

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

DOKTORA TEZİ

**ENERJİ VERİMLİ ALTERNATİF YAPI MALZEMELERİNİN ISIL
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK DENEYSEL
YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

Yusuf İŞİKER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA danışmanlığında, Yusuf İŞİKER'in hazırladığı “**Enerji Verimli Alternatif Yapı Malzemelerinin Isıl Performanslarının Belirlenmesine Yönelik Deneysel Yöntem Geliştirilmesi**” konulu bu çalışma 19/04/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA

Üye : Prof. Dr. Beşir ŞAHİN

Üye : Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Üye : Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Üye : Doç. Dr. M. Azmi AKTACİR

Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı	1
1.2. Tezin Kapsamı	2
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Sürekli Rejim Yöntemleri.....	5
2.1.1. Isı akısı ölçme (heat flow meter)	5
2.1.2. Muhafazalı sıcak levha (guarded hot plate).....	6
2.1.3. Kalibreli sıcak kutu yöntemi (guarded hot-box).....	9
2.1.4. Silindir yöntem (cylinder method)	10
2.1.5. Eksenel akış yöntemi (axial flow method).....	11
2.2. Geçici Rejim Yöntemleri.....	12
2.2.1. Temas elemanlı	12
2.2.1.1. Çizgisel ısı kaynağı (line heat source)	12
2.2.1.2. Düzlemsel ısı kaynağı (plane heat source).....	15
2.2.1.3. Disk ısı kaynağı (disc heat source)	16
2.2.2 Optik esaslı.....	16
2.2.2.1 Lazer aydınlatma tekniği.....	16
2.2.2.2. Angstrom yöntemi	17
2.2.2.3. Ayarlı ışın tekniği	18
2.2.2.4. Fototermal teknikler.....	18
2.3. Kalorimetrik Yöntemler	20
2.4. Isıl Özellik Ölçümlerinde Standartlaşmamış Bazı Yöntemlerle İlgili Çalışmalar	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Isı Transfer Çözümlerinde Kullanılan Temel Denklemler	28
3.2. Isı İletim Katsayısını Tespit Etmek İçin Kullanılan Yöntemler	30
3.3. Deney Düzenekleri	36
3.4. Numunelerin Hazırlanışı	39
3.4.1. Palmiye lif katkılı kompozit beton numunelerin hazırlanması	41
3.4.2. Atık katkılı olarak meşe ağacının talaşının beton üzerindeki etkisinin incelenmesi	42
3.4.3. Faz değiştiren malzemenin (parafin) betona karıştırılması	43
3.4.4. Kendinden yerleşen betonun içerisine atık petlerin konulması	44
3.4.5. Isı İletim katsayıları bilinen farklı malzemelerin ısı davranışının incelenmesi.....	46
3.5. Isı İletim Katsayılarının Doğrulanması	46
3.5.1 Sıcak tel yöntemi	46
3.5.2. Disk Isı Kaynağı Yöntemi	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	49
4.1. Geliştirilen Adyabatik Hazne Tekniği	49
4.1.1. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde atık katkılı palmiye liflerinin beton üzerindeki etkisinin incelenmesi	52

4.1.2. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde atık katkı olarak meşe ağacının talaşının beton üzerindeki etkisinin incelenmesi	63
4.2.3. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde faz değıştiren malzemenin (parafin) beton üzerindeki etkisinin incelenmesi	72
4.2.4. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde kendinden yerleşen betonun içersine atık pet şişelerin beton üzerindeki etkisinin incelenmesi	76
4.2.5. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde gaz beton, multipor ve tahta malzemelerin ısı özelliklerinin incelenmesi	84
4.2. Palmiye Katkılı Beton Numunelerin Ortam Isıl Özelliklerinin Tespiti	90
4.2.1. Palmiye katkı beton numunelerin iç ortam ısı özellikleri	90
4.2.2. Dış ortam ısı özellik.....	93
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	95
5.1. Sonuçlar.....	95
5.2. Öneriler.....	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	112

ÖZET

Doktora Tezi

ENERJİ VERİMLİ ALTERNATİF YAPI MALZEMELERİNİN ISIL PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK DENEYSEL YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf İŞİKER

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA
Yıl : 2018, Sayfa : 112

Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan kompozit yapı malzemelerinin ısı performansının belirlenmesi, ilgili endüstriyel uygulamalar için kritik bir öneme sahiptir. Ancak literatürde ısı iletim katsayılarının hassas ve doğru olarak belirlenmesine yönelik standartlaştırılmış bir cihaz bulunmamaktadır. Homojen yapıdaki ısı davranışı ölçen mevcut yöntemler ile yapılan ölçümler, düşük doğrulukta sonuçlar vermektedir. Mevcut yöntemler sürekli rejim, geçici rejim ve kalorimetrik yöntemler olarak üç ana başlık altında toplanabilir. Bu yöntemlerin tümü ölçüm teknikleri homojen morfolojiye sahip izotropik malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. Ancak başta beton esaslı yapı malzemeleri olmak üzere; izotropik olmayan kompozit morfolojiye sahip malzemelerde doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu duruma neden olan en önemli faktörlerden biri, numune boyutunun büyük olması nedeniyle özel sensör dizaynı gerekmektedir. Sensör ile tek bölgede alınan değerler malzemeye ait ortalama değeri temsil etmemektedir. Çok sayıda bölgede ardışık olarak alınması gerekli ölçümler sırasında dış faktörlerin sabit korunamaması söz konusudur. Ayrıca ölçüm cihazların çok yüksek maliyetlerde olması diğer olumsuz faktörlerden biridir. Tez çalışmasının birincil amacı yukarıda değinilen olumsuzlukları giderecek kompozit malzemelerin ısı davranışını ölçen endüstriyel adyabatik esash bir yöntemin geliştirilmesidir. Bu çerçevede tez çalışması:

- Geliştirilen yöntem kapsamında deney düzeneğinin hazırlanması ve kalibrasyonların yapılması
- Katkı oranı farklı çok sayıda numunenin hazırlanması (katkı oranı ve numune geometrisinden bağımsız ölçülebilirliğinin tespiti için kademeli olarak çok fazla numune hazırlanmıştır)
- Belirli numunelerin mevcut yöntemler ile ısı davranışının ölçülmesi
- Geliştirilen teknik ile ölçümlerin alınması
- Geliştirilen teknik ile mevcut tekniklerin ölçümler dikkate alınarak karşılaştırılması,

şeklinde beş aşamada yürütülmüştür. Bu beş aşamanın yürütülmesi sürecinde, (i) tez çalışmasının katkı oranının ve (ii) dış iklim koşullarının yapı malzemelerinin ısı davranışına etkisi şeklindeki tez çalışmasının diğer amaçlarına da ulaşılmıştır. Geliştirilen tekniğin güvenilirliğini belirlemek amacıyla homojen yapı malzemeler için yapılan ölçümlerde, ısı iletim katsayısındaki sapma oranı %2 ile %6 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç geliştirilen tekniğin güvenilirliğini ölçen en önemli parametrelerden biridir.

ANAHTAR KELİMELER : Isı davranış, Isı iletim katsayısı, Kompozit yapı malzemeleri, Adyabatik hazne, Toplam ısı transfer katsayısı

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINATION OF THERMAL PERFORMANCES OF ENERGY EFFICIENT ALTERNATIVE BUILDING MATERIALS

Yusuf İŞİKER

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA
Year: 2018, Page : 112**

Determining the thermal performance of composite building materials commonly used in the building industry has a critical importance for the relevant industrial applications. Despite this critical precaution, there is no standardized device for precise and accurate determination of heat transfer coefficients in the literature. Measurements made with current methods that measure thermal behaviour in a homogeneous structure give results with low accuracy. Current methods can be grouped under three main headings as continuous regime, transient regime and calorimetric methods. All of these methods give accurate results in isotropic materials with homogeneous morphology of measurement techniques. However, mainly concrete based building materials; accurate results can not be obtained in materials with non-isotropic composite morphology. One of the most important factors that cause this is the need for special sensor design because of the large sample size. The values taken in one region with the sensor do not represent the average value of the material. The unable to keep external factors constant during the measurements required to be taken consecutively in a large number of regions are at stake. This is one of the other negative factors that the cost of providing such devices is very high. The primary objective of the thesis work is to develop an industrial adiabatic-based method that measures the thermal behavior of composite materials that will overcome the above-mentioned drawbacks. Thesis study in this framework:

- a. Preparation and calibration of experimental design within the scope of developed technics
- b. Preparation of a large number of samples with different additive rates (too many samples were prepared in stages to determine the additive ratio and the measurability independent of the sample geometry)
- c. Measuring the thermal behavior of certain samples with existing methods
- d. Taking measurements with developed technique
- e. By comparing the developed technique with the existing techniques considering the measurements, In five steps.

During the execution of these five processes, secondary objectives of (i) the contribution rate of the thesis study and (ii) the thesis study of external climatic conditions as an effect on thermal behavior of building materials have been reached. For measurements made for homogeneous building materials to determine the reliability of the developed technique, the deviation rate in the heat transfer coefficient was found to be between 2-6%. This result is one of the most important parameters that measure the reliability of the developed technique.

KEY WORDS : Thermal Behavior, Heat conduction coefficient, Composite Building Materials, Adiabatic Tank, Total heat transfer coefficient

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında benden zamanını, bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA' ya, çalışmanın tamamlanmasında birçok farklı noktadaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hüsamettin BULUT (HRÜ), Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI (AAKÜ), Doç. Dr. Haydar ALICI (HRÜ) ve Dr. Öğr. Üyesi Zeynel Abidin FIRATOĞLU (HRÜ), Arş. Gör. M. Emin TENKECEİ, Arş. Gör. Yunus DEMİRTAŞ, Arş. Gör. Gökhan DEMİRCAN olmak üzere Makine Mühendisi Mehmet ALBAŞKARA ve İsmail KARABACAK' a gönülden teşekkür ediyorum.

Ayrıca Doktora öğrenimim boyunca hiçbir zaman manevi desteklerini esirgemeyen eşim Emine İŞİKER, Kızım Fatma Betül İŞİKER ve oğlum Muhammed Miraç İŞİKER 'e şükranlarımı sunuyorum.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Isıl özellik ölçüm yöntemleri	5
Şekil 2.2. a. Isı akısı ölçme aparatının mekanik bileşenleri genel görünümü b. Bir ısı akı sensörlü ve iki numuneli aparat c. İki ısı akısı sensörlü ve bir test numuneli aparat	6
Şekil 2.3. Muhafazalı ısı plakası aparatının mekanik bileşenleri genel görünümü	7
Şekil 2.4. Muhafazalı ısı plakası aparatının idealleştirilmiş ısı akışının gösterimi	7
Şekil 2.5. a. NBS 200 mm muhafazalı sıcak levha aparatının şematiki b. Henry E. Robinson'un laboratuvarlarındaki test aparatı	8
Şekil 2.6. LaserComp Fox şirketinin muhafazalı sıcak levha aparatı	8
Şekil 2.7. Basit sıcak kutu yönteminin temel elemanlarının şematik gösterimi	9
Şekil 2.8. a. Kalibreli sıcak kutunun temel elemanları b. Maskeli sıcak kutunun temel elemanları	10
Şekil 2.9. Silindirik yönteminin temel elemanları ve kesit alanının sıcaklık profili	11
Şekil 2.10. Eksenel ısı akısı şematiki ve görüntüsü	12
Şekil 2.11 Sıcak şerit yönteminin ölçüm elemanları	13
Şekil 2.12. Sıcak tel yönteminin ölçüm elemanları	14
Şekil 2.13. İğne sensörü yönteminin elemanlarının şematik gösterimi	14
Şekil 2.14. Düzlemsel ısı kaynağı yönteminin elemanlarının şematik gösterimi	15
Şekil 2.15. Disk ısı kaynağı ölçüm yöntemi	16
Şekil 2.16. Lazer aydınlatma tekniği aparatı	17
Şekil 2.17. Angstrom yönteminin aparatı	18
Şekil 2.18. Fototermal Teknikler; a. Fotokaotik teknik, b. Optik ışın algılama tekniği, c. Termal lens tekniği ve d. Termal dalga tekniği	19
Şekil 3.1 Kontrol hacminde ısı denge.	29
Şekil 3.2. Modelleme analizi için adyabatik haznede yapılan sıcaklık ölçüm noktaları	31
Şekil 3.3. Numune sıcaklık değerlerinin ölçüm noktaları	34
Şekil 3.4. a. Kalorimetre kabı b. Etüv	35
Şekil 3.5. a. Isıl tank b. Kontrol odası bileşenlerine ait fotoğraf c. Şematik gösterim	37
Şekil 3.6. a. Hioki LR8400-20 markalı datalogger b. Testo 890 marka termal kamera	38
Şekil 3.7. a. Isıl tank ebatları b. Isıl tankın ölçümü ve c. Dış ortam atmosferik ölçümü	39
Şekil 3.8. Numune dökmek için yapılan kalıplar	40
Şekil 3.9. Deney numuneleri a. Palmiye lif katkı betonun dökümü b. Katkılı c. Katkısız	42
Şekil 3.10. Dökülen malzemelerin son hali	43
Şekil 3.11. Parafin katkı numunelerin oluşturulması	43
Şekil 3.12. a. Atık petlerin kesilmesi b. Malzemenin hazırlanması c. Atık petlerin yerleştirilmesi d. Numunelerin son hali	44
Şekil 3.13. Kendinden yerleş beton içinde kullanılan atık petlerin dizilişleri (adet)	45
Şekil 3.14. a. Multipor b. Gazbeton c. Tahta numuneleri	46
Şekil 3.15. a. Isıl iletkenlik katsayısı ölçer b. Isı iletim katsayısı ölçer aletin probu	47
Şekil 3.16. a. Sıcaklık zaman eğrisi, b. Çözüm ekranı	47
Şekil 3.17. Hot Disk TPS 500 S Termal Özellik Analizörü ve Ölçümü	48
Şekil 4.1. Kontrol odası içerisindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve farklı noktalardaki sıcaklık değerleri.	49
Şekil 4.2. Adyabatik hazne üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve yüzeyin farklı noktalarındaki sıcaklık değerleri.	50
Şekil 4.3. Adyabatik hazne yönteminin akış şeması	51
Şekil 4.4. Palmiye lifi katkı numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	53
Şekil 4.5. Katkısız numunenin sıcaklık zaman eğrisi	54
Şekil 4.6. Katkısız numune için toplam ısı transfer miktarı	54
Şekil 4.7. Katkısız numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	55
Şekil 4.8. %1 katkı palmiye lifi numunenin sıcaklık zaman eğrisi	56
Şekil 4.9. %1 katkı palmiye lifi numune için toplam ısı transfer miktarı	56
Şekil 4.10. %1 katkı palmiye lifi numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	57
Şekil 4.11. %2 katkı palmiye lifi numunenin sıcaklık zaman eğrisi.	57
Şekil 4.12. %2 katkı palmiye lifi numune için toplam ısı transfer miktarı	58

Şekil 4.13. %2 palmiye lifi katkılı numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	58
Şekil 4.14. Palmiye katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları	59
Şekil 4.15. Palmiye lifi katkılı numunelerin özgül ısı değeri için zamana bağlı sıcaklık değişimleri	61
Şekil 4.16. Talaş katkılı numuneler ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	63
Şekil 4.17. %5 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.	64
Şekil 4.18. %5 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.	64
Şekil 4.19. %5 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	65
Şekil 4.20. %10 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.	65
Şekil 4.21. %10 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.	66
Şekil 4.22. %10 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	66
Şekil 4.23. %15 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.	67
Şekil 4.24. %15 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.	67
Şekil 4.25. %15 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	68
Şekil 4.26. %20 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.	69
Şekil 4.27. %20 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.	69
Şekil 4.28. %20 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	70
Şekil 4.29. Talaş katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları	70
Şekil 4.30. Parafin katkılı ve katkısız betona ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	72
Şekil 4.31. Parafin numunenin sıcaklık zaman eğrisi	73
Şekil 4.32. Parafin numune için toplam ısı transfer miktarı	73
Şekil 4.33. Parafin katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	74
Şekil 4.34. Parafin katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları	75
Şekil 4.35. Kendinden yerleşen betona ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	76
Şekil 4.36. Katkısız kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi	77
Şekil 4.37. Katkısız kendinden yerleşen beton numunenin toplam ısı transfer miktarı	77
Şekil 4.38. Kendinden yerleşen beton numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	78
Şekil 4.39. 3x2 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi	78
Şekil 4.40. 3x2 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı	79
Şekil 4.41. 3x2 Dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	79
Şekil 4.42. 3x3 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi	80
Şekil 4.43. 3x3 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı	80
Şekil 4.44. 3x3 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	81
Şekil 4.45. 3x4 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi	82
Şekil 4.46. 3x4 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı	82
Şekil 4.47. 3x4 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi	83
Şekil 4.48. Atık pet katkılı kendinden yerleşen betona ait numunelerin dinamik ısı iletim katsayıları	83
Şekil 4.49. Gazbeton, multıpor yapı malzemeleri ve tahta malzemesine ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	85
Şekil 4.50. Multıpor yapı malzemesinin sıcaklık zaman eğrisi	86
Şekil 4.51. Multıpor yapı malzemesinin toplam ısı transfer miktarı	86
Şekil 4.52. Gazbeton numunenin sıcaklık zaman eğrisi	87
Şekil 4.53. Gazbeton numunenin toplam ısı transfer miktarı	87
Şekil 4.54. Tahta numunenin sıcaklık zaman eğrisi	88
Şekil 4.55. Tahta numune için toplam ısı transfer miktarı	88
Şekil 4.56. Gazbeton-multıpor yapı malzemeleri ve tahta malzemesine ait dinamik ısı iletim katsayıları	89
Şekil 4.57. %2 Palmiye katkılı ve katkısız betona ait boyutsuz sıcaklık değişimleri	90
Şekil 4.58. Katkısız beton numunenin sıcaklık zaman eğrisi	91
Şekil 4.59. Katkısız beton numunenin toplam ısı transfer miktarı	91
Şekil 4.60. %2 Katkılı beton numunenin sıcaklık zaman eğrisi	92
Şekil 4.61. %2 Katkılı beton numunenin toplam ısı transfer miktarı	92
Şekil 4.62. Numunelerin dış ortam atmosferik özelliklerinin zamana bağlı sıcaklık değişimi	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Kalorimetrelerin karşılaştırılması	20
Çizelge 3.1. Beton malzeme oranları ve betonun özellikleri	40
Çizelge 3.2. Adyabatik haznede deneyi yapılan numuneler	41
Çizelge 3.3. Malzeme miktarları	45
Çizelge 4.1. Palmiye lifi katkılı numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması (1. çözüm yöntemi)	60
Çizelge 4.2. Palmiye lifi katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının ölçüm sonuçlarının kıyaslanması (2. çözüm yöntemi)	62
Çizelge 4.3. Talaş katkılı beton numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması	71
Çizelge 4.4. Parafin katkılı numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması	75
Çizelge 4.5. Atık pet katkılı ve katkısız kendinden yerleşen beton numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması	84
Çizelge 4.6. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması	90
Çizelge 4.7. Palmiye lifi katkılı ve katkısız büyük numuneler için ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması	93
Çizelge 5.1. Atık katkılı malzemelerin betonun ısı iletkenliğini düşürmedeki etkisi	103

SİMGELER DİZİNİ

H_f	Kalorimetrenin ısı kapasitesi
C_w	Kalorimetre kabındaki suyun özgül ısısı
T_e	Denge sıcaklığı
T_{cw}	Soğuk suyun sıcaklığı
M_{cw}	Soğuk suyun kütlesi
M_{hw}	Sıcak suyun kütlesi
T_{hw}	Sıcak suyun sıcaklığı
C_p	Özgül ısı değeri (numune ve suyun)
T_s	Numunenin sıcaklığı
M_s	Numunenin kütlesi
$\dot{E}_{st}$	Birim zamanda sistemin enerjisindeki değişim
$\dot{E}_g$	Kontrol hacmine giren enerji
$\dot{E}_ç$	Kontrol hacminden çıkan enerji
$\dot{E}_{ür}$	Kontrol hacminde üretilen enerji
Q	Toplam ısı transfer miktarı
m	Adyabatik hazne içindeki suyun kütlesi
k	Isı iletim katsayısı
U_T	Toplam ısı transfer katsayısı
T_o	Isıl oda iç sıcaklığı
$T_{üst}$	Numune üst sıcaklığı
T_{alt}	Numune alt sıcaklığı
$T_{iç}$	Numune iç sıcaklık
T_{hava}	Adyabatik hazne hava sıcaklığı
T_{su}	Adyabatik hazne su sıcaklığı
$T(x,t)$	Numune sıcaklığının zamana ve kalınlığa göre değişimi
Q^*	Boyutsuz sıcaklık katsayısı
ASTM	American Society for Testing and Materials
FDM	Faz değiştiren malzeme
KYB	Kendinden yerleşen beton

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi ve Amacı

Isıtma-soğutmaya harcanan enerjinin binalarda tüketilen toplam enerjideki payı yaklaşık olarak %75 değerlerine ulaşmaktadır. Dolayısıyla ısıtma-soğutmaya harcanan enerjide sağlanacak küçük miktardaki bir iyileştirme enerji verimliliğini önemli derecede artıracaktır. Enerji verimliliğini artırmak için binalarda; i. ısıtma-soğutma cihazlarında iyileştirme (Frayssinet ve ark., 2018), ii. farklı izolasyon malzemesi veya izolasyon kalınlığını artırma (Aditya ve ark., 2017), iii. ısı iletkenliği düşük yerel malzeme katkılı yenilikçi yapı bileşenlerinin geliştirilmesi şeklinde üç yöntem izlenebilir. Gerek ulusal ve gerek uluslararası alanda üç yöntemin ilk ikisi ile ilgili çok sayıda çalışma ve uygulama olmasına rağmen (Li ve ark., 2017) üçüncü yöntem çerçevesinde ısı iletkenliği düşük yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesi ile bina ısıtma-soğutma yükünü düşürmeye yönelik çalışma azdır. Buna karşın mevcut yapı bileşenleri yerine iletkenliği düşük yerel malzeme katkılı yenilikçi yapı bileşenlerinin kullanılması şeklinde özetlenebilecek üçüncü yöntem özellikle maliyet açısından ilk iki yönteme kıyasla kayda değer bir üstünlüğe sahiptir. Söz konusu yöntemin sahip olduğu üstünlüğe rağmen yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel kompozit yapı elemanlarının ısıl davranışlarını tespitinde kullanılabilecek yöntemlerin yetersizliğidir. Diğer önemli bir engel ise özellikle geçici rejimde malzemelerin ısıl performansını tespit eden mevcut yöntemler çok pahalı ve yüksek uzmanlık gerektiren çok aşamalı kompleks süreçler olmasıdır. Bu zorluklar ancak kompozit malzemelerin ısıl yenilikçi bileşenlerinin performansını tespit eden ucuz ve yüksek uzmanlık gerektirmeyen yeni yöntemlerin geliştirmesi ile aşılabılır.

Bu tez çalışmasının birincil amacı özellikle kompozit veya karma yapı malzemelerin ısıl davranışını tespit eden ve düşük uzmanlık bilgisiyle endüstrinin her düzeyinde kolaylıkla kullanılabilecek bir tekniğin geliştirilmesidir. Tez çalışmasının ikincil amaçları ise;

- i. Farklı çeşit ve oranlarda atık katkılı yapı malzemelerin ısı davranışının incelenmesi,
- ii. Atık katkılı malzemelerin dış iklimatik koşullarda ısı performanslarının araştırılması

şeklinde iki başlıkta toplanabilir.

1.2. Tezin Kapsamı

Enerji verimli yeni yapı malzemelerinin tespiti ancak malzemenin ısı performansının ölçümü ile mümkündür. Isı özelliklerin ölçülmesi için birçok teknik bulunmaktadır. Söz konusu yöntemlerin önemli bir kısmı standartlaştırılmış olup, halen yaygın olarak kullanılmaktadır (Astm, 2000a ve 2000b). Ancak mühendislik malzemelerinde özellikle son çeyrek asırda sağlanan gelişmelerle, malzemelerin mikro ve makro seviyedeki iç yapısında homojen ve izotropik koşuluna uymayan karmaşıklıklar bulunmaktadır (örneğin seramikler, kompozitler). Bu durumda mevcut tekniklerin birçoğu ile doğru ölçüm yapabilmek zorlaşmaktadır (Yeşilata ve ark., 2007). Bu tür malzemenin bileşenlerinde, imalat şeklinde ve kullanım alanında oluşacak küçük farklar bile, ısı özelliklerde dramatik değişimlere sebep olmaktadır. Bundan dolayı karmaşık yapıya sahip malzemelerde ısı özelliklerin tespitine yönelik yeni tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasının birincil amacı yukarıda değinilen zorlukları aşan, kompozit yapı malzemelerinin geçici rejimde ısı performansı tespit edebilen ucuz ve yüksek uzmanlık gerektirmeyen bir yöntemin geliştirilmesidir. Bu yöntemin geliştirilmesi aşağıdaki aşamalarda gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda;

- Geliştirilen yöntem çerçevesinde deney düzeneğinin kurulumu
- Numunelerin hazırlanışı
- Eş zamanlı olarak ölçüm ve hesaplamaların yürütülmesi
- Ölçüm sonuçlarının doğrulanması
- Dış saha testlerinin gerçekleştirilmesi

şeklinde dir. Tekniğin geliştirilme sürecine eş zamanlı olarak atık malzeme katkılı kompozit yeni yapı malzemelerinde atık çeşidi ve oranının ısı performansına etkisinin

tespiti için çok sayıda ölçüm yapılmıştır. Ölçümler için 17 farklı yapıda numune tasarlanıp imal edilmiş ve ölçümlerin tümü tez kapsamında geliştirilen teknik süreçleriyle gerçekleştirilmiştir.

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

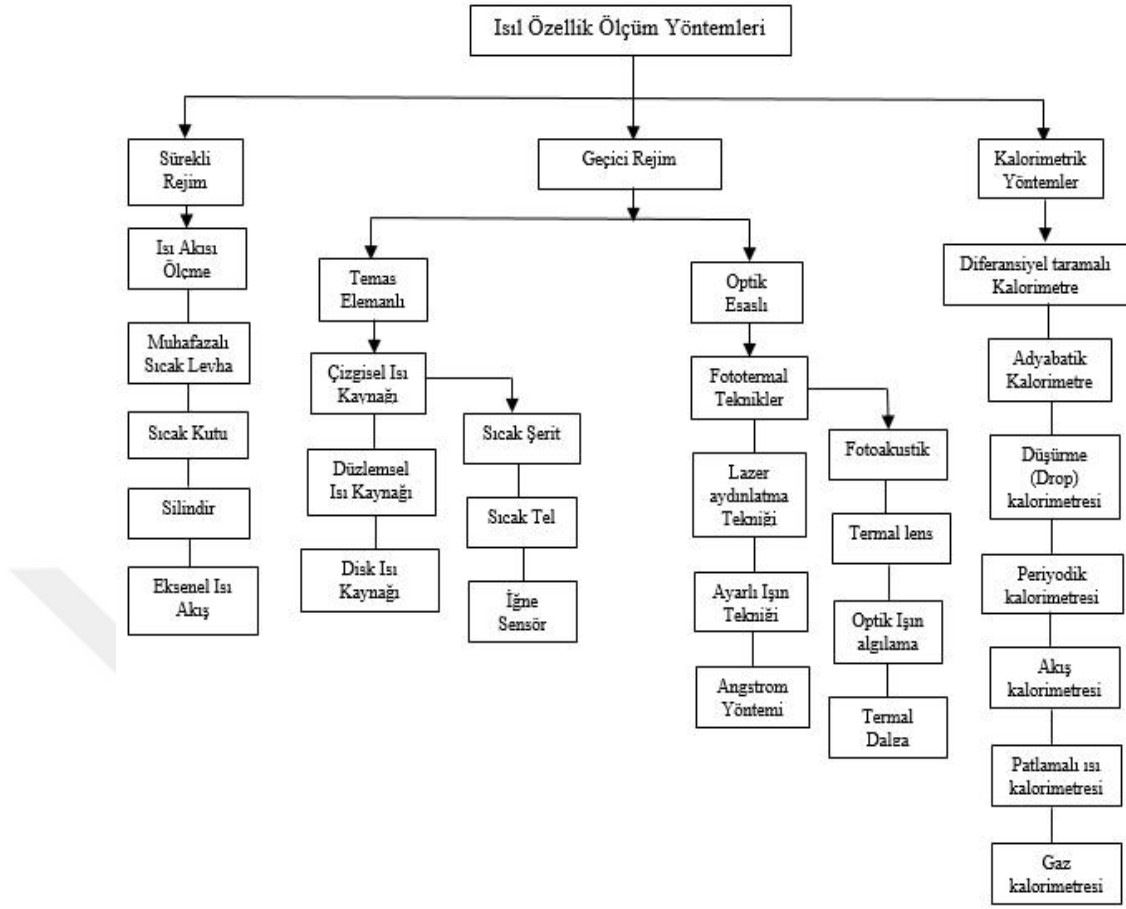
Yenilikçi yerel malzeme katkılı kompozit yapı bileşenlerinin ısııl özellik ölçümünde yukarıda sözü edilen zorluklara ek olarak; söz konusu bileşenlerin ısı iletim katsayılarının düşüklüğü sebebiyle, büyük boyutlarda test numunesi gerektirmesinin yanı sıra kompozit yapı içerisinde gradyanların süreksizliğidir. Bu nedenle yapı malzemeleri için, uygulama esnasında karşılaşılan sıcaklık aralıklarındaki ısı iletim katsayısı değerinden ziyade, termal geçirgenlik (ya da toplam ısı transfer katsayısı) değerinin ölçülmesi daha fazla tercih edilmektedir (Buratti ve ark., 2016).

Bu tez çalışması sonucu geliştirilen teknik ile yalnızca araştırmacılar değil aynı zamanda iri ufaklı inşaat sektöründe faaliyet gösteren tüm firmalar kendi atölyelerinde geliştirdikleri yapı malzemelerinin toplam ısı transfer katsayısını tespit edebileceklerdir. Geliştirilen tekniğin etkinliği kompozit yapı malzemelerin ısııl davranışını tespitindeki üstünlüğü yanında düşük bir uzmanlık bilgisine ihtiyaç duyması tez çalışmasının özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bir yapı malzemesinin kullanılabilirlik ölçütü onun mekanik davranışı kadar bina ısı yüküne getireceği iyileştirmelerdir. Bunun tespiti ise ancak yapı malzemelerin ısı performansının tümüyle tanımlamasıyla mümkündür. Bir malzemenin ısı performansını tanımlayan parametreler; ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve ısı difüzyon katsayısı şeklinde sıralanabilir (Bouguerra ve ark., 2001). Yapı malzemelerinin heterojen bir yapıya sahip olması yanında, ısı performansını tanımlayan söz konusu üç parametreyi bir arada, ölçen test düzeneklerinin geliştirilmesi yapı malzemelerinin ısı performans açısından değerlendirilmesi önündeki en büyük zorluktur. Bir binanın proses simülasyonu veya saha uygulamalarının doğru ve güvenilir yürütülebilmesi ancak malzemelerin ısı özelliklerinin doğru ölçülebilmesiyle mümkündür. Büyük çoğunlukla heterojen yapıya sahip olan yapı malzemeleriyle ilgili standartlaşmış bir yöntem olmamasına rağmen homojen katı malzemelerin ısı iletkenlikleri farklı matematiksel ve fiziksel prensip teknikleri kullanarak ölçen birçok yöntem bulunmaktadır (Koci ve ark., 2014). Kompozit (heterojen) malzemeler için ısı iletim katsayısının ölçümü ilgili en eski çalışma Maxwell'in (1873) yaklaşık bir buçuk asır önce yaptığı çalışmadır (Andrianov ve ark., 1996).

Homojen katı malzemelerin ısı performans testine yönelik ölçüm tekniklerinin birçoğu şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ısı özellikli ölçüm yöntemleri; sürekli rejim, geçici rejim ve kalorimetrik yöntemler olarak üç ana sınıfta değerlendirilebilir (Yeşilata ve ark., 2007; İşiker ve ark., 2007; Czichos ve ark., 2011). Ölçüm numuneleri genellikle plaka, silindir ve küre şeklinde seçilen (Andrianov ve ark., 1996) yöntemler aşağıda kısaca sunulacaktır.



Şekil 2.1. Isıl özellik ölçüm yöntemleri (Yeşilata ve ark., 2007; İşiker ve ark, 2007; Czichos ve ark., 2011; Sekhu ve Singh, 2015; Eithun, 2012)

2.1. Sürekli Rejim Yöntemleri

Yaygın olan ve nispeten diğerlerine nazaran daha doğru sonuçlar veren sürekli rejim tekniklerinde, genellikle düz yüzeyli kalın levha geometrisindeki büyük boyutlu numuneler kullanılmaktadır. Sürekli rejimde çalışan ölçüm tekniklerinde numune boyutunun büyüklüğü ve ısılar kararlılığın sağlanması gerekliliği nedeniyle test süresi genellikle uzundur. Sıcaklık değişim hızı ise numune malzemesine göre değişmekte olup, özellikle yapı/yalıtım malzemeleri için çok düşüktür (Rides ve ark., 2009).

