkenlik değerinin sıcaklık ve nem artışına bağlı olarak artığı açıkça grlmştr. Ayrıca, özellikle yüksek nem içeriklerinde (>%29) 0°C sıcaklığına inilmesi durumunda malzeme içerisinde oluşan buzlanmanın, malzemenin ısı iletkenlik değeri üzerinde olumsuz etkiye neden olduğu ve malzemenin ısı iletkenlik değerini suya oranla daha fazla arttırdığı deneysel sonuçlar neticesinde net olarak grlmştr.



Şekil 3.5. G2/04 gazbeton malzemesinin ısıl iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi

3.3. Yeni Sıva Geliştirilmesi ve Deneysel İncelenmesi

Deneysel çalışmanın bu son bölümünde, doktora çalışmasının ve aynı zamanda San-Tez projesinin hedeflerine uygun olarak, önceki deneysel çalışmalarda elde edilen bilgiler ışığında, gazbetonla kullanılabilen yeni bir sıva geliştirme çalışmasına geçilmiştir.

Bu yeni sıva geliştirme çalışmaları kapsamında çok sayıda sıva numunesi geliştirilmiş olup bunlardan sadece üç farklı sıva numunesi üzerinde durulmuş ve bu üç farklı sıva numunesinin G2/04 gazbeton malzemesi ile birlikte uyumlu çalışma durumları ve ısı özellikleri incelenmiştir.

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar, G2/04 gazbeton malzemesinin geliştirilen farklı sıva malzemeleriyle birlikte ısı özelliklerinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneysel olarak ısı özellikleri incelenen bu sıvaların aynı zamanda gazbeton yüzeyine tutunma ve mekanik özellikleri bakımından da gözlemlenmiştir.

3.3.1. Yeni Sıva Numunelerin Hazırlanması

G2/04 gazbetonla kullanılabilen sıva geliştirilmesi ve bu sıvaların G2/04 gazbetonla birlikte ısı özelliklerinin nem ve sıcaklıkla değişimlerinin incelenmesi amacıyla Çizelge 3.7’de bileşenleri verilen üç farklı sıva numunesi hazırlanmıştır. Bu sıva numunelerinin en önemli özelliği, sıva agrega malzemesi olarak gazbeton atıklarının kullanılmış olmasıdır.

İmalat hatalarından dolayı zarar gören ve kullanılmayan gazbeton atıkları önce tamamen parçalanmış daha sonra ise farklı çaplardaki eleklerden geçirilerek tane boyutlarına göre ayrılmışlardır. Eleme işlemi sonucunda agregalar, tane boyutu 250 mikron altı, 250-500 mikron arası ve 500 mikron üzeri olmak üzere üç farklı gruba ayrılmıştır. Agregalar tane boyutlarına göre yapılan bu ayırma işleminin ardından gazbeton agregaları çimento ve bağlayıcı kimyasal ile belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra su ilave edilerek sıva harçları hazırlanmış ve hazırlanan bu sıva harçları kalıplara dökülerek ısı iletkenlik ve eğilme basınç dayanımı deneyleri için numuneler hazırlanmıştır.

Isıl iletkenlik değerinin ölçümü için sıva numuneleri, $300 \times 300 \times 20 \text{ mm}^3$ boyutlarında hazırlanmış olup ısı iletkenlik değerinin ölçümleri yine, ısı akış metre metoduna göre Kırıkkale Üniversitesi Isı Transferi Laboratuvarında yapılmıştır. Her bir sıvanın ısı iletkenliğinin ölçümünün yanında sıvanın G2/04 gazbetona uygulanmış durumda ki toplam ısı iletkenlik değerlerinin ölçümleri de yapılmıştır. Bunun için $300 \times 300 \text{ mm}^2$ kesit alanı ve yaklaşık 20 mm kalınlıkta hazırlanan G2/04 gazbeton numuneler üzerine, gazbeton numunesinin kalınlığına eşit olacak şekilde sıva numuneleri uygulanmıştır.

Isıl iletkenlik değerinin ölçümü için hazırlanan G2/04 gazbeton-sıva numuneleri 105°C sıcaklığındaki etüvde kurutularak tamamen nemsiz hale (sabit kütleye) geldikten sonra ilk ölçümleri yapılmıştır. Bu kuru halde yapılan ölçümün ardından numuneler nemlendirilmiş ve belirli nem seviyelerinde tekrar ölçülmüştür.

Her üç gazbeton-sıva numunesinin hazırlanmasında kullanılan gazbetonlar üretim bloğunun aynı bölgesinde alınmış ve gazbeton-sıva numuneleri

hazırlanmadan önce yine 105°C sıcaklığındaki etüvde kurutulmuş ve sabit kütleyle getirilmiş ve bu durumda ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Sıva numunelerinin sertleşmiş durumdaki basınç ve eğilme dayanımı deneyi için ise 40x40x160 mm³ boyutlarında numuneler hazırlanmış ve deney standardına uygun olarak 28 günlük bir bekleme süresinin bitiminde deneysel ölçümleri yapılmıştır. Sıva numunelerinin eğilme ve basınç dayanım testleri AKG-Gazbeton A.Ş. Kırıkkale tesislerinde ki laboratuvarlarda yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Hazırlanan yeni sıva numunelerinin özellikleri

Numune	Agrega Cinsi	Agrega Tane Boyutu	Çimento Miktarı	Agrega Miktarı	Bağlayıcı Kimyasal Miktarı	Karışım Su Miktarı
YS1 (Yeni Sıva 1)	Gazbeton Atıkları	250 mikron altı	%18,9	%75,7	%5,4	%50
YS2 (Yeni Sıva 2)	Gazbeton Atıkları	250-500 mikron	%18,9	%75,7	%5,4	%50
YS3 (Yeni Sıva 3)	Gazbeton Atıkları	500 mikron üstü	%18,9	%75,7	%5,4	%50

Hazırlanan sıva numuneleri yeni geliştirilen sıva olmaları nedeniyle yeni ve sıva kelimelerinin ilk harfi olan Y ve S harfleri ve karışım oranlarının farklı olması nedeniyle de 1, 2 ve 3 rakamları kullanılarak YS1, YS2 ve YS3 olarak isimlendirilmiştir. G2/04 gazbeton numuneleri ise gazbetonun ilk harfi olan G ile isimlendirilmiş olup her üç gazbeton-sıva bileşimindeki numunelerin tamamı aynı üretim bloğundan alındığı için farklı bir isimlendirmeye gidilmemiştir. G2/04 gazbeton üzerine sıva uygulanarak oluşturulan gazbeton-sıva numuneleri ise

gazbeton (G) ve sıva (YS1, YS2 ve YS3) numunelerinin isimleri kullanılarak G-YS1, G-YS2 ve G-YS3 olarak isimlendirilmişlerdir.

Ayrıca hazırlanan her bir gazbeton-sıva numunesi (G-YS1, G-YS2 ve G-YS3) nemsiz ve farklı nem değerlerinde toplam ısı iletkenlik değeri ölçümleri yapıldığı için deney numarasını belirtmek amacıyla numune isimlerinin (G-YS1, G-YS2 ve G-YS3) yanına 1, 2,n şeklinde rakamlar ilave edilmiştir (örneğin G-YS1-1 şeklinde).

Üç farklı sıva numunesinden YS2 ve YS3 numunelerinin ısı iletkenlik değerlerinin ölçümü kuru durumda ve G2/04 gazbetonla birlikte farklı nem içeriklerinde yapılmıştır ancak YS1 sıvasından hazırlanan numunelerde aşırı oranda parçalanma meydana gelmiş olup YS1 sıvasının sadece kuru durumda ve G2/04 gazbetonla birlikte nemsiz durumda toplam ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Gazbeton atıkları kullanılarak hazırlanan üç farklı sıva numunesine ait ısı iletkenlik değeri ve basınç dayanımı deney sonuçları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

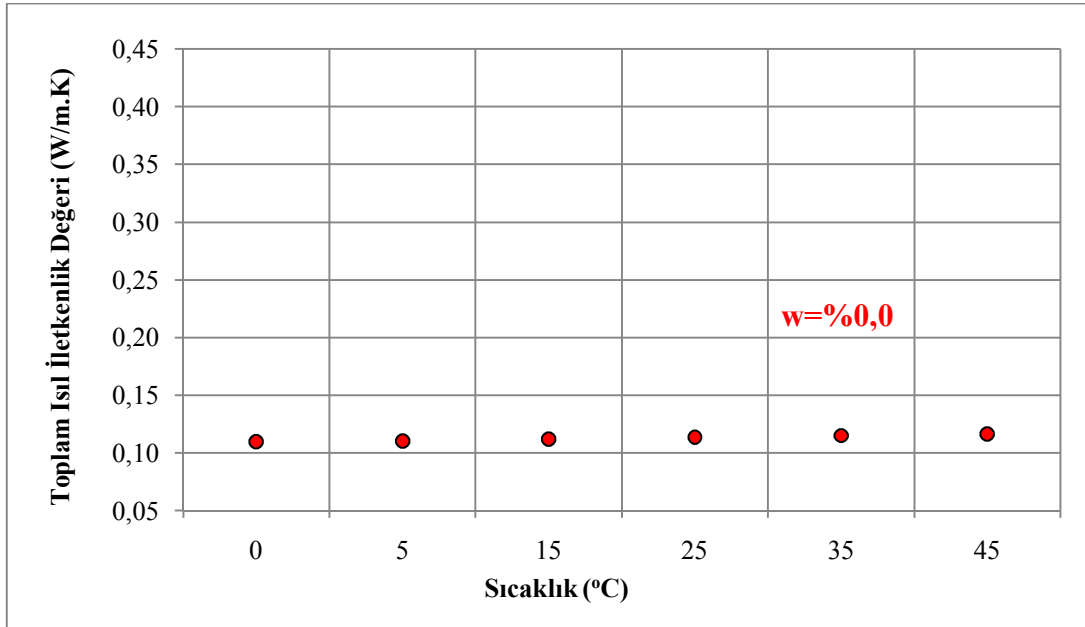
3.3.2. Isı İletkenlik Değeri Ölçüm Deneyi Sonuçları

G2/04 gazbeton ve sıva numuneleri nemsiz durumda, farklı sıcaklıklar için ısı iletkenlik değeri ölçümleri yapılırken, gazbeton-sıva bileşiminin ısı iletkenlik değerleri hem kuru durum hem de farklı nem durumları için deneysel olarak incelenmiştir.

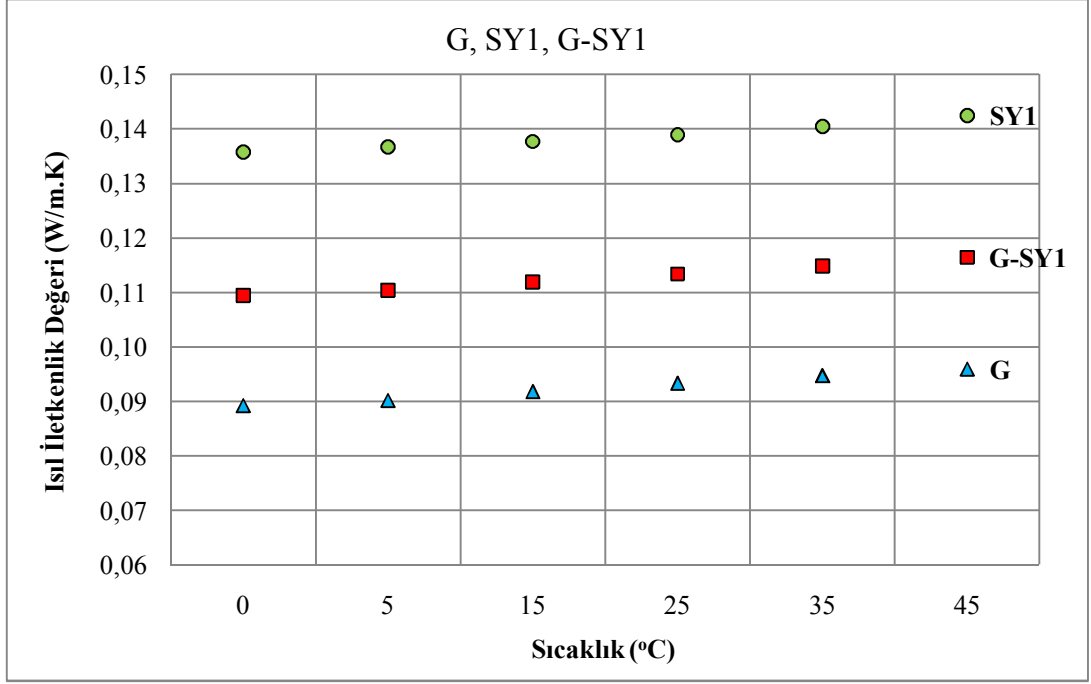
Yapılan ısı iletkenlik değeri ölçüm deneyleri gazbeton-sıva bileşiminden oluşan G-YS1, G-YS2 ve G-YS3 numunelerine göre üç ana başlık altında toplanmış

olup YS1, YS2, YS3 ile gazbeton-sıva bileşiminde kullanılan G2/04 gazbetona ait deney sonuçları bu başlıklar altında verilmiştir.

a) G-YS1 Numunesinin Isıl İletkenlik Deney Sonuçları: G2/04 gazbeton ve YS1 sıvasının için hazırlanan numuneler ve G-YS1 numunelerinin toplam ısıl iletkenlik değerleri kuru durumda 0°C ile 45°C aralığında altı farklı sıcaklık noktası için ölçülmüştür. G-YS1 numunesinin farklı nem içeriklerinde toplam ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimini izlemek için yeni testler yapılmak istenmiş ancak G-YS1 için oluşturulan numunelerde sürekli olarak parçalanmalar oluşması nedeniyle başarılı olunamamıştır. Bu nedenle G2/04 gazbeton (G), sıva (YS1) ve gazbeton-sıva (G-YS1) numunelerinin ısıl iletkenlikleri sadece kuru durumda incelenebilmiştir. Yapılan deneysel incelemelerde elde edilen sonuçlar Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS1 sıvasıyla birlikte toplam ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

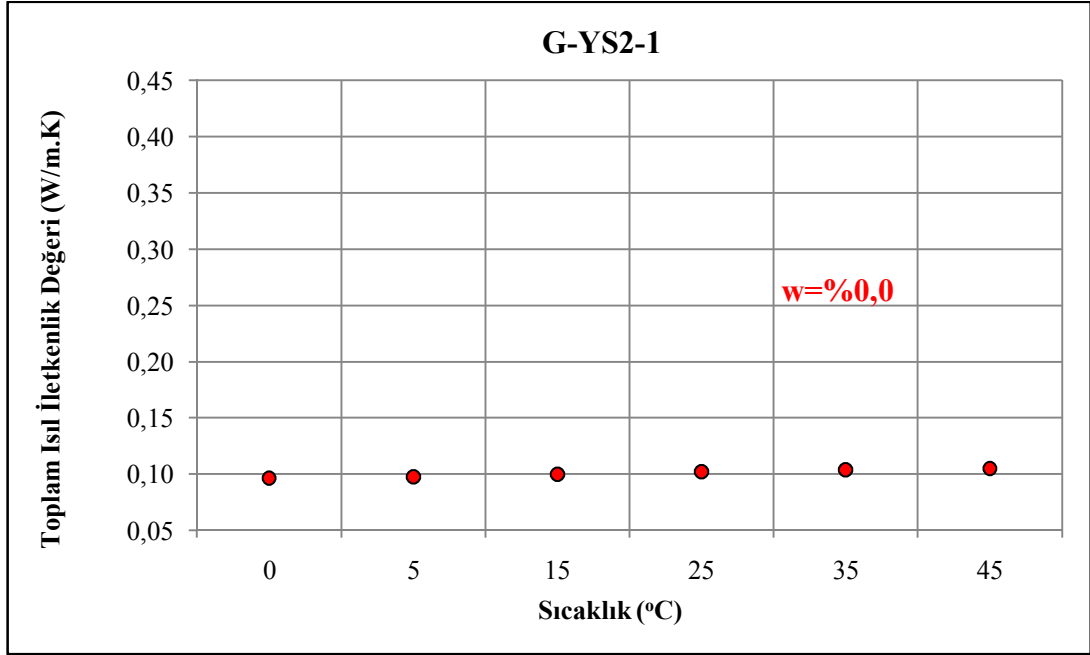


Şekil 3.7. G2/04 gazbeton, YS1 sıvası ve G-YS1'in ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 incelendiğinde YS1'in ısı iletkenlik değerinin sıcaklığa bağlı olarak 0,1358-0,1425 W/m.K aralığında değiştii görölmektedir. Bu değer G2/04 gazbetonun ısı iletkenlik değerinden yaklaşık %30 daha fazladır. Bu durum YS1'de kullanılan agreganın 250 mikron altı bir tane dağılımına sahip olması nedeniyle gözenek miktarının azaltmakta ve gözenek miktarının azalması da malzemenin ısı iletkenliğini artırmaktadır. Numunelerde dağılma görölmesinde de yine agrega tane boyutu etkili olmuştur.

b) G-YS2 Numunesinin Isıl İletkenlik Deney Sonuçları: G2/04 gazbeton ve YS2 numaralı sıvanın birleşiminden oluşan G-YS2 numaralı gazbeton-sıva numunesinin toplam ısı iletkenliği, nemsiz durumda ve beş farklı kütle sel nem içeriğinde 0°C ile 45°C aralığında altı farklı sıcaklık değeri için, sıcaklıkla değişimi incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, G-YS2 numunesinin nemsiz durumda toplam ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.8’de, kütle sel nem içeriğinin %14,8 ile %60,8 arasında değişen beş farklı nem değeri için toplam ısı iletkenlik değeri nin sıcaklıkla değişim grafikleri ise karşılaştırmalı olarak Şekil 3.9’da verilmiştir.



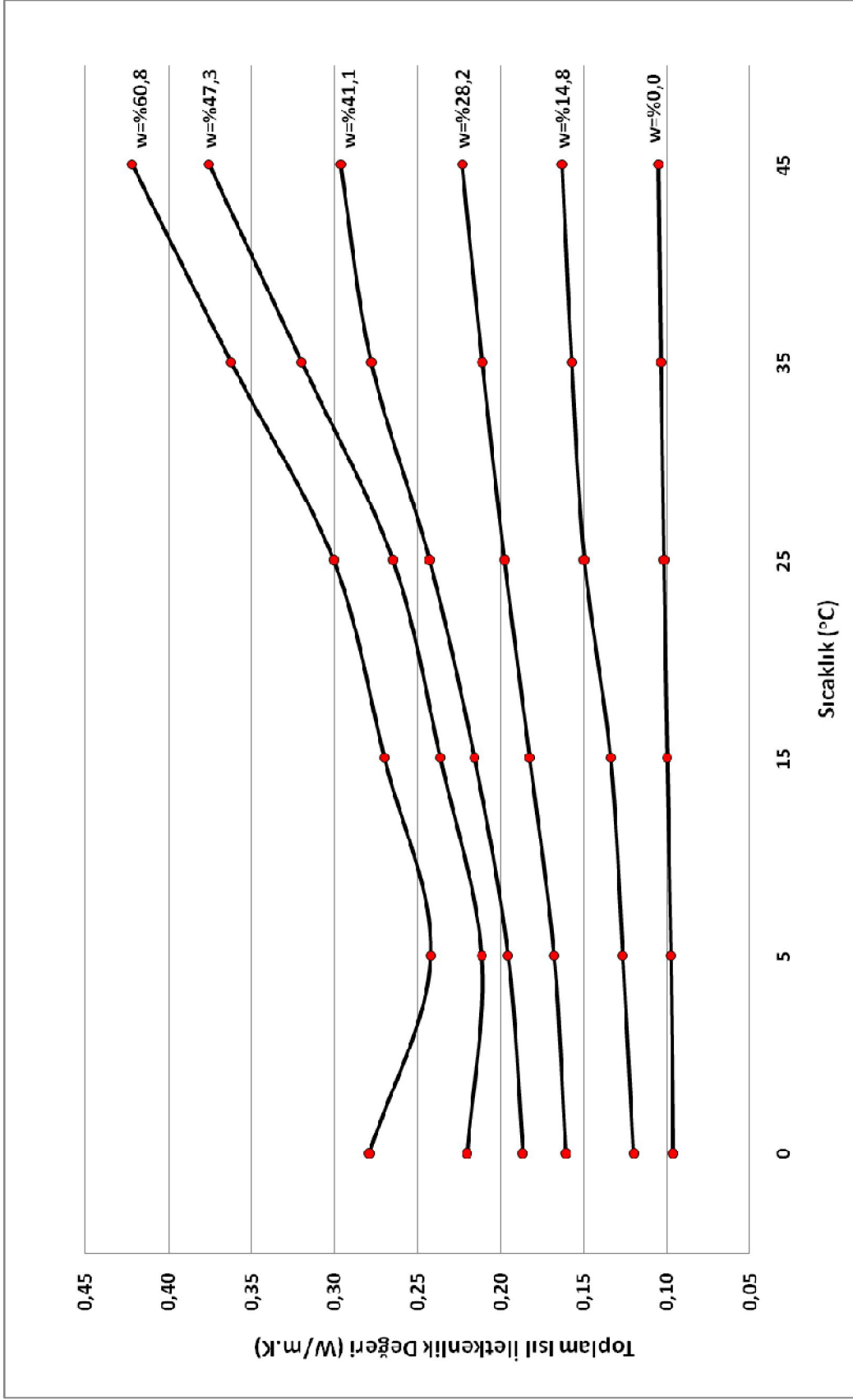
Şekil 3.8. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS2 sıvasıyla birlikte toplam ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

Nem içeriğinin %0,0 olduğu Şekil 3. 8 incelendiğinde toplam ısı iletkenlik değeri nin sıcaklıkla çok az arttığı görülmektedir. Buda gazbeton ve sıva ikilisindeki gözeneklerde fazla miktarda hava bulunması ve havanın ısı iletkenlik değeri nin 0,026 W/m.K mertebelerinde olmasındadır. Şekil 3.8 aynı zamanda, sıva ve gazbeton malzemelerinin ısı iletkenlik değeri nin sıcaklıkla doğrusal olarak arttığını ancak bu artışın, 45 °C’lik sıcaklık değişimi için sadece 0,0087 W/m.K düzeyinde olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.9 incelendiğinde G-YS2 numunesinin %14,8, %28,2, %41,1 olmak üzere üç farklı nem içeriğinde toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklık artışına bağı olarak doğrusal bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir. Kuru durumda ortalama 0,1 W/m.K mertebesinde olan toplam ısı iletkenlik değeri malzemenin nem artışına bağı olarak hızla artmaya başlamıştır. Kütlece %47,3 nem içeriğinde yapılan ölçüm sonucunda toplam ısı iletkenlik değeri ortalama 0,22 W/m.K değerlerine çıkmıştır. Bu değer kuru durumun iki katından daha fazladır. Bu artışta da yine en önemli etken malzeme içerisinde artan nem miktarıdır. Nemli havanın ısı iletkenliğinin yüksek olması malzemenin toplam ısı iletkenliğinin de artmasına neden olmaktadır. Suyun ısı iletkenlik değeri normal şartlar altında yaklaşık olarak 0,6 W/m.K'dir. Bu değer havanın yaklaşık 25 katı civarındadır. Dolayısıyla kuru durumlarda gözeneklerde bulunan havanın artan nemle birlikte yerini nemli havaya, yoğunlaşmış durumdaki suya bırakmasıyla birlikte ısı iletkenlik değeri hızla artmaktadır.

G-YS2 malzemenin kütlese nem içeriği biraz daha artırılarak $w=47,3$ değerine çıkartılarak yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde, 0°C sıcaklıktaki toplam ısı iletkenlik değerinin 5°C'deki değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür, bu durumun başlıca nedeni, daha önce gazbetonda belirtildiği gibi, artan su içeriğiyle birlikte 0°C'de buzlanmanın (donmanın) oluşmasıdır. Bu nedenle 0°C'de toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimi grafiğin doğrusallığını bozmaktadır. Ancak artan sıcaklıkla birlikte malzeme içerisinde donmuş olan su, buz fazından tekrar su fazına geçmeye başlamaktadır. Bu değişim, ısı iletkenlik değeri yüksek olan buzun ısı iletkenlik düşük olan suya dönüşmesiyle birlikte malzemenin ısı iletkenlik değerinin de azalmasına neden olmaktadır.

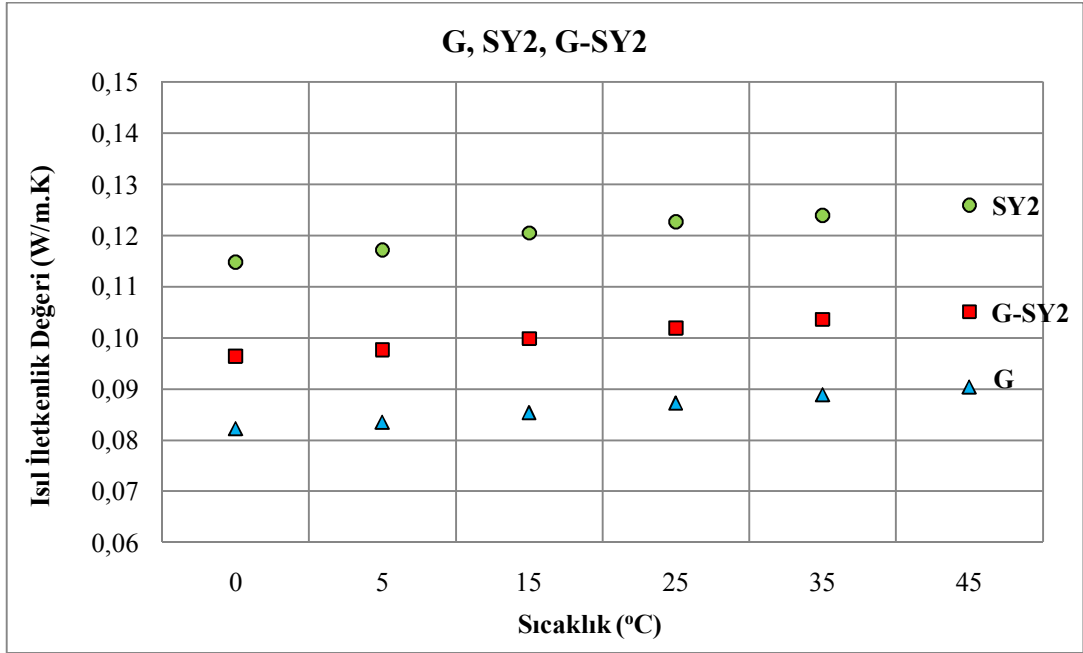
Görüldüğü gibi malzeme içerisindeki su bileşenin artması malzemenin ısı iletkenliğini artırırken, sıcaklık etkenin de nemle birlikte dikkate alındığında malzemenin ısı iletkenliği üzerinde artan bir olumsuz etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.9. YS2 sıvasının G2/04 gazbetonla birlikte toplam ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi

G2/04 gazbeton-sıva (G-YS2), G2/04 gazbeton (G) ve sıva (YS2) numunelerinin kuru durumdaki ısı iletkenlik değerlerinin 0°C ile 45°C sıcaklık aralığında değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 3.10'de verilmiştir.

Şekil 3.10 incelendiğinde YS2 sıva numunesinin ısı iletkenlik değerinin G2/04 gazbetona göre yaklaşık %50 daha büyük olduğu grlmektedir. Ancak bu ısı iletkenlik değeri, YS1 ve daha önceki mevcut sıva analizleri ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin oldukça iyi olduğu grlmektedir.

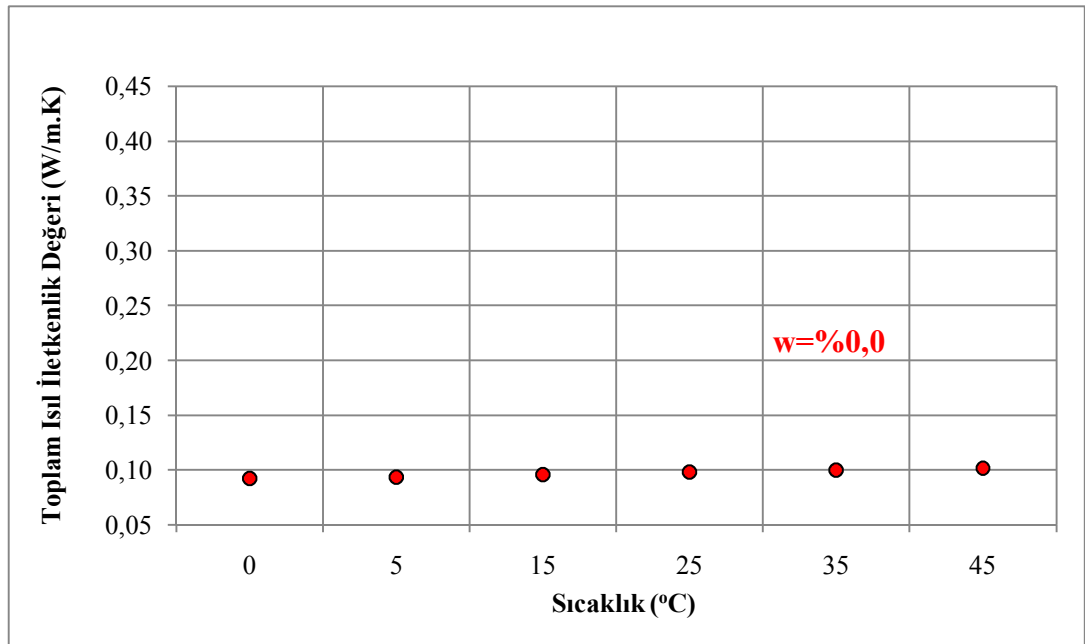


Şekil 3.10. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbeton, YS2 sıvası ve G-YS1'in ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması

c) **G-YS3 Numunesi Isıl İletkenlik Deney Sonuçları:** G2/04 gazbeton ve YS3 numaralı sıvanın birleşiminden oluşan G-YS3 gazbeton-sıva numunesinin toplam ısı

iletkenliğinin, nemsiz durumda ve beş farklı kütlele nem içeriğinde sıcaklıkla değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, G-YS3'in nemsiz durumda toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.11'da, kütlele nem içeriği %8,6 ile %44,8 arasında değişen beş farklı nem değerinde yapılan toplam ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimleri ise Şekil 3.12'de verilmiştir.

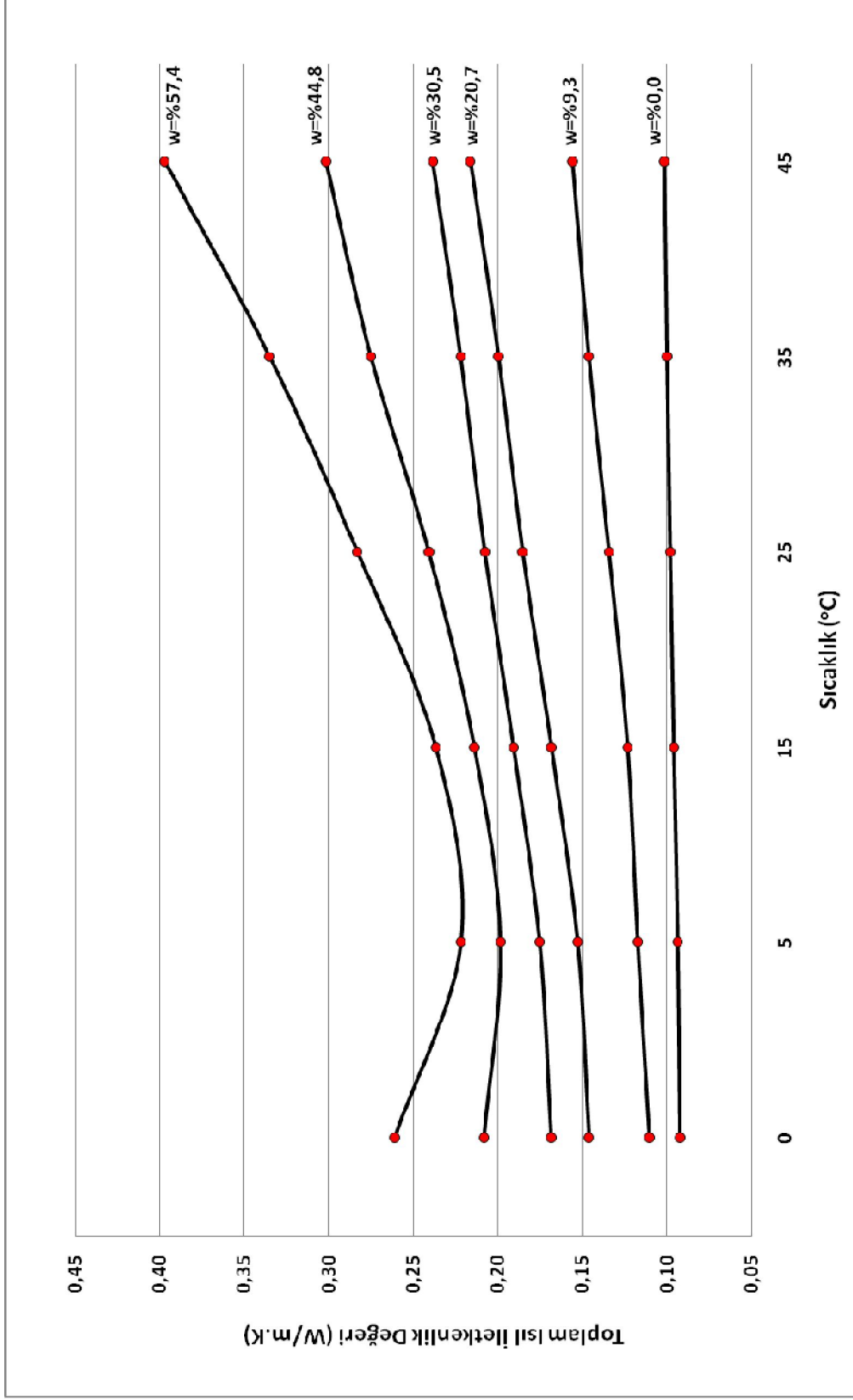


Şekil 3.11. Nemsiz durumda G2/04 gazbetonun YS3 sıvasıyla birlikte toplam ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi

G-YS3 numunesi üzerinde yapılan toplam ısı iletkenlik değeri ölçümleri sonucunda da G-YS2'e benzer sonuçlar elde edilmiştir. G-YS2'de olduğu gibi G-YS3'in toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklık ve nem artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bunda en önemli etken tüm sıva numunelerinde agrega olarak gazbeton atıklarının kullanılmış olmasıdır.

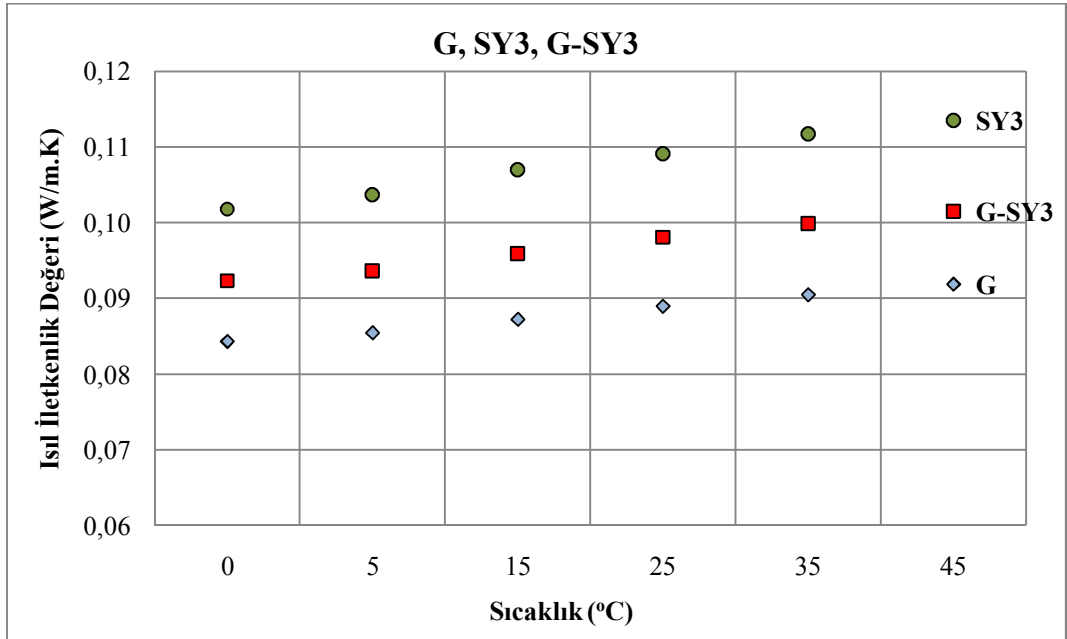
Nemsiz durumda toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimini gösteren Şekil 3.11 incelendiğinde toplam ısı iletkenlik değerinin 0,09 – 0,1W/m.K civarında olduğu görölmektedir. Dolayısıyla gazbeton-sıva birleşiminin toplam ısı iletkenlik değeri G2/04 gazbetona çok yakın bir değerdir. Bu YS3 sıvasının ısı iletkenlik değeri G2/04 gazbetona çok yakın değerler göstererek diğer sıvalardan daha uygun olduğunu göstermektedir.

Farklı kütle sel nem içerikleri için G-YS3'in toplam ısı iletkenliğine ait deney sonuçlarını gösteren Şekil 3.12'de incelendiğinde burada nem içeriği %9,3 ila %57,4 aralığında elde edilen sonuçlar görölmektedir. Bu deney sonuçları YS3 numaralı sıvanın G2/04 gazbetonla kullanımında, YS2'de olduğu gibi toplam ısı iletkenlik değerinin sıcaklık ve kütle sel nem içeriğiyle arttığını, yine nem içeriğinin çok yüksek değerlere çıkması durumunda 0°C'deki toplam ısı iletkenlik değerinin yüksek değerlere çıktığı görölmüştür. Ancak daha sonra sıcaklık artışına bağlı olarak bir miktar düşük gösterdikten sonra tekrar sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak arttığı görölmüştür.



Şekil 3.12. G-YS3 sıvasının G2/04 gazbetonla birlikte toplam ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi

G2/04 gazbeton-sıva (G-YS3), G2/04 gazbeton (G) ve sıva (YS3) numunelerinin kuru durumdaki ısı iletkenlik değerlerinin 0°C ile 45°C sıcaklık aralığında değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 3.13’de verilmiştir. Şekil 3.10, YS3 sıvasının ısı iletkenlik değerinin G2/04 gazbetona göre yaklaşık %15 daha büyük olduğu görülmektedir. Ancak bu ısı iletkenlik değeri, YS1 ve YS2 sıvaları ile karşılaştırıldığında daha düşük bir değer olduğu görülmektedir. Bu durum YS3 sıva numunesinde kullanılan agrega boyutunun büyük olması dolayısıyla agrega tanecikleri arasındaki boşluğun ve toplamda gözenek miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



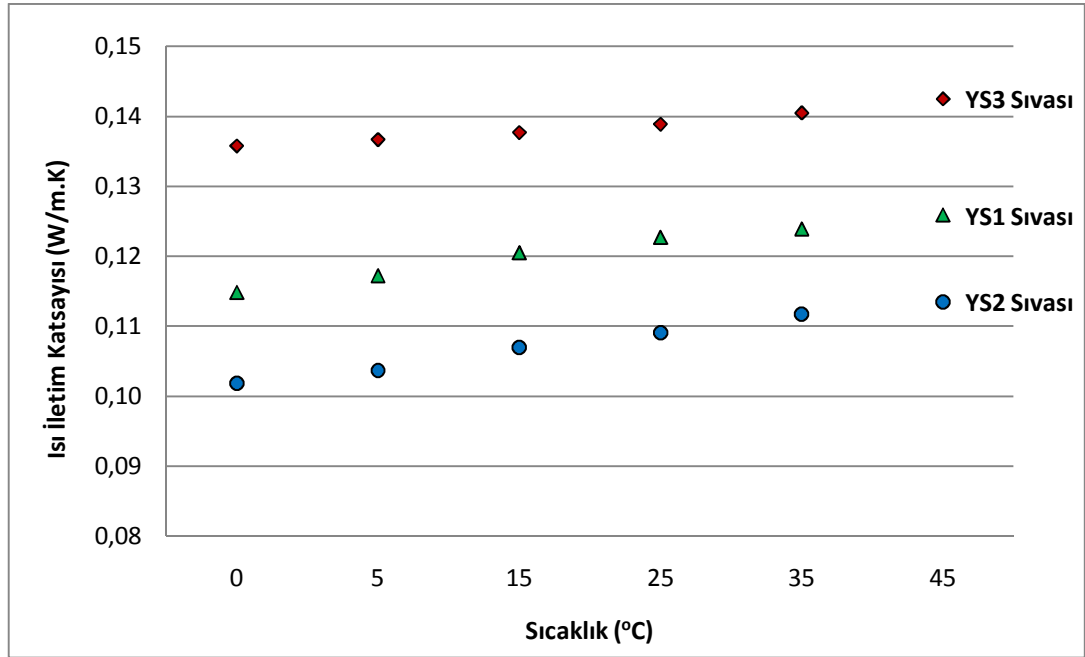
Şekil 3.13. Nemsiz durumdaki G2/04 gazbeton, YS3 sıvası ve G-YS3’in ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması

Yeni sıva numuneleri için yapılan bu deneyler sonucunda, YS1, YS2 ve YS3 sıvalarının ve bu sıvaların gazbeton üzerine uygulanması ile elde edilen G-YS1, G-

YS2 ve G-YS3 numunelerinin nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak toplam ısı iletkenlik değerlerinin değişimi deneysel olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar neticesinde ısı yönünden en düşük değere sahip sıvanın, Şekil 3.14’de de görüldüğü gibi, YS2 sıvası olduğu anlaşılmaktadır. Diğer YS1 ve YS3 sıvalarının ısı iletkenlik değerlerin de, daha önceki bölümlerde deneysel incelemesi yapılmış olan birçok mevcut hazır sıvalardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

YS1, YS2 ve YS3 sıvalarının ısı iletkenlik değerlerinin düşük olmasında gazbeton atıklarının sıvalarda agrega olarak kullanılması etkili olmuştur. Burada kısıtlı sayıda verilen sıva numuneleri sayısı, agrega boyutları, agrega oranları, çimento oranları ve katkı kimyasalları değiştirilerek daha arttırılabilir.