2.1.1. Isı akısı ölçme (heat flow meter)

Isı akısı ölçme tekniğinin ölçüm prensibi Şekil 2.6.a' da gösterildiği gibi; karesel boyutlara sahip belli kalınlıktaki ve farklı sıcaklıktaki iki levha (sıcak ve soğuk)

arasına yerleştirilmiş test numunesinden geçen eksenel ısı akısının ölçümüne dayanır. Isı akısının ölçümü, test numunesinin alt yüzeyi ile temasta olan ince bir plakaya üniform yerleştirilmiş kalibreli ısı akısı sensörleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Isı iletim katsayısı, test numunesinin kalınlığı, sıcaklık gradyanı ve ölçülen ısı akısı vasıtasıyla belirlenir (Yesilata ve ark., 2007).



Şekil 2.2. a. Isı akısı ölçme aparatının mekanik bileşenleri genel görünümü b. Bir ısı akısı sensörlü ve iki numuneli aparat c. İki ısı akısı sensörlü ve bir test numuneli aparat

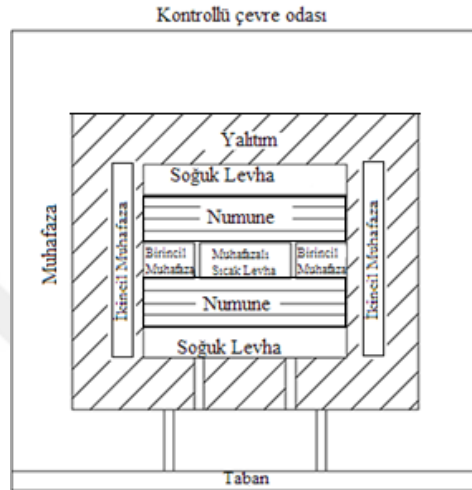
Isı akısı ölçme tekniğinin aparatı Şekil 2.2.b 'de gösterildiği gibi bir ısı akısı sensörlü ve iki numuneli aparat gibi veya Şekil 2.2.c'de gösterildiği gibi iki ısı akısı sensörlü ve bir test numuneli aparat şeklinde olabilmektedir. Gerektiğinde çevresel şartları kontrol altına almak için bir ekipmana ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu yöntemdeki limitler dahilinde kalındığı sürece her konfigürasyon aynı sonucu verecektir. (Astm, 2015)

2.1.2. Muhafazalı sıcak levha (guarded hot plate)

Korunan sıcak plaka aparatı, küresel ölçüm belirsizliğini %2 'nin altına düşürebilme yetisine sahip kararlı homojen malzemelerin ısı iletkenlik ölçümü için geleneksel olarak tanınan tek mutlak yöntemdir (De Ponte ve Klarsfeld, (2002); Dubois ve Lebeau, 2015). Bu yöntem, numune bir ısıtıcı plaka ve bir izotermal soğuk plaka arasına konularak, sıcaklık farkı oluşturulmasıyla kararlı halde tek yönlü ısı akışına dayalı bir ölçüm tekniğidir (Stacey ve ark., 2014).

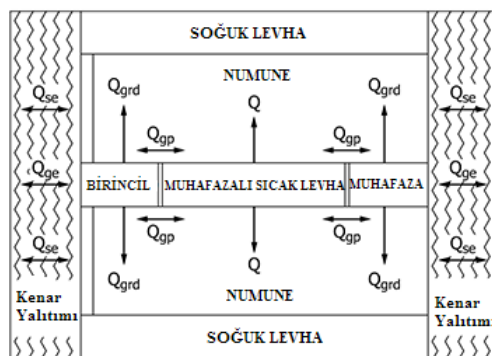
Şekil 2.3. muhafazalı ısı plakasının idealleştirilmiş sisteminin ana parçalarını iki adet izotermal soğuk yüzey ve muhafazalı sıcak levhadan olduğunu göstermektedir. Muhafazalı sıcak levha termal olarak izole edilmiş boşluklu ya da bölmeli olan

konsantrik birincil muhafazalı ölçülü bir bölümden oluşmaktadır. Bu cihazların muhafazaları birden fazla olması mümkündür. Test numunesi şekil 2.3’de gösterildiği gibi bu üç birim arasında sıkıştırılmıştır. Ölçümün çift taraflı modunda numune aslında iki parçadan oluşmaktadır. Bu durumdaki ölçüm iki parçanın ortalaması olan sonucu verir. Bu yüzden iki parçanın birbirine nerdeyse eş olması önemlidir (Astm, 2013).



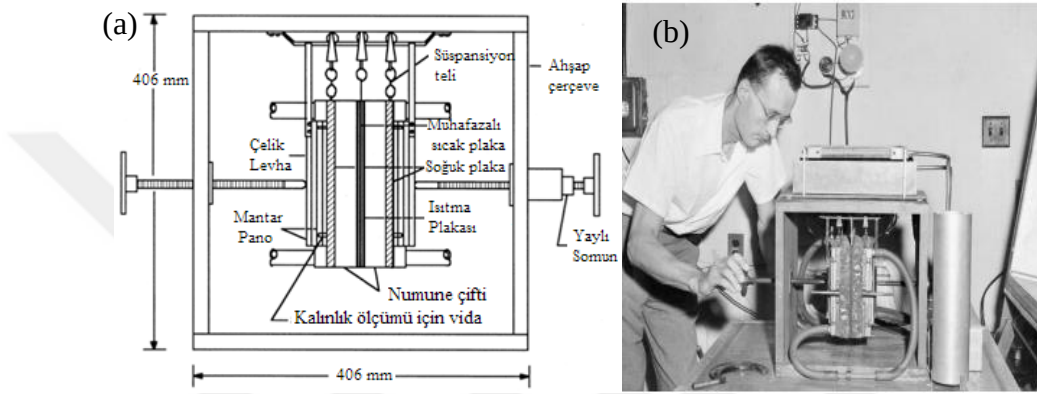
Şekil 2.3. Muhafazalı ısı plakası aparatının mekanik bileşenleri genel görünümü

Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi numunenin homojen olmaması, ölçülü bölme ile muhafaza arasındaki sıcaklık farkları (boşluk dengesizliği), çerçevenin dış kenarı ve kontrol altına alınmış çevrenin arasındaki sıcaklık farkları (kenar dengesizliği) idealleştirilmiş konfigürasyonda sapmalara sebep olur (Astm, 2013). Homojen levhaya benzer malzemelerin mutlak ölçümü için ilk muhafazalı sıcak levha yöntemini Dickinson geliştirmiştir (Dickinson and Van Dusen, 1916).



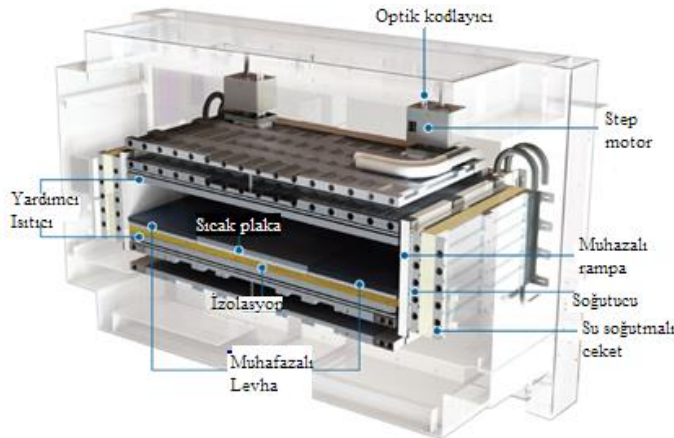
Şekil 2.4. Muhafazalı ısı plakası aparatının idealleştirilmiş ısı akışının gösterimi

Şekil 2.5.a' da gösterilen NBS 200 mm muhafazalı sıcak levha ise Van Dusen'in 1920 versiyonun, 1928 yılında yapılan bir benzeridir. Daha sonra Robinson ve Watson 1947 yılında bu muhafazalı sıcak levha aparatının, sıcaklık aralığı genişletilerek (6.7 °C- 54 °C) bu aparatı geliştirmişlerdir. Şekil 2.5.b'de gösterildiği gibi birkaç yıl sonra NBS (National Bureau of Standards) mantar levhanın yalıtımı üzerindeki termal iletkenlik testinin ilk yayınlanan laboratuvar karşılaştırmalarından birini tamamlamıştır (Robert ve Zarr, 2001).



Şekil 2.5. a. NBS 200 mm muhafazalı sıcak levha aparatının şematığı b. Henry E. Robinson'un laboratuvarlarındaki test aparatı

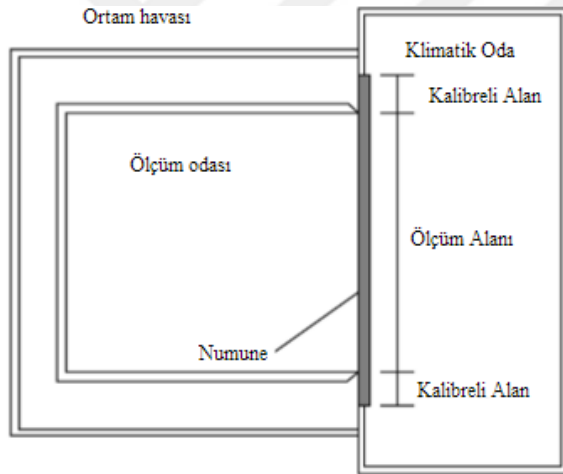
Muhafazalı sıcak levha aparatı son yıllarda geliştirilmiş hali olarak LaserComp FOX şirketinin Şekil 2.6.' da gösterildiği gibi geliştirmiş olduğu cihazlardan biridir. Bu cihaz çevre sıcaklığından 250 °C sıcaklık oranına kadar çalışma kapasitesi bulunmaktadır.



Şekil 2.6. LaserComp Fox şirketinin muhafazalı sıcak levha aparatı (URL-1)

2.1.3. Kalibreli sıcak kutu yöntemi (guarded hot-box)

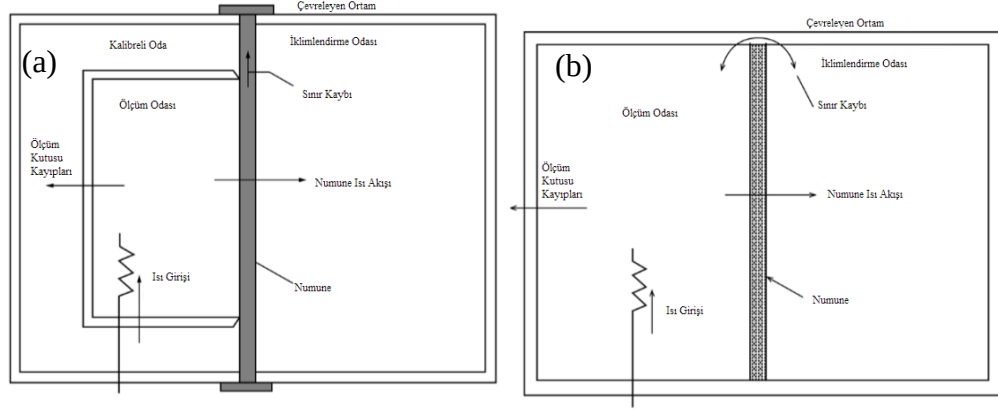
Kalibreli sıcak kutu tekniğini öbür tekniklerden farklı olarak ısı iletim katsayısı yerine, toplam ısı transfer katsayısını belirlemesidir (Yeşilata ve ark., 2007). Başarılı bir sıcak kutu aparatı tasarlamak birçok faktörden etkilenir. Standartlara uygun bir sıcak kutu aparatı tasarlamadan önce, tasarımcı sınırları ve doğruluğu gözden geçirmelidir. Ölçüm odasının minimum büyüklüğü numunenin test alanına göre hesaplanması gerekmektedir. Kalibreli sıcak kutu yöntemi sıcak ve soğuk bölme olmak üzere iki şartlandırılmış bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi sıcak kutu aparatının temel bileşikleri; numunenin bir yanında ölçüm odası, diğer yanında iklimlendirme odası, numuneye destek sağlayan numune çerçevesi ve çevre yalıtımı, çevreleyen ortamdan oluşmaktadır. Temel sıcak kutu aparatı çok çeşitli ebatlarda ve tasarımlarda olabilmektedir (Astm, 2011).



Şekil 2.7. Basit sıcak kutu yönteminin temel elemanlarının şematik gösterimi

Sıcak kutu aparatları iki temel düzende tasarlanmışlardır. Birincisi, Şekil 2.8.a’da gösterildiği gibi ölçüm odası kontrollü kalibreli oda tarafından çevrelenen kendinden maskeli sıcak kutu aparatıdır. İkincisi; Şekil 2.8.b’de gösterildiği gibi maskeli sıcak kutudur. Bu çevreleyen ortamın koruma odası olarak kullanıldığı özel bir sıcak kutu tasarımıdır. Ek olarak, maskeli sıcak kutu yöntemi dizaynı için ölçüm odası duvarlarından olan kaybın kabul edilebilir bir seviyeye düşürülmesi için ölçüm

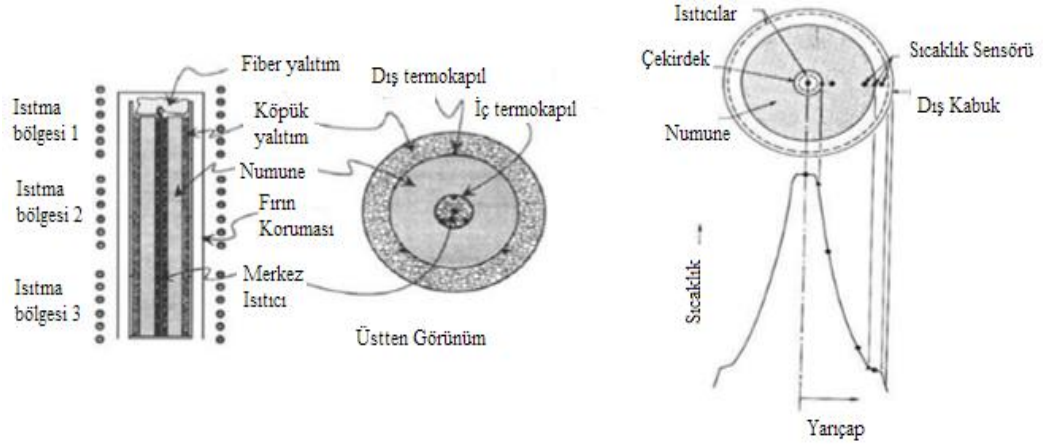
odası duvarlarının yeterli termal dirence sahip olması gerekmektedir. Maskeli sıcak kutu tasarımı genellikle büyük numuneler için kullanılır (Astm, 2011).



Şekil 2.8.a. Kalibreli sıcak kutunun temel elemanları b. Maskeli sıcak kutunun temel elemanları (Astm, 2011)

2.1.4. Silindir yöntem (cylinder method)

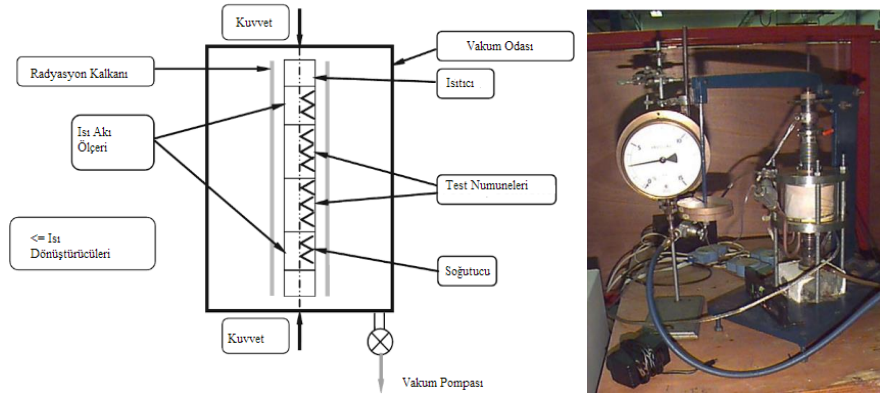
Silindir yöntem termal iletkenlik ölçümünde çok başarılı olup ısı akışı ölçme yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntemin ölçme biçimi Şekil 2.9.' da gösterildiği gibi ısının radyal olarak orta ısıtıcıdan bir ısı kuyusuna doğru akışını sağlayarak bununla sistem içindeki sıcaklık eğimini ölçmektir. Bu sistem silindir bir boşluğun içine yerleştirilmiş elektrikle ısıtılan kablo ya da silindirden oluşmaktadır. Silindir duvarı ile ısıtıcı arasına numune doldurulabilir ve arzu edilirse tercih edilen bir basınca düşürülebilir. Isıl çiftler numuneye en az iki yerden ve numunenin orta kısmına takılır. Numunenin termal iletkenliğinin belirlenmesi öncelikle çekirdek ısıtıcıdan sabit elektrik akımı geçerken radyal ısı akışı üretilir. Bu durum, ısı çiftleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturur. Denge durumu oluştuğunda ısı çiftlerindeki sıcaklık ölçümleri kaydedilir. Bu yöntemin avantajları yüksek ve düşük termo iletkenliğine sahip numunelerin ölçümlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Sistem diğer sistemlere göre daha basit aletlerle çalıştırılabilir. Dezavantajı ise en doğru sonuca ulaşabilmek için geniş numune boyutları kullanılmalıdır. Bu durum maliyetli olmakla birlikte numunenin kararlı hale geçmesi uzun zaman almaktadır (Sekhu ve Singh, 2015).



Şekil 2.9. Silindir yönteminin temel elemanları ve kesit alanının sıcaklık profili (Sekhu ve Singh, 2015)

2.1.5. Eksenel akış yöntemi (axial flow method)

Eksenel akış yöntemi köklü olan, literatürde bildirilen en tutarlı ve yüksek doğruluk sonuçlarını sağlayan yöntemdir. Bu yöntem 100 K altındaki sıcaklıkta termal iletkenlik ölçümü için en yaygın kullanılan yöntemdir. Çünkü bu sistem için düşük sıcaklıklarda minimum ısı kaybı olmaktadır. Eksenel akış yöntemi ısı iletim katsayısı 1 W/m.K daha büyük olan küçük numunelerde en uygun olanıdır. Bu yöntem; gerekli olan diğer aktarım özelliklerinin eş zamanlı ölçümünün yapıldığı araştırmalar için en uygun olanıdır. Bu yöntemde en önemli ölçüm olayı; geliştirilmiş eksenel ısı akışında radyal kayıpları azaltmak için anahtar bir yöntemdir (Eithun, 2012; Maglic ve ark., 1984). Eksenel ısı akış aparatının şematiği ve görüntüsü Şekil 2.10'da gösterildiği gibi hidrolik ve mekanik olarak eksenel yönde bir uçtan diğer uca yerleştirilmiş iki silindirden oluşur. Eğer yükleme mekanik olarak yapılırsa temas yükü, kalibre edilmiş yük hücresi kullanılarak ölçülür (Chakravarti ve Madhusudana, 2014).



Şekil 2.10. Eksenel ısı akısı şematiği ve görüntüsü (Villanueva 1997; Chakravarti ve Madhusudana, 2014)

2.2. Geçici Rejim Yöntemleri

Geçici rejim yöntemi ise genellikle küçük numunelerin (filmler, ince levhalar ve dökümler) ölçümü için uygun olup, test süresi daha kısadır (Dos Santos, 2008; Jensen ve ark., 2012). Kısa sürede ölçüm yapabilme avantajından dolayı, geçici rejim yöntemleri endüstride ve araştırma laboratuvar ortamlarında daha fazla tercih edilebilmektedir (Jensen ve ark., 2012). Durağan veya sabit haldeki yöntemlerle karşılaştırıldığında, geçici yöntemlerin bir diğer avantajı ise; ısı iletim katsayısının ölçümü yanında özgül ısı değeri ve ısı yayılım katsayısı gibi termo-fiziksel parametreleri hakkında da tahmin yapılmasına olanak tanımasıdır (Boháč ve ark., 2003).

2.2.1. Temas elemanlı

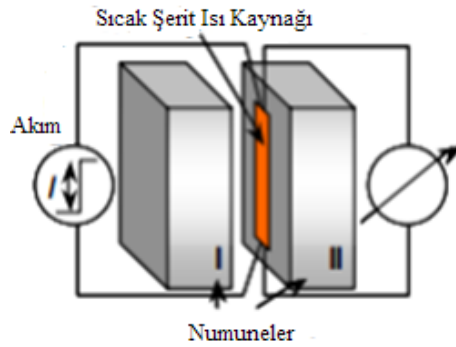
2.2.1.1. Çizgisel ısı kaynağı (line heat source)

Çizgisel ısı kaynağı yöntemi yalıtım malzemelerinin, toprak türlerinin, biyolojik malzemelerin, sıvıların, taşların, seramik ve camların termal iletkenliğini geniş bir sıcaklık aralığında ölçmek için kullanılır. Çizgisel ısı kaynağını tasarımı çok basittir. Minimal radyal ölçüye ve geniş bir boyuna ölçüye sahip doğrusal bir ısı kaynağı geniş ölçülü homojen bir numuneye batırılır. Isı kaynağı basit bir şekilde kontrol edilebilmelidir. Kaynak uzunluğu boyunca üniform dayanıklı stabil enerji kaynağı

sağlamalıdır. Prensipte hem doğrusal ısı kaynağının sıcaklığı hem de numunenin uygun bir yerindeki sıcaklık ölçülebilmelidir. Numune üniform, izotropik ve ölçüm sırasında sonsuz bir numune özelliği gösterebilmesi için yeterli radyal ve boyuna ölçülerde olmalıdır (Wechsler, 1992).

2.2.1.1.1. Sıcak şerit yöntemi (hot strip method)

Sıcak şerit yöntemi mümkün olduğu kadar geniş bir yelpazede termal iletkenlik ölçümü için kapsayıcı olması amaçlanmıştır. Bu buhar çöktürme işlemi metal folyolardan yapılmış mikro şeritlerden cm genişliğinde şeritlere kadar uzanan şerit boyutlarının kullanılmasıyla başarılmıştır. Bu yöntemin uygulanabilir ve elverişli olması sıcak şeridin hem bir ısıtıcı hem de bir sıcaklık sensörü olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Sıcak şerit yöntemi çok sayıda farklı malzemelerin 0.01- 100 W/mK aralığındaki termal iletkenlik katsayılarını ölçmek için uygulanır (Gustafsson, 1987). Şekil 2.11.' de gösterildiği gibi birçok katı malzemenin termal iletkenlik ölçümünde metal şerit, malzemenin arasına sıkıştırılır. Şeridin yaklaşık olarak düz bir ısı kaynağı olması için malzemenin şeride temas eden iki yüzeyi de düz olmalıdır. Sıvıda çalışıldığında metal şerit dik bir şekilde asılı bırakılır. (Gustafsson 1967, Gustafsson ve ark., 1979)

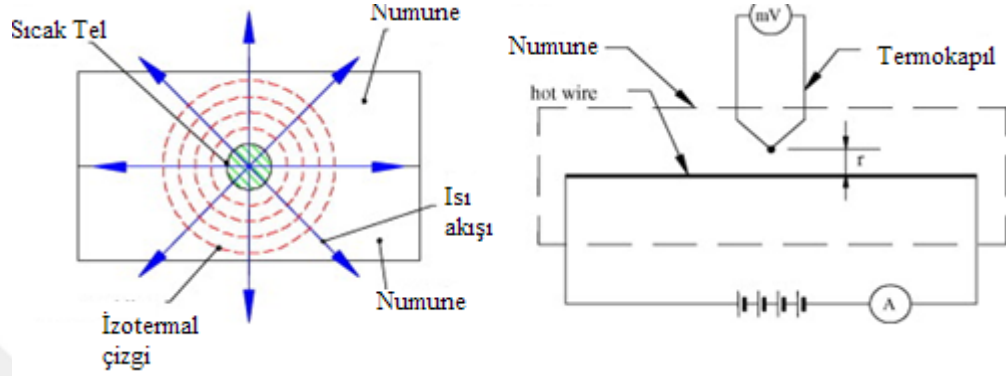


Şekil 2.11 Sıcak şerit yönteminin ölçüm elemanları

2.2.1.1.2. Sıcak tel yöntemi (hot wire method)

Bu yöntemde Şekil 2.12' de gösterildiği gibi ideal hale getirilmiş tek yönlü radyal ısı akışına dayanır. Sıcak tel yöntemi sonsuz küçüklükte ve sonsuz uzunluktaki

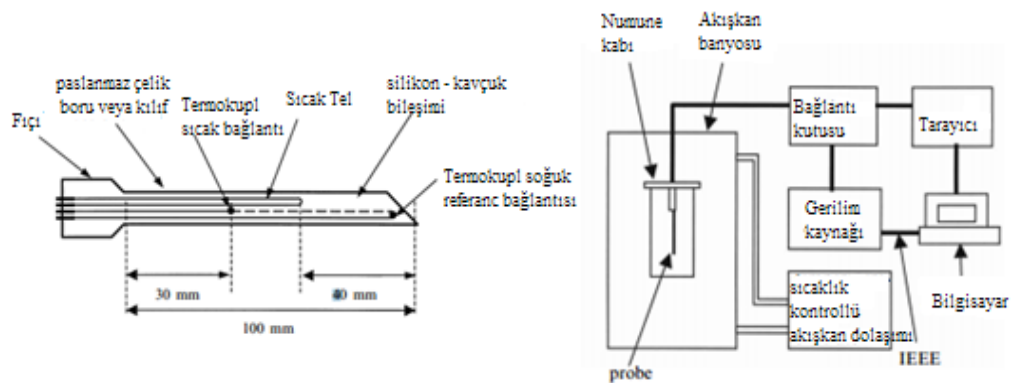
doğrusal bir ısı kaynağına ve test malzemesine yerleştirilmiş doğrusal ısı kaynağından belirli bir mesafedeki sıcaklık artışının ölçümüne dayanan geçici dinamik bir tekniktir. Sabit elektrik akımı telden geçtiğinde, bilinen bir zaman aralığındaki sıcaklık değişimi sonucunda termal iletkenlik türetilir (Franco, 2007).



Şekil 2.12. Sıcak tel yönteminin ölçüm elemanları

2.2.1.1.3. İğne Sensör Yöntemi (Needle Probe Method)

İğne sensör yönteminin çalışma prensibi sıcak tel yöntemine benzerdir. Numune sabit bir ısı girişi sağlayan uzun, düz ve ideal üniform bir ısı kaynağıyla ısıtılır ve istenilen noktadaki sıcaklık artışı zamanının bir fonksiyonu olarak ölçülür. Sensör, ısıtıcı bir eleman, termometre ve yalıtım malzemesi içeren, uzun ve ince çelik bir kılıftan oluşur (Luckmuller and Redgrove, 2004).

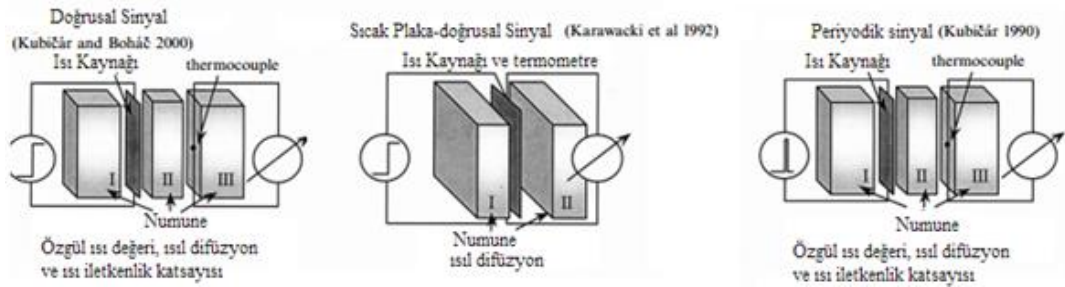


Şekil 2.13. İğne sensörü yönteminin elemanlarının şematik gösterimi

2.2.1.2. Düzlemsel ısı kaynağı (plane heat source)

Düzlemsel ısı kaynağı yöntemi, termal iletim özellikleri için hızlı ve kesin bir yöntemdir. Elektronik malzemelerin gelişiminde; çalışılan malzemenin, termal iletkenlik, ısı difüzyon ve özgül ısı değerlerinin hızlı, tek ve tahribatsız bir yöntemle bulunması gerekir. Düzlemsel ısı kaynağı tekniği $0.005 - 500 \text{ W/mK}$ ve $-250^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$ aralığında termal iletkenliğin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlar. Düzlemsel ısı kaynağı tekniği elektrik ileten çift spiralli saf nikel kalıp içeren, geçici ısıtılmış bir düzlem sensöre dayanır. Spiral, iki ince yalıtkan Kapton levhasıyla sıkıştırılır. Termal iletim ölçümü yapıldığında, düzlemsel ısı kaynağı, sensör elemanından geçen elektrik akımı sensör sıcaklığını bir derece ile birkaç derece arasında artırır. Sensör elemanı üzerindeki voltaj değişimi sıcaklık direnci ile eş zamanlı olarak zamanın bir fonksiyonu olarak artar. Sensör hem ısı kaynağı olarak hem de dinamik sıcaklık sensörü olarak kullanılır (Dixon ve ark., 2000).

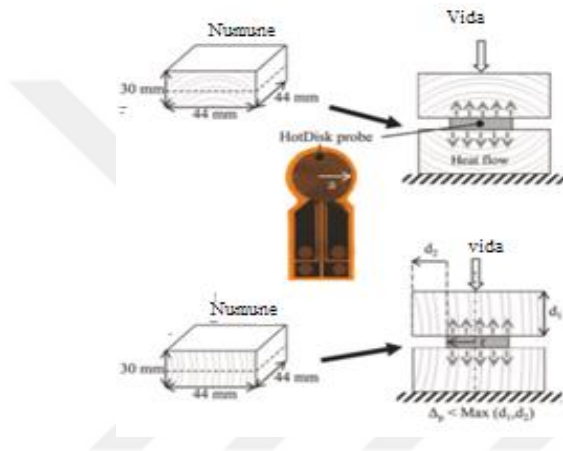
Düzlemsel ısı kaynağı kendi arasında Şekil 2.14.'de gösterildiği gibi periyodik sinyal (pulse transient), doğrusal sinyal (step-wise transient) ve sıcak plaka- doğrusal sinyal (hot plate transient) yöntemleri olarak üç gruba ayrılmaktadır. Test numunesi içerisindeki ısı kaynağına periyodik ya da doğrusal elektrik akımı uygulanarak sıcaklık sensörlerinden elde edilen dinamik (geçici) rejimdeki sıcaklık değerleri ölçülerek ısı özellik ölçümleri yapılır (Yeşilata ve ark., 2007).



Şekil 2.14. Düzlemsel ısı kaynağı yönteminin elemanlarının şematik gösterimi (Kubicar ve ark, 2002)

2.2.1.3. Disk ısı kaynağı (disc heat source)

Şekil 2.15.'de gösterildiği gibi Hot disk sensör aynı özelliklere sahip iki numune arasına sıkıştırılır. Termal iletim ölçümü yapıldığında, düzlemsel ısı kaynağı, sensör elemanından geçen elektrik akımı sensör sıcaklığını bir derece ile birkaç derece arasında artırır. Sensör elemanı üzerindeki voltaj değişimi sıcaklık direnci ile eş zamanlı olarak zamanın bir fonksiyonu olarak artar. Sensör hem ısı kaynağı olarak hem de dinamik sıcaklık sensörü olarak kullanılır (Dixon ve ark., 2000).



Şekil 2.15. Disk ısı kaynağı ölçüm yöntemi

2.2.2 Optik esaslı

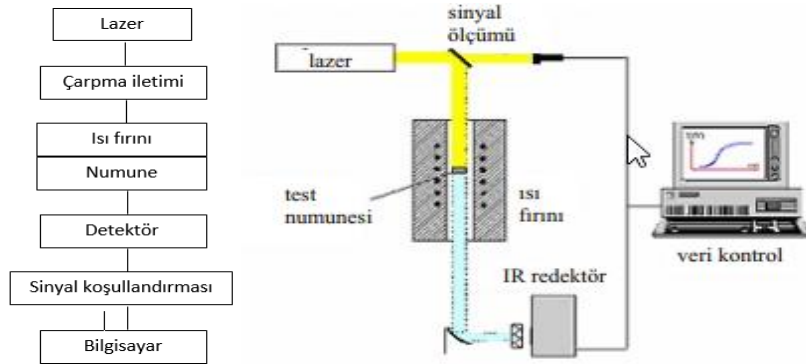
Geçici rejim yöntemleri kapsamına giren diğer yaygın teknik, optik esasa dayalı düzenekler içermektedir. Bu yöntemler lazer aydınlatma, angstrom, ayarlı ışın ve fototermal tekniklerdir. Bu teknikler hassas ölçümler yapabilmekle beraber çok pahalı bileşenler içermektedirler. Test malzemesinin, hacim içerisinde oluşturulan periyodik enerji ya da ısıl dalgaya karşılık verdiği tepki esasına dayalı ölçüm yapmaktadır. (Yeşilata ve ark., 2007).