Şekil 3.14. Nemsiz durumdaki YS1, YS2 ve YS3 sıvalarının ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin karşılaştırılması

3.3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Isıl iletkenlik değerlerinin ölçümü için, Çizelge 3.7’de verilen oranlara uygun olarak hazırlanan ısı iletkenlik deney numuneleriyle birlikte basınç dayanımı için de deney numuneleri hazırlanmıştır. Basınç dayanımı deneyi için YS1, YS2 ve YS3 sıva harçları 40x40x160 mm³ boyutlarındaki kalıplara dökülerek basınç dayanımı numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler deney standardına uygun olarak 28 günlük beklemeye bırakılmış ve bu süre sonunda basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Yapılan bu testler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Her üç sıva numunesinin de basınç dayanım değerleri, G2/04 sınıfı gazbetona göre düşük çıkmıştır. Burada kullanılan bağlayıcı kimyasal ve çimento oranı değiştirilerek basınç dayanım değerleri daha büyük değerlere çekilebilir.

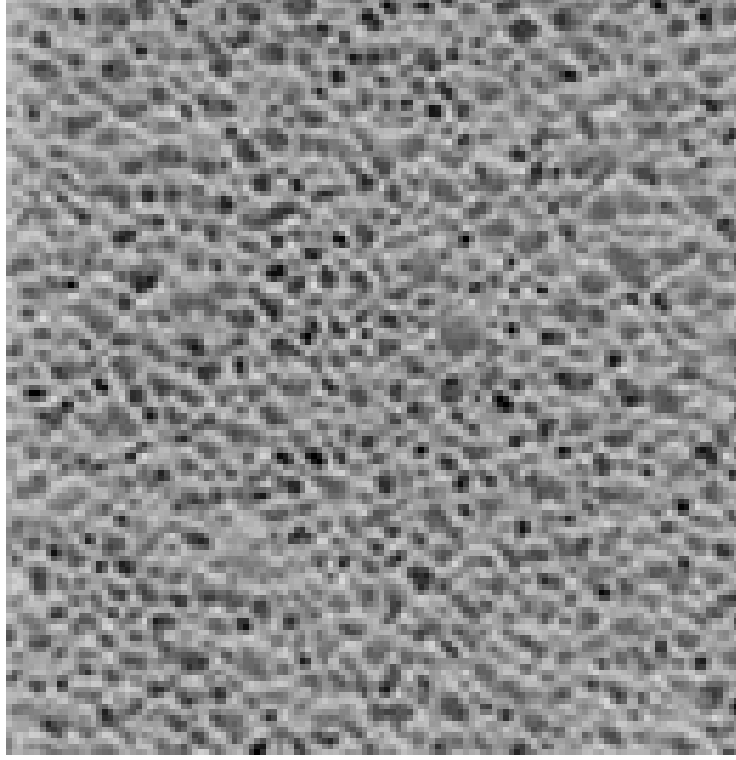
Çizelge 3.8. Yeni sıvalara ait basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıva Numunesi	YS1 (<250 mikron)	YS2 (250-500 mikron)	YS3 (>500 mikron)
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	0,95	0,67	0,41

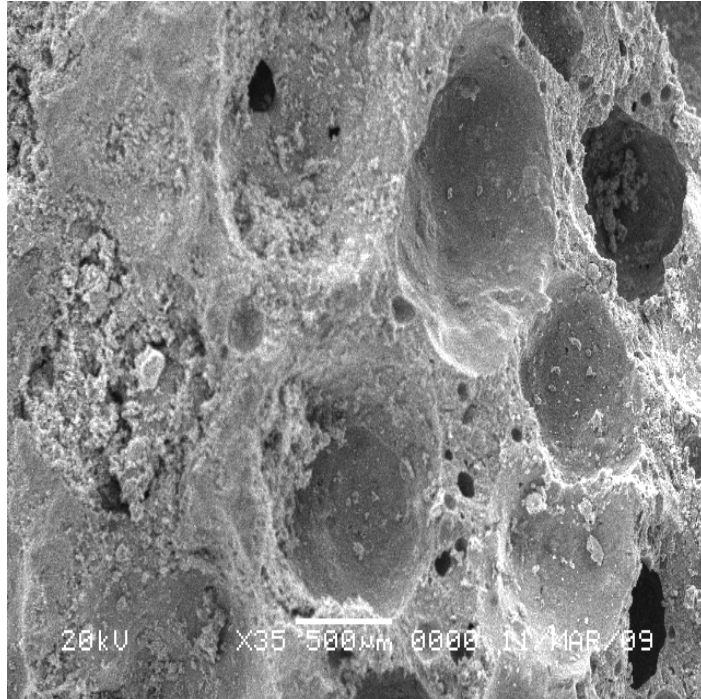
3.4. Isıl İletkenlik Değeri İçin Teorik Model Geliştirilmesi

Daha nceki bölümde de belirtildiği gibi karma malzemelerin efektif ısı iletkenlik değerinin belirlenmesi için geliştirilmiş çok sayıda model bulunmaktadır. Bu modeller, fazları oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik değerlerine, ara fazın geometrisine ve oranına bağlı olduğu için her model her malzeme için kullanılamamaktadır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde, deneysel çalışmalarda kullanılan ve ölümü yapılan kuru durumdaki (nemsiz) G2/04 gazbeton malzemesi için geçerli olabilecek bir teorik model geliştirilmesi ve bunun deneysel sonuçlarla ve literatürdeki diğer modellerle karşılaştırılması planlanmış ve bu amaçla teorik model geliştirme çalışması yapılmıştır.

G2/04 gazbetonun malzemesinin efektif ısı iletkenlik değerinin belirlenmesine yönelik teorik model çalışması için öncelikle malzemeyi oluşturan gözeneklerin ve katı fazın geometrik şeklini ve dağılımını belirlemek amaçıyla malzemedен görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerden şekil 3.15’de verilen yüzey görüntüsü incelendiğinde malzemenin, çok net olmamakla birlikte, makro büyüklükteki gözeneklerden ve bu gözenekleri vreleyen matris malzemesinden oluştuğu grlmektedir. Bilindiği gibi gazbeton malzemesi bünyesinde makro gözeneklerin yanında mikro gözeneklerde içermektedir. Ancak şekil 3.15’deki yüzey görüntüsünde bu yapı görülmemektedir. Bu mikro gözeneklerin dağılımını ve geometrilerini de incelemek ve belirlemek için Kırıkkale Üniversitesi Fizik bölümünde bulunan taramalı elektro mikroskopunda (SEM), malzemesinin farklı büyütmelerde SEM görüntüleri alınmıştır. şekil 3.16’da verilen 35 büyütmedeki SEM görüntüsü bize malzemenin makro ve mikro gözenekleri birlikte görme ve değerlendirme imkanı sunmaktadır.



Şekil 3.15. G2/04 gazbeton malzemesinin yüzey fotoğrafı

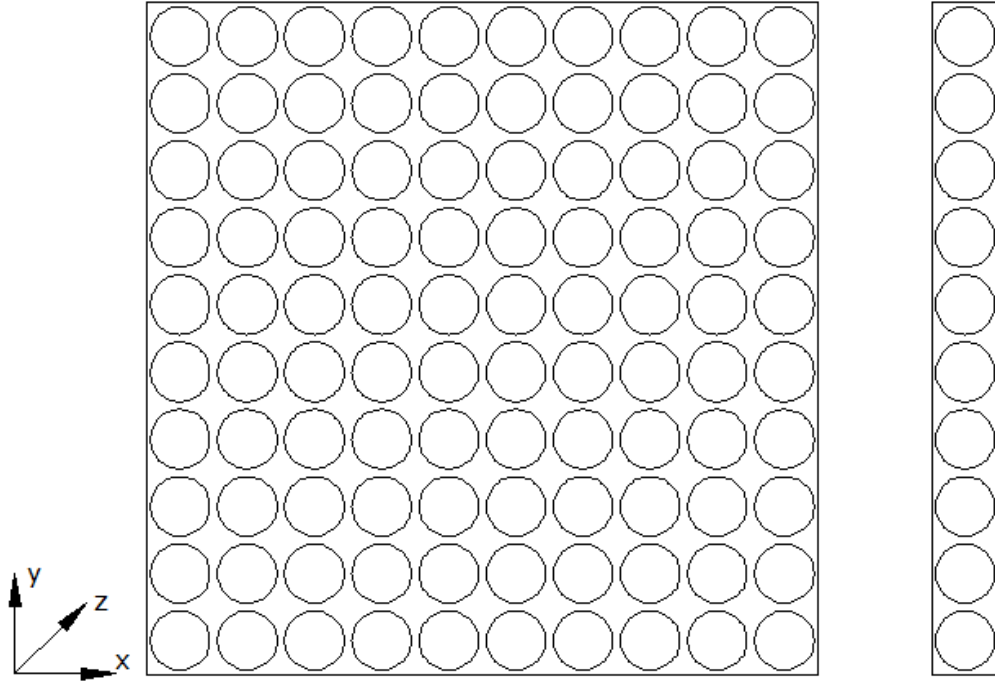


Şekil 3.16. G2/04 gazbetonun taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (35 büyütme)

Şekil 3.16 incelendiğinde G2/04 gazbeton içerisindeki gözeneklerin birbirine çok yakın konumda ve dağınık bir dizilişte olduğunu göstermektedir. Makro gözeneklerin geometrik şekilleri düzgün bir geometrik şekil ifade etmemektedir, ancak bir geometrik şekille ifade edilmek istendiğinde küre kabul etmenin daha uygun olacağı düşünülebilir. Ayrıca malzeme içerisindeki mikro gözeneklerinde belirli bir geometrik şekle sahip olmadıkları burada görülebilmektedir.

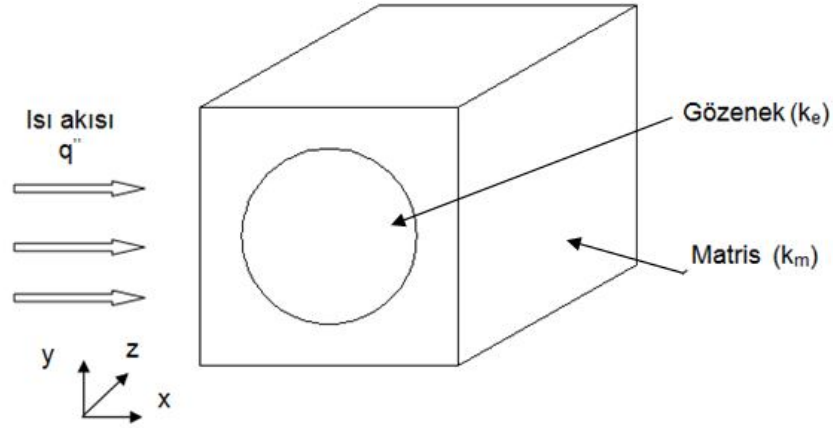
Mikro gözenekler, makro gözenekler çevreleyen matris yapı üzerinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca makro gözenekler genel olarak birbiriyle bağlantılı durumdadır. SEM görüntüleri, G2/04 gazbeton malzemesinin efektif ısı iletkenlik değerinin teorik olarak belirlenmesi için oluşturulacak model için gerekli olan ve bilinmesi gereken fazların dizilişleri (matris ve gözenek) ve geometrik şekilleri hakkında bilgi vermiştir. Oluşturulacak modelde gözenek yapısının düzgün bir dağılıma ve belli bir geometriye sahip olmadığı açıktır. Ancak belli kabuller yapmak matematiksel modelin geliştirilmesinde kolaylıkla sağlayacaktır.

Bu bilgiler dikkate alınarak, gözenek ve matristen oluşan (kuru durum için) iki fazlı bir karma malzeme için Şekil 3.17’de görüldüğü gibi düzgün bir geometriye ve malzeme içerisindeki gözeneklerin homojen bir dağılıma sahip oldukları kabul edilmiş ve özellikle matris üzerinde yer alan mikro gözenekler model çalışmasında dikkate alınmamıştır. Şekil 3.17’de görülen model G2/04 gazbeton malzemesi için temsili model olarak kabul edilmiş ve bu yapı üzerinden matematiksel model çalışmasına başlanılmıştır.



Şekil 3.17. Matematiksel model için kullanılan temsili malzeme yapısı

Şekil 3.17’de verilen malzeme modeli (x) ve (y) yönünde simetrik olduğu için Şekil 3.18’de görüldüğü gibi $(2a) \times (2a) \times (2a)$ uzunluğunda bir küp matris elemanı ve bu matris elemanı içerisinde yer alan (R) yarıçapındaki gözenek elemanına indirgenmiştir. Ayrıca çözümün basitleştirilmesi için ısı akısının sadece (x) yönünde olduğu diğer (y) ve (z) yüzeylerinden ısı geçişinin olmadığı kabulü yapılarak problem bir boyutlu ısı geçişine indirgenmiştir. Böylelikle ele alınacak model çözüm açısından basite indirgenmiştir.



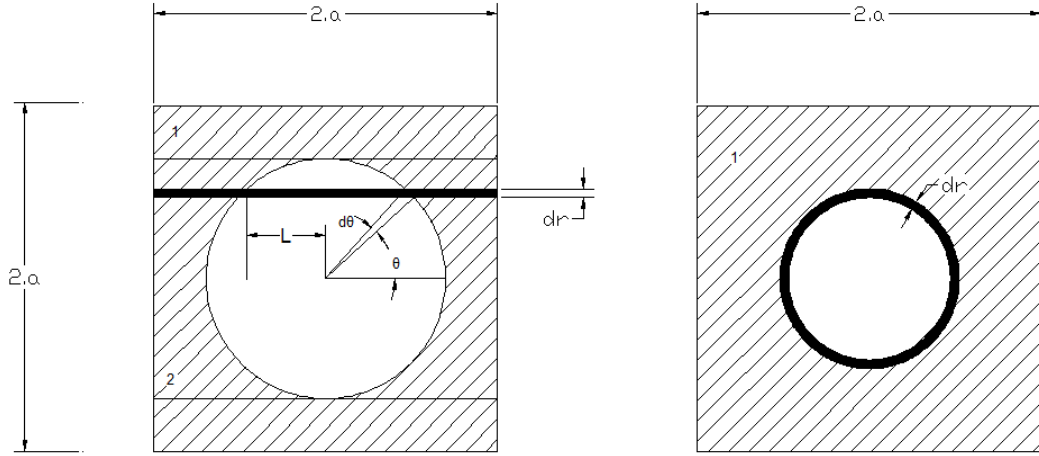
Şekil 3.18. Matematiksel model için ele alınan $(2a) \times (2a) \times (2a)$ uzunluğundaki birim hacim elemanı

Şekil 3.17’de verilen G2/04 gazbeton malzeme yapısını temsil eden Şekil 3.18’deki birim hacim elemanı üzerinden malzemenin efektif ısı iletkenlik değerinin belirlenmesi için, daha önceki kısımlarda açıklanmış olan elektrik benzeşimi (direnc) yöntemi kullanılmıştır.

Matematiksel modelin geliştirilmesinde Baysal⁽¹⁷⁾ tarafından yapılmış olan çalışmadan da faydalanılmıştır. Baysal çalışmasında düşük hacim oranlarındaki lif takviyeli kompozit malzemelerin efektif ısı iletkenlik değerinin belirlenmesinde ara yüzey temassızlık direncini de dikkate alarak silindirik ve elyaf tanecik katkıları için matematiksel model geliştirmiştir. Bu çalışmada geometrik şekil itibarıyla benzerlik göstermektedir. Ancak gazbeton malzemesinde gözeneklerle matris yapı arasında bir temas direnci bulunmamaktadır.

Şekil 3.18’de verilen $(2a) \times (2a) \times (2a)$ büyüklüğündeki küp matris ve matris içerisinde yer alan R yarıçapına sahip küresel gözenek yapısı, efektif ısı iletkenliğinin

direnç metoduna göre belirlenebilmesi için Şekil 3.19’da görüldüğü gibi matris ve matris-gözenekten oluşan iki bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 3.19. Matematiksel model için matris, matris-gözenek bölgesi ve kontrol hacmi

R yarıçapındaki dairesel gözenekğin alt ve üst kısmında kalan matris bölgesinin direnci R_1 ve matris-gözenek yapısından oluşan orta bölgenin direncine R_2 dersek, karma malzeme için ısı direnç;

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanabilir. Buna göre (1) numaralı matris bölgesinin ısı direnci,

$$R_1 = R_{m1} = \frac{2 \cdot a}{k_m \cdot dA_1} = \frac{2 \cdot a}{k_m \cdot (4a^2 - \pi R^2)} \quad (3.7)$$

Gözenek ve matrizen oluşan bölge için oluşturulan diferansiyel tabakanın ısı direnci;

$$(R_2)_{dr} = 2(R_{m2})_{dr} + (R_e)_{dr} \quad (3.8)$$

şeklinindedir. Burada diferansiyel tabakada ki matrisin ısı direnci;

$$R_{m2} = \frac{a - L}{k_m \cdot dA_r} \quad (3.9)$$

gözenek tabakasının ısı direnci;

$$R_e = \frac{2 \cdot L}{k_e \cdot dA_r} \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.8)'de yerine konulursa;

$$(R_2)_{dr} = 2 \left(\frac{a - L}{k_m \cdot dA_r} \right) + \frac{2 \cdot L}{k_e \cdot dA_r} \quad (3.11)$$

şekline gelir.