2.2.2.1 Lazer aydınlatma tekniği

Termal kontakt direnci sıcaklık ölçümü için hatanın temel kaynağıdır. Lazer aydınlatma tekniği, yüksek doğruluk oranını yakalamak için temassız ve hasarsız

sıcaklık algılama tekniğini kullanmaktadır. Yöntem ilk olarak Parker ve ark. tarafından tanıtılmıştır (Vozar ve Hohenauer, 2002). Hızlı müdahalesiz (invazif olmayan) ısı ölçümü için termografik teknikle beraber optik ısıyı anlık ısı yerine kullanır. Test numunesi termal iletkenliği ölçerken genel olarak katı düzlemsel bir meteryaldir ve ayrıca termal kontakt direncini karakterize ederken çok katmanlı bir yapıya sahiptir (Zhao ve ark., 2016).

Küçük bir disk numunesi yüksek yoğunluk ve kısa süreli radyasyon enerji çarpmasına maruz bırakılır. Çarpmadaki enerji numunenin ön yüzeyi tarafından absorbe edilir ve sonucundaki arka yüzeydeki ısı artışı (termogram) kaydedilir. Numunenin kalınlığından termal difüzyon değeri ve maksimum değerinin kesin oranına ulaşmak için gerekli olan arka yüzey sıcaklık artışı hesaplanır. Numunenin termal difüzyonu belli sıcaklık aralığı üzerinde olduğu tespit edildiği zaman her sıcaklık aralığında ölçüm tekrarlanmalıdır. Aparat için gerekli olan önemli parçalar Şekil 2.16’da gösterilmiştir (Astm, 2001). Çoğunlukla seramik ve metallerin ısı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan lazer flaş yöntemi de polimerlerin termal özellikleri ölçmek için uygun bir yöntem olarak düşünülmektedir (Santos ve ark.,2005).

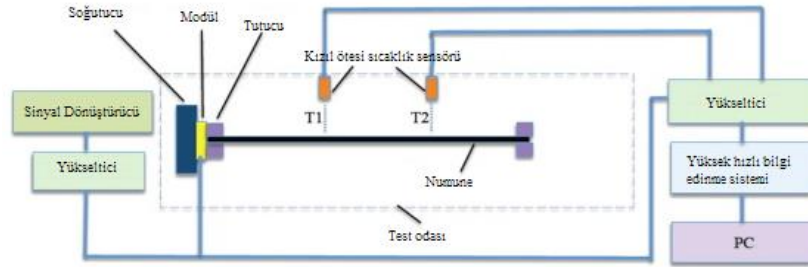


Şekil 2.16. Lazer aydınlatma tekniği aparatı (Astm 2001; Yesilata ve ark., 2006)

2.2.2.2. Angstrom yöntemi

Sürekli rejimde ısı iletkenlik ölçümleri çok zordur. Çünkü radyasyon faktöründeki ani artışlardan dolayı ısı yükselmektedir. Bu yüzden ısı iletkenlik yerine sıklıkla ısı difüzyon belirlenir. Angstrom’un orijinal ısı difüzyon ölçümlerindeki varyasyonlarla hala karşılaşılır. Angstrom’un yöntemi ısı difüzyon ölçümlerine

benzer bir şekilde ısı kayıplarını saf dışı bırakır. Şekil 2.17’de gösterildiği gibi Angstrom’un tekniğinde sinüzoidal ısı varyasyonu uzun bir numunenin, bir ucundan diğer ucuna uygulanır. (Goldsmid, 2009) Isıl dalgalanmasındaki genlik, numune boyunca hareket ettiği sürece uzunluk boyunca ayrılmış iki nokta arasında gözlemlenir.



Şekil 2.17. Angstrom yönteminin aparatı (Yuan Zhu, 2016)

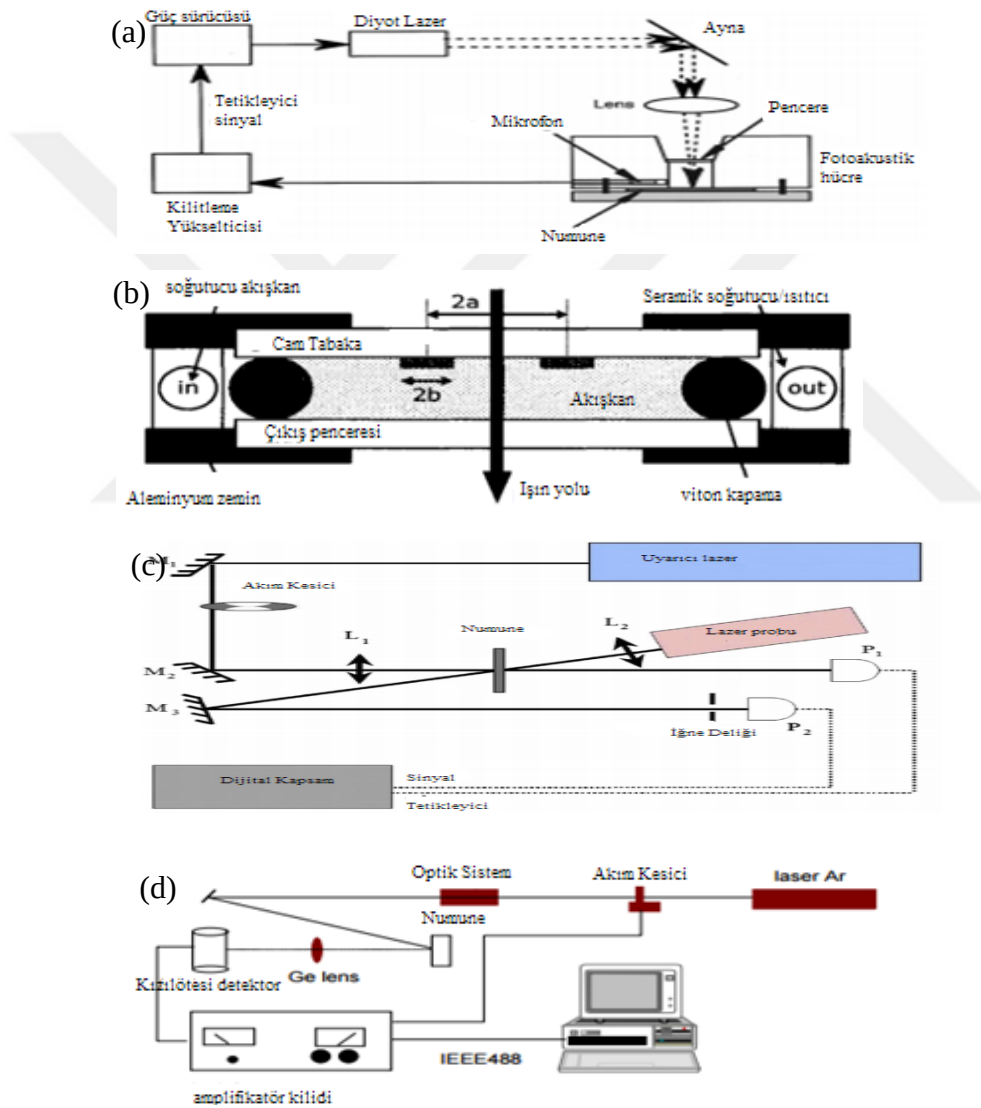
2.2.2.3. Ayarlı ışın tekniği

Bu teknikte numune ince düz-paralel bir disk şeklinde olup, yüzeylerinden biri yoğunluğu belirli bir değere ayarlanabilen elektron ışınlarının bombardımanına maruz bırakılarak istenilen sıcaklığa getirilir. Bu durum, sürekli rejim sinyalinin ortalama değeriyle kıyaslandığında küçük genlikli bir sinüzoidal olarak ayarlanabilen sinyaldir. Bombardıman yüzeyindeki sıcaklık bu modülasyona göre değişir. Diğer yüzeyin sıcaklığı numune boyunca transfer edilen enerjinin sonucuna göre modüle edilir, fakat bu modülasyon genlik olarak küçüktür ve fazı bombardıman yüzeyinin modülasyonuna göre gecikir. Numunenin her iki yanı arasındaki oluşan faz değişimi numunenin ısıl geçirgenlik değerine kesin bir şekilde bağlıdır. Sonuç olarak sıcaklık fonksiyonuna bağlı olan geçirgenlik değerlerini elde etmek için ortalama sıcaklık değerleri kullanılır. Numunenin özgül ısı ve yoğunluğu bilindiği zaman ısı iletim katsayısı hesaplanabilir (Conink R. De, 1984).

2.2.2.4. Fototermal teknikler

Bu yöntemin prensibi katı, sıvı yada gaz materyallerinin termal durumlarının ışığa bağlı değişiminin araştırmasına dayanır. Işık bir numune tarafından absorbe

edilirse sıcaklık, basınç yada yoğunlukta meydana gelen değişiklikler tespit edilir. Algılama sistemi olarak temas halinde olan ve uzaktan temassız halde bulunan sistemler vardır. Malzemelerin ısı özellikleri ve optik emilimlerinin belirlenmesi için kullanılan fototermal ve fotokaostik yöntemleri algılama tekniğine göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.18’ de gösterildiği gibi bu teknikler şunlardır; Fotokaostik teknik, Optik ışın algılama tekniği, Termal lens tekniği ve Termal dalga tekniğidir (Czichos ve ark., 2011).



Şekil 2.18. Fototermal Teknikler; a. Fotokaostik teknik (Wang ve ark ,2001), b. Optik ışın algılama tekniği (Putnam, 2007), c. Termal lens tekniği (Martins, 2014) ve d. Termal dalga tekniği (Cernuschi, 2004)

2.3. Kalorimetrik Yöntemler

Katı malzemelerin ısı iletim katsayısını ölçen ve yukarıda kısaca açıklanan tekniklere ek olarak, özgül ısı değerlerinin ölçümüne olanak sağlayan kalorimetrik teknikler ayrı bir kategoride değerlendirilmektedir. Bu amaçla kullanılan başlıca ölçüm cihazları arasında, diferansiyel taramalı kalorimetre, adyabatik kalorimetre, düşüş esaslı kalorimetre, periyodik kalorimetre, akış kalorimetresi, patlamalı ısı kalorimetresi ve gaz kalorimetresi bulunmaktadır. Bu cihazların nicelik olarak durumları, avantaj ve dezavantajları çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. Bunlardan en fazla kullanılan ve basit bir şekilde ölçüm yapan diferansiyel taramalı kalorimetredir. Bu kalorimetre bir malzemenin sabit bir hızda ısıtılması ya da soğutulması sırasında sıcaklığının, termal olarak inert davranan bir başka malzemenin sıcaklığına göre, numunenin inert malzemenin yada fırın sıcaklığının bir fonksiyonu olarak kaydedildiği bir termal tekniktir (Kalem, 2003).

Çizelge 2.1. Kalorimetrelerin karşılaştırılması (Czichos ve ark. 2011)

Kalorimetre tipi	Nicelik	Sıcaklık oranı (K)	Kararsızlık (%)	Avantajları	Dezavantajları
Diferansiyel taramalı kalorimetre	Özgül ısı değeri, katı ve sıvılarda entalpi faz geçişi	100-1900	1.5-10	Standartlaşmış, kullanımı kolay ve hızlı	Göreceli bir yöntem
Adyabatik kalorimetre	Özgül ısı değeri, katı, gaz ve sıvılarda entalpi faz geçişi	1-1900	0.05-2	Yüksek hassasiyet	Uzun ölçüm zamanı ve pahalı
Düşürme kalorimetresi	Özgül ısı değeri, katı ve sıvılarda entalpi faz geçişi	273-3000	0.1-2	Yüksek hassasiyet	Pahalı
Periyodik kalorimetresi	Özgül ısı değeri, katı ve sıvılarda entalpi faz geçişi	600-10000	2-3	Hızlı ve yüksek sıcaklık	Sadece elektrik iletkenli malzemeler
Akış kalorimetresi	Sıvı ve gazlarda özgül ısı değeri ve entalpi ölçümü	100-700	0.05	-	-
Patlamalı ısı kalorimetresi	Katı, sıvı ve gazların yanma ısısı	300	0.01	Katı ve sıvılar için standart yöntem	Gazlar için düşük doğruluk
Gaz kalorimetresi	Gazların yanma ısısı	300	0.03-0.5	Gazlar için standart yöntem	-

2.4. Isıl Özellik Ölçümlerinde Standartlaşmamış Bazı Yöntemlerle İlgili Çalışmalar

Yukarıda adı geçen standartlaşmış ısııl özellik ölçüm yöntemlerinin yanında son yıllarda henüz standartlaşmamış ama literatürde çalışılan yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerle yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Robinson ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada duvar yapılarının termal özelliklerini belirlemek için basit ve ucuz maliyetli bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu metodolojilerinde, geçici rejim yöntemi kullanarak duvar malzemesinin bir yüzeyini yüksek bir sıcaklığa sahip termal sınır şartı ile, diğer yüzeyini ise daha soğuk bir çevre ortamına bırakmıştır. Bu yöntemde duvarın bulunduğu yüksek sıcaklık kısmında, bir su akışı halkası oluşturulmuş ve yüksek sıcaklığı dengede tutabilmek için bir su tankına bağlanmıştır. Su tankının içerisine bir rezistans yerleştirilerek sabit bir sıcaklık elde edilmiştir. Duvarın geçici ısı davranışını incelemek için duvarın üst ve alt tarafına gelecek şekilde sıcaklık ve ısı akısı sensörleri yerleştirmişlerdir. Elde edilen sıcaklık değerlerini Fourier denkleminde verilen sınır şartlarına bağlı olarak ısııl düfzyon katsayısını tespit etmişlerdir. Duvara verilen ısı akısına bağlı olarak ısı iletim katsayısı ölçülmüştür.

Igaz ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada yönlendirilmiş yonga levhalarının temel termofiziksel özellikleri, nem içeriğine bağlı olarak nemli koşullarda kullanılmak üzere deneysel olarak tespit etmişlerdir. Termal iletkenlik, termal yayılma oranı, özgül ısı kapasitesi ve % 0-10 aralığındaki nem içeriği arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ilişkiyi incelerken deneysel olarak düzensiz genişletilmiş dinamik düzlemsel kaynak kullanmışlardır. Deneysel yöntemin geçerliliği, polimetilmetakrilat (PMMA) numuneleri üzerinde doğrulanmıştır. Literatürden aldığı değerler ile deneysel verileri karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda PMMA örnekleri üzerinde yapılan ölçümlerin hata oranı% 3'ten az iken yönlendirilmiş yonga levhaları için % 5.5'ten az olarak ölçmüşlerdir.

Flori ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmalarında ısı akısı plakası yöntemi kullanarak yapı malzemesi, izolasyon köpüğünden (Rohacell) yapılmış olup ısı iletkenliği belirlemek için kullanılmaktadır. Deneysel yöntemde numuneyi bir referans numuneyle (poliestren) bir kalometrik bölmeye yerleştirerek ve alttan ısıtarak yapmışlardır. İki tabakadan geçen ısı akısının sabit olduğu ve referans numunenin ısı iletim katsayısı bilindiği göz önüne alınarak numunenin ısı iletim katsayısı belirlenmiştir. Isı iletim katsayısı belirlenirken ısıtma koşulları sabit duruma geldiğinde sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Numune değerleri tablo değerlerine bakılarak kıyaslanmıştır.

Mahanta ve Abramson (2010) yapmış oldukları bir çalışmada ısı iletkenliği karakterize etmek için çok yönlü bir yöntem olan çift modlu bir ısı akış metresi kullanmışlardır. Çift modlu ısı akış ölçer tekniğinde, deneysel sıcaklık profili ile iletkenlik ve radyatif ısı transferi hesaba katılarak basit bir analitik çözümün tahminiyle arasındaki eğri optimize edilerek kararlı durum termal karakterizasyonunu gerçekleştirmişler. Geliştirdikleri yöntemde bir tarafta ısıtıcı yanında 5x50 mm ebatlarında bakır levha, onun yanında aynı boyutlarda test numunesi ve ona bitişik olan soğutucu kısımdan oluşmaktadır. Doğrulama sonuçlarının yayınlanmış literatür değerleri ile iyi uyum içinde olduğu ve yöntemin çok yönlülüğünü gösterdiği görülmüştür.

Byrne ve ark. (2017) yapmış olduğu çalışmada bina kabuğunu ısı iletkenliğini belirlemek için geleneksel sıcak kutu cihazının basit ve kompakt versiyonunda toplam ısı transfer katsayısı (U) değerleri ölçümü yapmışlardır. U değeri etkili yüzey direncini ölçme/ tahmin etme ihtiyacını içermektedir. Radyasyon ve konveksiyon içeren yerinde yüzey dirençlerini, iklim koşullarına bağlı olarak tahmin etmek ve değiştirmek zordur. Test düzeneğinin tasarımı bu yüzey davranış değişkenlerinin etkisini dahil etmemektedir. Bu nedenle çalışmalarında testin tekrarlanabilirliği açısından aparatları ve test yöntemini ayrıntılarıyla anlatmaktadır. Daha sonra aparatları kullanarak tipik yapının içi boş bir blok duvarının testinin sonuçları sunulmuştur. Belirlenen R-değerinin hesaplanan değerlerin % 1'i içinde olduğu ve termal zaman sabitinin en doğru öngörme tahminleriyle yakından eşlendiği bulunmuştur. Bu

teçhizat, geleneksel Hot-Box aparatına, büyük konveksiyon odalarını ve hava işleme ve klima sistemlerini ortadan kaldırarak daha düz ve kompakt bir alternatif sunmakta ve bu nedenle kullanıcının daha doğru bir ölçüm yapmasını sağlayarak duvarın kendisinin yüzey ısı direncini belirleme gereğini ortadan kaldırmıştır.

Gracia ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında gerçek bina kabukları simüle eden farklı malzemelerin kompozit duvarlarının ısı tepkisini ve ısı kapasitesini ölçmek için yeni bir ekipman tasarlamışlardır. Bu çalışmada sunulan yeni ekipman ahşap bir yapıda olup ölçüleri 50 cm x 50 cm x 118 cm boyutlarındadır. Dış ahşap paneller (3 mm), 16 cm polistiren ile izole edilmiştir ($k = 0.034 \text{ W/mK}$) ve iç kısmı, bir bina zarfının iç ve dış koşullarını taklit etmek için kullanılan iki oyuğa bölünmüştür. Test edilecek numune, dört kenarları iyi yalıtılmış olarak bu iki boşluk arasına yerleştirilir (bir boyutlu ısı akışı koşullarının sağlanması için polistiren panelleri aynı zamanda numunenin dört kenarında kullanılmıştır). Her iki boşluk da programlanabilir su banyoları ile bağlantılı bakır bir soğutma bobinine sahiptir, bu su banyolarında ortam sıcaklığının günlük değişimi, boşluğun kontrol edilen sıcaklığı, farklı ısıtma ve soğutma rampaları gibi farklı termal koşulları simüle edebilmektedir. Yapılan ölçümlerde geliştirilen cihazın yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirliği gösterilmiştir.

Demirci ve ark. (2004) çalışmalarında laboratuvar ölçeğinde tek eksenli ve üç eksenli gerilime sahip kayaçların ısı iletkenlik değişimlerinin sonuçlarını ele almaktadır. Bu şekilde, tek eksenli ve üç eksenli gerilimler altında ısı iletim katsayısı değerleri arasındaki farkı görmek ve ısı akışı hesaplamaları için dikkate alınması gereken sonuçları çıkarmak mümkündür. Bu amaçla, kaya örnekleri yazarlar tarafından geliştirilen yeni bir cihazla test edilmiştir. Bu cihazla yapılan testlerden elde edilen sonuçlar, ilgili parseller içerisinde verildiği gibi, belirlenen ısı iletkenlik katsayılarının tasarım analizlerini desteklemek için kullanılması uygun olduğunu göstermektedir.

Carson ve ark. (2003) çalışmalarında iki boyutlu sonlu eleman simülasyonunu kullanarak seçilmiş gözenekli yapının değişkenlerinin bağlı etkilerinin termal iletkenliğe etkisini incelemişlerdir. Sonlu eleman modeli ile kararlı bir termal

iletkenlik ölçüm cihazını simule etmişlerdir. Sonuç olarak gözenekler, partiküller ve bileşenlerin sürekli veya dağınık fazlarının bileşenlerinin gözenek veya partiküllerin şekil veya boyutundan daha önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Efektif termal iletkenlik tahmini yaparken dış gözenekli malzemeler ve iç gözenekli malzemelerden ayrı değerlendirilmeli ve bütün gözenekli malzemeler için sağlıklı bir tahmin yapmak gerçekçi olmamaktadır. Ek bir parametre ile efektif termal model üretilebilir sonucuna varmaktadırlar.

Bal ve ark. (2012) çalışmalarında darı atık katkılı laterit tabanlı tuğlaların su içeriğinin gözeneklik, yoğunluk ve termal kapasiteye bağımlılığını incelemişlerdir. Su içeriğine bağlı olarak 0 ila maksimum değere kadar değişen bu örneklerin ısı kapasitesini ölçmek için asimetrik bir sıcak plaka cihazı kullanmışlardır. Bu cihazda numunenin her iki tarafına 5 cm kalınlığında polistren ısı yalıtım levhaları koymuşlardır. Polistren ve numunenin arasına bir ısıtıcı ve ısı çift yerleştirmişlerdir. Polistrenlerin her iki tarafına da alüminyum blok yerleştirmişlerdir. Numunelerin yanal yüzlerine su buharlaşmasını önlemek için bir cihaz adapte ederek geliştirmişlerdir. Hem yoğunluk ve ısı kapasite modellenmiş hem de deneysel sonuçlar ayrı ayrı yoğunluğun, kil ve darının termal kapasitesi için değerlendirmişlerdir. Bu yöntem termal kapasitesinin tahmin edilmesini sağlayan model ile deney sonuçları iyi bir uyum içinde olduğunu bulmuşlardır.

Paiva ve ark. (2012) çalışmalarında mısır koçanı yonga levhalarının ısı yalıtım performansını değerlendirmek için alternatif bir hızlandırılmış deney düzeneği önermişlerdir. Önerilen bu teknikte bir ürünün gerçek termal ve nem ölçüm koşullarında ısı yalıtımının olduğu yerdeki testin daha gerçekçi bir boyut kullanarak aynı anda birkaç numunenin ve birkaç gün boyunca sürekli olarak izlenmesi gibi bazı avantajları bulunmaktadır. Bu nedenle bu ölçüm yönteminin hassas ve çok yönlü olduğunu göstermiştir. Bu deney yöntemi yoluyla mısır koçanı suntası bir parametrik ısı yalıtımı çalışmasında kalınlığın ısı yalıtım performansına etkisini incelemişlerdir.

Luo ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada sonlu hacim ve kompleks Fourier analizi yöntemlerini kullanarak bina yapılarında iç ve dış yüzey sıcaklıkları ve ısı akısı

için termal kapasitans ve ısı iletkenliğini belirlemişlerdir. Konvektif ısı akısı, toplam yüzey ısı akısı ile ısı radyasyon akısının uzaklaştırılması ile elde etmişlerdir. Son olarak, ölçümlerinde elde edilen termal özellikleri ASHRAE değerleri ile karşılaştırmışlardır.

Vivancos ve ark. (2009) çalışmalarında farklı türlerde kil ve beton tuğla ısı akısı gelişimini korunaklı sıcak plaka ile incelemişlerdir. Çalıştıkları tuğla yerel ticari kaynaklardan satın alınmış olup bir katı yüzeyli, petekli ve delikli tuğlalardan oluşmaktadır. Elde etmiş oldukları verilerden yeni bir ısı modeli önermişlerdir. Bu model, zamana bağlı ısı akışı gelişimi için gözlenen tipik bir sigmoidal eğri şekline dayanmaktadır. Bu model, Kararlı durumdaki ısı akısını (ϕ_{∞}) ve termal direncinin (R) hesaplanmasını sağlamaktadır.

Buratti ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, iyi ısı yalıtım özelliklerine ve mekanik dirence sahip yapı kaplamalarının termal ve mekanik özelliklerini tespit etmektir. Dört farklı kaplamanın ısı iletkenliğinin değerlendirilmesi için, yeni bir deney kutusu Small Hot-Box oluşturmuşlardır. Bu yenilikçi Small Hot Box hiçbir Avrupa standardında mevcut değildir. Ancak bazı EN ISO 8990 standartlarını dikkate almaktadır. Cihaz, bilinen termal iletkenlik malzemeleriyle kalibre edilmiştir. Test edilen numuneler, sıcak ve soğuk taraflar arasındaki bir destek paneline yerleştirilir ve hava sıcaklık farkı test sırasında korunmaktadır. Çalışmalarında iki farklı metodoloji sunmuşlardır: Termal akış ölçer ve Hot-Box yöntemleridir. Birinci yöntem, numuneye yerleştirilen termik akış ölçer tarafından ölçülen ısı akısını hesaba katmakta, ikincisi giriş ısı akısı ile duvarlardaki ısı kayıpları arasındaki fark olarak numunedeki ısı akısını değerlendirmektedir.

Koci ve ark. (2014) çalışmalarında büyük ölçekli heterojenlere sahip kompleks malzeme sistemlerinin eşdeğer termal iletkenliklerinin belirlenmesi için bir yöntem önermişlerdir. Laboratuvar deneyleri muhafazalı sıcak levha ilkesine dayanır, ancak tasarlanan kurulumda ısı aktarımı genellikle üç boyutludur. Bu nedenle, sistemdeki ısı taşınımının analizi için 3B hesaplamalı modelleme uygulanmaktadır. Ölçme prosedürü, bilinen ısı iletkenlik ve tipik numune boyutları kullanılarak yapılan

kalibrasyon ile başlar. Ardından deney, incelenen numuneyle gerçekleştirilir ve karakteristik konumlardaki sıcaklık ve ısı akılarının kararlı durum değerleri ölçülür. Eşdeğer ısı iletkenliği, hesaplama modelinin girdi verileri olarak laboratuvar deneyinin sonuçlarını kullanarak yinelemeli bir prosedürle belirlenir. A ve B tipindeki standart belirsizlikleri ve hassasiyeti hedefleyen hesaplamaları içeren belirsizlik analizi, eşdeğer termik iletkenliğin kombine standart belirsizliğinin % 10 olduğunu ve bu deney için tatmin edici olduğu düşünülmektedir. Önerilen yöntemin temel avantajları basitliği ve maliyet etkinliği ile birlikte kabul edilebilir bir doğruluk ile görülebilir.

Sassine (2016) yaptığı çalışmada, duvarların yerinde termal karakterizasyonu için pratik bir yöntem önermiştir. Karmaşık Fourier analizine dayalı duvarların termal karakterizasyonu için pratik ve hızlı bir yöntemdir. Bu yöntem, stokastik rejimlerdeki duvarların termal özelliklerinin yerinde tespiti için kullanışlıdır. Bu nedenle sınır koşulunda herhangi bir kısıtlama gerektirmez.

Yukarıda tanımlanan ölçüm teknikleri homojen morfolojiye sahip izotropik malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. Ancak başta beton esaslı yapı malzemeleri olmak üzere; izotropik olmayan kompozit morfolojiye sahip malzemelerde doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu duruma neden olan en önemli faktörlerden biri, numune boyutunun büyük olması nedeniyle özel sensör dizaynı gerekmektedir. Sensör ile tek bölgede alınan değerler malzemeye ait ortalama değeri temsil etmemektedir. Çok sayıda bölgede ardışık olarak alınması gerekli ölçümler sırasında dış faktörlerin sabit korunamaması gibi riskler söz konusudur. Ayrıca bu cihazların temin edilme maliyeti de çok yüksektir.

Bu olumsuz durumları aşmak için Yeşilata ve ark. tarafından Adyabatik Hazne yöntemi kullanılarak numunelere ait boyutsuz sıcaklık-zaman eğrileri oluşturularak kıyaslama yapılmakta idi. (Yeşilata ve ark., 2007; İşiker ve ark., 2007, Yeşilata ve ark., 2009; Turgut ve Yeşilata, 2008; Turgut ve ark., 2007; Turgut ve Yeşilata, 2005; Yeşilata ve ark., 2009; Yeşilata ve ark., 2006; Turgut ve Yeşilata, 2007). Aynı zamanda deneye tabi tutulan iki yapı malzemesinin ısı performanslarının doğru ve

hassas olarak kıyaslanmasına olanak sağlayan bu yöntem ile mutlak sonuç elde edilememektedir.

Bu çalışmada söz konusu kıyaslamalı Adyabatik Hazne tekniği yöntemi; yeni deneysel ve sayısal prosedürler kullanılarak numunelere ait ısı iletim katsayılarını ve toplam ısı transfer katsayılarını tespit edilmesini sağlamıştır. Geliştirilen bu yöntemin diğer yöntemlerden farklı olarak en çarpıcı özelliği karmaşık/kompozit morfolojik yapıya sahip yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını mutlak olarak hassas bir biçimde belirleyebilmesidir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bir yapı elemanının ısı performansının, iç ortamda üretilen ısıya sabit kabul edilmesi durumunda gün boyunca çevre sıcaklığı rüzgar hızı-yönü ve nem vb. dış ortam iklimik koşullarına bağlı olarak dinamik bir değişim gösterir. Yapı malzemelerinin ısı performanslarının belirlenmesinde kullanılacak geçici rejim tekniklerinin her şeyden önce sözü edilen dinamik değişim sürecini karşılama yeterliliğine sahip olması gerekir. Mevcut yöntemler şartlandırılmış koşullarda belirli frekans aralıklarında değiştirilen parametrelerin ölçümünü referans alırlar. Bundan dolayı belirli aralıklarla yapılan ölçümler bina ısıtma-soğutma yükü hesaplamalarında ciddi hatalara sebep olmaktadır. Literatürdeki özellikle kompozit karakterdeki yapı elemanlarının ısı davranışını ölçmeye yönelik mevcut yöntemlerin eksikliğini giderecek yetenekte, alternatif bir teknik geliştirmeyi amaçlayan tez çalışması boyunca kullanılan araç-gereç ve izlenen yöntemler bu bölümde sunulmuştur. Bu çerçevede ilk etapta ölçüm verilerinin değerlendirilmesinde izlenen yöntemler ve tasarımın kurulumu yapılan deney düzeneği sunulmuştur. Sonraki etapta deneysel ölçümlerde kullanılacak farklı içeriklere sahip numunelerin hazırlanış prosesleri ayrıntılı ifade edilmiştir. Son olarak da dış saha testleri için hazırlanan test yapıları sunulmuştur.

3.1. Isı Transfer Çözümlerinde Kullanılan Temel Denklemler

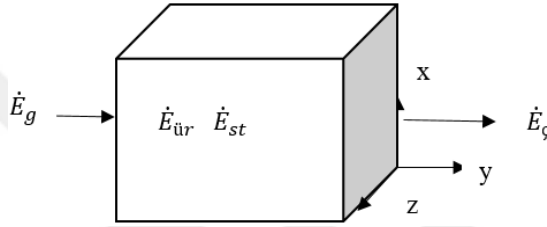
Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen ve bir kontrol hacmi için:

$$\dot{E}_{st} = \dot{E}_g - \dot{E}_c + \dot{E}_{ür} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanabilecek ısı denge herhangi bir malzemenin ısı davranışını tanımlamadaki en etkili yöntemdir. Denklemdaki $\dot{E}_{st}$ birim zamanda sistemin enerjisindeki değişimi, $\dot{E}_g$ kontrol hacmine giren enerjiyi, $\dot{E}_c$ kontrol hacminden çıkan enerjiyi ve $\dot{E}_{ür}$ kontrol hacminde üretilen enerjiyi sırasıyla göstermektedir. Herhangi bir malzeme yapısında sıcaklık gradyanı sonucu meydana gelen ısı iletimi sürecindeki ısı denge ise;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.2)$$

genel ısı iletim denklemiyle tanımlanır. Denklemdaki “k” ısı iletim katsayısını ve “ α ” ise ısı difüzyon katsayısını göstermektedir. Sözü edilen tanımlamanın bir sonucu olarak malzemelerin ısı davranışını ölçmeye yönelik mevcut tüm yöntemler denklem (3.2)’deki matematiksel modeli referans almaktadırlar. Ayrıca mevcut yöntemlerin tümünün ölçüm metodolojisi malzemedeki ısı davranışı tek boyutlu forma indirgeme prensibine dayanmaktadır. Çünkü deneysel ölçümlerde üç eksenindeki sıcaklık gradyanlarını ve dolayısıyla ısı geçişlerini kontrol etmede çok büyük zorluklar söz konusudur. Tez çalışma kapsamında geliştirilen ısı davranış ölçme tekniğinde de düzenek tek boyutlu sıcaklık gradyanı prosesi çerçevesinde tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 Kontrol hacminde ısı denge.

Fourier yasası olarak bilinen ısı iletim denklemi:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (3.3)$$

denklem (3.2)’deki genel ısı iletim denkleminin belirli koşullarda tek boyutlu şeklidir. Denklem bütün maddelerin halleri (katı, sıvı ve gaz) için kullanılabilir. Söz konusu denklemin fiziksel tanımı; L mesafesi boyunca herhangi bir noktada sıcaklık gradyanı mevcutsa, sıcak noktadan soğuk noktaya bir ısı geçişi meydana gelmektedir. Denklemden “k” malzemelerin üzerindeki ısıyı iletme yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Herhangi bir malzemenin ısı davranışını gösteren diğer önemli bir büyüklük ısı difüzyon katsayısı:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (3.4)$$

şeklinde. ısı difüzyon katsayısı ısı iletim katsayısının, yoğunluk ve özgül ısı değerinin çarpımına oranıdır. Bu oran iletilen ısı ile depolanan ısıya oranı olarak

tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle ısıнын malzeme içerisinde yayılma hızını göstermektedir.

Seçilen bir kontrol hacmin boyunca sadece ısı transferi söz konusu ve bulunduğu sınırlar içerisinde herhangi bir iş alışverişi yoksa sistemin enerji dengesi;

$$Q = mc_p \Delta T \quad (3.5)$$

olarak tanımlanmaktadır (Çengel, 2012). Burada c_p özgül ısı değeri olarak tanımlanmaktadır.

Çok katmanlı duvarlarda toplam ısı transferinin hesaplanabilmesi için denklem 3.6'da verilen toplam ısı transfer katsayısının (U) tespit edilmesi gerekmektedir. Bu katsayı, sistem içerisinde meydana gelmiş toplam ısı transfer miktarına eşittir.

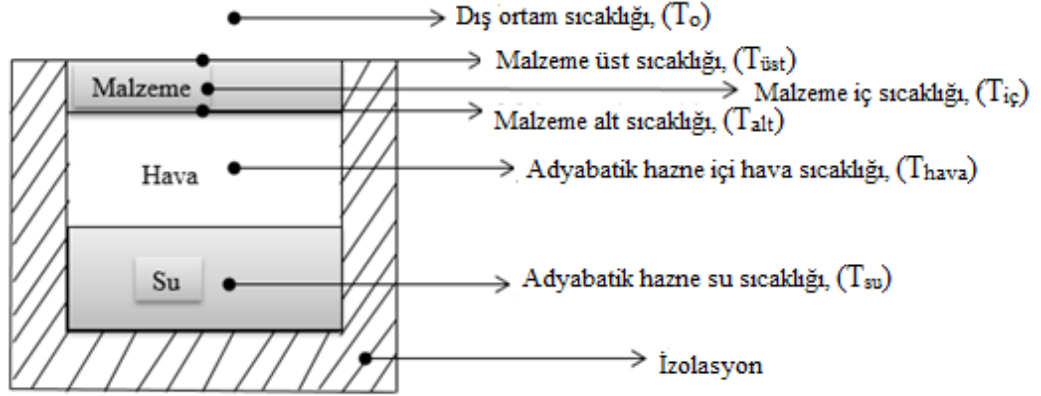
$$Q = UA\Delta T \quad (3.6)$$

Tüm ölçüm teknikleri önceden de değinildiği üzere denklem 3.1 ve 3.2' nin çözüme prensibine dayanır. Bu tez çalışmasında geliştirilen teknikte söz konusu denklemlerin çözümünde iki farklı yöntem izlenmiştir. İzlenen yöntemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.2. Isı İletim Katsayısını Tespit Etmek İçin Kullanılan Yöntemler

I. Çözüm Yöntemi

Ölçümü yapılan numunelerin ısı performanslarının tam anlamıyla kıyaslanabilmesi için adyabatik hazne ve üzerine konulan numunelerin sıcaklığı ne kadar iyi hapsettiği yani ısı transferinin ne kadar az olduğu önemlidir. Bu sayede konulan farklı numuneler arasında kıyas yapılabilir. Bu nedenle bu yöntemde Şekil 3.2' de gösterildiği gibi farklı noktalardan sıcaklık değerleri ölçülmesi gerekmektedir. Bu sıcaklık noktaları suyun sıcaklığı, hava sıcaklığı, dış ortam, malzeme alt, malzeme üst ve malzemenin iç sıcaklık değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir.



Şekil 3.2. Modelleme analizi için adyabatik haznede yapılan sıcaklık ölçüm noktaları

Bu yöntemde numuneler arasında kıyas yapabilmek için denklem 3.1'deki boyutsuz sıcaklık değeri kullanılmaktadır. Bu kıyas yöntemini kullanmak için $T(t=0)$ deney başlangıcındaki su sıcaklık değeri, T_0 deney odasının ortama sıcaklık değeri ve $T(t)$ deneyin başlangıcından sonuna kadarki su sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

$$\theta^* = \frac{T(t)-T_0}{T(t=0)-T_0} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (3.7)$$

Bu yöntemle ısı iletim katsayısını tespit etmek için zamanla suyun soğumasındaki hız, toplamda adyabatik hazneden meydana gelecek olan ısı kaybına eşit olacağından denklem 3.5 ve 3.6 sıcaklıkları boyutsuzlaştırılarak denklem 3.8 elde edilir.

$$mc \frac{d\theta}{dt} = -U_T A_T \theta \quad (3.8)$$

Bu denklemim çözümüne sınır şartları eklendiğinde $t=0$, $\theta = \theta_i$, denklem 3.9 elde edilir.

$$\theta^* = \exp\left(-\frac{U_T A_T}{mc} t\right) \quad (3.9)$$

Bu denklemde m ve c kutunun içindeki suyun kütlesi ve özgül ısı değeridir. U_T toplam ısı transfer katsayısı ve A_T adyabatik kutunun yüzeysel alanıdır. Bu denklemden; ölçülen sıcaklık değerleri, suyun kütlesi ve özgül ısı değerine bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısı tespit edilir ve toplam ısı transfer katsayısı denklem 3.6;

$$Q = U_T A_T (T_{su} - T_0) \quad (3.10)$$

haline dönüşerek elde edilen toplam ısı transfer katsayısına bağlı adyabatik hazneden zamanla meydana gelecek toplam ısı transferi tespit edilir. Elde edilen toplam ısı transferi değeri denklem 3.3' te gösterildiği gibi numunelerin üzerinden iletimle geçen ısı transferi kadar olacağından;

$$Q = U_T A_T (T_{su} - T_0) = \frac{k A_T (T_{alt} - T_{üst})}{l} \quad (3.11)$$

denklem 3.11' deki eşitliğe göre ölçülen sıcaklık verilerine bağlı olarak “k” ısı iletim katsayısı tespit edilir.

II. Çözüm Yöntemi

İkinci çözüm yönteminde adyabatik hazne tekniği için denklem 3.2.'de gösterilen genel ısı iletim denklemiyle ısı iletim katsayısının tespiti için Şekil 3.2'de gösterilen numunenin şekli ve sıcaklık ölçüm noktalarına göre ısı iletim katsayısı, özgül ısı değerine bağlı olarak tespiti için ısı iletim denkleminin genel hali yazılarak Wall'un (2009) internet sayfasındaki ders notlarındaki çözüm tekniği kullanılarak verilen sınır şartları kapsamında denklem çözülmüştür. Denklem çözümünde denklem 3.2'de verilen genel ısı iletim denklemi, imal edilen adyabatik hazne yanlardan ve alt taraftan iyi bir şekilde izole edildiğinden dolayı bir boyutlu ısı transferi kabulü yapılmaktadır. Yapılan bu kabulden dolayı y ve z yönündeki ısı transferi ihmal edilmekte olup sistemimizde ısı üretimi bulunmamaktadır. Isı iletim denkleminde yapılan bu kabullerden sonra ısı iletim denklemi, denklem 3.12. 'e dönüşmektedir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.12)$$

Sınır şartları aşağıda gösterildiği gibi (Şekil 3.3) homojenleştirildiğinde ısı iletim denklemi, denklem 3.13.' e dönüşmektedir.

$$\left. \begin{array}{l} T(0,t)=T_0 \\ T(L,t)=T_1 \\ T(x,0)=f(x) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{\partial T}{\partial x} = a + \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial w}{\partial t} \end{array}$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial w}{\partial t} \quad (3.13)$$

Bu çalışmada $T(x,t)$ yeni bir fonksiyon olarak $v(x)$ ve $w(x,t)$ olarak tanımlanırsa $T(x,t)=v(x)+w(x,t)$ ifadesinden aşağıdaki sınır şartı olarak $T(0,t)=v(0)+w(0,t)=T_0$ ve

$T(L,t)=v(L)+w(L,t)=T_1$ olduğunda, $w(x,t)$ ve $v(x)$ değeri için de sınır şart $w(0,t)=0$, $w(L,t)=0$ ve $w(x,0)=f(x)-v(x)$ sınır şartları uygulandığında $w(0,t)=T_0-b=0 \rightarrow T_0=b$, $w(L,t)=T_1-aL-b=0 \rightarrow a = \frac{T_1-T_0}{L}$ olur. Bundan yola çıkarak $v(x)$ denklem 3.14.'a dönüşür.

$$v(x) = \frac{T_1-T_0}{L}x + T_0 \quad (3.14)$$

$w(x,t)=X(t).T(t)$ şeklinde ifade edildiğinde, $\frac{\partial w}{\partial x} = X'T$, $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = X''T$, $\frac{\partial w}{\partial t} =$

$T'X$, $\frac{X''}{X} = \frac{1}{\alpha} \frac{T'}{T} = k$ eşitlenirse ve yukardaki “w” sınır şartlarına bağlı olarak; $k>0$,

$k=0$ ve $k<0$ olma durumlarına göre;

1) $k>0$ olduğunda;

$c_1 e^{\sqrt{k}L} + c_2 e^{-\sqrt{k}L} = 0$ sınır şartları uygulandığında $c_1 = c_2 = 0$ olur.

2) $k=0$ olduğunda;

$X'' = 0 \rightarrow X' = a \rightarrow X = ax + b$; $x(0)=b=0 \rightarrow x(L)=aL+b=0 \rightarrow a=0$ olur.

3) $k<0$, $k = -\mu^2$ alındığında aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$X'' - kX = 0 \rightarrow X'' + \mu^2 X = 0$$

$$X(x) = c_1 \cos \mu x + c_2 \sin \mu x$$

$$X(0) = c_1 + 0 = 0 \rightarrow c_1 = 0, X(L) = c_2 \sin \mu L$$

$$X(x) = c_n \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right)$$

$T' = \alpha kT \rightarrow T' = ce^{\frac{\alpha n^2 \pi^2 t}{L^2}}$ sonuçta denklem 3.15 elde edilir.

$$T(x, t) = T_0 + \left(\frac{T_1-T_0}{L}\right)x + \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{\frac{\alpha n^2 \pi^2 t}{L^2}} \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \quad (3.15)$$

c_n ise:

$$c_n = \frac{2}{L} \int_0^L F(x) \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) dx \quad (3.16)$$

denklemden bilinmeyen $F(x)$ değeri çözüm esnasında $T(x,0)=F(x)$ sınır şartı olarak kullanılarak $T(x,t)$ değerine ulaşılmaktadır. Bu amaçla Şekil 3.3'de gösterildiği üzere, numune üzerinden üç noktadan ölçüm değeri alınmıştır. Bu üç nokta malzemenin alt sıcaklığı, orta sıcaklığı ve üst sıcaklığıdır. Alınan bu sıcaklık ölçüm değerleri çözüm için Newton interpolasyon yöntemi ile kullanılarak bulunmuştur. Data olarak $(x_i, f_i), i = 0, 1 \dots n-1$. n derecesinde $P_n(x)$ Newton interpolasyon formu

uygulandığında denklem 3.17. şeklinde yazılır. Çözüm için Newton formunda interpolasyon için denklemler 3.17-3.18 kullanılmıştır (Kumar,2017).

$$P_n(x_i) = f_i, \quad i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (3.17)$$

Newton interpolasyon formu $P_n(x)$ için denklem 3.18 oluşur.

$$P_n(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (3.18)$$

Burada $i=0$ için denklem 3.17 ve 3.18 uygulandığında, denklem 3.19 oluşur.

$$f_0 = P_n(x_0) = a_0 \quad (3.19)$$

$i=1$ için denklem 3.17 ve 3.18 uygulandığında denklem 3.20 oluşur. a_1 ise denklem 3.19 ve 3.20 yerine konulursa denklem 3.21. gibi bulunur.

$$f_1 = P_n(x_1) = a_0 + a_1(x_1 - x_0) \quad (3.20)$$

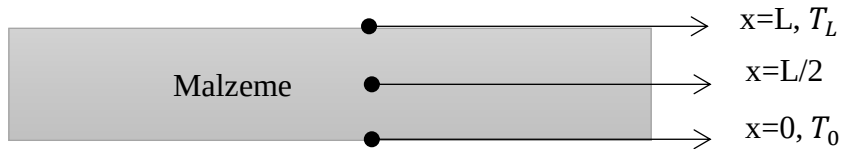
$$a_1 = \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} \quad (3.21)$$

$i=2$ için denklem 3.17 ve 3.18 uygulandığında denklem 3.22 oluşur. a_2 ise denklem 3.20 ve 3.21 yerine konulursa denklem 3.23. gibi bulunur.

$$f_2 = P_n(x_2) = a_0 + a_1(x_2 - x_0) + a_2(x_2 - x_1)(x_2 - x_0) \quad (3.22)$$

$$a_2 = \frac{[(f_2 - f_1)/(x_2 - x_1)] - [(f_1 - f_0)/(x_1 - x_0)]}{x_2 - x_0} \quad (3.23)$$

Denklem 3.16 bulunan $F(x)$ değerinin bulunması için üç noktadan alınan sıcaklık verileri malzemenin ısı transferinin gerçekleştiği $x=0$ ve $x=L$ aralığında uygulandığında denklem 3.18. 'deki a_0, a_1 ve a_2 değerleri bulunarak $F(x)$ değeri tespit edilir. Denklemde bilinmeyen $F(x)$ değeri çözüm esnasında $T(x,0)=F(x)$ sınır şartı olarak kullanılarak $T(x,t)$ değerine ulaşılmaktadır.



Şekil 3.3. Numune sıcaklık değerlerinin ölçüm noktaları

Denklem 3.15' te bulunan $T(x,t)$ denklemi, Şekil 3.3'te gösterildiği üzere numune üzerinde x-yönü doğrultusunda üç noktada sıcaklık ölçümü yapılarak denklemden ısı difüzyon katsayısı çekilerek bulunmaktadır.

Bulunan ısı difüzyon katsayısına bağlı olarak denklem 3.4'te gösterildiği gibi ısı iletim katsayısının tespiti için özgül ısı değerini de tespit etmek gerekmektedir. Bu değer bulunması için Şekil 3.4.a'da gösterilen yalıtımlı bir kalorimetre kabı kullanılmıştır. Kalorimetre kabı 16.5 cm x 27 cm x 16 cm ebatlarında strafor bir malzemeden oluşmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinde T tipi ısı çifti (Termokapıl) kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinin depolanması için Şekil 3.4.a'da gösterilen hioki markalı datalogger kullanılmıştır. Malzemenin ısıtılması için Şekil 3.4.b' de gösterilen etüv kullanılmıştır. Malzemenin içindeki nemin tam olarak gitmesi için numuneler etüvün içerisinde yaklaşık 4 saat bırakılmıştır. Malzemenin ağırlığını ölçmek için hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.4. a. Kalorimetre kabı b. Etüv

Numunelerin özgül ısı değeri ölçümüne başlamadan önce kalorimetrenin ısı kapasitesi hesaplanmıştır. Bunun için kalorimetre kabının ısı kapasitesinin hesaplanması amacıyla, içinde 2,955 kg sıcak su bulunan kalorimetre kabının içine yine daha düşük sıcaklıkta 0,513 kg ağırlığında su eklenmiştir. Kalorimetre kabının ağzı iyi bir şekilde kapatılarak ağzı bantlanmış ve Şekil 3.5'te gösterilen ısı odaya konularak su sıcaklığının dengeye gelmesi beklenmiştir. Elde edilen sıcaklık verileri denklem 3.24'deki formülde yerine konularak kalorimetre kabının ısı kapasitesi hesaplanmıştır (İnce, 2008, Shrivastava and Datta, 1999; Razavi and Taghizadeh, 2007)

$$H_f = \frac{M_{cw}C_w(T_e - T_{cw}) - M_{hw}C_w(T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \quad (3.24)$$

Malzemenin özgül ısı değerinin bulunabilmesi için, ısı çift numunenin tam orta noktasına geleceği şekilde 1 mm çapında delinerek malzeme belirli bir sıcaklığa getirilmesi için etüve bırakılır. Kalorimetre kabı ısı kapasiteleri belirlendikten sonra malzemelerin özgül ısılarının belirlenmesi için 2,995 kg ağırlığında soğuk su konularak hazır bekletilir. Isınan numunenin içerisine ısı çift yerleştirildikten sonra malzemenin içerisine su emmemesini sağlamak için streç filme sarılarak soğuk suyun içerisine bırakılır. Suyun ve malzemenin sıcaklıkları denge sıcaklığına gelinceye kadar bekletilir. Elde edilen sıcaklık verileri daha sonra denklem 3.25'te yerine yazılır. (İnce. 2008, Mohsenin, 1980; Shrivastava and Datta, 1999). Denklem 3.20 verilen kapsülün ısı kapasitesi için deneyimizde malzeme streç filme sarıldığından ve streç film çok hafif olduğundan ihmal edilmiştir. Bu veriler ışığı altında malzemelerin özgül ısı değeri hesaplanır.

$$C_p = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_s - T_e)}{M_s(T_m - T_e)} \quad (3.20)$$

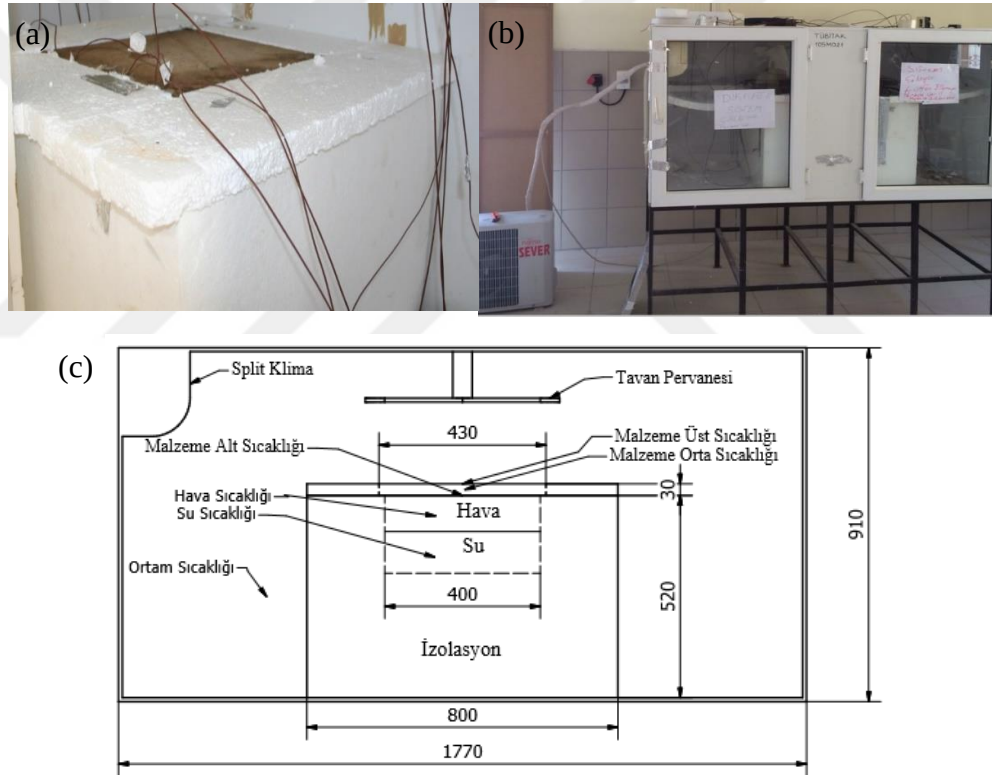
Hesaplanan özgül ısı değeri ve ısı difüzyon değeri denklem 3.4'te yerine konularak ısı iletim katsayısı “k” tespit edilir. Bu çözüm yöntemin, I. Çözüm yönteminden farkı ek olarak özgül ısı değerinin tespit edilmesidir. Bunun için ek bir deney daha yapılması gerekmektedir. Ayrıca ısı difüzyon katsayısının düşük çıkmasından dolayı ısı difüzyon katsayıları birbirine çok yakın çıkmaktadır. O yüzden bu yöntem yalnızca üç numunede (palmiye lifi katkılı) denenmiştir.

3.3. Deney Düzenegi

Tasarımı ve kurulumu yapılan deney düzeneginin, katı model tasarımı, şematik şekilleri ve fotoğrafları Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Deney düzenegi şartlandırılmış oda ve adyabatik hazne olmak üzere iki temel bileşenden meydana gelmektedir. Numunelerin ısı performansını belirlemek için kullanılan adyabatik hazne/kutu Şekil 3.5.c' de şematik olarak gösterilmiştir. Adyabatik hazne yapımı için 80 cm x 80 cm x 52 cm ebatlarına sahip poliüretan ısı yalıtım bloğu kullanılmıştır. Poliüretan blokun tam orta noktası merkez alınarak, 20 cm derinliğinde ve 40 cm x 40 cm ebatlarında dikdörtgen prizma şeklinde bir hazne oluşturulmuştur. Açılan bu hacim içerisine sıcak

su ilave edileceğinden dolayı, aynı boyutlarda ince saçtan oluşan dikdörtgen prizma sıkı geçme ile yerleştirilerek hazne oluşturulmuştur. Bu şartlardaki hazne yanlardan ve alt taraftan iyi bir şekilde izole edildiğinden dolayı, bir boyutlu ısı transferi ilkesine uygun ölçüm yapılmaktadır.

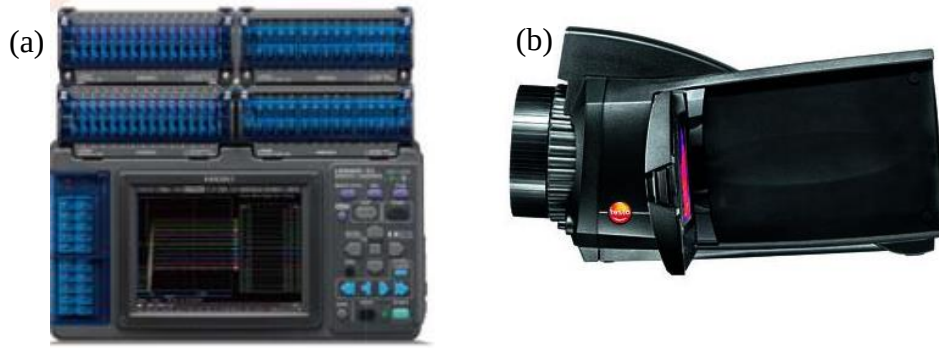
Deneyin yapılacağı ortamın sıcaklığının sabit olması için 1770 mm x 885 mm x 910 mm boyutlarına sahip bir kontrol odası oluşturulmuştur. Şekil 3.5'te gösterilen kontrol odasının içerisinde; sabit sıcaklığa ayarlı 9000 Btu/h kapasiteli bir split klima ve odadaki havanın düzgün dağılımını sağlamak için 3 kanatlı metal 50 W gücünde bir adet tavan pervanesi bulunmaktadır.



Şekil 3.5. a. Isıl tank b. Kontrol odası bileşenlerine ait fotoğraf c. Şematik gösterim.

Sıcaklık ölçümleri için Şekil 3.6.a' da verilen 30 kanallı Hioki LR8400-20 markalı dataloger kullanılmıştır. Bu cihaz 10 ms ile 1 saat arası kayıt aralığına sahip, kanallar arasında izolasyon ve 0.01 °C hassasiyete sahiptir. Sıcaklık ölçümleri T-tipi ısı çiftleri (termo-kupl) vasıtasıyla yapılmış olup, ayrıca odanın sıcaklık dağılımını

görmek için Şekil 3.6.b’de gösterildiği gibi Testo 890 marka termal kamera kullanılmıştır.

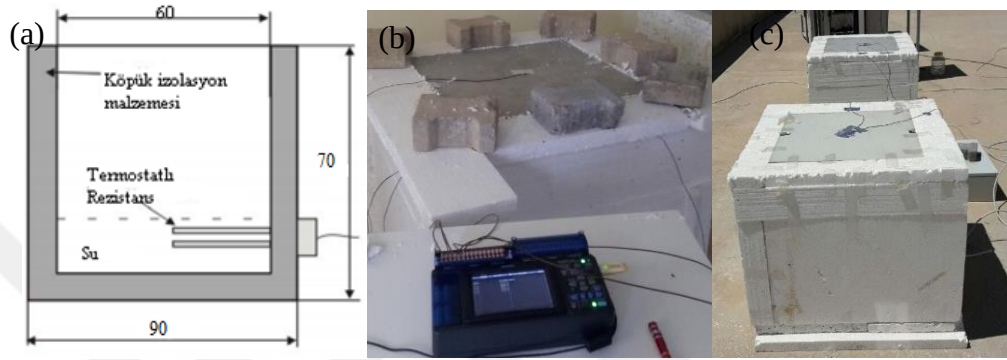


Şekil 3.6. a. Hioki LR8400-20 markalı datalogger b. Testo 890 marka termal kamera

Adyabatik hazne/kutu içerisine su seviye olarak yaklaşık 13 cm yüksekliğe kadar konulmakta, su bir rezistans yardımıyla yaklaşık olarak 55 °C’ ye kadar ısıtılmakta ve daha sonra enerjisi kesilerek termal çiftler bir tanesi suyun içerisine, diğeri suyla numune arasında kalan boşluğa ve öbürü de numunenin alt kısmına yerleştirilerek numuneler adyabatik haznenin üzerine konulmaktadır. Termal çiftlerin bir tanesi daha önce delinen numunenin içerisine diğeri ise onun hizasında numunenin üzerine konulmaktadır. Kalan termal çiftlerin iki tanesi ısıl odanın iç ortamına konularak ortam sıcaklığı ölçülmektedir. Daha sonra adyabatik hazne içerisindeki su yaklaşık olarak 48 saat boyunca soğumaya bırakılarak numunenin üzerinden ısı transferi meydana gelerek su soğumaktadır. Bu sayede zamana bağlı sıcaklık değişimleri ölçülmüş olacaktır. Bu ölçülen değerler ile numunelerin ısı iletim katsayıları belirlenir. Adyabatik haznenin içerisinden rezistans çekildiğinden dolayı kablusunun oluşturduğu boşluktan meydana gelecek olan kayıplar engellenmiş olacaktır.

Binaların dış ortam iklimatik koşullarının incelenmesi için Şekil 3.7a-b’ de gösterildiği gibi 60 cm x 60 cm x 55 cm ebatlarında iç hacme sahip ve 15 cm kalınlığında köpük izolasyon malzemesinden adyabatik bir hazne yapılmıştır. İçerisine su konulması için 60 cm x 60 cm x 10 cm ebatlarında saçtan bir kutu konulmuştur. Burada bulunan suyun ısıtılması içine konulan rezistansla olmaktadır. Laboratuvar içinde ısıl oda olmadan ortam performanslarını incelemek için yukarıda bahsedilen

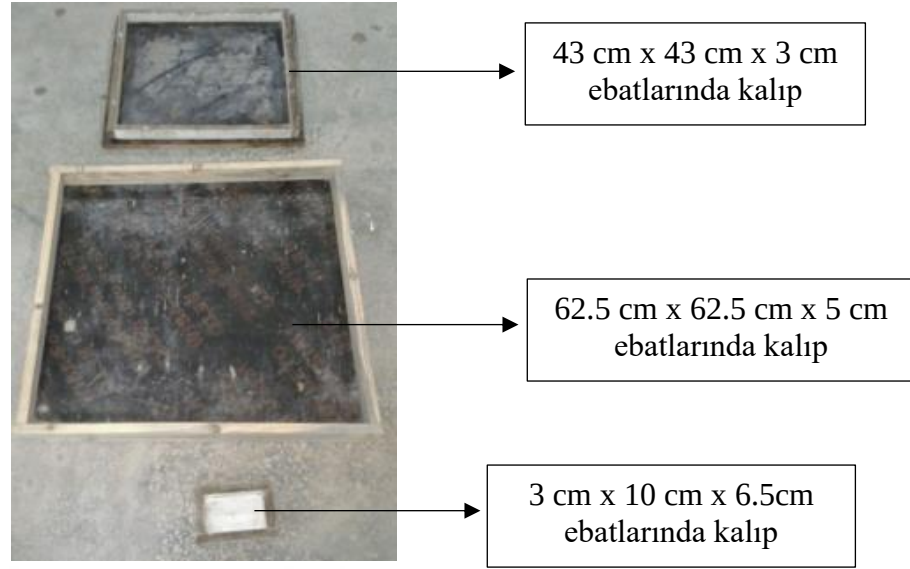
adyabatik haznede uygulanan metodoloji kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapılmadan önce adyabatik haznenin içerisine 30 kg su konularak ortam performansına bakılmıştır. Dış ortam atmosferik durumlarını incelemek için Şekil 3.7.c' de gösterildiği gibi bu adyabatik hazneden bir tane daha yapılarak dış ortama bırakılmıştır. Dış ortamda ayrıca ısınım değerlerine bakmak için bir pironometre kullanılmıştır.



Şekil 3.7. a. Isıl tank ebatları b. Isıl tankın ölçümü ve c. Dış ortam atmosferik ölçümü

3.4. Numunelerin Hazırlanışı

Bu tez çalışmasında 17 farklı yapıya sahip numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin karışım oranları ve boyutları çizelge 3.2.'de verilmiştir. Şekil 3.8'de bu çalışmada incelenen yapılar için hazırlanan üç farklı kalıp görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen adyabatik hazne tekniğinde kullanılmak üzere 43 cm x 43 cm x 3 cm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin ısı iletim katsayılarının diğer yöntemlerle ölçülmesi için 3 cm x 10 cm x 6.5 cm ebatlarında numuneler oluşturulmuştur. Ayrıca, adyabatik hazne tekniğinde dış atmosferik koşullarının incelenen yapılar üzerindeki ısı etkilerinin analizi için 62.5 cm x 62.5 cm x 5 cm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.8. Numune dökmek için yapılan kalıplar

Beton yapı malzemelerinin dökümü için çizelge 3.1’de verilen katkı oranları kullanılmıştır. Burada kullanılan çimento KPÇ 42,5’luk olup kullanılan agrega (kum) 4.75 mm elekten elenerek kullanılmıştır. Bu çalışmada bu karışımlara bağlı olarak agrega miktarlarına %1-2 palmiye katkılı ve katkısız beton, % 0-5-10-15-20 katkılı meşe ağacı talaşı, normal betonun arasına faz değiştiren malzeme parafin konulmuştur.