Buradaki diferansiyel tabakanın alanı $dA_r = 2\pi r dr = 2\pi(R \sin\theta)(R \cos\theta d\theta)$ ve diferansiyel tabakanın genişliği (2.L) için $L = R \cdot \cos\theta$ olup (3.11) eşitliğinde yerlerine yazılırsa;

$$R_2 = 2 \left(\frac{a - R \cos\theta}{k_m \cdot 2\pi R^2 \sin\theta \cos\theta d\theta} \right) + \frac{2 \cdot R \cdot \cos\theta}{k_e \cdot 2\pi R^2 \sin\theta \cos\theta d\theta} \quad (3.12)$$

olarak elde edilir. Buradan, $(1/R_2)$ 'yi

$$\frac{1}{R_2} = \pi R^2 k_m k_e \int_0^{\pi/2} \frac{\sin\theta \cos\theta}{a k_e + \cos\theta * R * (k_m - k_e)} d\theta \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edebiliriz ve integral ifadesini çözdüğümüzde $(1/R_2)$,

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\pi k_m k_e}{(k_m - k_e)^2} \left[a k_e \ln \frac{a k_e}{a k_e + R(k_m - k_e)} + R(k_m - k_e) \right] \quad (3.14)$$

olarak elde edilir. Şekil 3.19'da verilen matris ve gözenekten oluşan karma malzeme için direnç ifadesi

$$R_{eş} = \frac{L}{k \cdot A} = \frac{2 \cdot a}{k_{eff} \cdot 4a^2} \quad (3.15)$$

şeklinde tanımlanabilir ve bu eşitlikten (k_{eff}) ifadesi çekilerek eşitlik yeniden düzenlendiğinde,

$$k_{eff} = \frac{1}{2a} \frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{2a} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.16)$$

şeklinde elde edilir. (3.16) numaralı eşitlikte ifadeler yerlerine konularak düzenlendiğinde,

$$k_{eff} = \frac{k_m \cdot (4a^2 - \pi R^2)}{4a^2} + \frac{\pi k_m k_e}{2a \cdot (k_m - k_e)^2} \left[ak_e \ln \frac{ak_e}{ak_e + R(k_m - k_e)} + R(k_m - k_e) \right] \quad (3.17)$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen bu (3.17) numaralı eşitlik, küre şeklindeki gözenek malzemenin hacminin ($v_g = \frac{4}{3} \pi R^3$) toplam hacme ($v_T = (2a)^3$) oranı olan, gözenek hacim oranı (\emptyset) şeklinde ifade edilecek şekilde düzenlendiğinde;

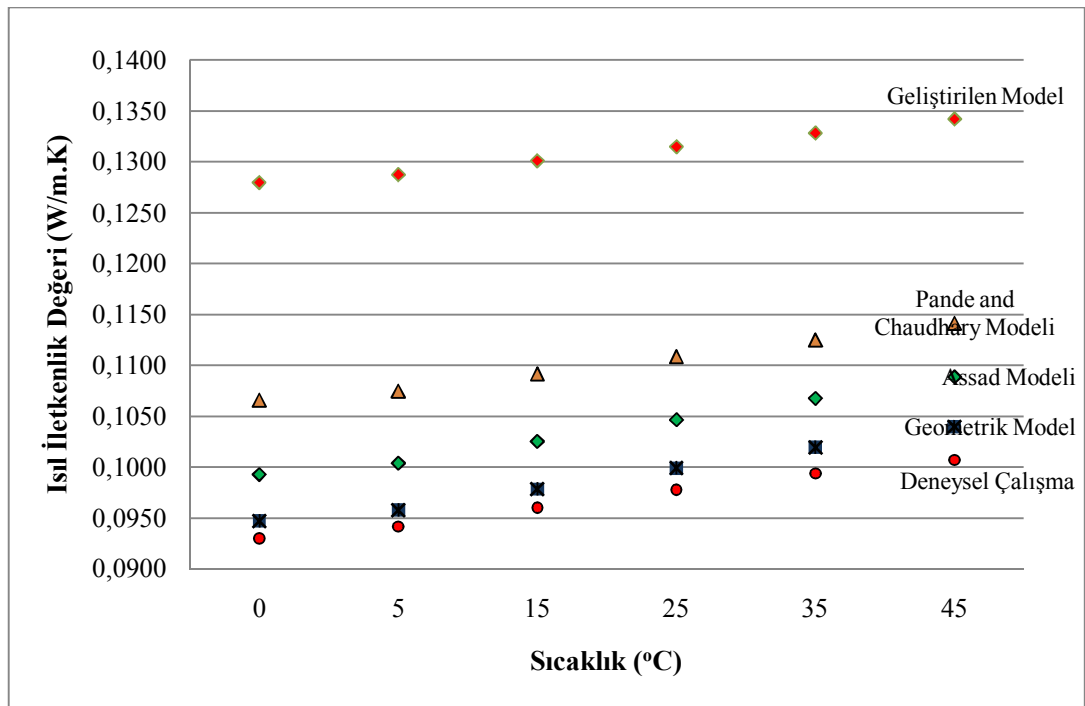
$$k_{eff} = k_m - k_m \frac{\pi \cdot \left(\frac{6\emptyset}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}}}{4} + \frac{\pi \cdot k_m \cdot k_e}{2 \cdot (k_m - k_e)^2} \cdot \left[k_e \ln \frac{k_e}{k_e + \left(\frac{6\emptyset}{\pi} \right)^{1/3} \cdot (k_m - k_e)} + \left(\frac{6\emptyset}{\pi} \right)^{1/3} \cdot (k_m - k_e) \right] \quad (3.18)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik (3.18), daha önceden belirtilmiş olan kabuller ışığında, G2/04 gazbeton malzemesinin efektif ısı iletkenlik değerinin gözenek hacim oranına göre değişimini bize vermektedir.

Kuru durumda G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimini belirlemek için yapılan deneylerden elde edilen sonuçların, Eşitlik (3.38)'den elde edilen (k_{eff}) değeriyle karşılaştırmasını yapabilmek için bilinmesi gereken, matris ısı iletkenlik değeri (k_m), gözenek ısı iletkenlik değeri (hava) (k_e) ve

gözenek hacim oranı (\emptyset) değerleri belirlenmiştir. Malzemenin gözenek miktarı Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Isı Laboratuvarında bulunan piknometre yardımıyla ölçülmüş ve yaklaşık olarak G2/04 gazbeton malzemesi için $\emptyset = 0,71$ (m^3/m^3) olarak bulunmuştur. Matris malzemesine ait ısı iletkenlik değeri ise Laurent tarafından yapılan literatür çalışmasından alınmıştır. Havanın ısı iletkenlik değeri içinde yine literatürden faydalanılmıştır.

Elde edilen bu matematiksel model, deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ve literatürdeki bazı ısı iletkenlik modelleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Efektif ısı iletkenlik değeri modellerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Şekil 3.20 incelendiğinde, geliştirilen matematiksel modele göre G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin, nemsiz durumda, sıcaklıkla değişimi için Eşitlik 3.18 yardımıyla belirlen değerlerin, deneysel sonuçlar ve literatürde yer alan bazı efektif ısı iletim katsayısı modelleriyle karşılaştırıldığı görülmektedir. Buna göre geliştirilen matematiksel modeli G2/04 gazbeton malzemesi için deney sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Geliştirilen model, sonuçta matris ve makro gözeneklerden oluşmakta olup, düzgün bir gözenek geometrisine sahip olmayan bir malzemedir. Ancak burada model çalışması için belirli kabuller yapılmıştır. Özellikle malzeme içerisinde yer alan gözeneklerin küresel bir şekle sahip olduğu ve birbiriyle temas halinde olmayan homojen dağılımlı gözenekler olarak modellenmiştir.

Malzeme içerisinde yer alan makro gözeneklerin farklı düzgün olmayan geometrik bir yapıya sahip olması, bazı makro gözeneklerin birbiriyle bağlantılı olması ve matris bölge içerisinde yer alan mikro gözenekli yapı geliştirilen matematiksel modelde basite indirgemek amacıyla dikkate alınmamıştır. Bu nedenle geliştirilen matematiksel model sonuçlarının deneysel sonuçlara göre bir miktar farklılık göstermesi normal sayılabilir. Bu belirtilen basite indirgemelerde dikkate alınarak ilerleyen çalışmalarda geniş bir hacim oranı aralığında gazbeton malzemesini temsil edebilecek bir matematiksel geliştirmesi yapılabilir.

3.5. Regresyon Modeli Geliştirilmesi

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak daha ileriki çalışmalarda zaman ve maliyetten kazanılması için G2/04 sınıfı malzemenin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklığa bağlı değişimi için bir eşitlik elde edilmesi amacıyla regresyon çalışması yapılmıştır. Regresyon çalışmasında, doğrusal regresyon modeli-1, doğrusal regresyon modeli-2 ve ikinci dereceden regresyon modeli olmak üzere üç farklı regresyon denklemi geliştirilmiş ve bu denklemlerin deney sonuçlarıyla uyumları ve hata miktarları araştırılmıştır. İncelenen bu modelleri ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.5.1. Doğrusal Regresyon Modeli-1

Regresyon çalışmasında ilk olarak malzemenin ısı iletkenliği ile nem miktarı ve sıcaklığı arasındaki bağıntının doğrusal olduğu kabulü yapılarak aradaki bağıntı

$$k = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot w \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilmiş ve regresyon eşitliğinin elde edilmesi ve bu kabulün ne derece doğru olacağının belirlenmesi için gerekli işlemler yapılmıştır. Öncelikle (3.19) eşitliği için doğrusal regresyon modeli,

$$k = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot w + e \quad (3.20)$$

şeklinde yazılabilir ve hata terimi (e),

$$e = k - \beta_0 - \beta_1 T - \beta_2 \cdot w \quad (3.21)$$

şeklinde olur. Hata teriminin karesini alıp bütün gözlemler için toplayacak olursak;

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (k_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot T_i - \beta_2 \cdot w_i)^2 \quad (3.22)$$

ifadesi elde edilir. β_0 , β_1 ve β_2 parametrelerinin bir tahmini olan a_0 , a_1 ve a_2 katsayıları en küçük kareler yöntemi ile belirlemek için (3.22) eşitliğinin β_0 , β_1 , ve β_2 a göre türevleri alınıp sıfıra eşitlenerek;

$$\sum k - n \cdot \beta_0 - \beta_1 \sum T - \beta_2 \sum w = 0 \quad (3.23)$$

$$\sum k \cdot T - \beta_0 \sum T - \beta_1 \sum T^2 - \beta_2 \sum T \cdot w = 0 \quad (3.24)$$

$$\sum k \cdot w - \beta_0 \sum w - \beta_1 \sum T \cdot w - \beta_2 \sum w^2 = 0 \quad (3.25)$$

üç bilinmeyenli üç denklem takımı elde edilmiştir. Elde edilen denklem takımlarının gauss-eliminasyon yöntemi yardımıyla çözülmüş ve

$$a_0 = 0,0598$$

$$a_1 = 0,0017$$

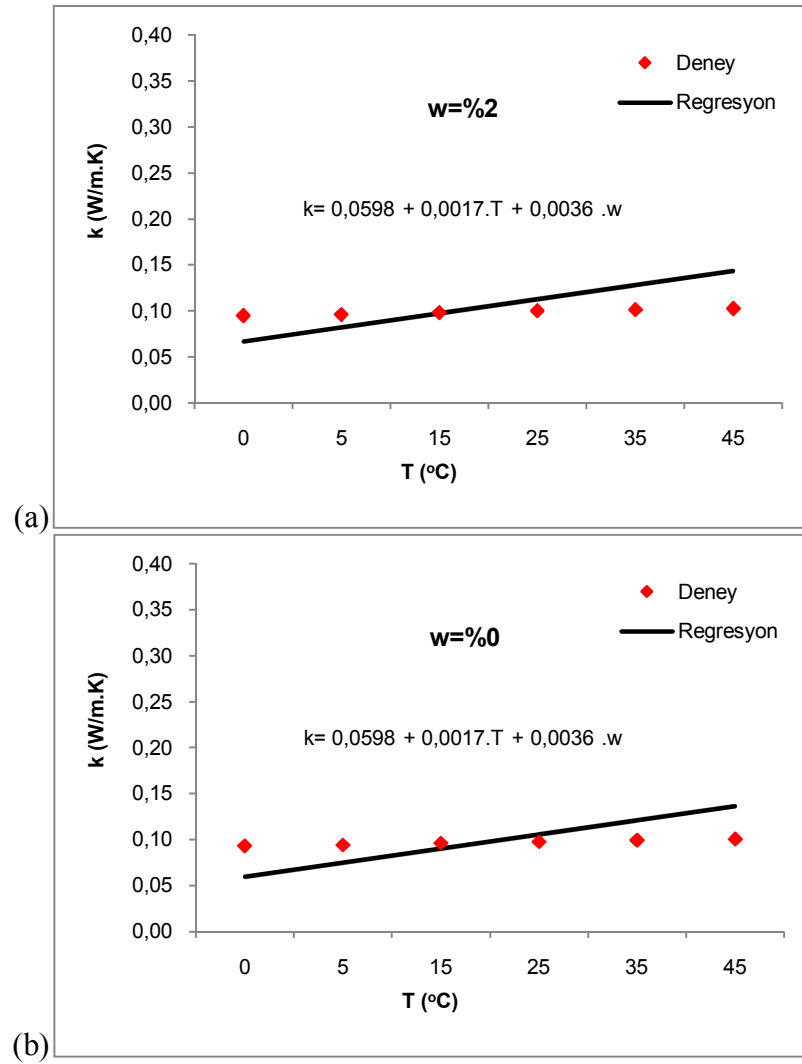
$$a_2 = 0,0036$$

olarak elde edilmiştir. a_0 , a_1 ve a_2 katsayıları yerlerine konulduğunda ise (3.19) numaralı eşitlik

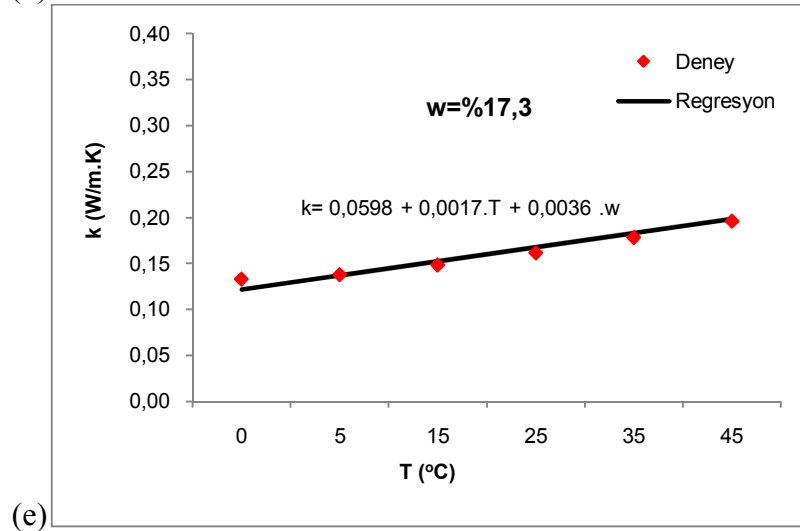
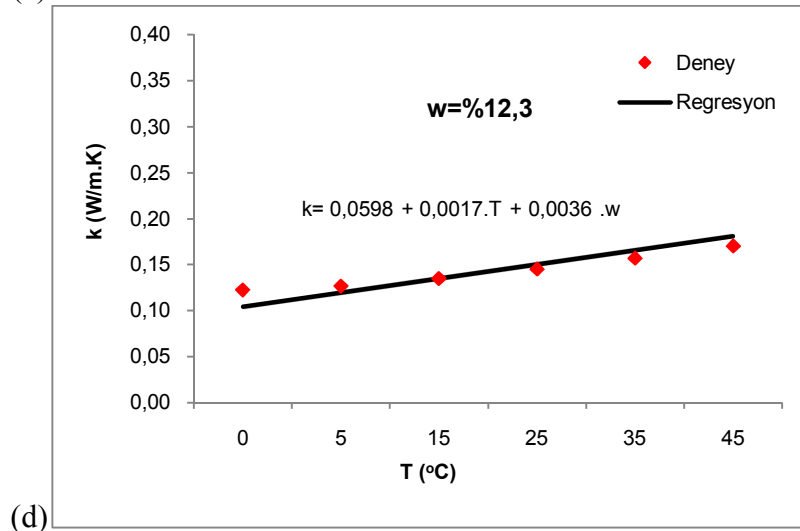
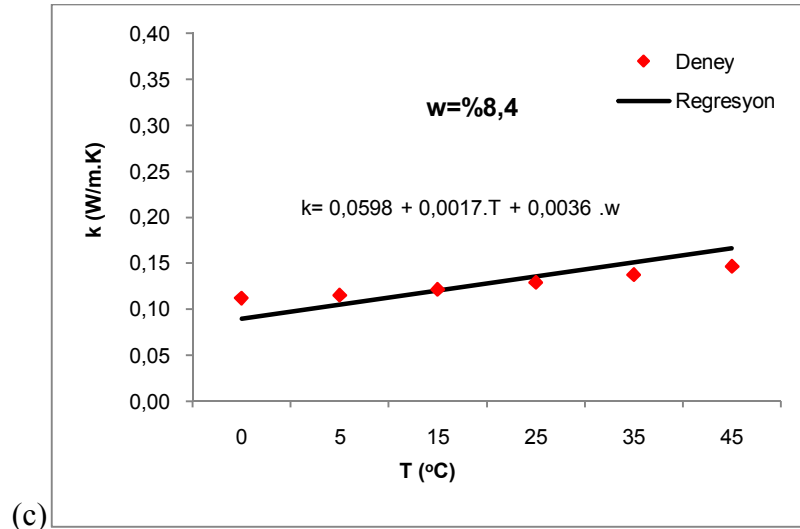
$$k = 0,0598 + 0,0017 \cdot T + 0,0036 \cdot w \quad (\text{W/m.K}) \quad (3.26)$$

şeklinde elde edilmiştir. Eşitlik (3.26), nem miktarı (w) sabit tutulduğunda sıcaklığın (T) her birim artışında ısı iletkenliğinin (k) 0,0017 birim arttığını, benzer şekilde T sabit tutulduğunda nemin her birim artışında ısı iletkenliğinin 0,0036 birim arttığını göstermektedir.

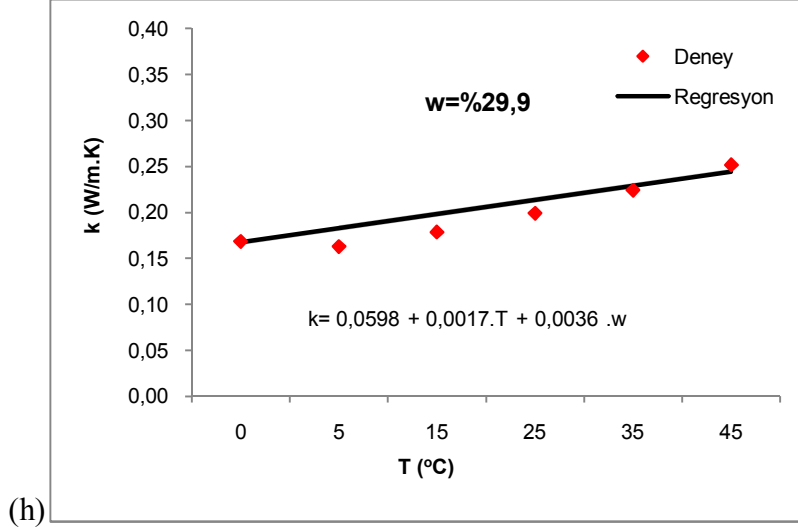
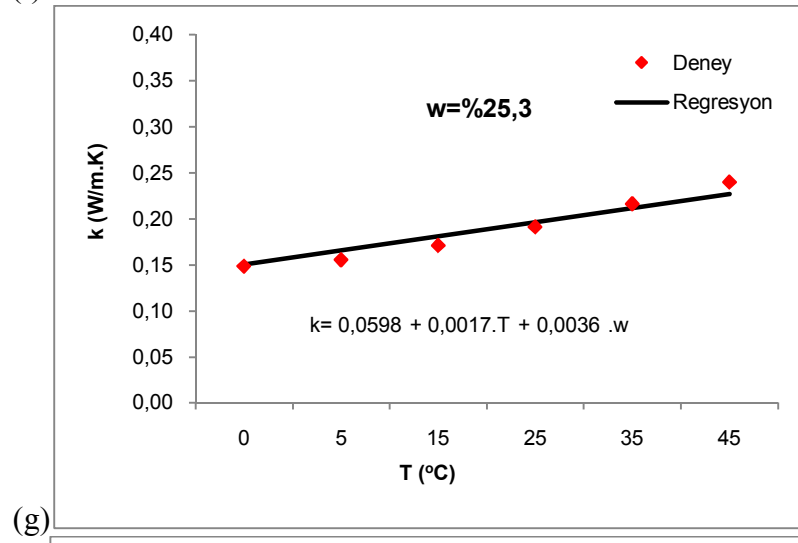
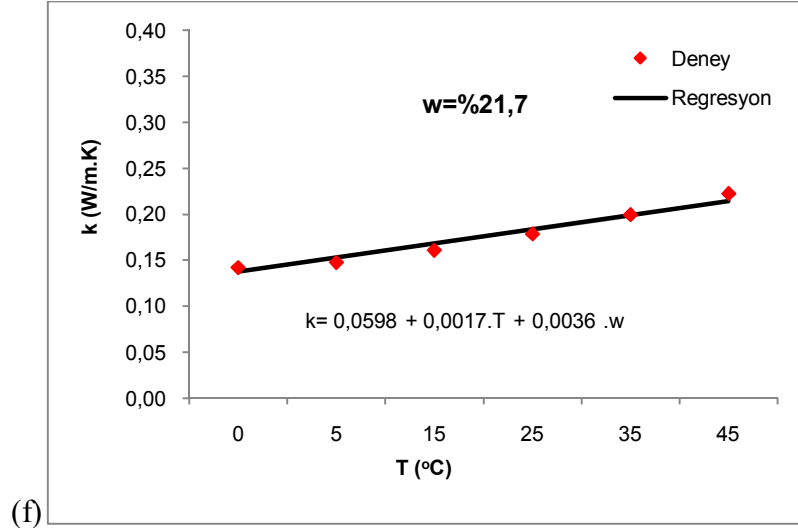
Elde edilen bu (3.26) numaralı eşitliğin doğruluğunu ve hata düzeyini belirleyebilmek amacıyla, farklı sıcaklık ve nem değerlerinde elde edilen deneysel sonuçlar Eşitlik (3.26) ile karşılaştırılmış ve sonuçlar her bir nem değeri için ayrı ayrı, Şekil 3.21’de verilmiştir. Bununla birlikte Çizelge 3.9’da, her bir sıcaklık ve nem değeri için deney sonuçları ile regresyon sonuçları karşılaştırılarak mutlak ve bağıl hata, değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Çizelge 3.9’da, ortalama mutlak hata, ortalama bağıl hata, maksimum mutlak hata, maksimum bağıl hata ve regresyon belirleme katsayısı (R kare) değerleri de hesaplanarak verilmiştir.