Çizelge 3.1. Beton malzeme oranları ve betonun özellikleri (Turgut ve ark., 2007)

Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/Ç	Kum (kg/m ³)	Toplam (kg/m ³)
573	242	0.45	1478	2293

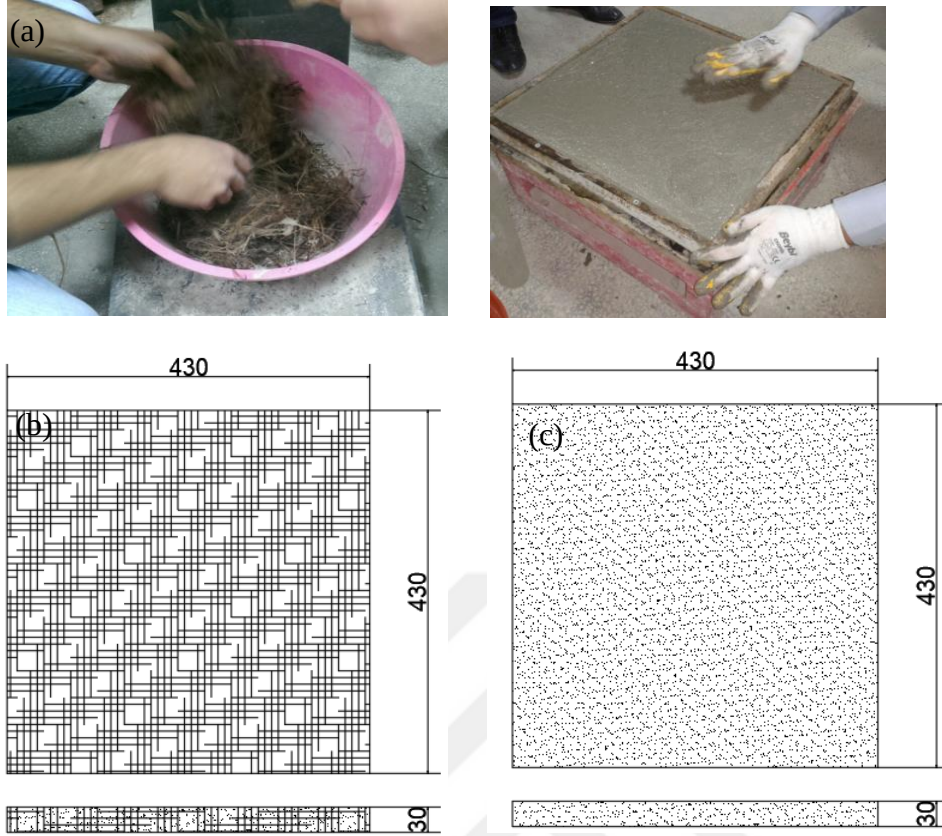
Farklı bir beton karışım oranı olarak bilinen kendinden yerleşen beton arasına atık petler dikdörtgen şeklinde kesilerek farklı dizilişler de (0-3x2-3x3-3x4) şerit halinde kullanılmıştır. Ayrıca ısı iletim katsayısı düşük olan yapı malzemesi olarak kullanılan gaz beton malzemesi, mantolamada kullanılan multipor malzemesi ve ısı iletim katsayısı düşük olan tahta numunesinin testleri yapılmıştır. Çizelge 3.2.’de bu tezde incelenen numunelerin özellikleri detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. Adyabatik haznede deneyi yapılan numuneler

No	Numune Adı	Katkı Oranı	Dökülen Ebat (cm ³)
1.	Palmiye Lifi Katkılı	Katkısız	10x6.5x3 - 43x43x3 – 62.5x62.5x5
2.	Palmiye Lifi Katkılı	%1 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
3.	Palmiye Lifi Katkılı	%2 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3 – 62.5x62.5x5
4.	Talaş Katkılı	Katkısız	10x6.5x3 - 43x43x3
5.	Talaş Katkılı	%5 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
6.	Talaş Katkılı	%10 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
7.	Talaş Katkılı	%15 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
8.	Talaş Katkılı	%20 katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
9.	Parafin Katkılı	Katkısız	10x6.5x3 - 43x43x3
10.	Parafin Katkılı	Katkılı	10x6.5x3 - 43x43x3
11.	Pet Katkılı Kendinden Yerleşen Beton (KYB)	Katkısız	43x43x3
12.	Pet Katkılı KYB	3x2 dizilim	43x43x3
13.	Pet Katkılı KYB	3x3 dizilim	43x43x3
14.	Pet Katkılı KYB	3x4 dizilim	43x43x3
15.	Multipor Numune	Homojen	10x6.5x5 - 40x43x5
16.	Gazbeton Numune	Homojen	10x6.5x5 - 43x43x5
17.	Tahta Numune	Homojen	10x6.5x2 - 43x43x2

3.4.1. Palmiye lif katkılı kompozit beton numunelerin hazırlanması

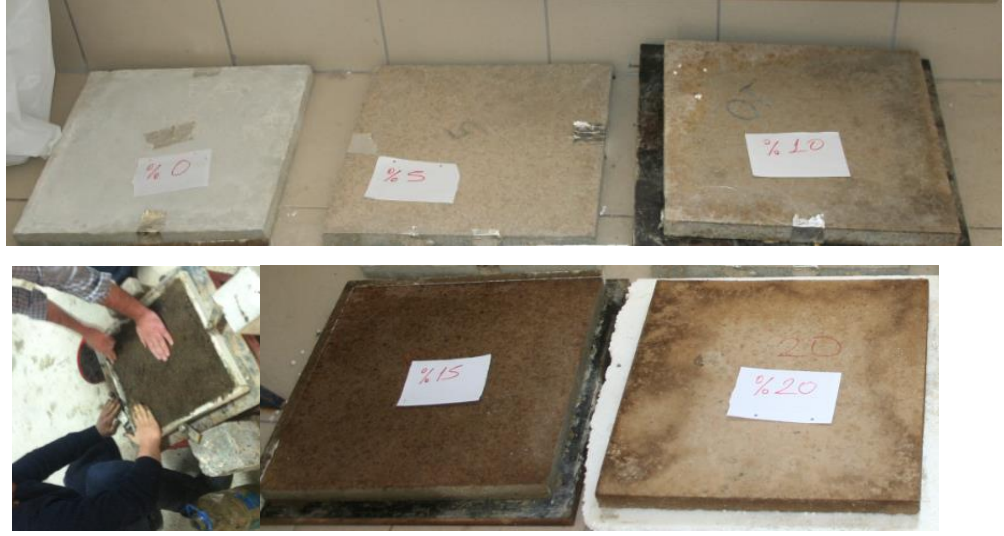
Kompozit yapı malzemesi dökümü için çizelge 3.1’de gösterildiği oranlar da 42.5’luk limak Şanlıurfa çimento, kum, palmiye lifi ve suyla belirtilen oranlarda hazırlanmıştır. Numuneler 3 farklı ebatla hazırlanmıştır. Şekil 3. 9’da gösterildiği gibi 43 cm x 43 cm x 3 cm kalıplara katkısız beton ve agrega oranına bağlı olarak palmiye ağacı lifi (%1, %2) parçalanarak betonun içine homojen bir şekilde karıştırılarak dökümü yapılmıştır. Ayrıca numunelerin ısı iletkenlik katsayısının ölçülmesi için aynı oranlarda 3 cm x 10 cm x 6.5 cm ebatların da malzeme dökülmüştür. Dış ortam iklim koşullarının incelenmesi için 62.5 cm x 62.5 cm x 5 cm ebatlarında kalıp yapılarak (%0 ve %2) numuneler dökülmüştür.



Şekil 3.9. Deney numuneleri a. Palmiye lif katkı betonun dökümü b. Katkılı c. Katkısız

3.2.2. Atık katkıli olarak meşe ağacının talaşının beton üzerindeki etkisinin incelenmesi

Kompozit malzeme dökümü için çizelge 3.1’de gösterildiği oranlarda 32.5’luk Limak Şanlıurfa çimento, kum, meşe ağacı talaşı ve suyla belirtilen oranlarda hazırlanmış Şekil 3. 10’ da gösterildiği gibi 43 cm x 43 cm x 3 cm kalıplara agrega oranına bağlı olarak %0, %5, %10, %15 ve %20 oranında meşe ağacı talaşı 4,75 mm elekten geçirildikten sonra betonun içine karıştırılarak dökümü yapılmıştır. Numunelerin ısı iletkenlik katsayısının ölçülmesi için 3 cm x 10 cm x 6.5 cm ebatların da malzeme dökülmüştür.



Şekil 3.10. Dökülen malzemelerin son hali

3.2.3 Faz değıştiren malzemenin (parafin) betona karıştırılması

Faz Değıştiren Maddeler (FDM) termal enerjiyi gizli ısı olarak depolayan maddelerdir. Bu tez çalışmasında önerilen yöntemin bu tür enerjiyi depolayan yapı elemanlarının ölçümünde kullanılabilmesini göstermek amaçlanmıştır. FDM malzemesi olarak parafin kullanılmıştır. Bu amaçla 2 farklı numune hazırlanmıştır. İstenilen numune dökümü için Şekil 3.11’ de gösterildiği gibi önce parafin granür haline getirilmiş daha sonra çizelge 3.1’ de gösterilen oranlarda beton malzeme hazırlanarak başlangıçta 1.5 cm dökülmüş daha sonra üzerine parafin tabakası oluşturularak onun üzerine betonun geri kalan kısmı dökülmüştür. Parafin malzemesinin betonda yapacağı etkiyi incelemek için katkısız betonda dökülerek test yapılacak hale getirilmiştir.



Şekil 3.11. Parafin katkılı numunelerin oluşturulması

3.2.4 Kendinden yerleşen betonun içerisine atık petlerin konulması

Kendinden yerleşen betonlar daha mukavemetli, kendi ağırlığı ile segregasyona uğramadan kalıbını doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymaksızın kolayca kalıbına yerleşebilmesi gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Çevre kirliliğine neden olan atık petlerin bu betonlarda ısıtıl özelliklerini artırmak için içine yerleştirilmiştir. Bu sayede atık petlerden meydana gelecek çevre kirliliği, kendinden yerleşen beton kullanılarak oluşacak olan para ve enerji kaybı engellenmiş olacaktır. Ayrıca dökümün daha hızlı yapılmasından dolayı zaman tasarrufu sağlanacaktır.



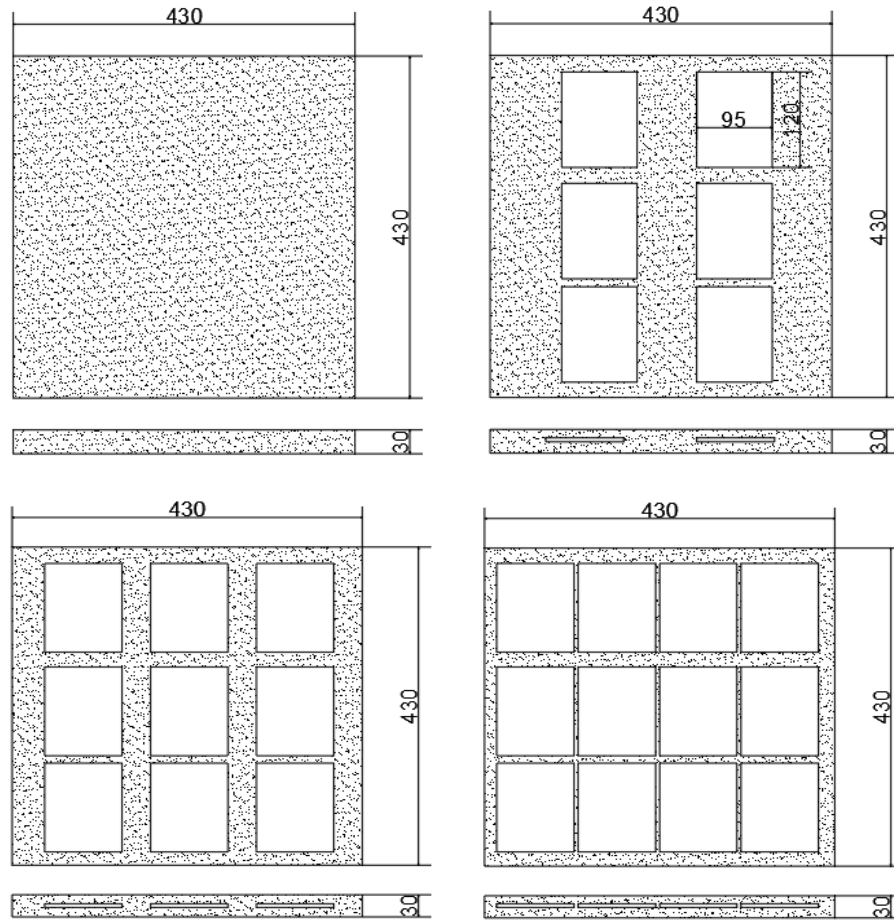
Şekil 3.12. a. Atık petlerin kesilmesi b. Malzemenin hazırlanması c. Atık petlerin yerleştirilmesi d. Numenelerin son hali

Başlangıçta pet numuneler Şekil 3.12.a 'da gösterildiği gibi 9.5 cm x 12 cm ebatlarında kesilmiştir. İkinci aşamada beton malzemenin döküleceği 43 cm x 43 cm ebatlarında kalıplar hazırlanarak betonun yapışmaması için yağlanmışlardır. Üçüncü aşamada kendinden yerleşen beton numuneler çizelge 3.3.'te gösterilen karışım oranlarına bağlı olarak (Çelik, 2013) oluşturulmuştur (Şekil 3.12.b).

Çizelge 3.3. Malzeme miktarları (Bilal Çelik, 2013)

Malzeme Adı	Miktarı (gr)	Malzeme Adı	Miktarı (gr)
Çimento PÇ 32.5	14700	İri çakıl	10500
Uçucu kül	6300	Su	8820
Kum	38220	Hiperakışkanlaştırıcı	210
Orta boy çakıl	21000		

Dördüncü aşamada hazırlanan kendinden yerleşen beton Şekil 3.13.' de gösterildiği gibi kalıplara 1,5 cm kalınlığında döküldükten sonra atık petler 3x2, 3x3 ve 3x4 sıra halinde betonunun içerisine yerleştirilmiştir. Atık petler tam ortaya gelecek şekilde beton döküldükten sonra toplamda 3 cm kalınlığında numuneler oluşturulmuştur. Ayrıca atık pet katkısının numune üzerindeki ısı etkisinin incelenmesi için herhangi bir katkısı olmayan kendinden yerleşen beton numune aynı ebatlarda dökülmüştür.



Şekil 3.13. Kendinden yerleşen beton içinde kullanılan atık petlerin dizilişleri (adet)

Dökümü yapılan numunelerin fazla buharlaşmasını (su kaybı) engellemek için üzerine muşamba çekilmiştir. Son aşamada numuneler bir gün bekletildikten sonra kalıplarından sökülerek kül havuzuna aktarılmıştır. Kül havuzunda 60 gün beklettirildikten sonra adyabatik hazne tekniğinde ölçümler yapmak için hazır hale getirilmiştir.

3.2.4 Isı İletim katsayıları bilinen farklı malzemelerin ısıl davranışının incelenmesi

Bu çalışmada ısı iletim katsayıları bilinen 3 farklı malzeme seçilmiştir. Şekil 3.14.a'da gösterilen Alman Ytong firması tarafından geliştirilen yeni nesil yalıtım malzemesi Multipor malzeme, Şekil 3.14.b'de BETONG YAPI' nın imal ettiği gaz beton numune ve Şekil 3.14.c'de gösterilen bir tahta numuneler kullanılarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.14. a. Multipor b. Gazbeton c. Tahta numuneleri

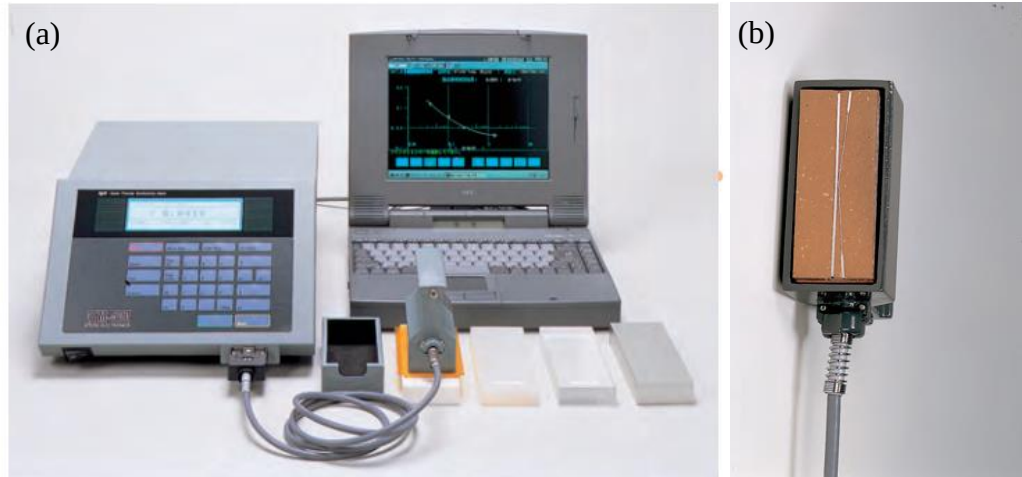
3.5. Isı İletim Katsayılarının Doğrulanması

Adyabatik hazne tekniği ile bulunan ısı iletim katsayıların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla iki farklı yöntem denenmiştir. Bu yöntemler, geçici rejim yöntemi ile çalışan sıcak tel yöntemi ve disk ısı kaynağı yöntemidir.

3.5.1 Sıcak tel yöntemi

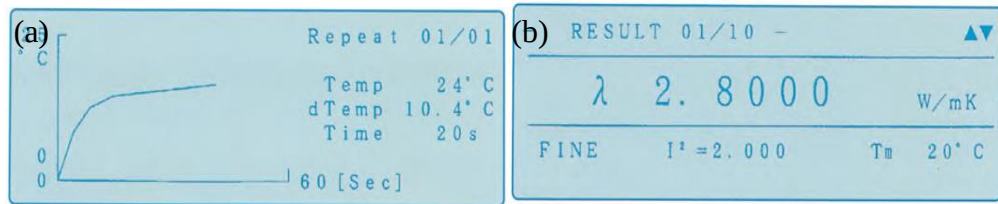
Dökülen numunelerin ısı iletim katsayısını tespit etmek için Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Şekil 3.15.a.'da gösterilen ASTM 1113-90 Sıcak Tel Yöntemi ile çalışan Kem QTM 500 markalı termal iletkenlik

katsayısı ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu yöntemdeki ölçüm tekniği ideal hale getirilmiş tek yönlü radyal ısı akışına dayanmaktadır. Sabit elektrik akımı telden geçtiğinde, bilinen bir zaman aralığındaki sıcaklık değişimi sonucunda termal iletkenlik ölçülmüştür.



Şekil 3.15. a. Isıl iletkenlik katsayısı ölçer b. Isı iletim katsayısı ölçen aletin probu (URL-2)

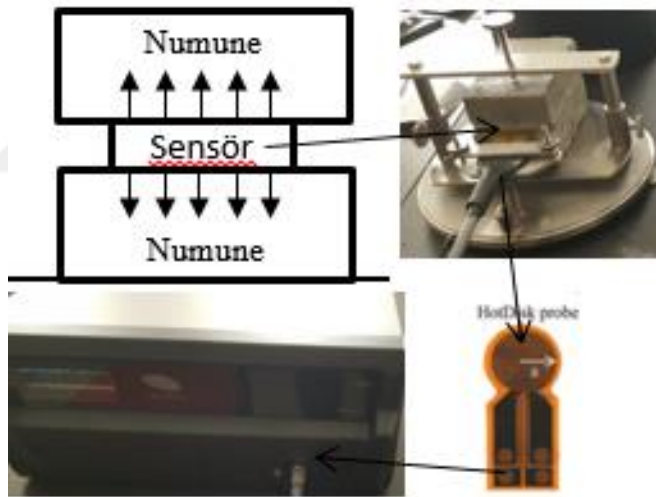
Cihaz her türlü malzeme için hızlı ve kolay bir şekilde ölçüm yapmaktadır. Şekil 3.15.b.' de gösterilen prob malzemenin üzerine konularak sistem çalıştırılır. Prob bir ısıtıcı tel ve bir ısıl çiftten oluşmaktadır. Sistem çalıştırıldığında prob malzemeyi ısıtır ve termal dengeye geldiğinde cihaz sinyal verir. Verilen sinyalden sonra start tuşuna basılarak Şekil 3.16.a'da gösterildiği gibi sıcaklık zaman eğrisi çizilir. 60 saniye sonunda cihaz yazılımında bulunan matematiksel model aracılığıyla hesaplama yaparak Şekil 3.16.b' de gözüken ekran görüntüsünde ısı iletim katsayısı değeri okunur. Ayrıca Şekil 3.16.b' de çözüm ekranında malzemeye verilen akım ve ortam sıcaklık değeri okunabilmektedir.



Şekil 3.16. a. Sıcaklık zaman eğrisi, b. Çözüm ekranı (URL-2)

3.2. Disk Isı Kaynağı Yöntemi

Numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerini ikinci bir standart ölçüm cihazı ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanması için Şekil 3.17.'de gösterilen Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan ısı özellik ölçümü için disk ısı kaynağı yöntemiyle (Hot Disk), ısı iletim katsayısı, özgül ısı değeri ve ısı difüzyon ölçümü yapan Hot Disk TPS 500 S Termal Özellik Analizörü kullanılmıştır. Şekilde gösterildiği gibi hot disk sensör aynı özelliklere sahip iki numune arasına sıkıştırılır. Aynı özellikte iki adet numune yoksa üretici firmanın vermiş olduğu yalıtımlı referans numunesine göre ölçüm yapılır. Ölçüm yapmak için hot disk sensörü numune üzerine yerleştirildikten sonra hangi sensörün kullanılacağı, malzeme sıcaklığı, ölçüm zamanı ve ısıtıcı gücü girilir. Daha sonra start tuşuna basılarak ölçüm gerçekleştirilir.



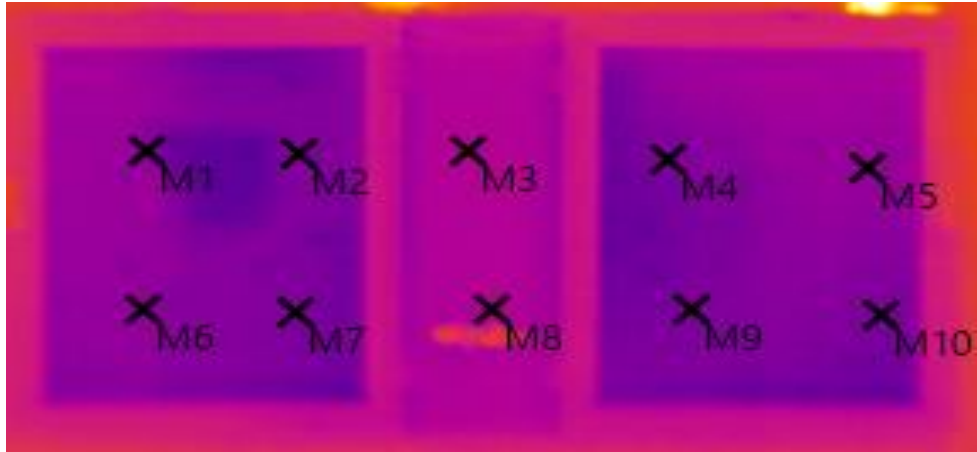
Şekil 3.17. Hot Disk TPS 500 S Termal Özellik Analizörü ve Ölçümü

Bu çalışmada geliştirilen yöntemden elde edilen numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri bu standart ölçüm cihazları ile ölçülerek, ısı iletim katsayıları sonuçları sıcak tel ve ısı disk yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Böylece bu çalışmada geliştirilen yöntemin doğruluğu sağlanacaktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Geliştirilen Adyabatik Hazne Tekniği

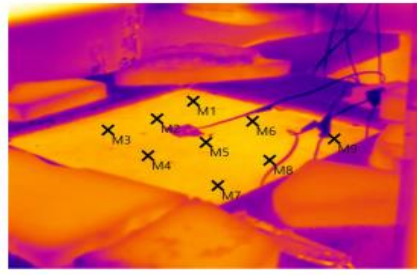
Tez çalışması sonucunda geliştirilen teknik kapsamında düzenlenen ve Şekil 3.5’de gösterilmiş olan deney düzeneği şartlandırılmış oda ve adyabatik hazne olmak üzere iki temel bileşenden meydana gelmektedir. Şartlandırılmış odanın iç iklimik koşulları odaya monte edilmiş bir klima ve tavan vantilatörü ile kontrol edilmiştir. Şartlandırılmış odanın test koşullarına uygunluğu her test öncesi yapılan termal kamera aracılığıyla ölçülmüştür. Ölçülen termal kamera görüntülerinden bir görüntü Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1’de görüleceği üzere testler için istenen üniform sıcaklık dağılımı kriterine ulaşılmıştır. Ayrıca üniformaluluğun derecesini belirlemek amacıyla Şekil 4.1’de yerleri görülebileceği 10 noktada termal çiftler ile sıcaklık ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde ölçüm noktaları arasındaki sapmanın yaklaşık olarak ± 1 °C olduğu saptanmıştır. Sapmalar sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlik oranının altında, olduğundan yaklaşık olarak üniform sıcaklık kabulü yapılmıştır.



Ölçüm veri	Sıcaklık °C	Ölçüm veri	Sıcaklık °C	Ölçüm veri	Sıcaklık °C
M1	19.0	M5	19.3	M8	20.1
M2	19.0	M6	19.3	M9	18.9
M3	20.0	M7	18.9	M10	18.8
M4	19.0				

Şekil 4.1. Kontrol odası içerisindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve farklı noktalardaki sıcaklık değerleri.

Adyabatik hazne yapımı için poliüretan ısı yalıtım bloğu kullanılmıştır. Poliüretan blokun tam orta noktası merkez alınarak 20 cm derinliğe kadar, 40x40 cm ebatlarında dikdörtgen prizma şeklinde oyularak bir hazne oluşturulmuştur. Bu şartlardaki hazne yanlardan ve alt taraftan iyi bir şekilde izole edildiğinden dolayı, bir boyutlu ısı transferi ilkesine uygun ölçüm yapılmaktadır. İmalatı yapılan adyabatik haznenin üzerine yerleştirilen numune yüzeyinde sanki dengeli bir sıcaklık dağılımının temini gereklidir. Bu nedenle termal kamera ile doğrulama yapılmaktadır. Bu doğrulamaya yönelik görüntü ve farklı noktalarındaki sıcaklık değerleri Şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Termal görüntü ile ölçülen sayısal değerlerden; sıcaklık dağılımının yüzey üzerinde yeterince homojen olduğu gözlemlenmiştir.



Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,95
Yans. sic. [°C]: 10,0

Sayı	Sıcaklık °C	Sayı	Sıcaklık °C	Sayı	Sıcaklık °C
M1	29.0	M4	28.4	M7	28.4
M2	28.9	M5	29.2	M8	28.9
M3	28.7	M6	28.9	M9	28.1

Şekil 4.2. Adyabatik hazne üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve yüzeyin farklı noktalarındaki sıcaklık değerleri

Adyabatik hazne boyunca meydana gelen ısı geçişi yönünde ki sıcaklık gradyanını belirlemek amacıyla su, hava boşluğu, dış ortam, malzeme alt, malzeme üst ve malzeme alt-üst arasında bir sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Deneyler başlangıcında adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı 50-60°C arasında, test odası sıcaklığı ise 18-20 °C aralığındadır. Farklı numunelerin farklı zamanlardaki deneyleri sırasında belirtilen başlangıç sıcaklık değerlerinden küçük sapmalar ($\pm 2^\circ\text{C}$) olabilmektedir. Elde edilen bu değerlere göre numunelerin ısı iletim katsayısı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Beton yapı malzemelerinin kompozit morfolojiye ve nispeten düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları nedeniyle ısı performans parametrelerinin ölçümleri genellikle 24 saatten fazla sürmektedir. Bu çalışmada ısı performans davranışı birbirine yakın numuneler arasındaki ayrımı yüksek doğrulukta sağlamak amacıyla deney süreleri daha uzun tutulmuştur.



Şekil 4.3. Adyabatik hazne yönteminin akış şeması

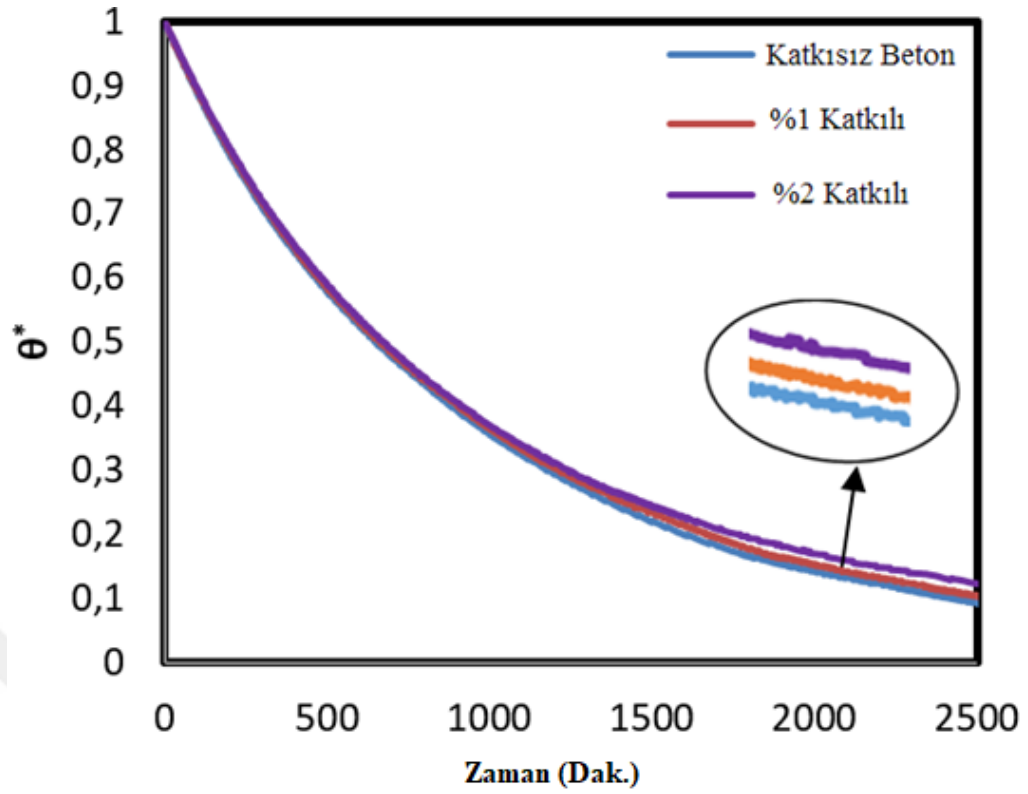
Adyabatik hazne tekniğinin akış Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Başlangıçta çizelge 3.2’ de verilen numuneler hazırlanmış ve adyabatik hazne yöntemiyle ısı testleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada testler gerçekleştirildikten sonra, numuneler kendi kategorilerinde değerlendirilerek boyutsuz sıcaklık eğrileri denklem 3.7’ ye göre oluşturularak ısı özellik kıyaslamaları yapılmıştır. İkinci aşamada 1. çözüm yöntemi kullanılarak bütün numunelerin toplam ısı transfer katsayısı denklem 3.9’ a göre hesaplanmıştır. Elde edilen toplam ısı transfer katsayısına bağlı olarak meydana gelen

toplam ısı transfer miktarları denklem 3.10' a göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama dan yola çıkarak denklem 3.11'e göre ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Tez kapsamında geliştirilen tekniğin güvenilirliğini saptamak amacıyla aynı numunelerin ısı iletim katsayıları standart sıcak tel yöntemi ve disk ısı kaynağı yöntemleri ile ölçülmüştür. Üçüncü aşamada adyabatik hazne tekniğinde yalnızca numune olarak palmiye ağacı liflerinin beton üzerindeki ısı etkisini incelemek için 2. çözüm yöntemi kullanılarak denklem 3.12.'ye göre ısı difüzyon katsayısı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu katsayı kullanılarak denklem 3.20' ye göre özgül ısı değeri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerlerden denklem 3.4' e göre ısı iletim katsayısı tespit edilmiştir. Bu hesaplamalar ışığında elde edilen ısı iletim katsayıları, sıcak tel yöntemi ve disk ısı kaynağı yöntemleri ile ölçülen değerlerle kıyaslaması yapılmıştır.

Adyabatik hazne yöntemiyle yapılan ısı özellik ölçümüne yönelik ayrıntılar, numunelerle yapılan ölçümlere yönelik bulgular ve diğer deneysel yöntemler ile karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur.

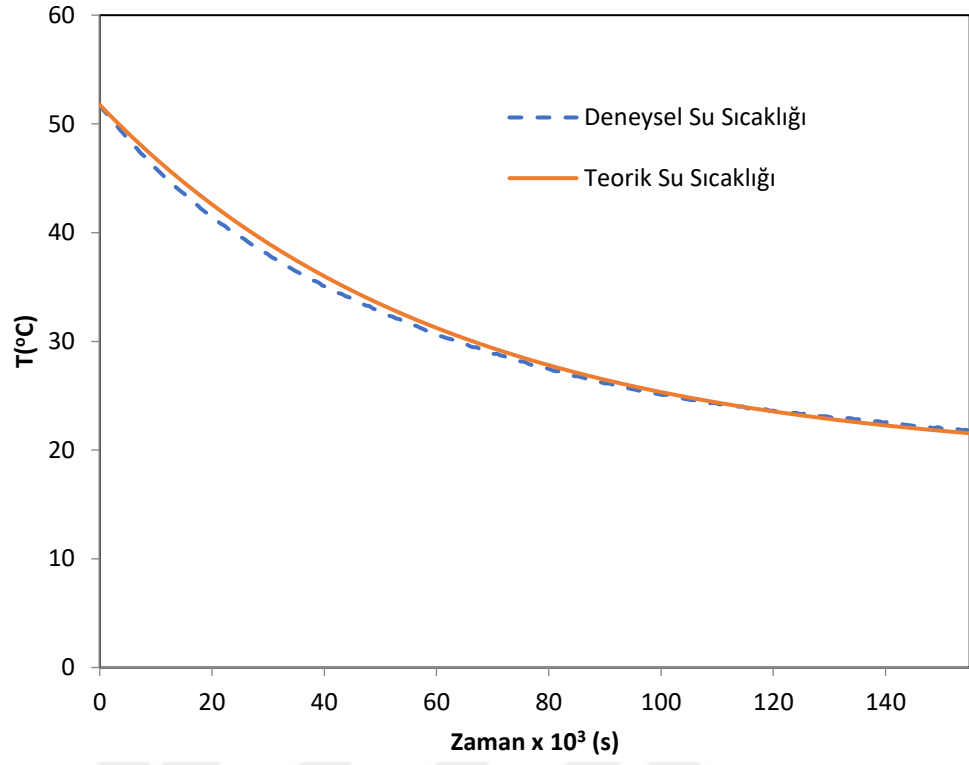
4.1.1. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde atık katkılı palmiye liflerinin beton üzerindeki etkisinin incelenmesi

Adyabatik hazne tekniğinde palmiye lifi katkılı ve katkısız numunelerin deney sonuçlarından elde edilen sıcaklık verileri denklem 3.7.'ye göre boyutsuzlaştırılmıştır. Şekil 4.4 'te görüleceği üzere, palmiye lif katkılı beton numuneler kullanıldığında, adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı palmiye lifinin oranı arttıkça azalmaktadır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan üç numune arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı ile %2 palmiye lifi katkılı betona aittir.

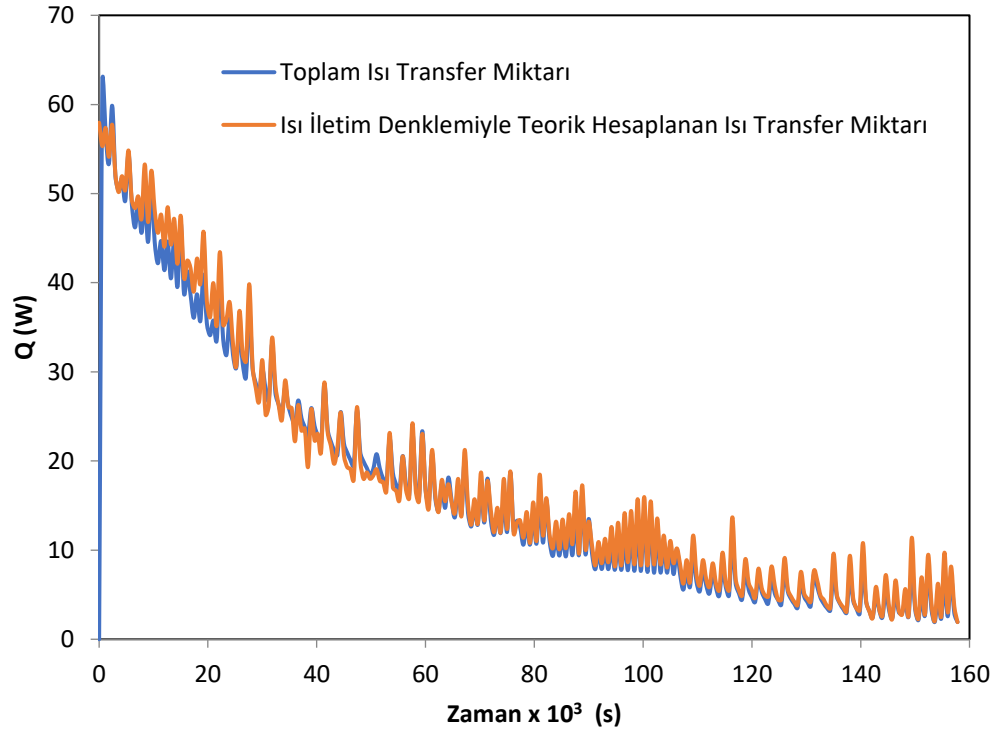


Şekil 4.4. Palmiye lifli katkılı numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi katkısız numunenin sıcaklık zaman eğrisi adyabatik hazne tekniği 1. çözüm yöntemi kullanılarak çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer (U_T) katsayısı $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenerek toplam ısı transfer miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam ısı miktarının zamanla değişimi Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.53 W/mK olduğu tespit edilmiştir.

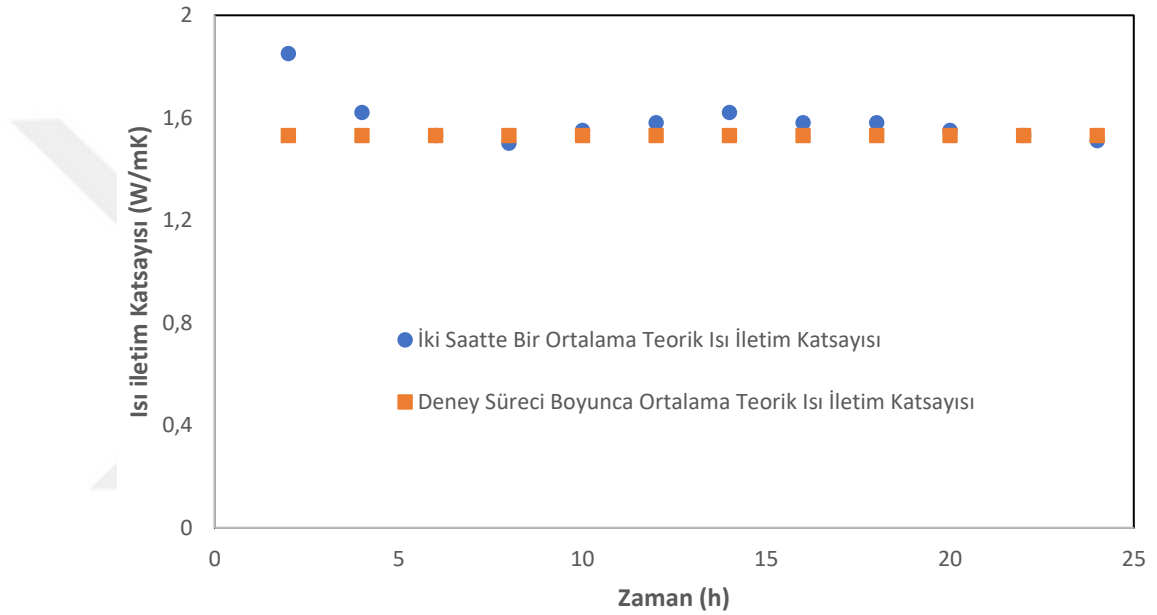


Şekil 4.5. Katkısız numunenin sıcaklık zaman eğrisi



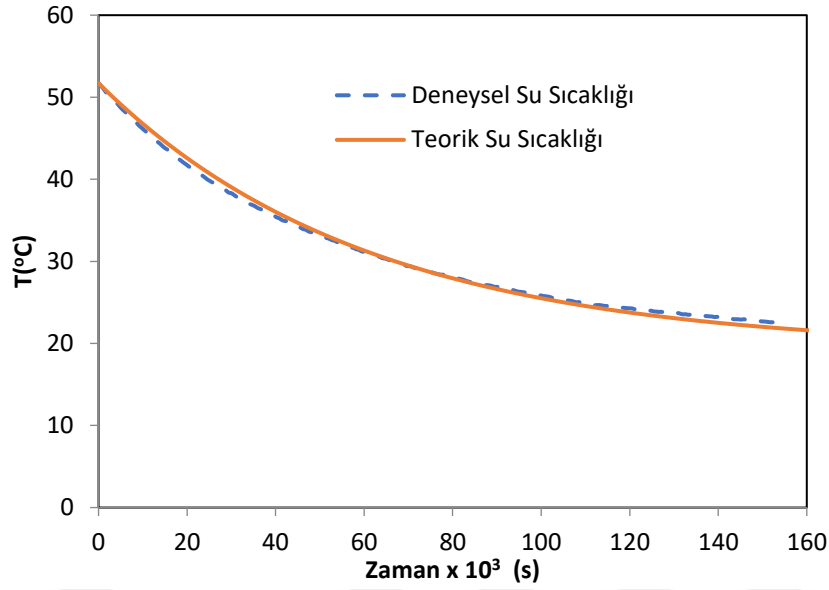
Şekil 4.6. Katkısız numune için toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.7’de gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında katkısız beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 8-10 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir. İlk saatlerde meydana gelen sapmanın nedeni sistemin rejime girmesinden kaynaklanmaktadır.

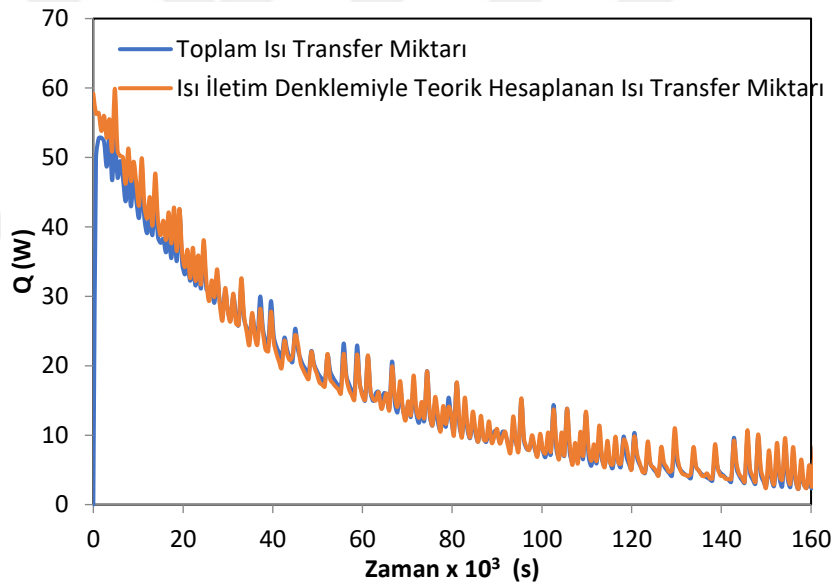


Şekil 4.7. Katkısız numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Adyabatik hazne tekniği 1. çözüm yöntemiyle %1 katkılı numune için ölçülen sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer (U_T) katsayısı $9 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.9.’da gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayısı 1.25 W/mK olarak tespit edilmiştir.

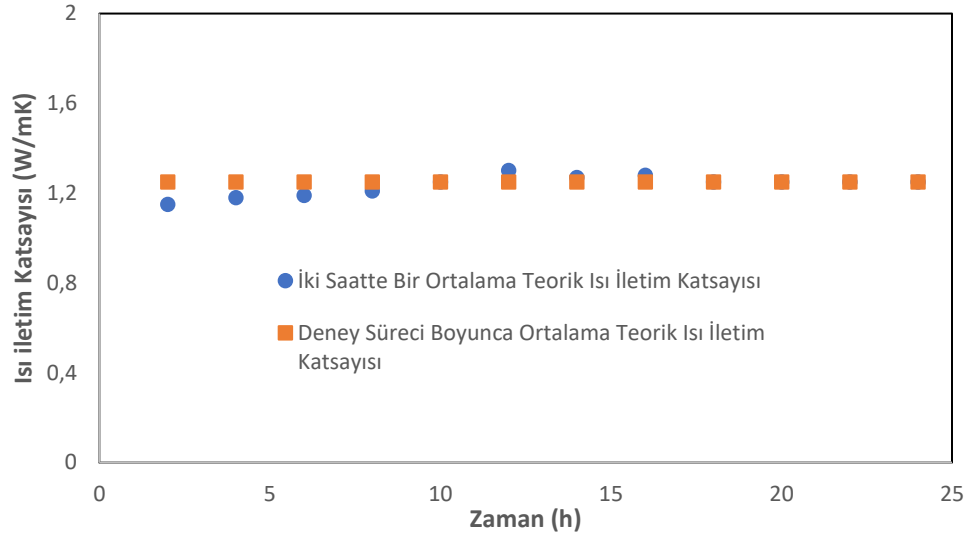


Şekil 4.8. %1 katkılı palmiye lifi numunenin sıcaklık zaman eğrisi



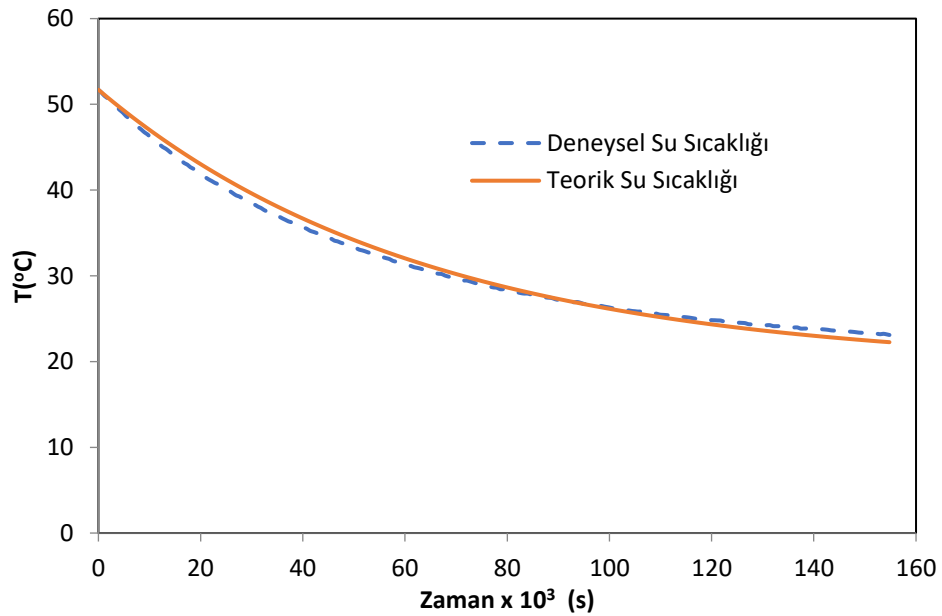
Şekil 4.9. %1 katkılı palmiye lifi numune için toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %1 palmiye lifi katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 10-14 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir. İlk saatlerde meydana gelen sapmanın nedeni sistemin rejime girmesinden kaynaklanmaktadır.

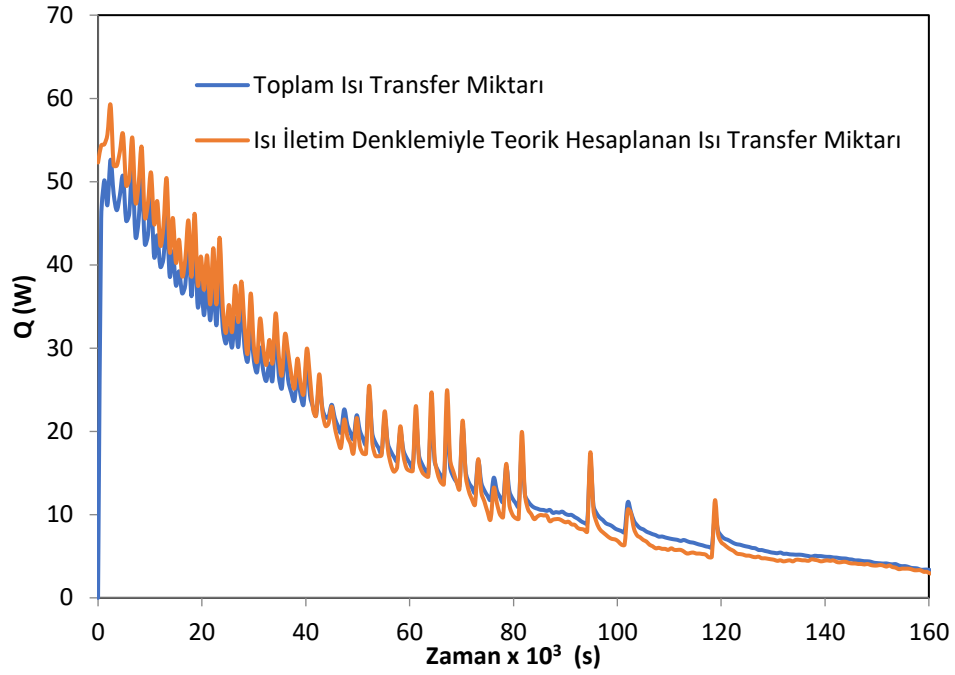


Şekil 4.10. %1 palmye lifi katkılı numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

1. çözüm yöntemi kapsamında %2 katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi adyabatik Şekil 4.11’ de gösterilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $8.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.12’ de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.9 W/mK olarak tespit edilmiştir.

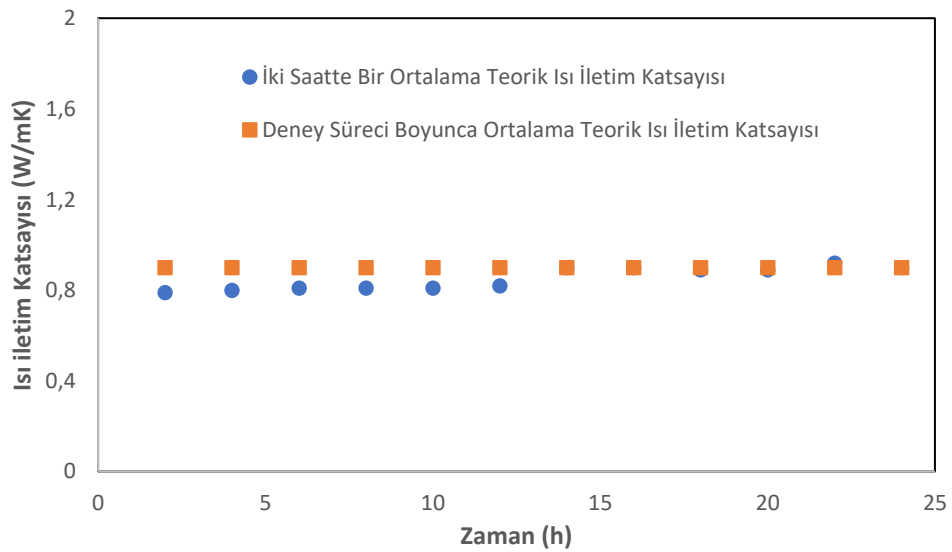


Şekil 4.11. %2 katkılı palmye lifi numunenin sıcaklık zaman eğrisi.



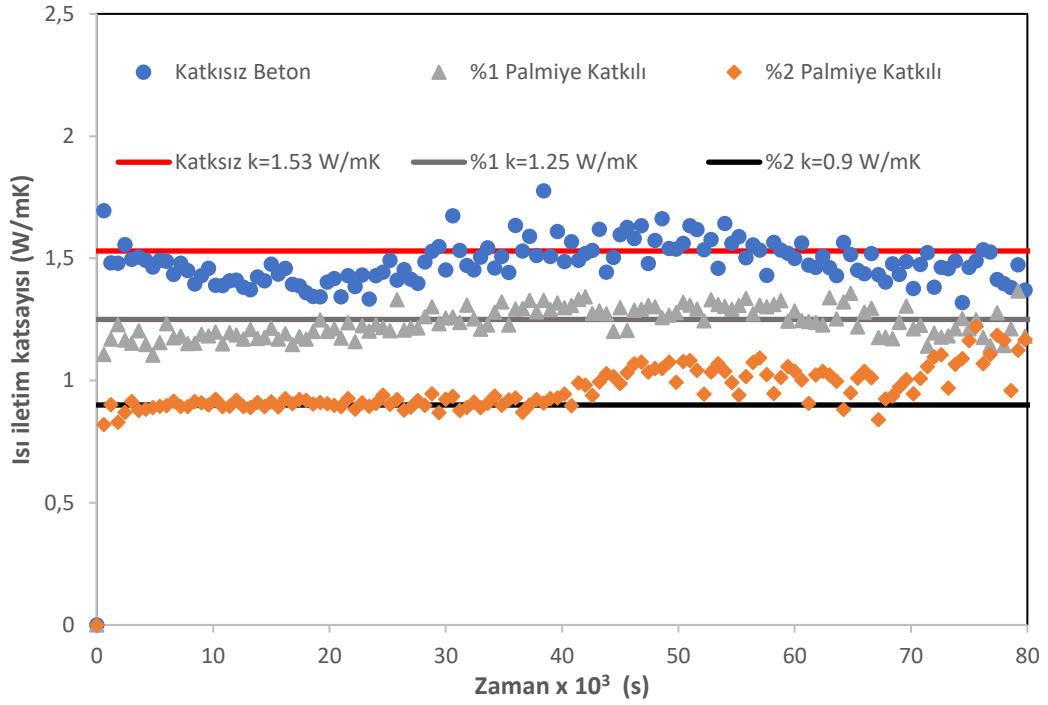
Şekil 4.12. %2 katkılı palmye lifi numune için toplam ısı transfer miktarı.

Şekil 4.13'te gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %2 palmye lifi katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 12-16 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.



Şekil 4.13. %2 palmye lifi katkılı numunede deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Palmiye katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayılarından elde edilen ortalama ısı iletim katsayıları Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Hesaplanan ısı iletim katsayıları genel ısı iletimi denkleminde yerine konulduğunda her üç numune için görüleceği üzere Şekil 4.12-4.9-4.6' da verilen grafiklerden anlaşılacağı üzere birbirleriyle örtüşmektedir.



Şekil 4.14. Palmiye katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları

Numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek amacıyla öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazları olan sıcak tel yöntemi ve sıcak disk yöntemi ile ölçüm yapan cihazlarla ölçülmüştür. Daha sonra bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Bölüm 3.5'te belirtilen aşamalar kullanılarak teste tabi tutulan her üç numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra önermiş olduğumuz yöntemle ısı iletim katsayısı tespit edilerek, ısı iletim katsayısı ölçme cihazlarıyla elde edilen değerlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.1' de verilmiştir.

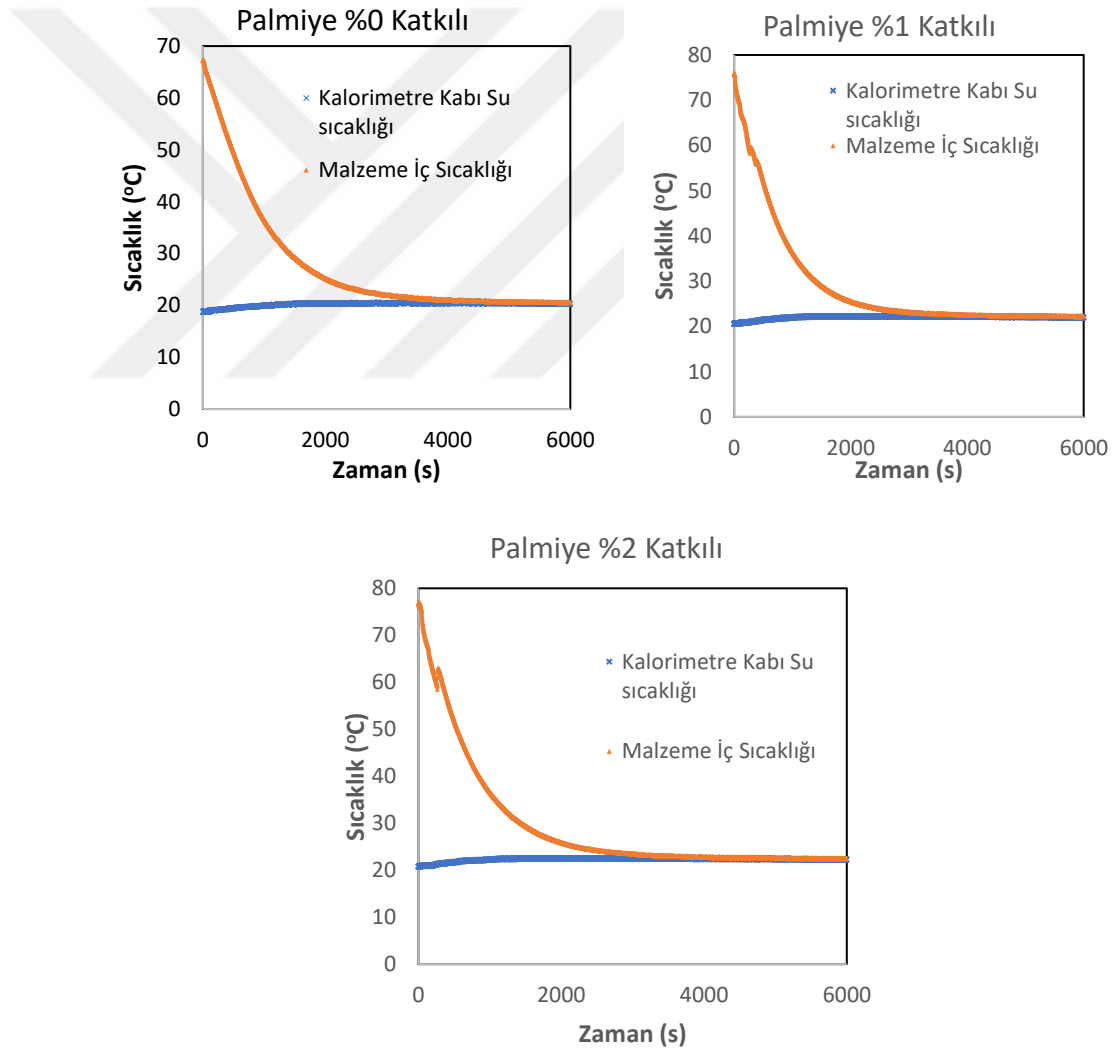
Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan Sıcak Tel Yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %0.5, %1 palmiye lifi katkılı betonda %13.8 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %35 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %1.5, %1 palmiye lifi katkılı betonda %1.03 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %14.5 sapma gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan literatür çalışmasında katkısız Betonda, 2200 kg/m³ yoğunluktaki donatısız betonlarda ısı iletim katsayısının 1.65 W/mK olduğunu belirtmişlerdir (Ruuska ve ark., 2017; SFS EN 10456:2007; TS825, 2008). Ayrıca Raut ve Gomez, (2016) yapmış oldukları çalışmada palmiye yağı uçucu külü kullanarak yağ bitkisi lif takviyeli beton termal iletkenliklerini incelediklerinde katkı oranının ısı iletim katsayısını düşürdüklerini tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Palmiye lifi katkılı numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması (1. çözüm yöntemi)

Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Sıcak tel yöntemi cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız Beton	1.53	1.5390	0.5	1.551	1.5
Palmiye Lifi %1 Katkılı	1.25	1.4507	13.8	1.263	1.03
Palmiye Lifi %2 Katkılı	0.9	1.3872	35	1.053	14.5

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin gerek literatürde verilen değerlerle gerek karşılaştırma amaçlı ölçmüş olduğumuz numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %1 ve %2 palmiye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, palmiye lif katkılı betonlarda daha yüksektir. Palmiye lif katkısı numune morfolojisini daha karmaşık/kompozit yapıya sürüklediğinden, söz konusu ticari cihaz ile istenen seviyede ölçüm doğruluğu/hassasiyeti sağlanamamaktadır. Ayrıca ticarileşmiş iki cihaz arasında bile farklı ölçüm sonuçları gözlemlenmiştir. Bu fark literatürde de gözükmemektedir.

Geliştirilen adyabatik hazne yöntemiyle Palmiye lifi katkılı betonlarda 2. çözüm yöntemi ile yapılan çalışmada numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek amacıyla öncelikle denklem 3.12' deki bir boyutlu ısı iletim denklemi kullanılmıştır. Verilen sınır şartlarına bağlı olarak denklem çözülmüş, çözülen denklemde ısı difüzyon katsayısı tespit edilmiştir. Elde edilen ısı difüzyon katsayısı literatürde yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında birbiriyle örtüşmektedir (Robinson ve ark., 2017). Bu çözüm yönteminde numune olarak palmiye lif katkılı malzemeler seçilmiştir. Isı iletim katsayısını tespit etmek için denklem 3.20 kullanılarak malzemelerin Şekil 4.15' te gösterildiği gibi özgül ısı değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Palmiye lifi katkılı numunelerin özgül ısı değeri için zamana bağlı sıcaklık değişimleri

Elde edilen veriler ışığında malzemelerin yoğunluklarını da ekleyerek ısı iletim katsayısı çizelge 4.6' da verildiği gibi bulunmuştur. Adyabatik hazne yönteminde 2. çözüm yöntemi aşamaları kullanılarak teste tabi tutulan her üç numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra ısı iletim katsayısı ölçme cihazlarıyla elde edilen değerlerle kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.2' de verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %5.4, %1 palmiye lifi katkılı betonda %11.45 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %12.91 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %6.4, %1 palmiye lifi katkılı betonda %1.66 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %14.7 sapma meydana gelmektedir.

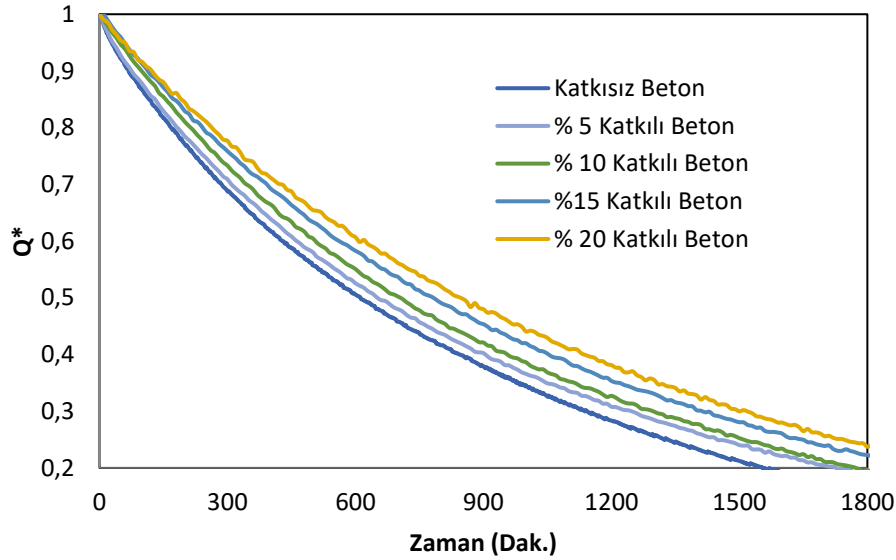
Çizelge 4.2. Palmiye lifi katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının ölçüm sonuçlarının kıyaslanması (2. çözüm yöntemi)

Numune Adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Sıcak tel yöntemi cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız Beton	1.4502	1.533	5.4	1.551	6.4
Palmiye Lifi %1 Katkılı	1.284	1.4507	11.45	1.263	1.66
Palmiye Lifi %2 Katkılı	1.079	1.3872	12.91	1.053	14.7

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %1 ve %2 palmiye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, palmiye lif katkılı betonlarda daha yüksektir. Palmiye lif katkısı numune morfolojisini daha karmaşık/kompozit yapıya sürüklediğinden, söz konusu ticari cihaz ile istenen seviyede ölçüm doğruluğu/hassasiyeti sağlanamamaktadır. Ayrıca farklı iki cihazda yapılan ölçümlerde farklı değerlere çıkmakta ve ticarileşmiş iki cihaz arasında bile farklar gözükmemektedir. 2. çözüm yönteminde ısı iletim denklemiyle ısı difüzyon oranı bulunduğundan, numunelerin ısı iletim katsayısını tespit etmek için, özgül ısı değerine tespit edilmesi gerekmektedir. Buda ayrı bir işlem gerektiğinden dolayı öbür numuneler için deneyler yapılmamıştır

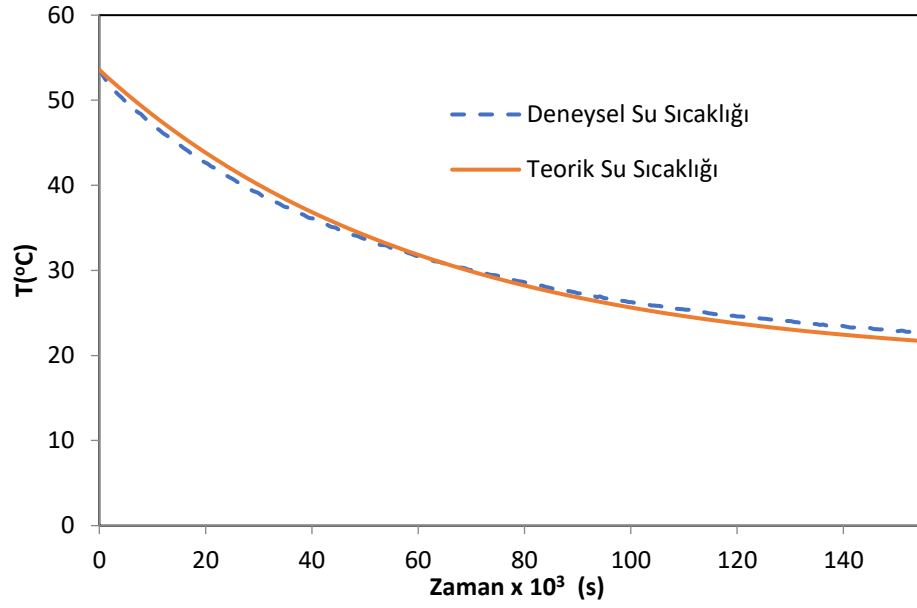
4.1.2. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde atık katkı olarak meşe ağacının talaşının beton üzerindeki etkisinin incelenmesi

Bu çalışmada talaş katkı oranlarına bağlı olarak beş adet numune hazırlanmıştır. Şekil 4.16'da talaş katkılı numunelere ait zamana bağlı boyutsuzlaştırılmış sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Bu eğrilerden görüldüğü gibi talaş katkılı beton numuneler kullanıldığında adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı yavaşlamaktadır. Yani daha yüksek oranda talaş katkısı ısı transfer hızını yavaşlatmaktadır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan beş numunenin arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı %20 talaş katkılı betona aittir.