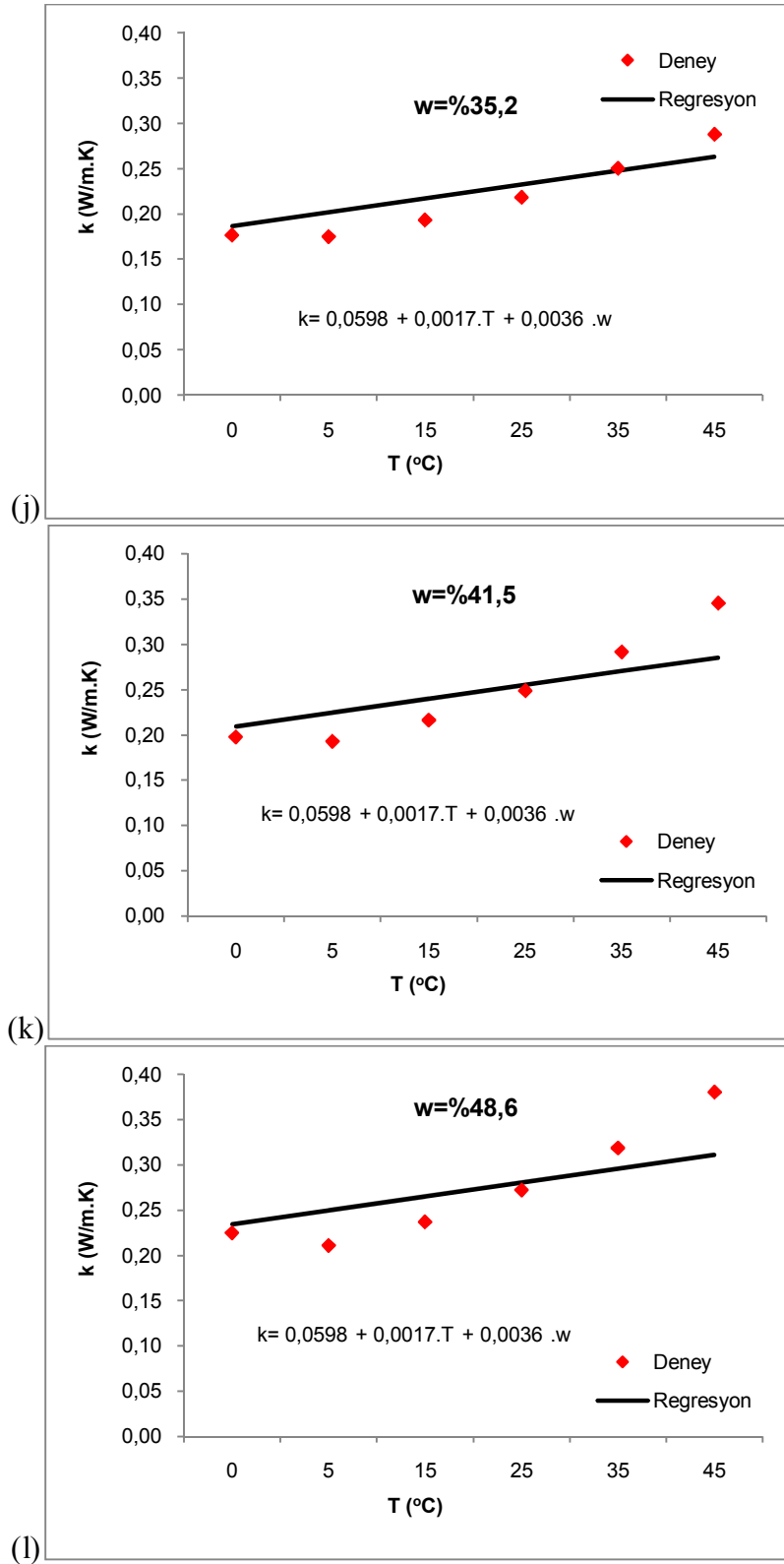
Şekil 3.21. Doğrusal regresyon modeli-1’in G2/04 gazbeton deney sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 3.21. (Devam)



Şekil 3.21. (Devam)



Şekil 3.21. (Devam)

Çizelge 3.9. Doğrusal regresyon modeli-1 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması

Sıcaklık	% Nem Miktarı	Deneysel Isıl İletkenlik Değeri	Regresyon Isıl İletkenlik Değeri	Mutlak Hata	Bağlı Hata
T(°C)	w (gr/gr)	k_{dny} (W/m.K)	k_{reg} (W/m.K)	$ k_{dny} - k_{reg} $	$\frac{(k_{dny} - k_{reg})}{k_{dny}}$
0	0,0	0,0930	0,0598	0,033	0,357
5		0,0942	0,0751	0,019	0,202
15		0,0960	0,0904	0,006	0,058
25		0,0978	0,1057	0,008	0,081
35		0,0994	0,1210	0,022	0,218
45		0,1007	0,1363	0,036	0,354
0	2,0	0,0952	0,0670	0,028	0,296
5		0,0964	0,0823	0,014	0,146
15		0,0986	0,0976	0,001	0,010
25		0,1004	0,1129	0,013	0,125
35		0,1015	0,1282	0,027	0,263
45		0,1028	0,1435	0,041	0,396
0	8,4	0,1121	0,0900	0,022	0,197
5		0,1150	0,1053	0,010	0,084
15		0,1214	0,1206	0,001	0,006
25		0,1290	0,1359	0,007	0,054
35		0,1374	0,1512	0,014	0,101
45		0,1463	0,1665	0,020	0,138
0	12,3	0,1224	0,1041	0,018	0,150
5		0,1264	0,1194	0,007	0,056
15		0,1347	0,1347	0,000	0,000
25		0,1449	0,1500	0,005	0,035
35		0,1570	0,1653	0,008	0,053
45		0,1701	0,1806	0,010	0,062
0	17,3	0,1335	0,1221	0,011	0,086
5		0,1381	0,1374	0,001	0,005
15		0,1486	0,1527	0,004	0,027
25		0,1620	0,1680	0,006	0,037
35		0,1784	0,1833	0,005	0,027
45		0,1961	0,1986	0,002	0,013
0	21,7	0,1423	0,1379	0,004	0,031
5		0,1478	0,1532	0,005	0,037
15		0,1611	0,1685	0,007	0,046
25		0,1788	0,1838	0,005	0,028

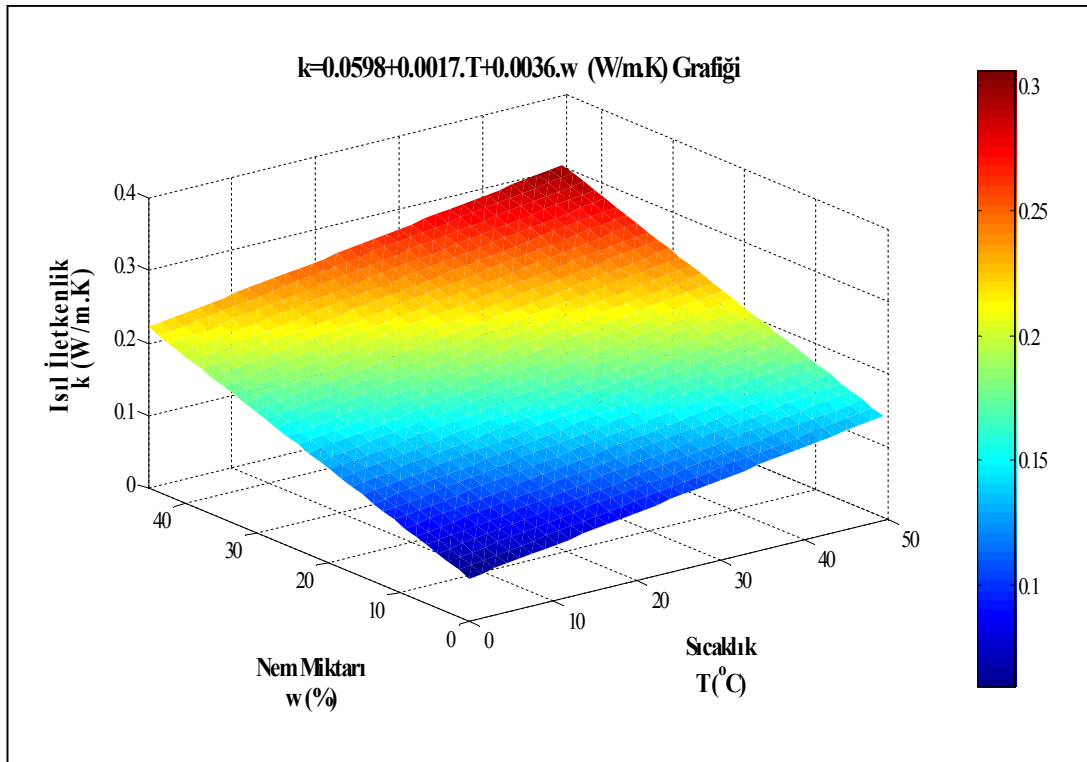
Çizelge 3.9. (Devam)

35	21,7	0,1998	0,1991	0,001	0,003
45		0,2226	0,2144	0,008	0,037
0	25,3	0,1491	0,1509	0,002	0,012
5		0,1559	0,1662	0,010	0,066
15		0,1714	0,1815	0,010	0,059
25		0,1917	0,1968	0,005	0,026
35		0,2165	0,2121	0,004	0,020
45		0,2401	0,2274	0,013	0,053
0	29,9	0,1687	0,1674	0,001	0,007
5		0,1633	0,1827	0,019	0,119
15		0,1788	0,1980	0,019	0,108
25		0,1992	0,2133	0,014	0,071
35		0,2243	0,2286	0,004	0,019
45		0,2517	0,2439	0,008	0,031
0	35,2	0,1768	0,1865	0,010	0,055
5		0,1752	0,2018	0,027	0,152
15		0,1936	0,2171	0,024	0,121
25		0,2186	0,2324	0,014	0,063
35		0,2505	0,2477	0,003	0,011
45		0,2879	0,2630	0,025	0,086
0	41,5	0,1978	0,2092	0,011	0,058
5		0,1930	0,2245	0,032	0,163
15		0,2163	0,2398	0,024	0,109
25		0,2489	0,2551	0,006	0,025
35		0,2917	0,2704	0,021	0,073
45		0,3453	0,2857	0,060	0,173
0	48,6	0,2252	0,2348	0,010	0,042
5		0,2115	0,2501	0,039	0,182
15		0,2373	0,2654	0,028	0,118
25		0,2726	0,2807	0,008	0,030
35		0,3189	0,2960	0,023	0,072
45		0,3804	0,3113	0,069	0,182
Ortalama Hata Değerleri				0,015	0,093
Maksimum Hata Değerleri				0,069	0,396
Regresyon Belirleme Katsayısı (R²)				0,91	

Regresyon denkleminin veriyi modelleme yeteneğini gösteren performans ölçülerinden $R^2=0,91$ yüksek bir değer olmakla birlikte, Şekil 3.21’de görülebileceği gibi denklem, veriyi özellikle yüksek nem değerlerinde başarıyla modelleyememektedir. Şekil 3.21/a,b,c,d,e,f,g’de görüldüğü gibi ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi düşük nem değerlerinde doğrusal bir değişim gösterirken, %29,9, %35,2, %41,5 ve %48,6 nem değerlerinde ısı iletkenlik değerinin 5°C sıcaklık değerinde bir kırılma noktası oluşturması sonucu doğrusallıktan uzaklaşmaktadır. Elde edilen modelin doğrusal model olması, yüksek nem değerlerindeki bu doğrusallıktan sapmayı modellemekte yetersiz kalmaktadır. Özellikle artan nem değerlerinde model doğrusallıktan tamamen uzaklaşmaktadır. Ayrıca Çizelge 3.9’da görüldüğü gibi, maksimum bağıl hata değerinin 0,396’dır, bu da modeli kullanarak elde edilecek ısı iletkenlik değerinden (k) %39,6 gibi çok yüksek bir sapma olabileceğini göstermektedir. Maksimum mutlak hata değeri ise 0,069 olarak bulunmuş olup küçük bir hata değeri gibi görünmekle birlikte, malzemenin ısı iletkenlik değerinin 0,1-0,4 düzeylerinde olduğu dikkate alındığında maksimum mutlak hata değerinin de büyük olduğu görülmektedir. Bu maksimum mutlak hata değeri, malzemenin ısı iletkenlik değerinin bu model kullanılarak belirlenmesi durumunda 0,069 düzeyinde fazla ya da düşük belirlenebileceği anlamına gelmektedir.

Bu elde edilen regresyon modelinde ki R^2 değerinin yükseltilmesi ve maksimum bağıl ve mutlak hata değerlerinin düşürülmesi amacıyla farklı regresyon modeli çalışmalarına gidilmiş ve bu model çalışmaları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Doğrusal regresyon modeli- 1 için elde edilen Eşitlik 3.26'a göre G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklık değerlerine bağı olarak değişimi Şekil 3.22'de 3 boyutlu yüzey grafiği olarak verilmiştir. Bu 3 boyutlu grafikte de ısı iletkenliğinin sıcaklık ve nemle değişiminin doğrusal bir yüzey oluşturduğu net olarak görülmektedir. Şekilde mavi bölge ısı iletkenlik değerinin düşük olduğu, kırmızı bölge ise yüksek olduğu noktaları göstermektedir.



Şekil 3.22. Doğrusal regresyon modeli-1'e göre G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişimi

3.5.2. Doğrusal Regresyon Modeli-2

Önceki bölümde Eşitlik (3.20) şeklinde ele alınmış olan doğrusal regresyon modeline, bu bölümde ilave olarak sıcaklık (T) ve nem (w) değişkenlerinin çarpımı

olan (T.w) terimi eklenmiştir. Eşitlik (3.27)'de verilen bu yeni regresyon ifadesi yine doğrusal bir eşitlik olup sıcaklık ve nem bileşenlerinin çarpımının eklenmesiyle modellenmenin ne şekilde değişeceği bu bölümde incelenmiştir.

$$k = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot w + a_3 \cdot T \cdot w \quad (3.27)$$

Doğrusal regresyon modeli Eşitlik (3.27) ile verilen iki değişkenli regresyon modeli aynı zamanda;

$$k = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot w + \beta_3 \cdot T \cdot w + e \quad (3.28)$$

şeklinde yazılabilir ve hata terimi,

$$e = k - \beta_0 - \beta_1 \cdot T - \beta_2 \cdot w - \beta_3 \cdot T \cdot w \quad (3.29)$$

olur. Hata teriminin karesini alıp bütün gözlemler için toplayacak olursak;

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (k_i - \beta_0 - \beta_1 \cdot T_i - \beta_2 \cdot w_i - \beta_3 \cdot T_i \cdot w_i) \quad (3.30)$$

ifadesi elde edilir. β_0 , β_1 , β_2 ve β_3 parametrelerinin bir tahmini olan a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları en küçük kareler yöntemi ile belirlemek için (3.30) eşitliğinin β_0 , β_1 , β_2 ve β_3 a göre türevleri alınıp sıfıra eşitlendiğinde;

$$\sum k - n \cdot \beta_0 - \beta_1 \sum T - \beta_2 \sum w - \beta_3 \sum T \cdot w = 0 \quad (3.31)$$

$$\sum k \cdot x_1 - \beta_0 \sum T - \beta_1 \sum T^2 - \beta_2 \sum T \cdot w - \beta_3 \sum T^2 \cdot w = 0 \quad (3.32)$$

$$\sum k \cdot w - \beta_0 \sum w - \beta_1 \sum T \cdot w - \beta_2 \sum w^2 - \beta_3 \sum T \cdot w^2 = 0 \quad (3.33)$$

$$\sum k \cdot T \cdot w - \beta_0 \sum T \cdot w - \beta_1 \sum T^2 \cdot w - \beta_2 \sum T \cdot w^2 - \beta_3 \sum T^2 \cdot w^2 = 0 \quad (3.34)$$

şeklinde dört bilinmeyenli dört denklem elde edilmiştir. Elde edilen bu denklem takımı gauss-eliminasyon yöntemi yardımıyla çözülmüş ve β_0 , β_1 , β_2 ve β_3 parametrelerinin bir tahmini olan a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları;

$$a_0 = 0,0926$$

$$a_1 = 0,00013$$

$$a_2 = 0,00214$$

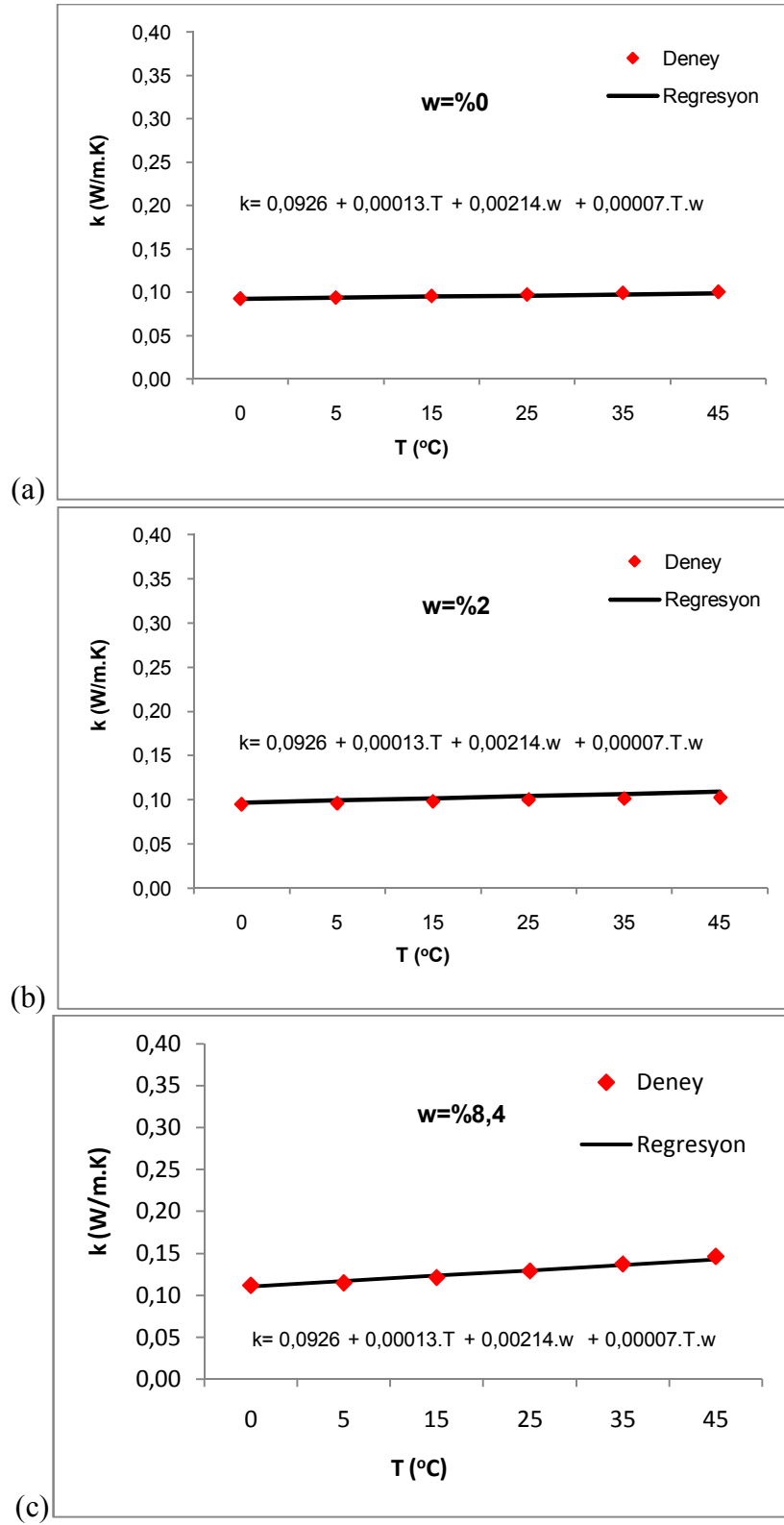
$$a_3 = 0,00007$$

olarak belirlenmiştir. a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları yerlerine yazıldığında (3.27) numaralı eşitlik

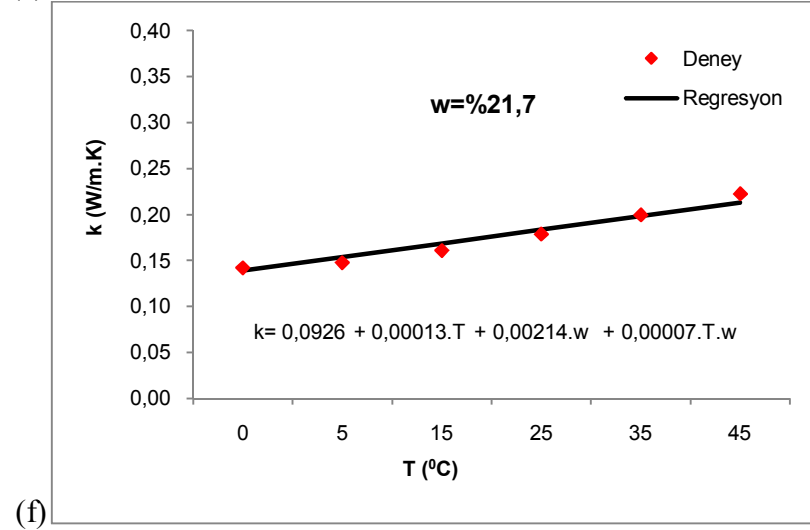
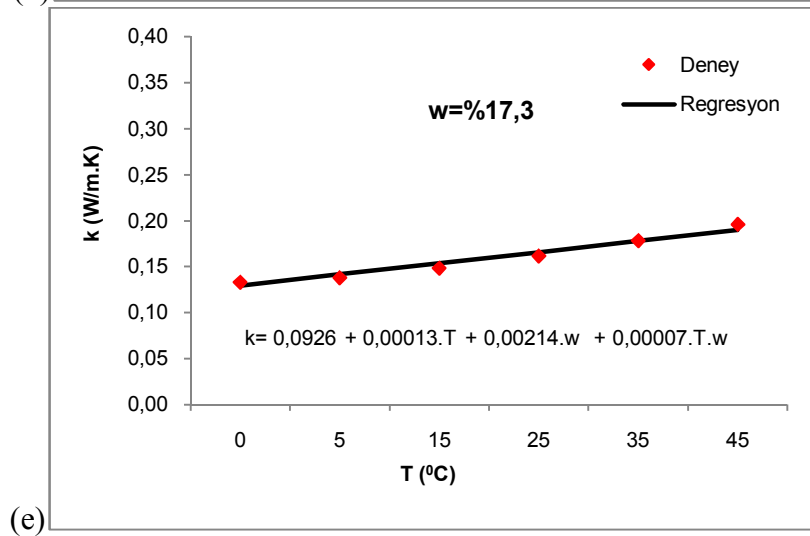
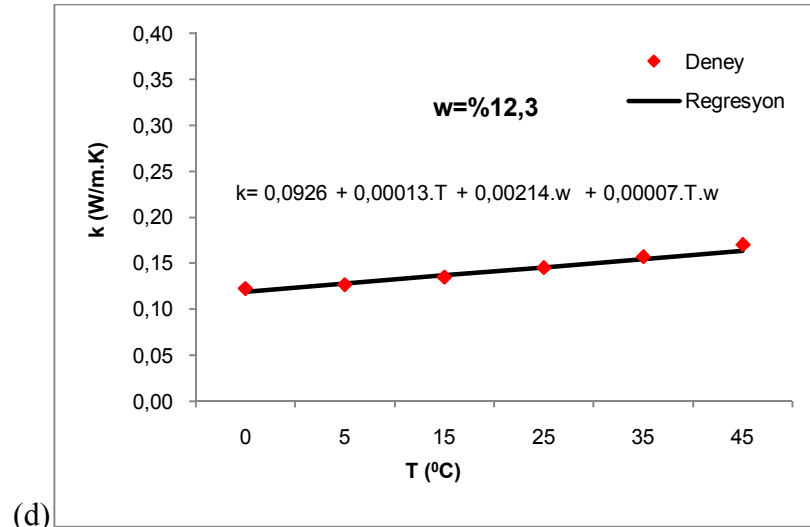
$$k = 0,0926 + 0,00013.T + 0,00214.w + 0,00007.T.w \quad (\text{W/m.K}) \quad (3.35)$$

şeklinde elde edilmiştir. Eşitlik 3.35'de ki sıcaklık ve nem değişkenlerinin çarpımı olan (T.w) teriminin katsayısı 0,00007 gibi oldukça küçük bir değer elde edilmiştir. Ancak daha önce elde edilmiş olan doğrusal regresyon modeli-1 ile karşılaştırıldığında, Eşitlik 3.26' da ki sabit değer 0,0598 den 0,0926'ya artarken, sıcaklık (T) bileşeninin çarpanının 0,0017'den 0,00013'e ve nem (w) bileşeninin çarpanının ise 0,0036'dan 0,00214 değerine düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla sıcaklık ve nem değişkenlerinin çarpımının (T.w) Eşitlik 3.26'ya eklenmesi sonuçta elde edilen yeni regresyon eşitliğini tamamen değiştirmiştir.

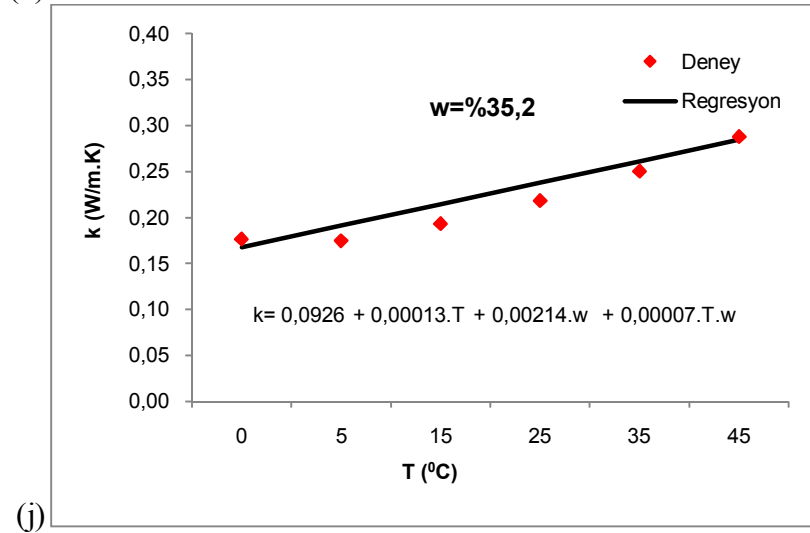
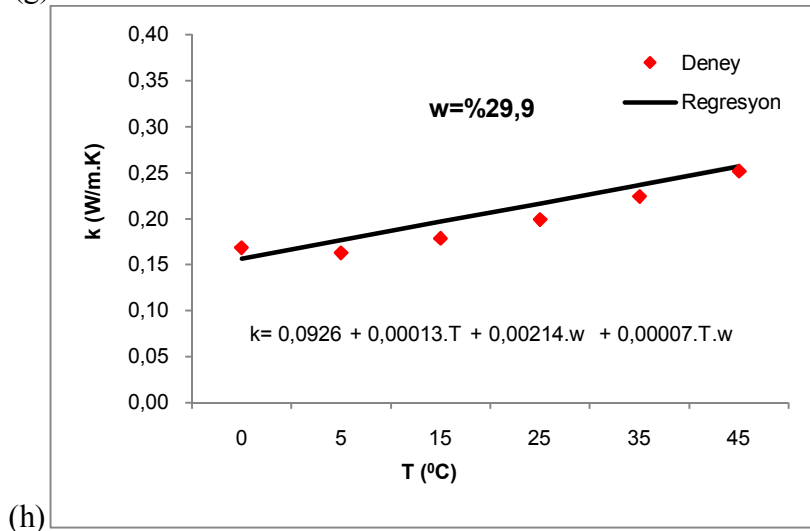
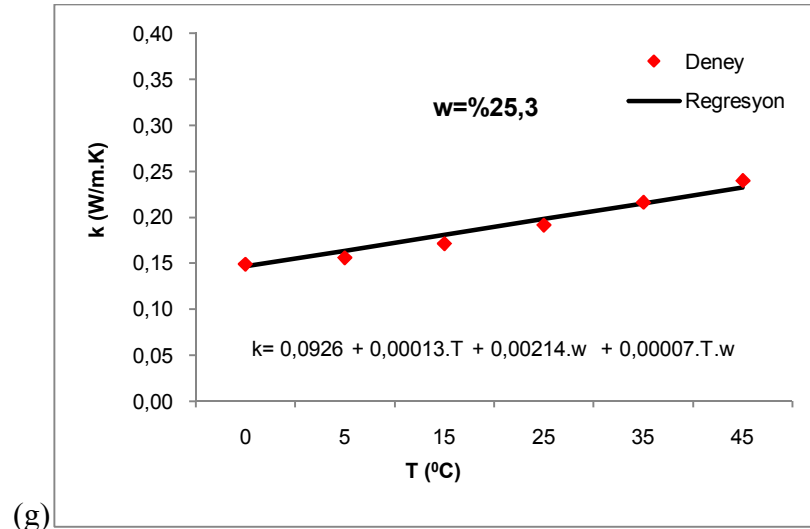
Elde edilen bu yeni doğrusal regresyon eşitliğinin deneysel sonuçlarla ne derece uyumlu olduğunu belirlemek için, her bir nem ve sıcaklık değeri için elde edilen ısı iletkenlik değerinin deneysel sonuçlarıyla Eşitlik 3.35 karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.10'de ve Şekil 3.23'de verilmiştir.



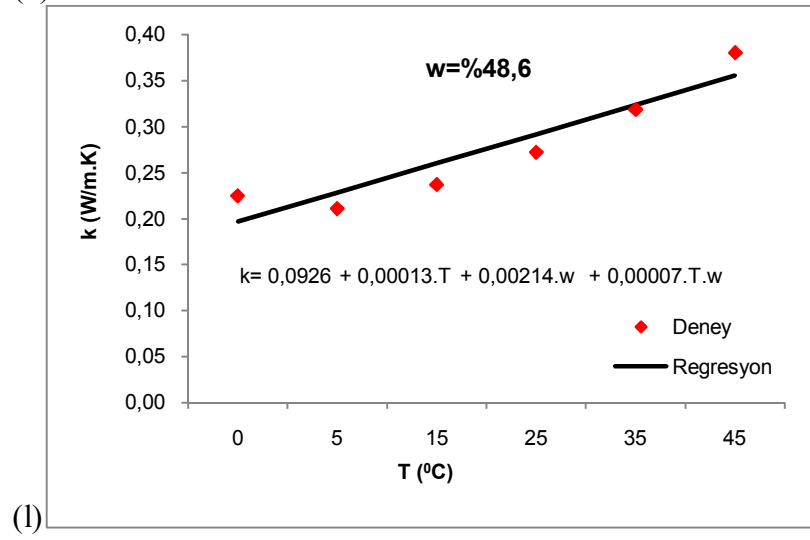
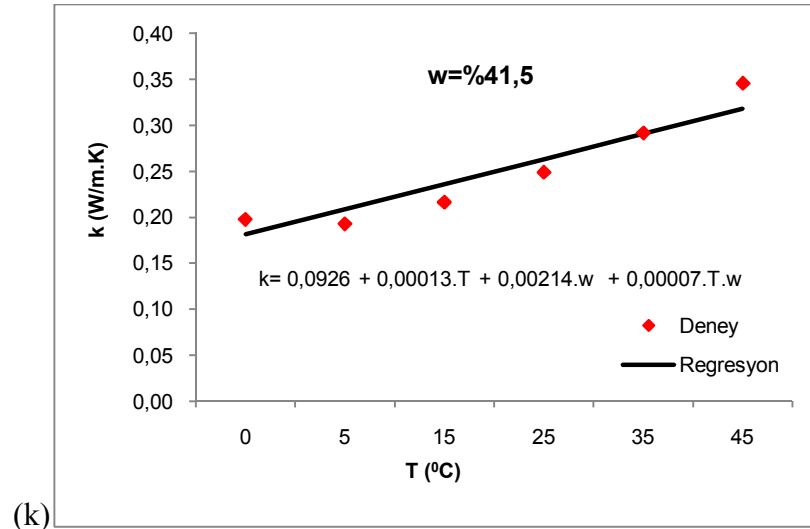
Şekil 3.23. Doğrusal regresyon modeli-2 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.23. (Devam)



Şekil 3.23. (Devam)



Şekil 3.23. (Devam)

Çizelge 3.10. Doğrusal regresyon modeli-2 ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması

Sıcaklık	% Nem Miktarı	DeneySEL Isıl İletkenlik Değeri	Regresyon Isıl İletkenlik Değeri	Mutlak Hata	Bağlı Hata
T(°C)	w (gr/gr)	k _{dny} (W/m.K)	k _{reg} (W/m.K)	k _{dny} - k _{reg}	$\frac{(k_{dny} - k_{reg})}{k_{dny}}$
0	0,0	0,0930	0,0926	0,000	0,004
5		0,0942	0,0938	0,000	0,004
15		0,0960	0,0949	0,001	0,011
25		0,0978	0,0961	0,002	0,017
35		0,0994	0,0973	0,002	0,021
45		0,1007	0,0985	0,002	0,022
0		2,0	0,0952	0,0969	0,002
5	0,0964		0,0993	0,003	0,030
15	0,0986		0,1017	0,003	0,032
25	0,1004		0,1042	0,004	0,038
35	0,1015		0,1066	0,005	0,050
45	0,1028		0,1090	0,006	0,061
0	8,4		0,1121	0,1106	0,002
5		0,1150	0,1170	0,002	0,018
15		0,1214	0,1235	0,002	0,017
25		0,1290	0,1300	0,001	0,007
35		0,1374	0,1364	0,001	0,007
45		0,1463	0,1429	0,003	0,023
0		12,3	0,1224	0,1189	0,003
5	0,1264		0,1278	0,001	0,011
15	0,1347		0,1368	0,002	0,015
25	0,1449		0,1457	0,001	0,005
35	0,1570		0,1546	0,002	0,015
45	0,1701		0,1635	0,007	0,039
0	17,3		0,1335	0,1296	0,004
5		0,1381	0,1417	0,004	0,026
15		0,1486	0,1538	0,005	0,035
25		0,1620	0,1658	0,004	0,024
35		0,1784	0,1779	0,001	0,003
45		0,1961	0,1900	0,006	0,031
0		21,7	0,1423	0,1390	0,003
5	0,1478		0,1539	0,006	0,041
15	0,1611		0,1687	0,008	0,047
25	0,1788		0,1836	0,005	0,027

Çizelge 3.10. (Devam)

35		0,1998	0,1984	0,001	0,007	
45		0,2226	0,2132	0,009	0,042	
0	25,3	0,1491	0,1467	0,002	0,016	
5		0,1559	0,1639	0,008	0,051	
15		0,1714	0,1810	0,010	0,056	
25		0,1917	0,1981	0,006	0,033	
35		0,2165	0,2152	0,001	0,006	
45		0,2401	0,2323	0,008	0,033	
0		29,9	0,1687	0,1566	0,012	0,072
5			0,1633	0,1766	0,013	0,081
15	0,1788		0,1966	0,018	0,100	
25	0,1992		0,2166	0,017	0,087	
35	0,2243		0,2366	0,012	0,055	
45	0,2517		0,2566	0,005	0,020	
0	35,2		0,1768	0,1679	0,009	0,050
5			0,1752	0,1913	0,016	0,092
15		0,1936	0,2146	0,021	0,109	
25		0,2186	0,2380	0,019	0,089	
35		0,2505	0,2613	0,011	0,043	
45		0,2879	0,2847	0,003	0,011	
0		41,5	0,1978	0,1814	0,016	0,083
5			0,1930	0,2087	0,016	0,081
15	0,2163		0,2360	0,020	0,091	
25	0,2489		0,2634	0,014	0,058	
35	0,2917		0,2907	0,001	0,004	
45	0,3453		0,3180	0,027	0,079	
0	48,6		0,2252	0,1966	0,029	0,127
5			0,2115	0,2284	0,017	0,080
15		0,2373	0,2602	0,023	0,096	
25		0,2726	0,2920	0,019	0,071	
35		0,3189	0,3238	0,005	0,015	
45		0,3804	0,3555	0,007	0,040	
Ortalama Hata Değerleri				0,008	0,040	
Maksimum Hata Değerleri				0,029	0,127	
Regresyon Belirleme Katsayısı (R²)				0,95		

Şekil 3.23'de elde edilen yeni doğrusal regresyon modelinin veriyi, daha önceki regresyon modeline göre daha iyi modelleyebildiği görülmektedir. Şekil

3.23/a,b,c,d,e,f,g'de elde edilen denklemin deneysel verilerle örtüştüğü görülmektedir. Ancak, daha önceki modelde olduğu gibi, nem miktarının artmasıyla birlikte elde edilen denklemin veriyi modelleme yeteneği azalmakta olup bu durum Şekil 3.23/h,j,k,l'de açıkça görülmektedir.

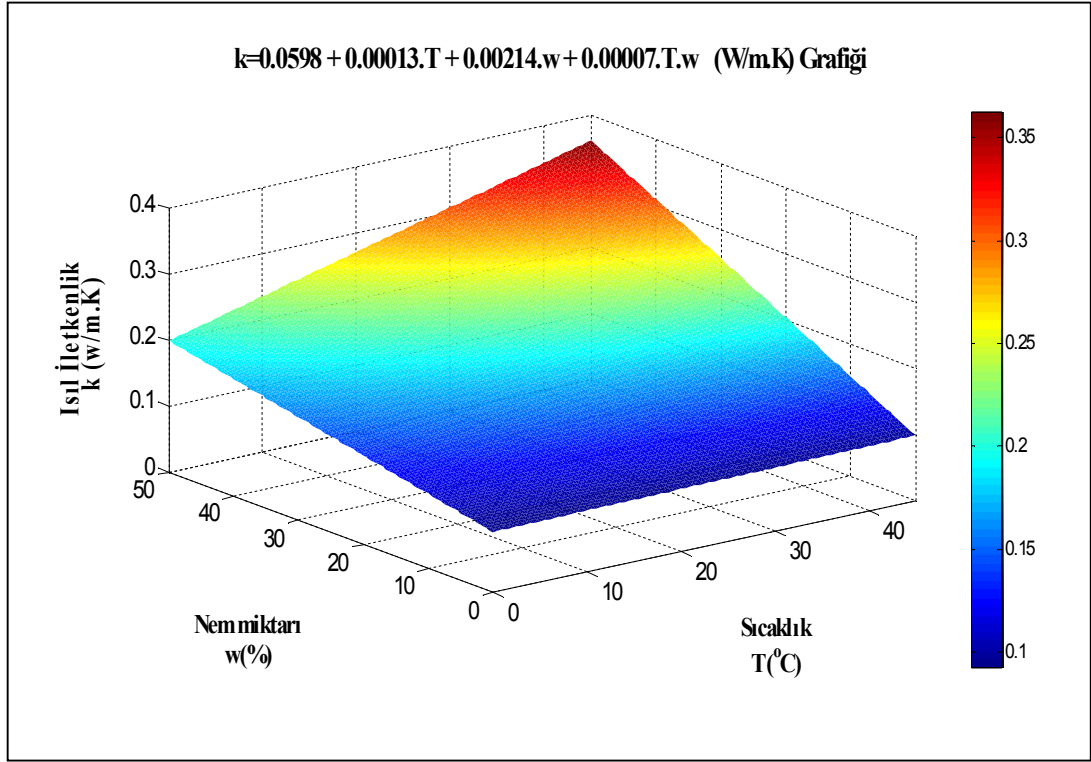
Bu regresyon modelinde R^2 değeri ise 0,95 olarak belirlenmiştir. Denklem veriyi modelleme yeteneğinin önemli bir göstergesi olan R^2 değeri oldukça iyi bir değer olup bir önceki doğrusal regresyon modelinden de daha yüksek bir değerdir. Dolayısıyla elde edilen bu yeni regresyon denkleminin bir önceki regresyon denkleminde daha güçlü bir veriyi modelleme gücüne sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Bu yeni regresyon denkleminin deneysel sonuçlarla karşılaştırmasının yapıldığı Çizelge 3.10'de maksimum bağıl ve mutlak hata değerlerinin sırasıyla 0,127 ve 0,029 olarak belirlendiği görülmektedir. Maksimum bağıl hata için 0,127 değeri bu denklemin kullanılması durumunda oluşabilecek maksimum hatanın %12,7 olduğunu göstermektedir. Bir önceki regresyon analizinde maksimum yüzde bağıl hata değeri %39,6 olarak belirlenmişti, dolayısıyla bu doğrusal regresyon modeli-2'nin regresyon modeli-1'e göre çok daha uygun ve modelleme gücünün çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca maksimum mutlak hata değeri de 0,029 olarak belirlenmiştir. Bu değerde yine bir önceki regresyon modelindeki maksimum mutlak hata değerinden 0,04 birim daha düşük olup yeni modelin mutlak hata değeri açısından da iyi bir değere sahip olduğunu göstermektedir.