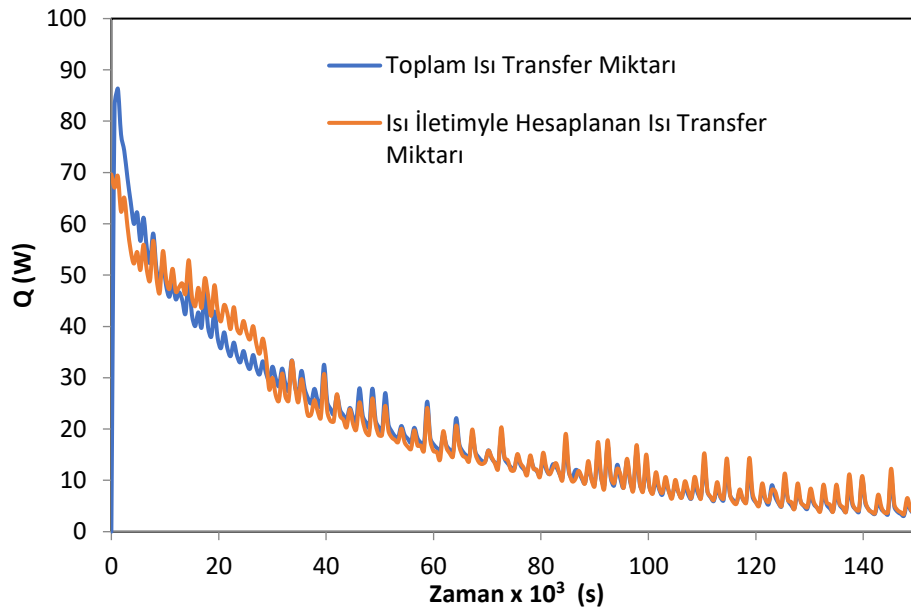


Şekil 4.16. Talaş katkılı numuneler ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Talaş katkılı numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.17.'de %5 talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $9 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.18.'de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.05 W/mK olarak tespit edilmiştir.

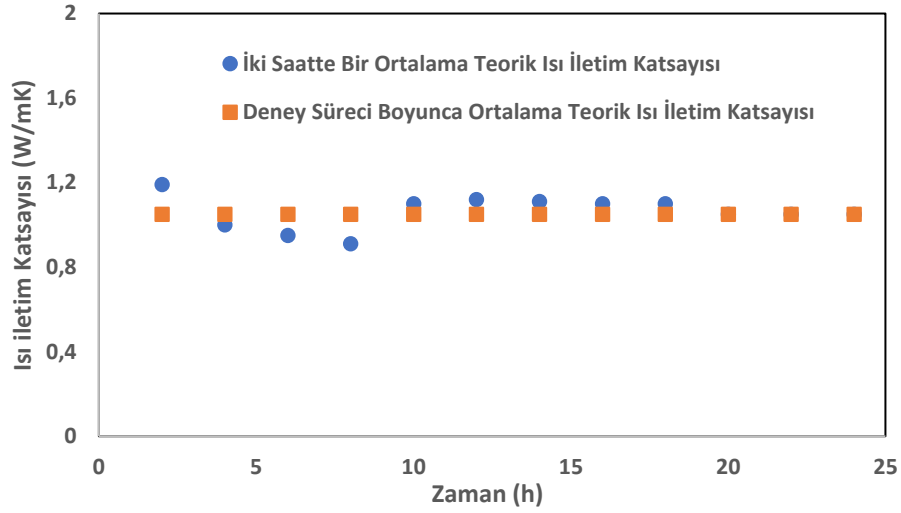


Şekil 4.17. %5 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.



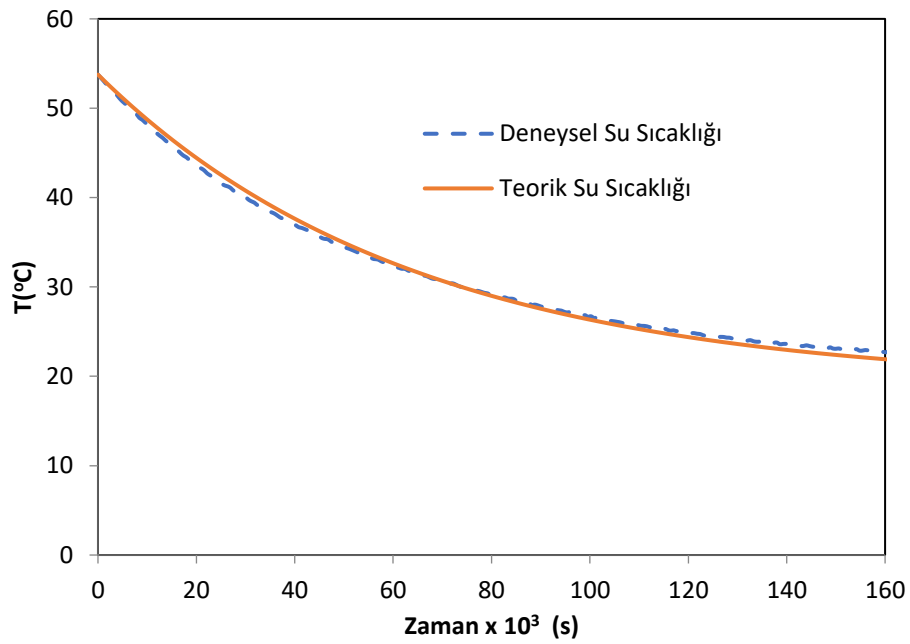
Şekil 4.18. %5 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.

Şekil 4.19’da gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %5 meşe ağacı talaşı katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 16-18 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

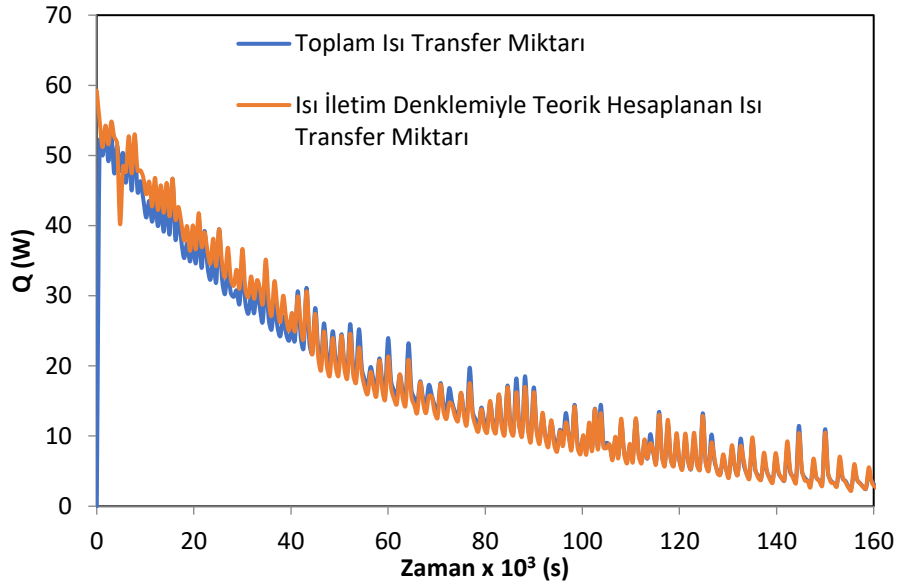


Şekil 4.19. %5 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.20’de %10 talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer (U_T) katsayısı $8.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.21.’ de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.7 W/mK olarak tespit edilmiştir.

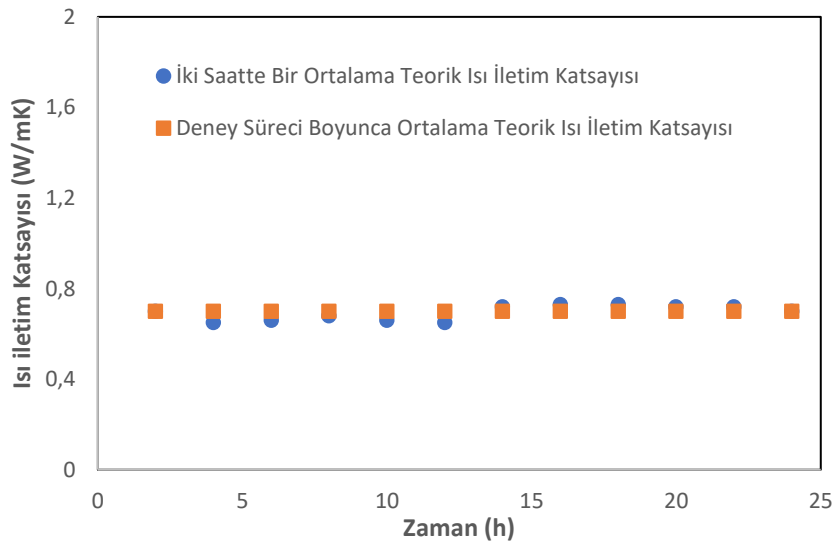


Şekil 4.20. %10 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.



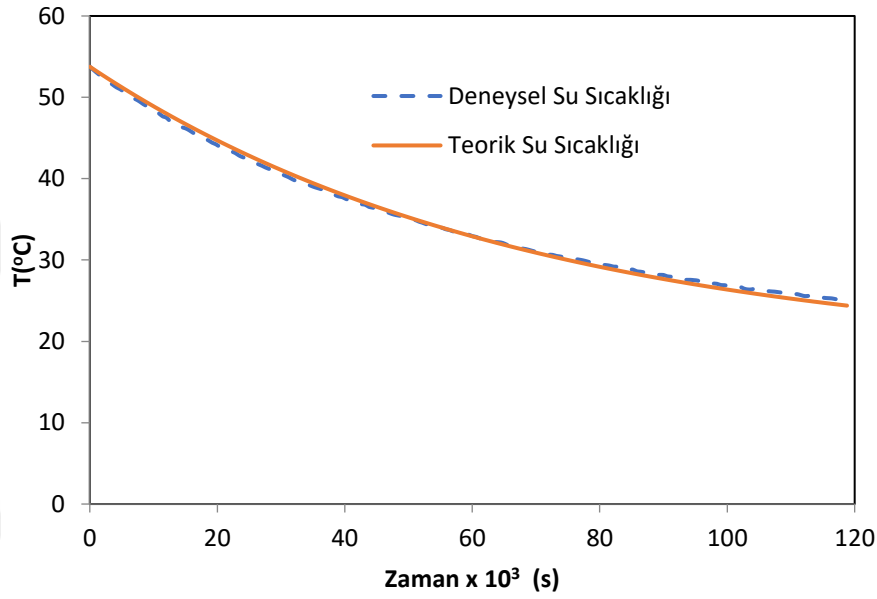
Şekil 4.21. %10 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.

Şekil 4.22’de gösterildiği ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %10 meşe ağacı talaşı katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 14-16 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

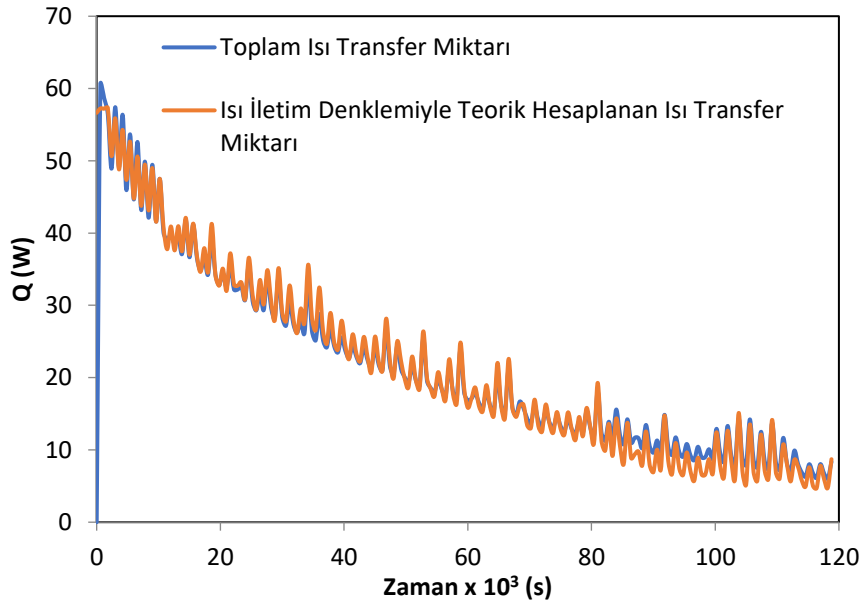


Şekil 4.22. %10 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.23.'te %15 talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.24.'te gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.5 W/mK olarak tespit edilmiştir.

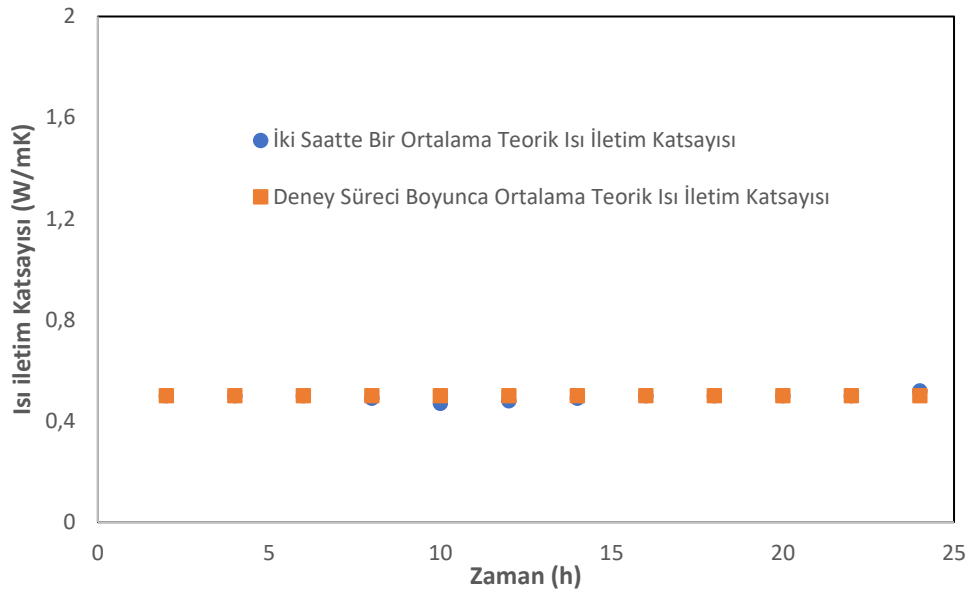


Şekil 4.23. %15 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.



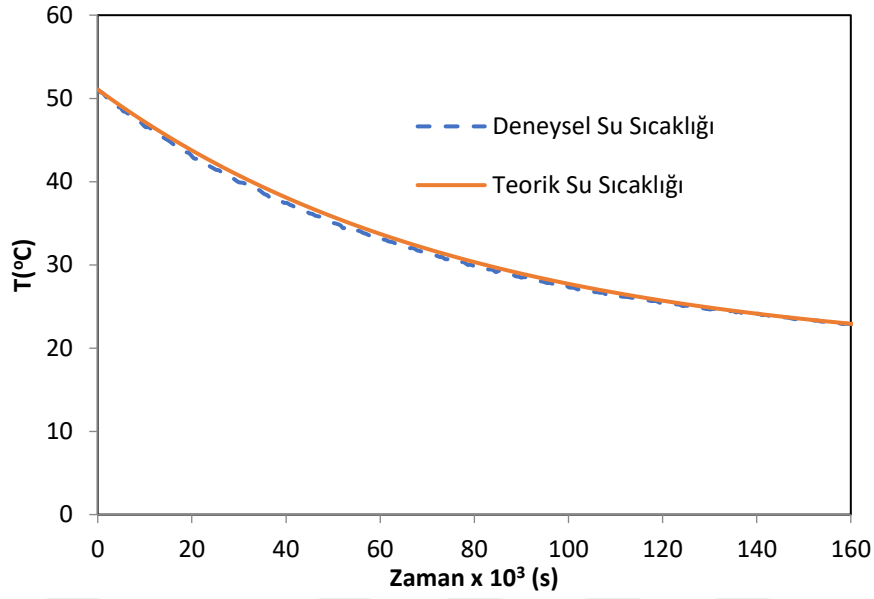
Şekil 4.24. %15 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.

Şekil 4.25'te gösterildiği ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %15 meşe ağacı talaşı katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 4 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

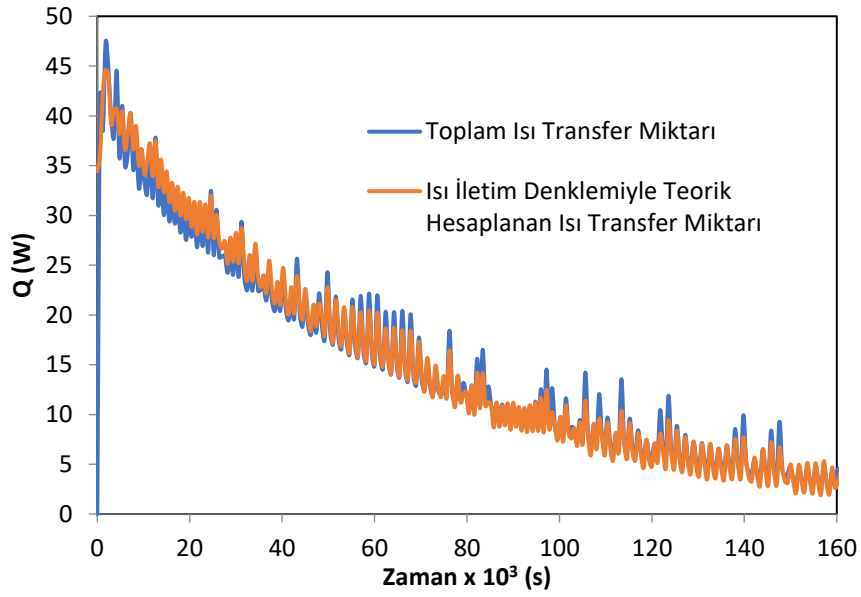


Şekil 4.25. %15 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.26.'da gösterildiği gibi %20 talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $7 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.27' de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.41 W/mK olarak tespit edilmiştir.

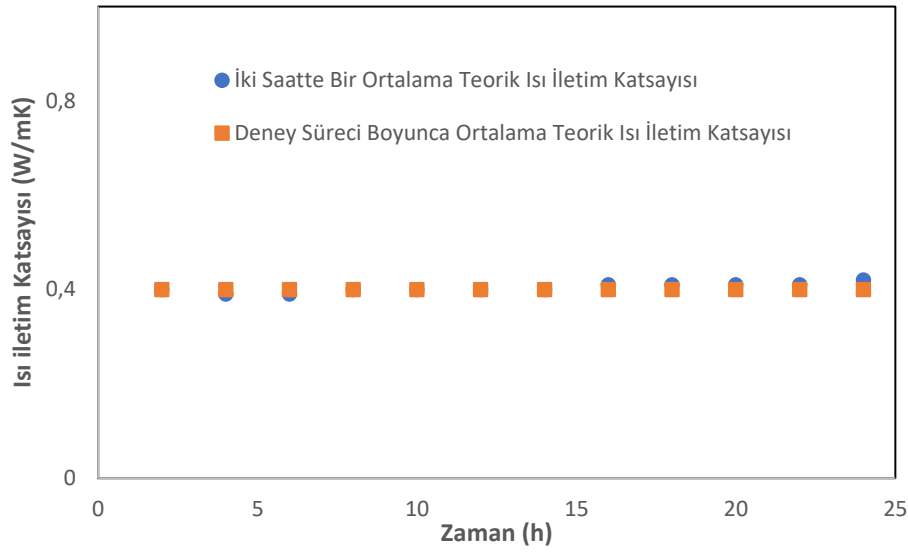


Şekil 4.26. %20 Talaş katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi.



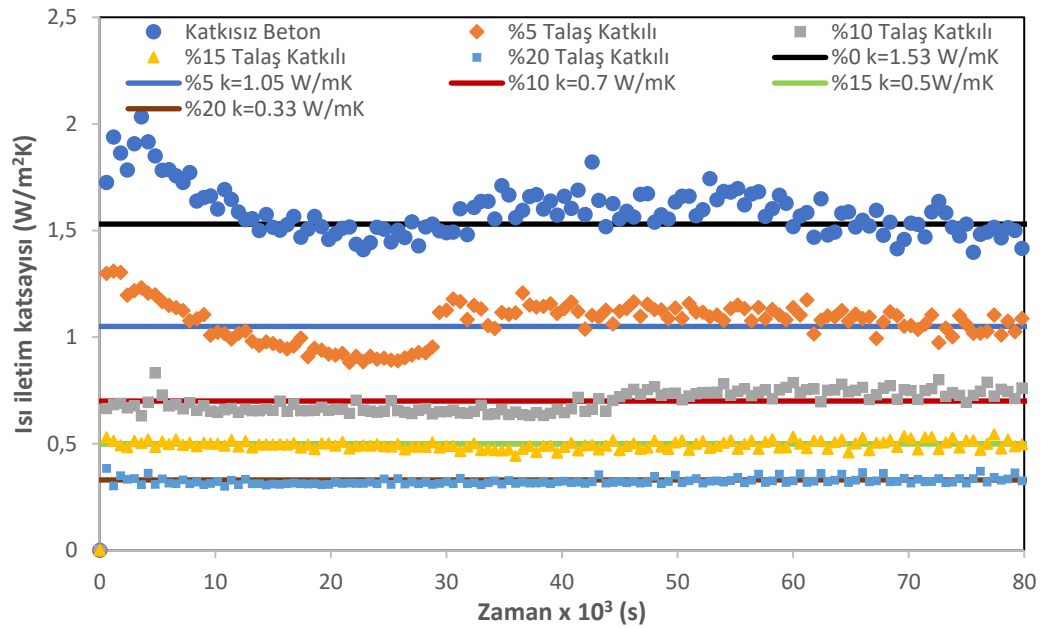
Şekil 4.27. %20 Talaş katkılı numune için toplam ısı transfer miktarı.

Şekil 4.28’de gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında %20 meşe ağacı talaşı katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 6-8 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.



Şekil 4.28. %20 Meşe ağacı talaşı katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.29’da gösterildiği gibi talaş katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayılarından elde edilen ortalama ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu ısı iletim katsayıları genel ısı iletimi denkleminde yerine konulduğunda her beş numune için Şekil 4.27-4.24-4.21-4.18-4.6’ya göre verilen grafiklerde anlaşılacağı üzere eğilimler birbiriyle örtüşmektedir. Bu grafikte numunelerin daha homojen olduğu durumlarda dinamik ısı iletim katsayısının neredeyse sabit olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.29. Talaş katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları

Talaş katkılı numunelere ait ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek için öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazları ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Bölüm 3.5’te belirtilen aşamalar kullanılarak teste tabi tutulan her beş numunenin de ısı iletim katsayıları belirlenmiş ve daha sonra önermiş olduğumuz yöntemle ısı iletim katsayısı tespit edilerek, ısı iletim katsayısı ölçme cihazlarıyla elde edilen değerlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.3’ te verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan Sıcak Tel Yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 0.5, %5 talaş katkılı betonda %0.3, %10 talaş katkılı betonda ise %26.7, %15 talaş katkılı betonda ise %21, %20 Talaş katkılı betonda ise %31.8 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda %1.3, %5 talaş katkılı betonda %6.6, %10 talaş katkılı betonda ise %5.7, %15 talaş katkılı betonda ise %6.2, %20 talaş katkılı betonda ise % 45 sapma meydana gelmektedir. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda talaş katkılı betonların ısı iletim katsayılarının talaş miktarına bağlı olarak düştüğü gözlemlenmektedir (Turgut ve Gümüşçü, 2013). Bu düşme önerilen yöntemle örtüşmektedir.

Çizelge 4.3. Talaş katkılı beton numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

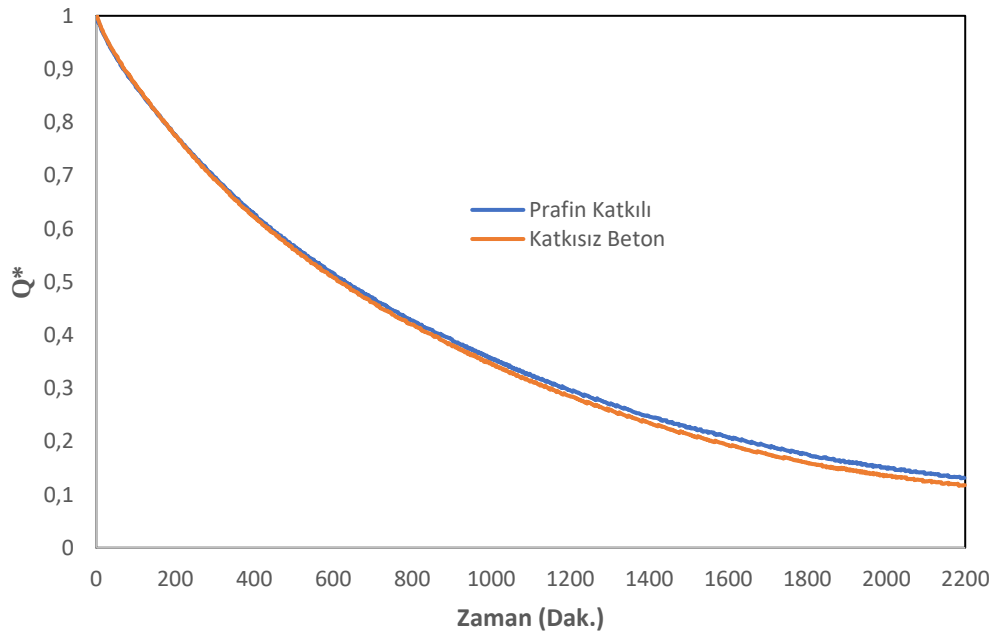
Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Sıcak tel yöntemi cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız Beton	1.53	1.5390	0.5	1.551	1.3
Talaş %5 Katkılı	1.05	1.0539	0.3	0.9846	6.6
Talaş %10 Katkılı	0.7	0.9548	26.7	0.7427	5.7
Talaş %15 Katkılı	0.5	0.6364	21	0.5331	6.2
Talaş %20 Katkılı	0.33	0.4844	31.8	0.4523	45

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin gerek literatürde verilen değerlerle, gerek karşılaştırma amaçlı ölçmüş olduğumuz numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %5-10-15-20 talaş katkılı beton ve tahta numunelerin ısı iletim

katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Bazı değerlerin yüksek çıkmasının nedeni ısı iletim katsayısı değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Direkt ısı iletim katsayısı sıcak tel ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, talaş katkılı betonlarda daha yüksektir. Buna karşın disk ısı kaynağı yöntemi ile yapılan ölçümlerde bu sapma daha azdır.

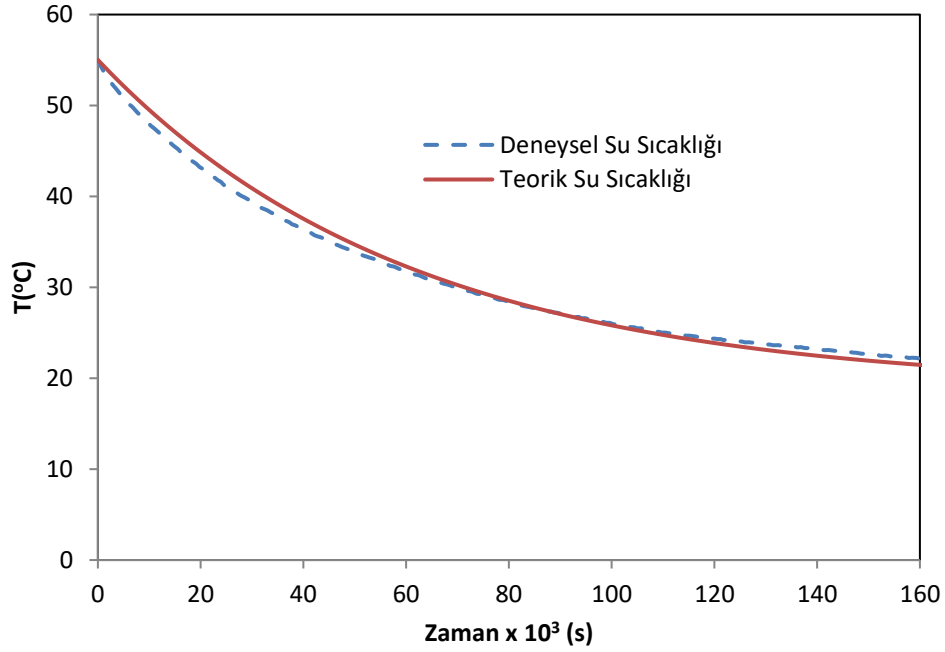
4.2.3. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde faz değıştiren malzemenin (parafin) beton üzerindeki etkisinin incelenmesi

Bu çalışmada iki farklı numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin bir tanesi katkısız beton diğeri ise parafin katkılı betondur. Şekil 4.30'da parafin katkılı ve katkısız numunelere ait zamana bağı boyutsuz sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Bu eğrilerde gösterildiği gibi ısı iletim katsayısı daha düşük olan faz değıştiren (parafin) malzeme katkılı betonun, katkısız beton numuneye göre adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı daha yavaştır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan iki numunenin arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı parafin katkılı betona aittir.

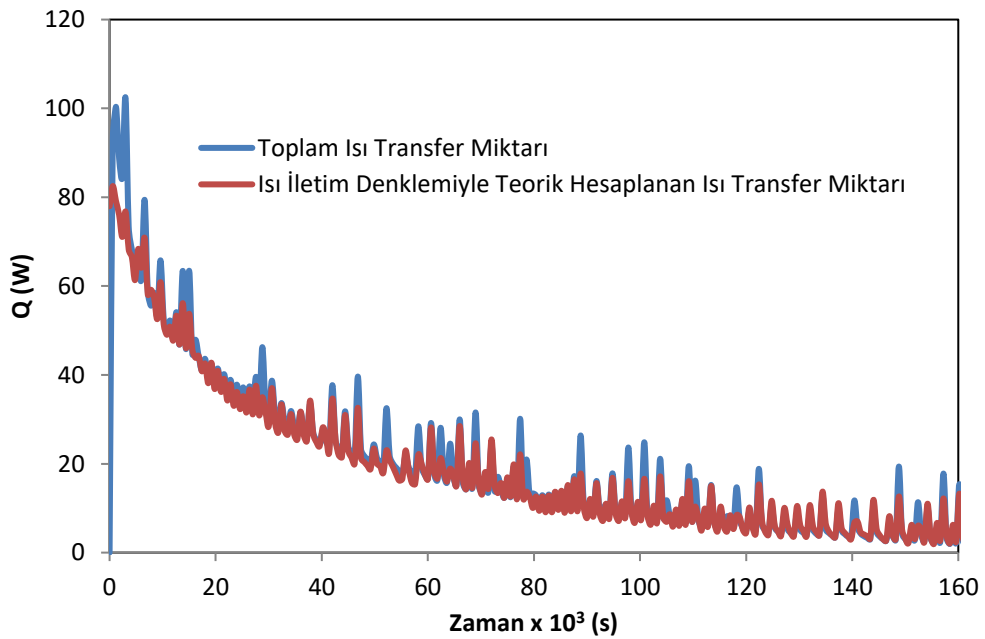


Şekil 4.30. Parafin katkılı ve katkısız betona ait boyutsuz sıcaklık değışimleri

Şekil 4.31’de gösterildiği gibi parafin katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi 1. çözüm yöntemine göre çizilmiştir. Bu şekle göre toplam ısı transfer (U_T) katsayısı $9.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre Şekil 4.32’ de gösterildiği toplam ısı transfer miktarı hesaplanmıştır. Transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.3 W/mK olarak tespit edilmiştir.