Gerek doğrusal regresyon modeli-1'in gereksel doğrusal regresyon modeli-2'nin düşük nem değerleri için oldukça iyi bir modelleme gücüne sahip oldukları görülmektedir. Ancak yüksek nem değerleri için her iki doğrusal modelinde tam olarak uygun olmadıkları Şekil 3.21/h,j,k,l ve Şekil 3.23/h,j,k,l'den görülmektedir.

Bu durum, yüksek nem değerlerinde malzemenin ısı iletkenlik değeri nin sıcaklıkla değişimi için elde edilen gözlem noktalarının doğrusallıktan uzaklaşarak ikinci dereceden bir polinom şeklini almaya başlamasından ileri gelmektedir. Bu yüksek nem değeri nde gözlem noktalarının ikinci dereceden bir polinoma benzemesinden hareketle, Eşitlik 3.27'deki regresyon eşitliğine karesel terimlerin katılmasının faydalı olacağı görölmektedir. Bu nedenle ikinci dereceden bir regresyon modeli çalışmasına gidilmiş ve ayrıntıları takip eden bölümde verilmiştir.

Doğrusal regresyon modeli- 2 için elde edilen Eşitlik 3.35'e göre G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklık değeri nde bağlı olarak değişimi şekil 3.24'de 3 boyutlu yüzey grafiği olarak verilmiştir. Bu 3 boyutlu grafikte de ısı iletkenliğin sıcaklık ve nemle değişiminin doğrusal bir yüzey oluşturduğu net olarak görölmektedir. şekilde mavi bölge ısı iletkenlik değeri nde düşük olduğu, kırmızı bölge ise yüksek olduğu noktaları göstermektedir.



Şekil 3.24. Doğrusal regresyon denklemi-2'e göre G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğin nem ve sıcaklıkla değişimi

3.5.3. İkinci Dereceden Regresyon Modeli

Üçüncü ve son olarak yapılan regresyon modeli çalışmasında, ısı iletkenlik ile sıcaklık ve nem arasındaki ilişkinin ikinci dereceden bir polinom olduğu noktasından hareket edilerek Eşitlik 3.27'ye sıcaklık (T) ve nem (w) değişkenlerinin kareleri terimleri eklenerek ikinci dereceden ısı iletkenlik denklemi,

$$k = a_0 + a_1.T + a_2.w + a_3.T^2 + a_4.w^2 + a_5.T.w \quad (3.36)$$

olarak ifade edilmiştir. Eşitlik 3.36 için iki değişkenli ikinci dereceden regresyon modeli;

$$k = \beta_0 + \beta_1.T + \beta_2.w + \beta_3.T^2 + \beta_4.w^2 + \beta_5.T.w + e \quad (3.37)$$

şeklinde yazılır ve hata terimi (e),

$$e = k - (\beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot w + \beta_3 \cdot T^2 + \beta_4 \cdot w^2 + \beta_5 \cdot T \cdot w) \quad (3.38)$$

şeklinde olur. Burada hata teriminin karesini alıp bütün gözlemler için toplandığında;

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (k_i - (\beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot w + \beta_3 \cdot T^2 + \beta_4 \cdot w^2 + \beta_5 \cdot T \cdot w)) \quad (3.39)$$

şeklinde elde edilmiştir. Eşitlik 3.39'nun sol tarafının bilinmeyenlere göre birinci dereceden türevleri alınarak sıfıra eşitlenip, daha önceki regresyon modellerinde olduğu gibi, bilinmeyen sayısı kadar eşitlik elde edilmiştir. Buradan hareketle elde edilen 6 bilinmeyenli 6 denklem takımı yine gauss eliminasyon yöntemiyle çözümlenerek;

$$a_0 = 0,0994$$

$$a_1 = -0,000951$$

$$a_2 = 0,001972$$

$$a_3 = 0,000024$$

$$a_4 = 0,000003$$

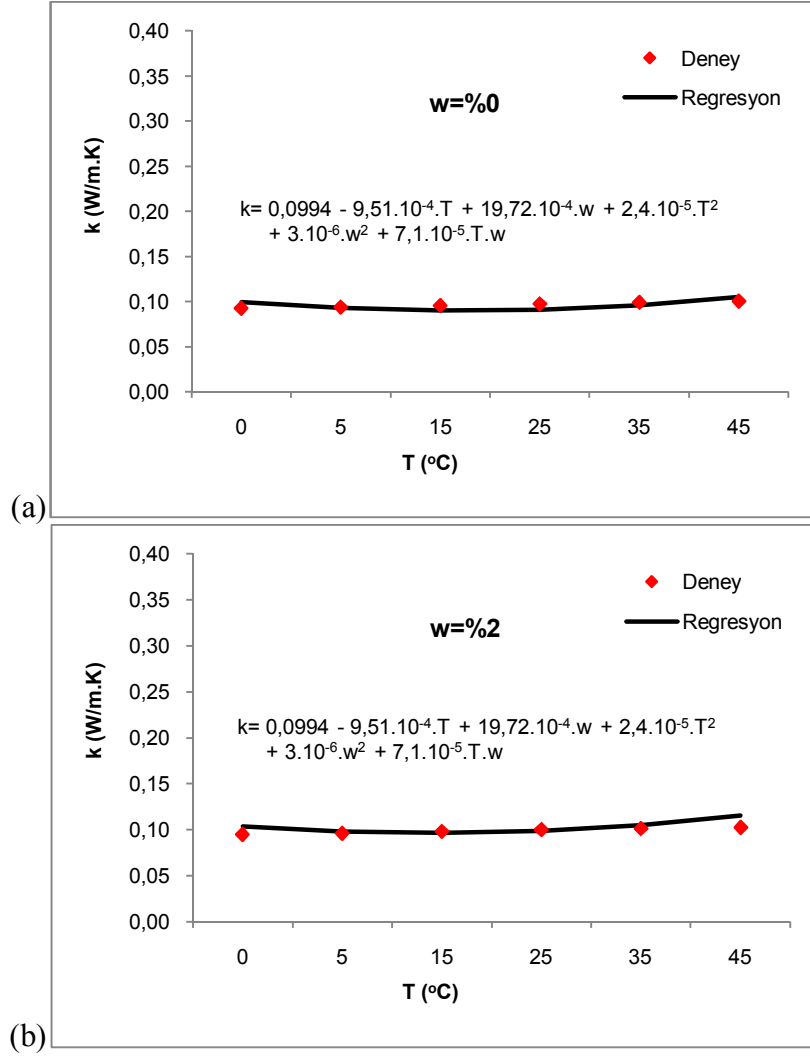
$$a_5 = 0,000071$$

olarak bulunmuş ve Eşitlik 3.36 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 ve a_5 değerleri yerlerine yazılarak regresyon denklemi,

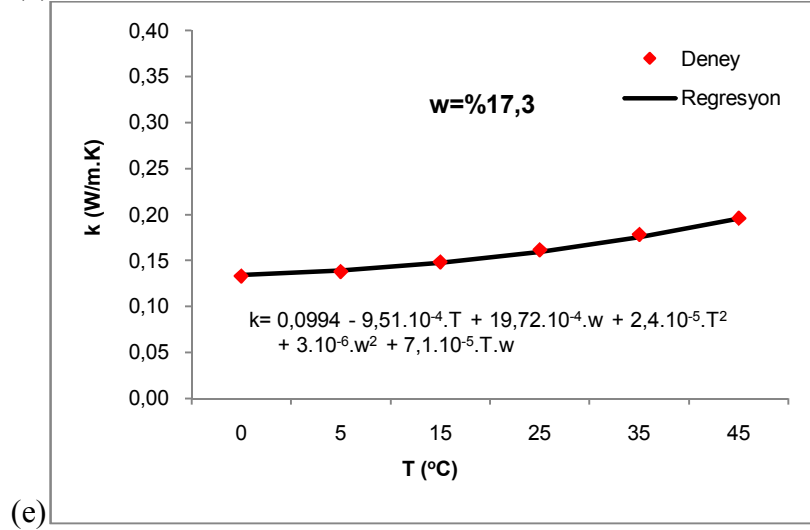
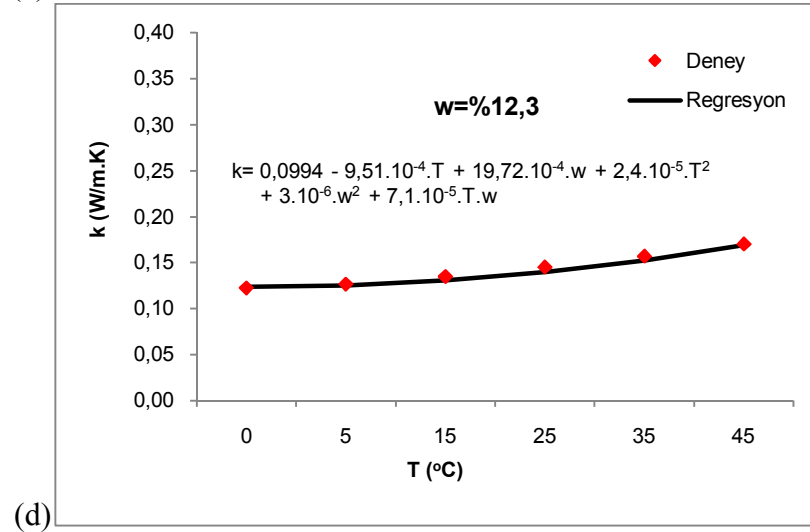
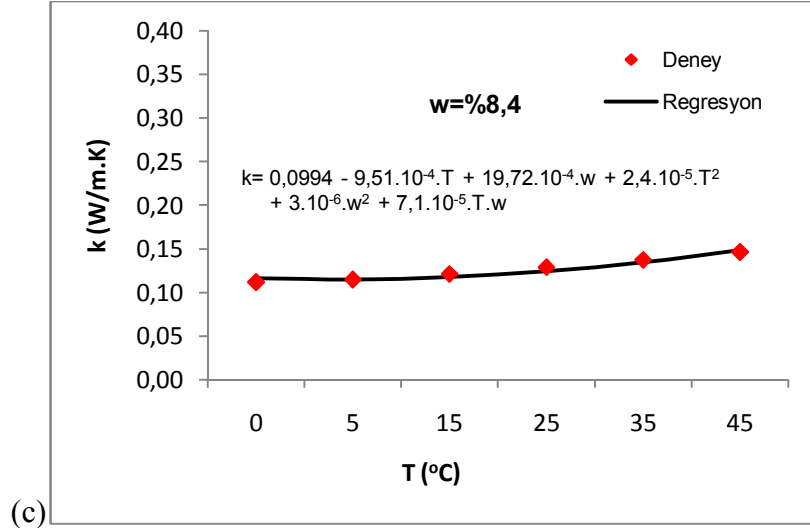
$$k = 0,0994 - 9,51 \cdot 10^{-4} \cdot T + 19,72 \cdot 10^{-4} \cdot w + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot w^2 + 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot w \quad (3.40)$$

şeklinde elde edilmiştir.

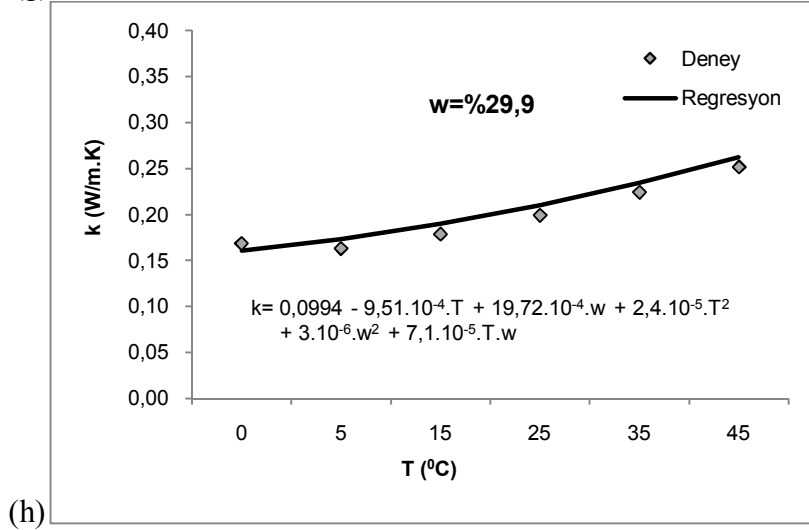
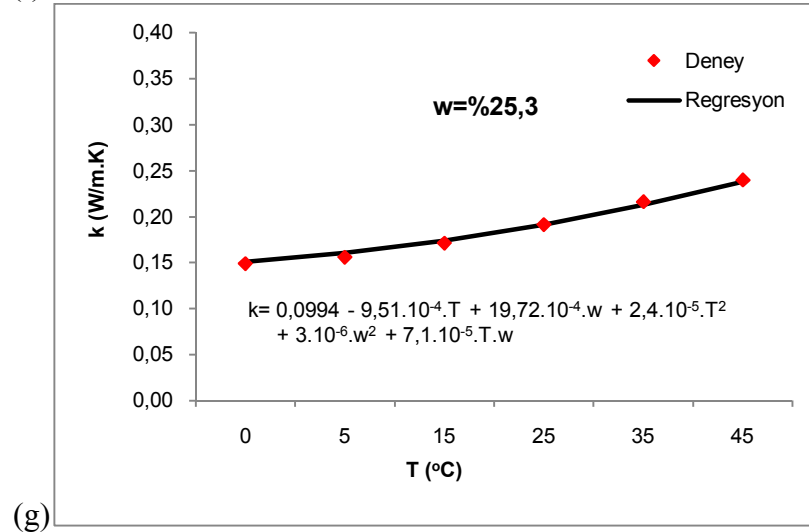
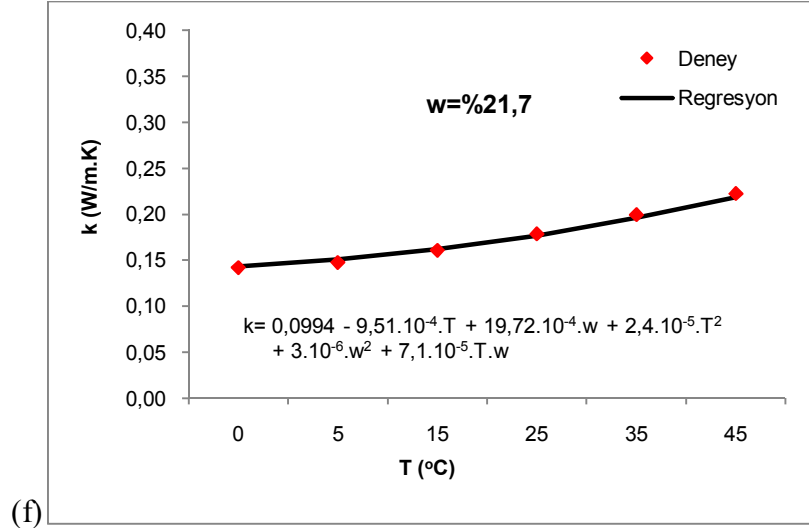
Malzemenin ısı iletkenliğinin sıcaklık ve nem ile değişimi için elde edilen bu ikinci dereceden polinomun deneysel verilerle uyumunun karşılaştırması yapılmış ve Şekil 3.25’de ve izelge 3.11’de verilmiştir.



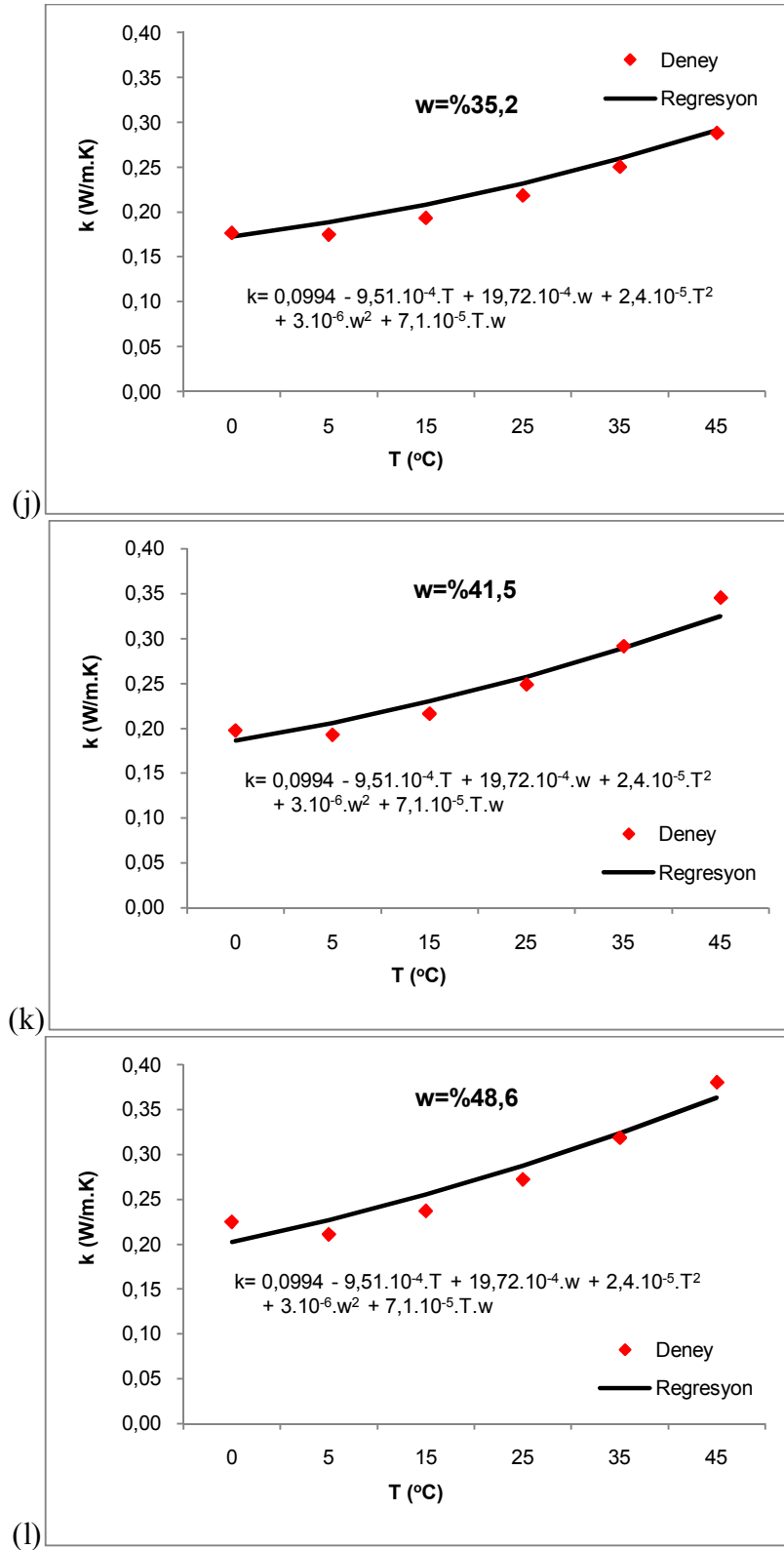
Şekil 3.25. İkinci dereceden regresyon modeli ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.25. (Devam)



Şekil 3.25. (Devam)



Şekil 3.25. (Devam)

Çizelge 3.11. İkinci dereceden regresyon modeli ile G2/04 gazbeton deney sonuçlarının karşılaştırılması

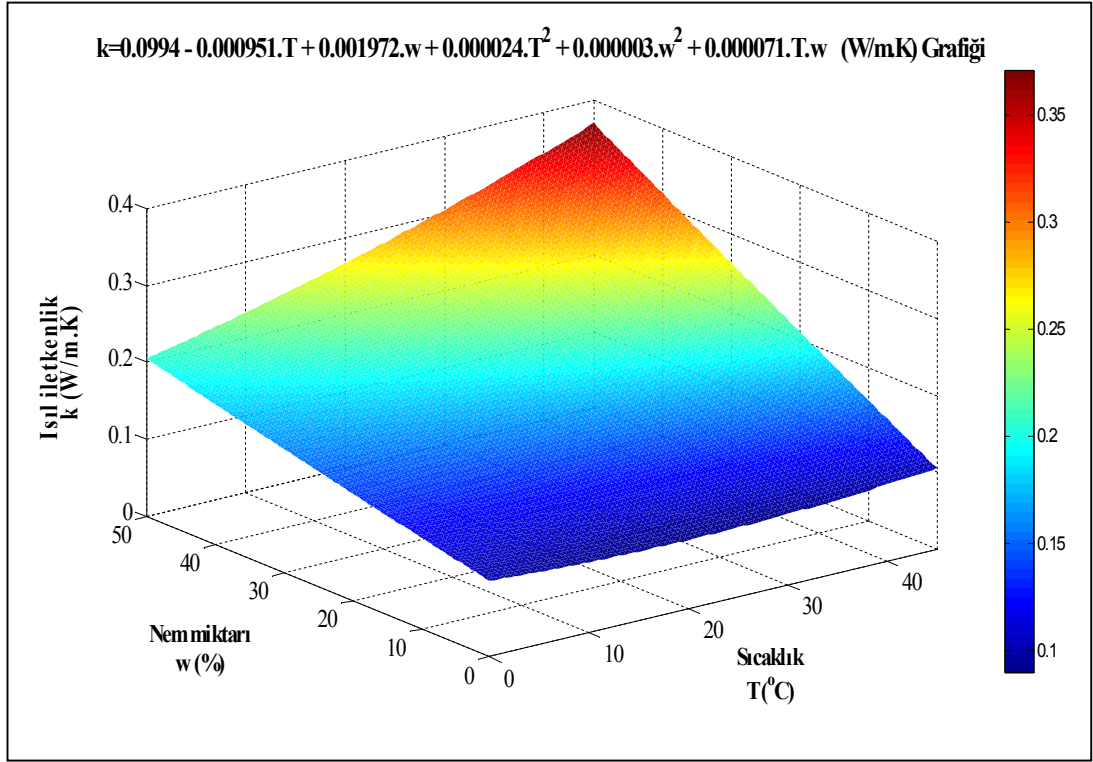
Sıcaklık	% Nem Miktarı	Deneysel Isıl İletkenlik Değeri	Regresyon Isıl İletkenlik Değeri	Mutlak Hata	Bağlı Hata
T(°C)	w (gr/gr)	k_{dny} (W/m.K)	k_{reg} (W/m.K)	$ k_{dny} - k_{reg} $	$\frac{(k_{dny} - k_{reg})}{k_{dny}}$
0,0	0,0	0,0930	0,0994	0,006	0,069
5,0	0,0	0,0942	0,0952	0,001	0,011
15,0	0,0	0,0960	0,0905	0,005	0,057
25,0	0,0	0,0978	0,0906	0,007	0,073
35,0	0,0	0,0994	0,0955	0,004	0,039
45,0	0,0	0,1007	0,1052	0,005	0,045
0,0	2,0	0,0952	0,1033	0,008	0,086
5,0	2,0	0,0964	0,0999	0,003	0,036
15,0	2,0	0,0986	0,0966	0,002	0,020
25,0	2,0	0,1004	0,0981	0,002	0,023
35,0	2,0	0,1015	0,1045	0,003	0,029
45,0	2,0	0,1028	0,1156	0,013	0,124
0,0	8,4	0,1121	0,1162	0,004	0,036
5,0	8,4	0,1150	0,1150	0,000	0,000
15,0	8,4	0,1214	0,1163	0,005	0,042
25,0	8,4	0,1290	0,1223	0,007	0,052
35,0	8,4	0,1374	0,1332	0,004	0,031
45,0	8,4	0,1463	0,1489	0,003	0,018
0,0	12,3	0,1224	0,1241	0,002	0,014
5,0	12,3	0,1264	0,1243	0,002	0,016
15,0	12,3	0,1347	0,1284	0,006	0,047
25,0	12,3	0,1449	0,1372	0,008	0,053
35,0	12,3	0,1570	0,1508	0,006	0,039
45,0	12,3	0,1701	0,1693	0,001	0,005
0,0	17,3	0,1335	0,1344	0,001	0,007
5,0	17,3	0,1381	0,1364	0,002	0,012
15,0	17,3	0,1486	0,1440	0,005	0,031
25,0	17,3	0,1620	0,1564	0,006	0,035
35,0	17,3	0,1784	0,1736	0,005	0,027
45,0	17,3	0,1961	0,1956	0,001	0,003
0,0	21,7	0,1423	0,1436	0,001	0,009
5,0	21,7	0,1478	0,1472	0,001	0,004
15,0	21,7	0,1611	0,1579	0,003	0,020
25,0	21,7	0,1788	0,1734	0,005	0,030

Çizelge 3.11. (Devam)

35,0	21,7	0,1998	0,1937	0,006	0,031
45,0	21,7	0,2226	0,2188	0,004	0,017
0,0	25,3	0,1491	0,1512	0,002	0,014
5,0	25,3	0,1559	0,1561	0,000	0,001
15,0	25,3	0,1714	0,1693	0,002	0,012
25,0	25,3	0,1917	0,1874	0,004	0,023
35,0	25,3	0,2165	0,2102	0,006	0,029
45,0	25,3	0,2401	0,2379	0,002	0,009
0,0	29,9	0,1687	0,1611	0,008	0,045
5,0	29,9	0,1633	0,1675	0,004	0,026
15,0	29,9	0,1788	0,1841	0,005	0,029
25,0	29,9	0,1992	0,2054	0,006	0,031
35,0	29,9	0,2243	0,2315	0,007	0,032
45,0	29,9	0,2517	0,2625	0,011	0,043
0,0	35,2	0,1768	0,1725	0,004	0,024
5,0	35,2	0,1752	0,1809	0,006	0,033
15,0	35,2	0,1936	0,2012	0,008	0,039
25,0	35,2	0,2186	0,2263	0,008	0,035
35,0	35,2	0,2505	0,2562	0,006	0,023
45,0	35,2	0,2879	0,2909	0,003	0,010
0,0	41,5	0,1978	0,1864	0,011	0,058
5,0	41,5	0,1930	0,1970	0,004	0,021
15,0	41,5	0,2163	0,2218	0,005	0,025
25,0	41,5	0,2489	0,2514	0,002	0,010
35,0	41,5	0,2917	0,2857	0,006	0,020
45,0	41,5	0,3453	0,3249	0,020	0,059
0,0	48,6	0,2252	0,2024	0,023	0,101
5,0	48,6	0,2115	0,2155	0,004	0,019
15,0	48,6	0,2373	0,2453	0,008	0,034
25,0	48,6	0,2726	0,2799	0,007	0,027
35,0	48,6	0,3189	0,3193	0,000	0,001
45,0	48,6	0,3804	0,3635	0,017	0,044
Ortalama Hata Değerleri				0,005	0,031
Maksimum Hata Değerleri				0,023	0,124
Regresyon Belirleme Katsayısı (R²)				0,98	

Regresyon modelinin ikinci dereceden bir polinom şeklinde ifade edilmesiyle elde edilen sonuçları neticesinde regresyon modelinin R^2 değeri 0,98 olarak belirlenmiştir. Bu değer çok yüksek bir değer olup kullanılan denklemin (Eşitlik 3.40) veriyi modelleme yeteneğinin çok iyi olduğunu göstermektedir. Maksimum bağıl hata değeri 0,124 olup oluşabilecek maksimum hatanın %12,4 olduğunu göstermektedir. Maksimum bağıl hata değeri doğrusal regresyon modeli-1 ve doğrusal regresyon modeli-2'den daha düşük bir değerdir. Ortalama bağıl hata değeri ise önceki regresyon modellerinde 0,093 ve 0,040 iken burada 0,031 çıkmıştır. Yani regresyon modelinin ikinci dereceden polinom olarak kabul edilmesinin ortalama olarak %3'lik bir hataya neden olabileceğinin göstermektedir. Maksimum mutlak hata değerleri de yine doğrusal regresyon modellerinden daha düşük çıkmıştır. Elde bu sonuçlar ikinci dereceden regresyon modelinin G2/04 gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi için doğrusal regresyon modeli yaklaşımından daha uygun olduğunu açıkça göstermektedir.

İkinci dereceden regresyon modeli yaklaşımı sonucunda elde edilen Eşitlik 3.40'a göre, G2/04 gazbeton malzemesinin nem ve sıcaklıkla değişimi Şekil 3.26'da 3 boyutlu yüzey grafiği olarak verilmiştir. Şekil 3.26'da mavi bölgeden kırmızı bölgeye doğru gidildikçe malzemenin ısı iletkenliğinin arttığını, grafiğin sıcaklık ve nem değerleri için bir eğrisel değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.26. İkinci dereceden regresyon modeline göre G2/04 malzemesinin ısıl iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişimi

4. SONUÇ

Gözenekli yapısı nedeniyle düşük ısı iletkenlik değerine sahip olan gazbetonun duvarlarda kullanılan 400 kg/m³ yoğunluklu G2/04 sınıfı gazbeton malzemesinin ısı iletkenliğinin kuru durumda (nemsiz) ve %2,1 ile %48,6 aralığında değişen on bir farklı kütle nem içeriğinde sıcaklıkla değişimi deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak regresyon çalışması yapılmış ve farklı regresyon belirleme katsayısı (R²) değerlerine sahip üç ayrı eşitlik elde edilmiştir. Uydurulan eğrilerin ilki üç terimli doğrusal, ikincisi dört terimli doğrusal ve üçüncüsü ise beş terimli ikinci dereceden bir eğri şeklindedir. Regresyon sonucu elde edilen eşitliklerin ayrı ayrı hata miktarları ve regresyon belirleme katsayılarına bakılarak en iyi sonuç olarak görülen ikinci dereceden bir eşitlik olan aşağıdaki Eşitlik 4.1'in G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğini nem sıcaklık ile değişimini veren ifadesi olarak kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

$$k = 0,0994 - 0,0000951 \cdot T + 0,000024 \cdot T^2 + 0,0000036 \cdot w^2 + 0,0000071 \cdot T \cdot w \quad (\text{W/m.K}) \quad (4.1)$$

Elde edilen bu eşitlikle G2/04 sınıfı gazbetonun ısı iletkenliği istenilen sıcaklık ve kütle nem içeriğinde ortalama 0,031 mutlak hata ve 0,98 R² değeriyle belirlenmiştir. Ancak bütün geliştirilen ifadelerde olduğu gibi yeni geliştirilen bu ifadenin deneysel cihazlardan ve ölçüm şartlarından kaynaklanan sınırlamaları söz konusudur. Bu eşitliğin kullanım aralığı veya eşitliği sınırlayan sıcaklık değeri 0°C ≤ T ≤ 45°C ve nem değerleri %0 ≤ w ≤ %48'dir.

G2/04 gazbetonun kuru durumdaki sıcaklıkla değişimi dikkate alındığında elde edilen eşitliğin kullanılabilceği görölür. Ancak nemli durumda negatif sıcaklıklar için başka bir çalışma ile incelemenin bu bölgedeki ısı iletkenlik için önemli sonuçlar vereceği söylenebilir. Çünkü nemli durumda ısı iletkenlik donma noktası civarına tekrar yükselmeye başladığı grafiklerden görölmektedir.

Gazbeton kuru durumdaki ısı iletkenliği için teorik bir model hazırlanmış ve bu modelin sonuçları deneysel veriler ve literatürdeki farklı teorik modellerle karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modelin deney sonuçlarına yakın değerler verdiği görölmüştür. Kuru durumdaki G2/04 gazbetonun ısı iletkenliğinin analitik olarak belirlenebilmesi için bu çalışmada yapılan küresel boşluk varsayımı geliştirilerek farklı geometriler için denenmelidir. Çünkü küre ve silindir gibi düzgün geometrilerde oluşan boşluk oranı gazbetondaki boşluk oranlarını çoğu zaman sağlayamamaktadır. Bu nedenle farklı geometrik şekiller üzerinde çalışmalar yapılmasının uygun olacağı düşünölmektedir.

Gazbetonla kullanılan mevcut hazır sıvalar deneysel olarak incelenerek gazbetona uygunlukları belirlenmiş ve bu bilgiler ışığında, kullanılmayan durumdaki gazbeton atıkları değerlendirilerek ısı yalıtımlı hazır sıvada agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. alışmalar sonucunda gazbeton atıklarından hazırlanan sıva numunelerinin ısı iletkenlik değerinin yalnız ve gazbetonla kullanılması durumunda değişimi deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca sıva numunelerinin basınç dayanım değerleri de deneysel olarak belirlenmiştir. alışmalar sonucunda gazbeton atıklarının ısı yalıtımlı hazır sıvada agrega olarak

kullanılabileceği açıkça görülmüş olup yeni bir ısı yalıtımlı hazır sıva malzemesi geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen diğer sonuçları özetle belirtecek olursak;

- Gazbetonun otoklav çıkışında %45 civarında bir nem değerine sahip olup nem tutucu özelliği nedeniyle üzerinde nemi kolaylıkla atamamaktadır. Bu da malzemenin ısı iletkenliğini önemli oranda arttırmaktadır.
- G2/04 gazbetonun, %48,0 nem içeriğinde ısı iletkenlik değeri 0,22 – 0,38 W/m.K arasında değişmekte olup malzemenin ısı iletkenliğinin sıcaklığında etkisiyle tasarım ısı değerinin dört katına kadar çıkabildiği görülmüştür.
- Sıcaklık gazbetonun ısı iletkenliğini artırmakta ancak sıcaklığın etkisi neme göre daha düşük düzeydedir. Malzeme içerisindeki nem miktarının artmasıyla birlikte sıcaklığın etkisi de artmaya başlamaktadır. Bu artış malzeme içerisinde artan su içeriğinden kaynaklanmaktadır. Çünkü suyun ısı iletkenliği havaya göre sıcaklıkla daha fazla artmaktadır.
- G2/04 gazbeton, %30 ve daha yukarı nem içeriklerinde, ısı iletkenliği suyun donma sıcaklığında daha yüksek değerlere çıkmakta ancak sıcaklık artışıyla birlikte (erimenin başlaması) düşüş göstermektedir. Bu durum düşük nemlilik değerlerinde görülmemiştir.

- Piyasada ısı yalıtımlı sıva diye bulunan birçok sıvanın ısı yalıtım özelliğinin bulunmadığı bir çok sıvanın çok yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- Geri dönüşüm imkanı olmayan gazbeton atıkları öğütülerek belli boyutlara getirildiği takdirde ısı yalıtımlı hazır sıvada agrega olarak kullanılabilceği deneysel olarak ortaya konmuştur.
- Gazbeton atıklarından elde edilen sıvanın gazbetona yakın ısıl özellikler gösterdiği hazırlanan sıva numunelerinin ısıl iletkenlik değerlerinin 0,11 – 0,14 aralığında değıştiğı, sıva numunelerinin ısıl iletkenliklerinin de nem ve sıcaklık artışıyla orantılı olarak arttığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. M. Karoglou, A. Moropoulou, M.K. Krokida, Z.B. Maroulis, Building and Environment, Vol. **42**, 902(2007).
2. M. Qin, R. Belarbi, A. Ait-Mokhtar, A. Seigneurin, International Communications in Heat and Mass Transfer, **33**, 39(2006).
3. M.S.Goual, A.Bali, M.Queneudec, J.Phys. D: Appl. Phys., **32**, 3041(1999).
4. R. Cerny, A. Kunca, V. Tydlitat, J. Drchalova, P. Rovnanikova,, Construction and Building Materials, **20**, 849(2006).
5. M.P. Deru, T. Kirkpatrick, National Solar Conferences Forum, Washington D.C., April 21-25, 2001.
6. A. Bouguerra, A. Ait-Mokhtar, O. Amiri, M. B. Diop, Int. Comm Heat Mass Transfer, **28**, 1065(2001).
7. N. Mendes, C. P. Fernandes, P. C. Philippi, R. Lamberts, Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, August 13-15, 2001.
8. F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, International Journal of Heat and Mass Transfer, **51**, 539 (2008).
9. M.Sait Söylemez, Building and Environment, **34**, 1(1999).
10. E. Akkuzugil, A Study On Historical Plasters, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1997.
11. A. Çolakoğlu, Binalarda Isı Yalıtımlı Dış Sıva Yapılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2004.
12. Ş. E. Oruç, Kerpiç Duvarlara Uygulanan Kil Bağlayıcılı Dış Sıva Hasarlarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2004.
13. F. N. Değirmenci, Preservation of Adobe By A Pozzalanic Plaster, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1998.

14. E. G. Toprak, Gazbetondan Elde Edilen Isı Yalıtım Malzemesinin Özellikleri ve Yapı Kabuğunda Kullanım Olanaklarının Saptanması Üzerine Deneysel Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2005.
15. S. Andolsun, A Study on Material Properties of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) and Its Complementary Wall Elements: Their Compatibility in Contemporary and Historical Wall Sections, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1997
16. H. Binici, O. Aksogan, Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials, Construction and Building Materials, **21**, 901(2006).
17. M.S.S.Baysal, Silindirik ve Elyaf Tanecik Katkılı Karma Malzemelerin Efektif Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001.
18. TS 453 Temmuz 2006, Ön yapımlı (prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü.
19. www.akg-gazbeton.com, 2009.
20. H. Kaynak, Tuğla ve Gazbetonun Mühendislik Özellikleri, Ülke Ekonomisindeki Yeri, Hammadde Potansiyeli, Avantaj ve Dezavantajları, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 1999.
21. Y. E. Çiçek, Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
22. C. Diri, Sentetik Bağlayıcı Hazır Sıvaların Fiziksel Çevre Etkileri Karşısındaki Davranışları Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul, 2003.
23. Ö. Mavi, Kireç Harç ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.

24. I. Dewitt, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
25. A. Öchsner, G.E. Murch and M.J.S.deLemos, Cellular and Porous Materials, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
26. Kumlutaş, İ. H. Tawman, Journal of Thermoplastic Composite Materials, **19**, 441(2006)
27. H. Czichos, T. Saito, M. L. Smith, Springer Handbook of Materials Measurement Methods, Springer, Berlin, 2006.
28. TS ISO 8302, Isı yalıtımı - Kararlı halde ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini-Mahfazalı sıcak plâka cihazı, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
29. TS EN ISO 8990, Isı yalıtımı - Kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini - Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
30. J. O. Rawling, S. G. Pantula, D. A. Dickey, Applied Regression Analysis, Springer, Berlin, 1998.
31. S.Chattefueer, A. S. Hadi, Regression Analysis by Example, John Wiley & Sons, 2006.
32. TS EN 196-3, Çimento deney metotları bölüm 3-priz süresi ve hacim genişleme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
33. TS EN 1015–6, Kâgir Harcı Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
34. TS EN 1015–11, Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
35. TS EN 1352, Gazbeton veya Hafif Agregalı Gözenekli Beton–Basınç Altında Elastisite Modülü Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 1998.
36. TS 3624, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 1981.
37. TS ISO 8301, Isı Yalıtımı–Kararlı Haldeki Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini–Isı Akış Sayacı Cihazı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kırıkkale’de tamamladı. 1997 yılında kazandığı Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden, 1998 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak 2001 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2001-2004 yılları arasında Yüksek Lisans, 2004-2010 yılları arasında da Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Anabilim Dalında Doktora öğrenimini tamamladı. 2004 yılından beri Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmakta olup evli ve bir çocuk babasıdır.