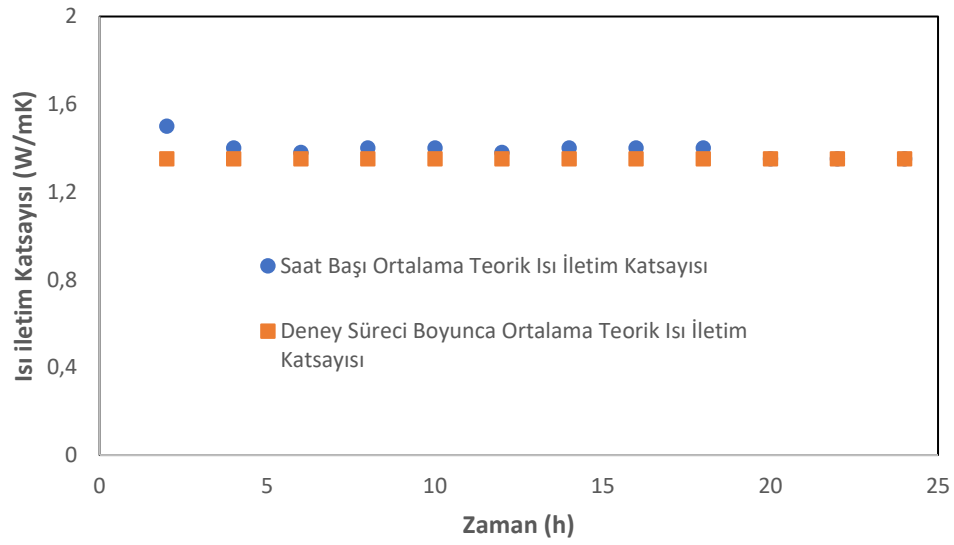


Şekil 4.31. Parafin numunenin sıcaklık zaman eğrisi



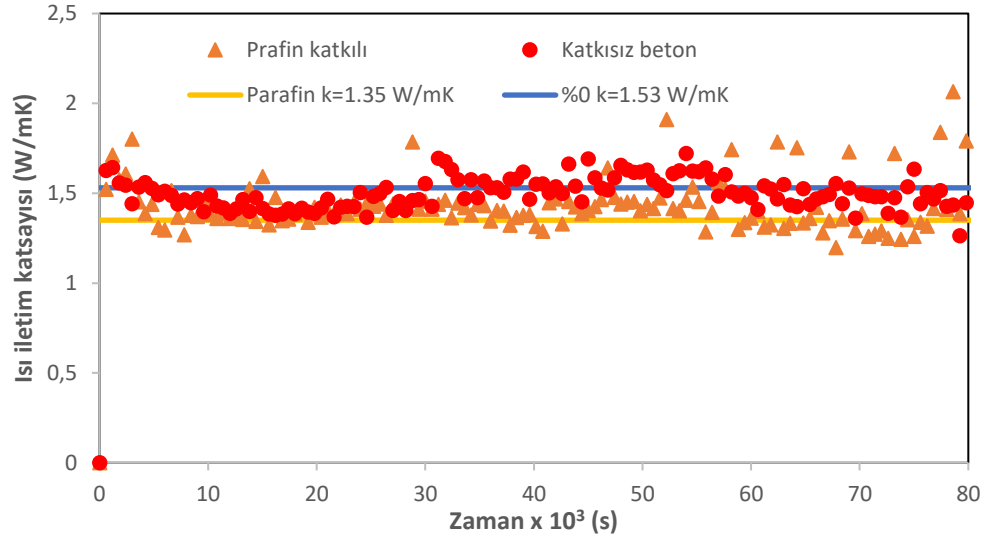
Şekil 4.32. Parafin numune için toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.33'te gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında parafin katkılı beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 18-20 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.



Şekil 4.33. Parafin katkılı numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.34'te gösterildiği parafin katkılı numuneye ait dinamik ısı iletim katsayılarından elde edilen ortalama ısı iletim katsayısı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu ısı iletim katsayısı genel ısı iletimi denkleminde yerine konulduğunda her iki numune için Şekil 4.32 'de gösterilen eğri dikkate alındığında birbirleriyle örtüşmektedir. Parafin katkılı numunede faz değiştirdiği için sonları doğru bazı değerlerde sapmalar meydana geldiği saptanmıştır. Faz değiştiren malzemeler ısı iletim katsayısı düşük olan malzemeler olduğundan beton katkılarda ısı iletim katsayısını düşürmüştür (Sharma ve ark., 2015)



Şekil 4.34. Parafin katkılı numunelere ait dinamik ısı iletim katsayıları

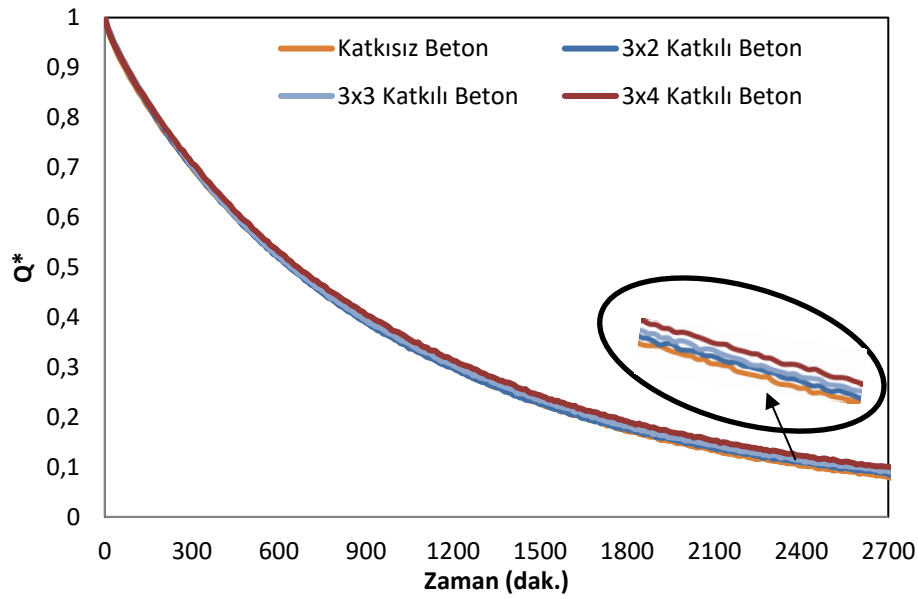
Parafin katkılı numunelere ait ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek için öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazı ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Bölüm 3.'te belirtilen aşamalar kullanılarak teste tabi tutulan her iki numunenin de ısı iletim katsayıları belirlenmiş ve daha sonra kendi yöntemimizle ısı iletim katsayısı tespit edilerek, ısı iletim katsayısı ölçme cihazlarıyla elde edilen değerlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.4'te verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan Sıcak Tel Yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %0.5, ve katkılı numunede %16.2 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 1.3, ve katkılı numunede %12 sapma meydana gelmektedir.

Çizelge 4.4. Parafin katkılı numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Sıcak tel yöntemi cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız Beton	1.53	1.5390	0.5	1.551	1.3
Prafın Katkılı	1.33	1.1179	16.2	1.183	12

4.2.4. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde kendinden yerleşen betonun içerisine atık pet şişelerin beton üzerindeki etkisinin incelenmesi

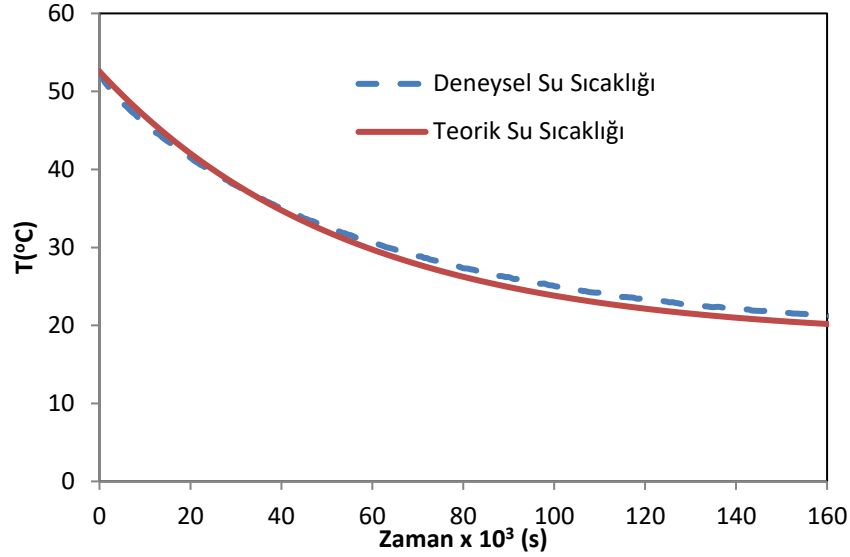
Bu çalışmada atık petlerin dizilişlerinde göre dört adet numune hazırlanmıştır. Şekil 4.35'ten görüleceği üzere kendinden yerleşen betonun içerisindeki atık pet katkılı beton numuneler kullanıldığında adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı yavaşlamaktadır. Yani daha yüksek oranda atık pet katkısı ısı transfer hızını yavaşlatmaktadır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan altı numunenin arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı 3x4 atık pet katkılı betona aittir.



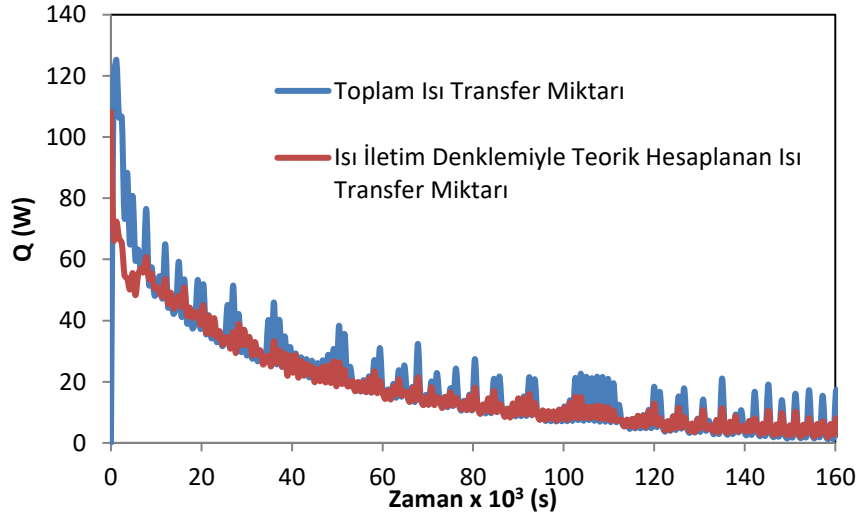
Şekil 4.35. Kendinden yerleşen betona ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Kendinden yerleşen betonun numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.36.'da katkısız numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan deneysel su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.37' de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı

olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.05 W/mK olarak tespit edilmiştir.

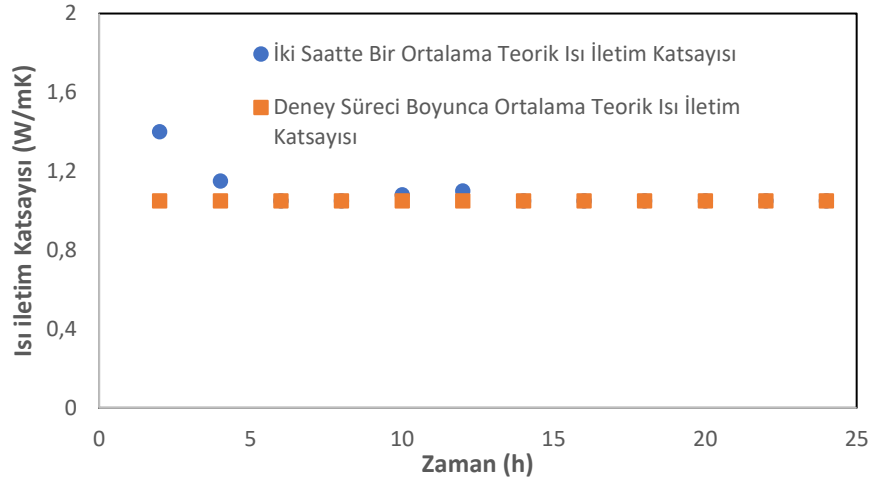


Şekil 4.36. Katkısız kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi



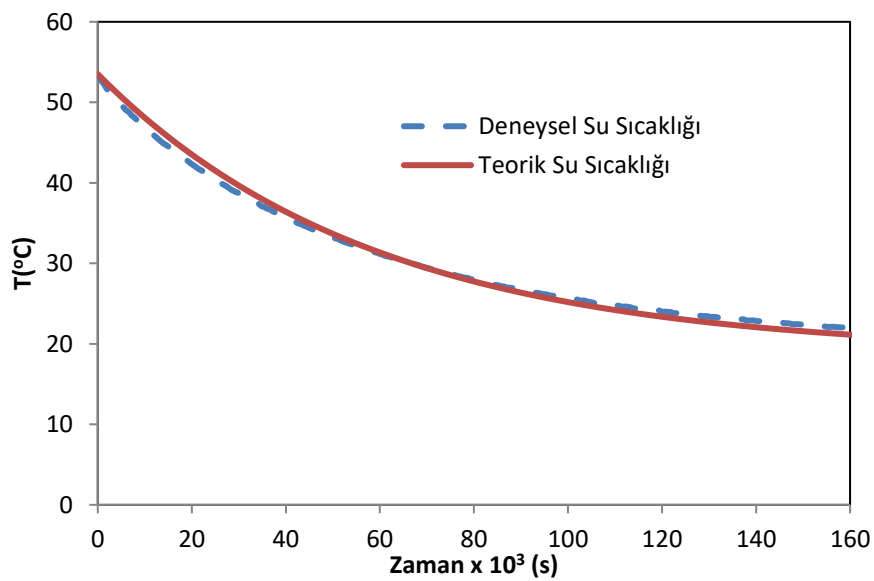
Şekil 4.37. Katkısız kendinden yerleşen beton numunenin toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.38’de gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında katkısız kendinden yerleşen beton numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 12-14 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

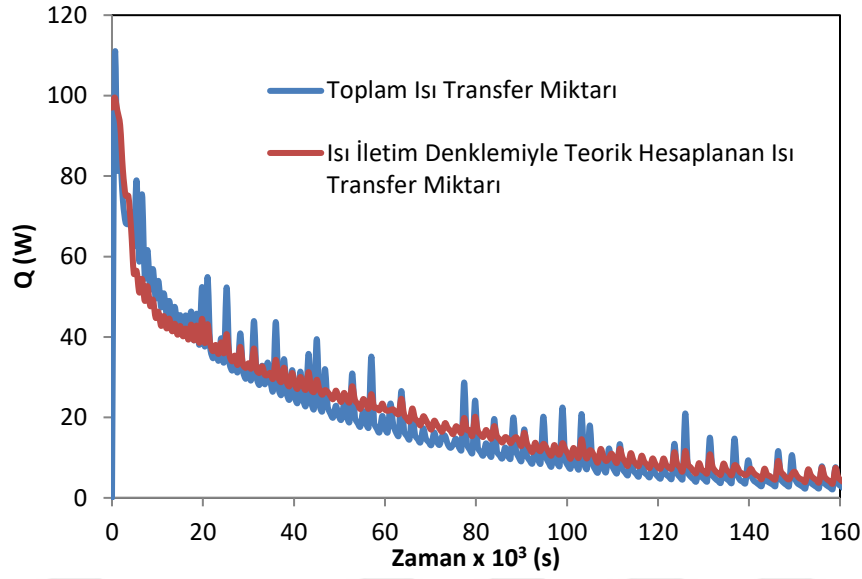


Şekil 4.38. Kendinden yerleşen beton numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Kendinden yerleşen betonun numunelerde atık pet toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.39.'da 3x2 dizilimdeki atık pet katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $9.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.40' ta gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.9 W/mK olarak tespit edilmiştir.

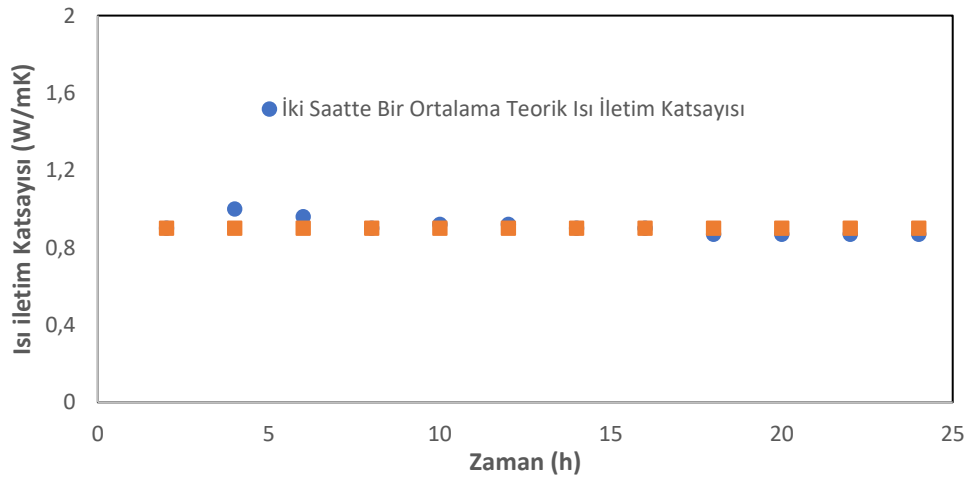


Şekil 4.39. 3x2 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi



Şekil 4.40. 3x2 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı

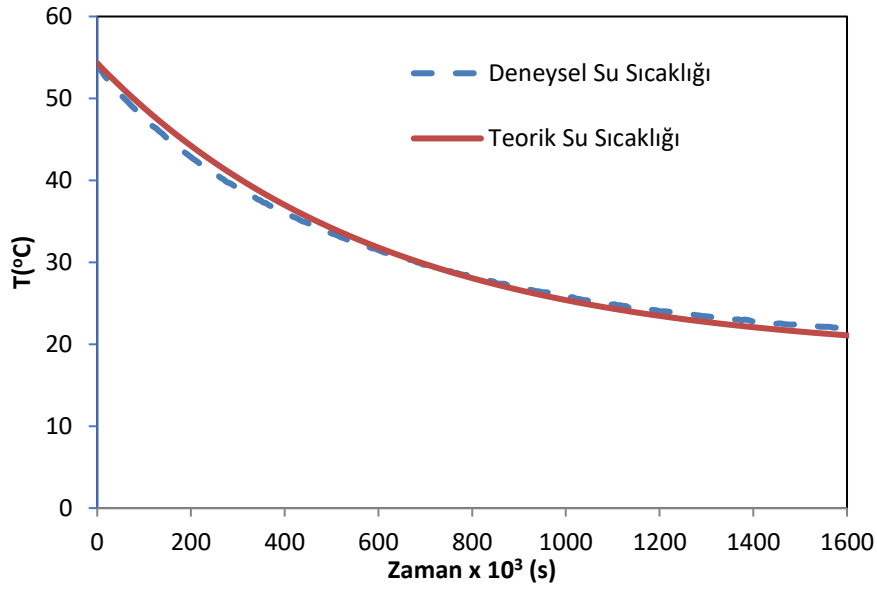
Şekil 4.41’de gösterildiği ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında 3x2 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 6-8 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.



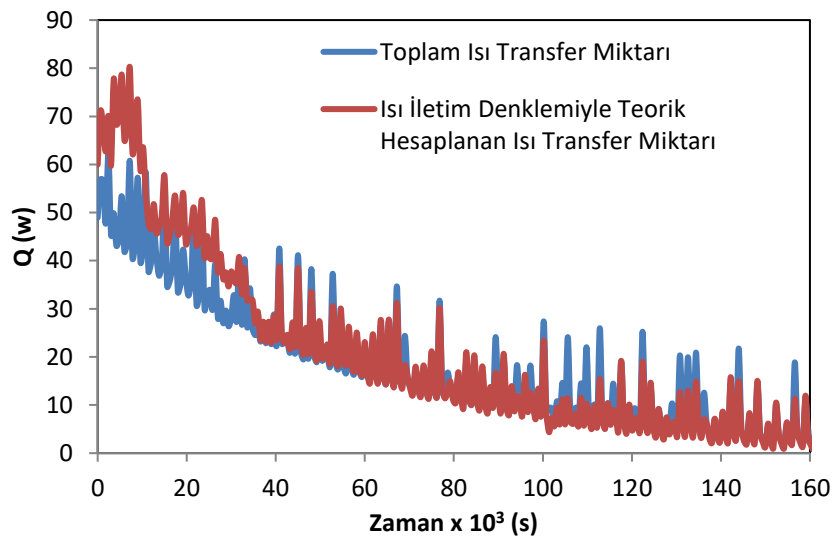
Şekil 4.41. 3x2 Dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Kendinden yerleşen betonun numunelerde atık pet toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu

çözüm yöntemine göre; Şekil 4.42.'de 3x3 dizilimdeki atık pet katkı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $8.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.43 'te gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.8 W/mK olarak tespit edilmiştir.

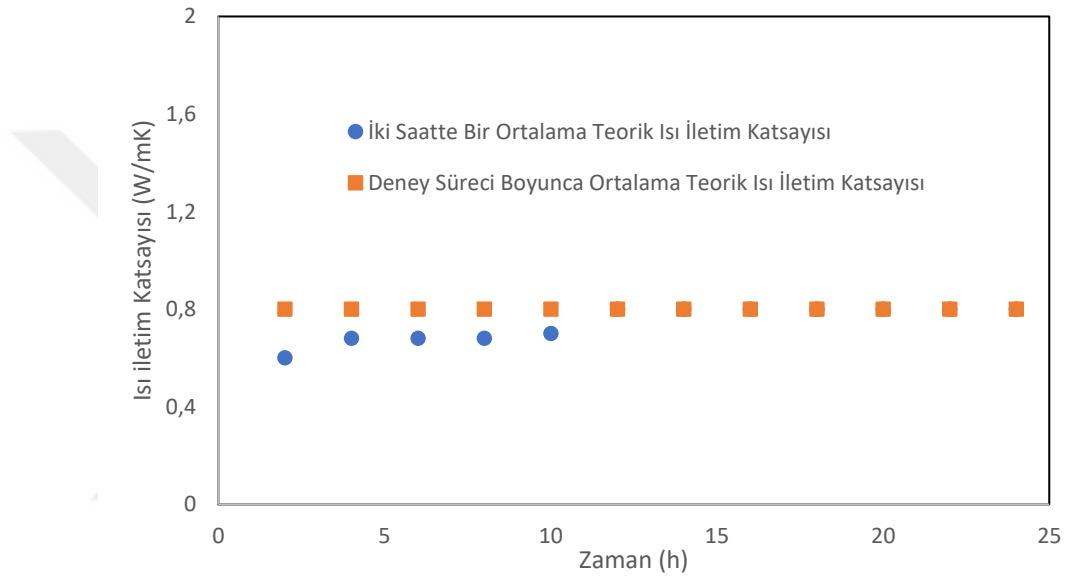


Şekil 4.42. 3x3 Pet katkıli kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi



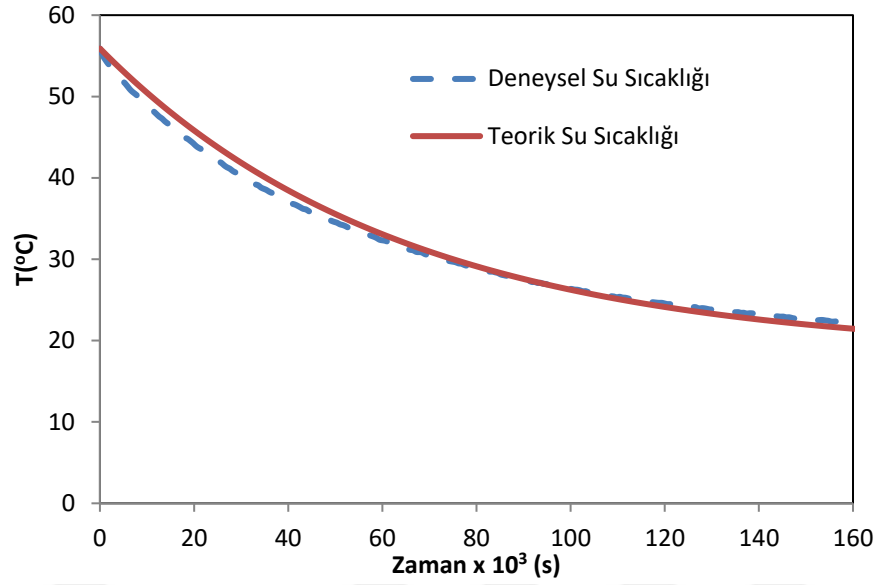
Şekil 4.43. 3x3 Pet katkıli kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.44'te gösterildiği ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında 3x3 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 10-12 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

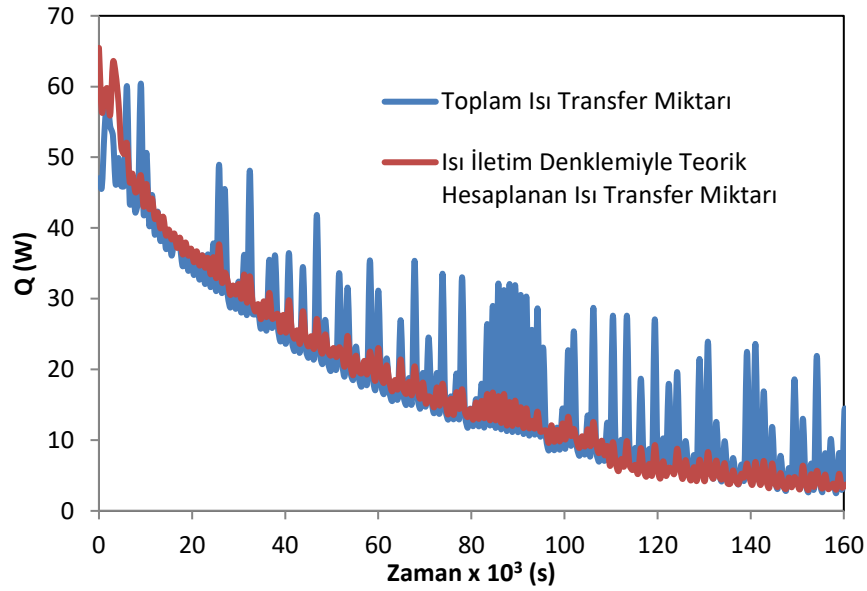


Şekil 4.44. 3x3 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Kendinden yerleşen betonun numunelerde atık pet toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.45.'te 3x4 dizilimdeki atık pet katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $8.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.46 ' da gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.65 W/mK olarak tespit edilmiştir.

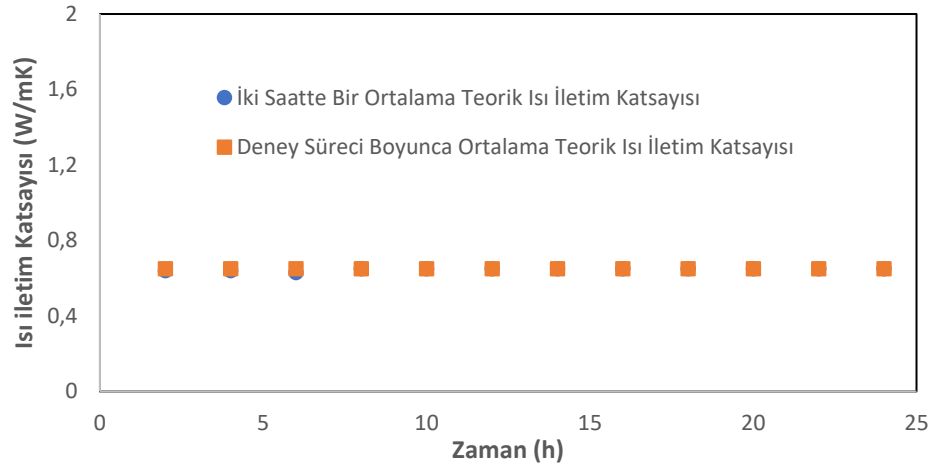


Şekil 4.45. 3x4 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin sıcaklık zaman eğrisi



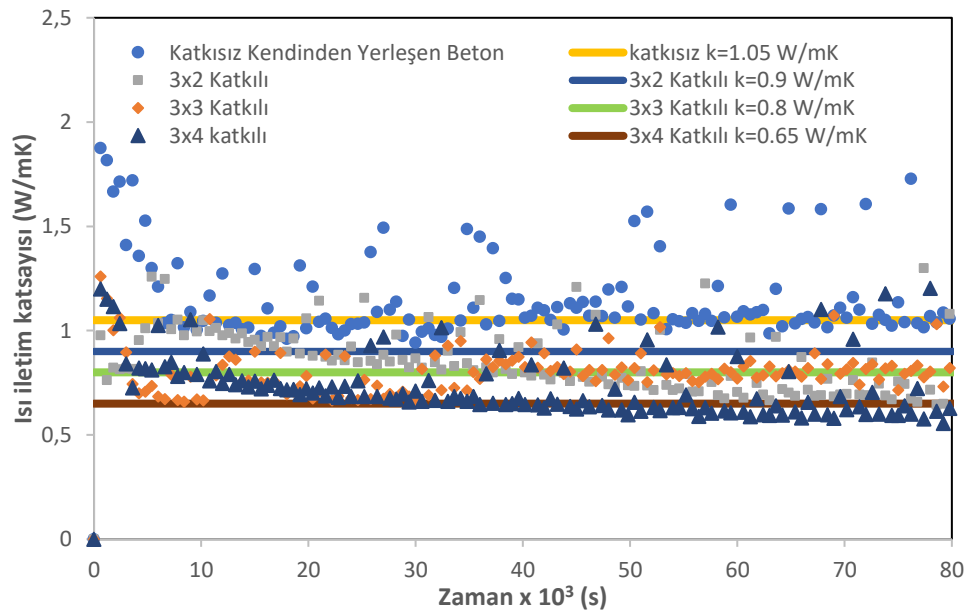
Şekil 4.46. 3x4 Pet katkılı kendinden yerleşen betona numunenin toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.47’de gösterildiği gibi ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler deney süresince bulunan ortalama ısı iletim katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler ışığında 3x4 dizilimdeki atık pet katkılı kendinden yerleşen betona numune için ısı iletim katsayısının tespiti için deney süresinin 6-8 saat içerisinde sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.



Şekil 4.47. 3x4 dizilimdeki atık pet katkıli kendinden yerleşen betona numune için deney sürecinin ölçümler üzerine etkisi

Şekil 4.48’de gösterildiği gibi kendinden yerleşen beton içerisine atık pet katkıli numunelere ait dinamik ısı iletim katsayılarından elde edilen ortalama ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu ısı iletim katsayıları genel ısı iletimi denkleminde yerine konulduğunda her iki numune için Şekil 4.46-4.43-4.40-4.37 ’de görüleceği üzere tam bir uyum içerisinde. Bu grafikte numunelerin daha homojen olduğu durumlarda dinamik ısı iletim katsayısının neredeyse sabit olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.48. Atık pet katkıli kendinden yerleşen betona ait numunelerin dinamik ısı iletim katsayıları

Atık pet katkılı kendinden yerleşen betona ait numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek için öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazı ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Bölüm 3.'te belirtilen aşamalar kullanılarak teste tabi tutulan her dört numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra geliştirilen yöntem ile ısı iletim katsayısı tespit edilerek, ısı iletim katsayısı ölçme cihazıyla elde edilen değerlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.5' te verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde kendinden yerleşen katkısız betonda %3.2, atık pet katkılı 3x2 dizilimdeki %2.2, atık pet katkılı 3x3 dizilimdeki %6.4 ve atık pet katkılı 3x4 dizilimdeki %14 sapma meydana gelmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda atık petlerin ısı iletim katsayısını düşürdüğü gözlemlenmiştir (Ruiz-Herrero ve ark., 2016, Yeşilata ve ark.,2007).

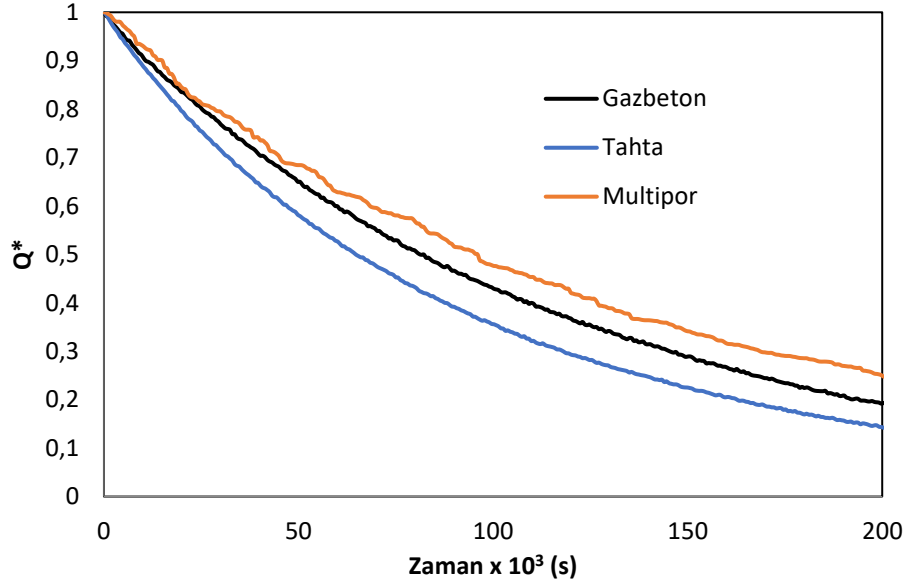
Çizelge 4.5. Atık pet katkılı ve katkısız kendinden yerleşen beton numunelerin ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız kendinden yerleşen beton	1.05	0.9868	6.4
3x2 Katkılı	0.9	0.9201	2.2
3x3 Katkılı	0.8	0.8545	6.4
3x4 Katkılı	0.65	0.7558	14

4.2.5. Geliştirilmiş adyabatik hazne tekniğinde gaz beton, multipor ve tahta malzemelerin ısı özelliklerinin incelenmesi

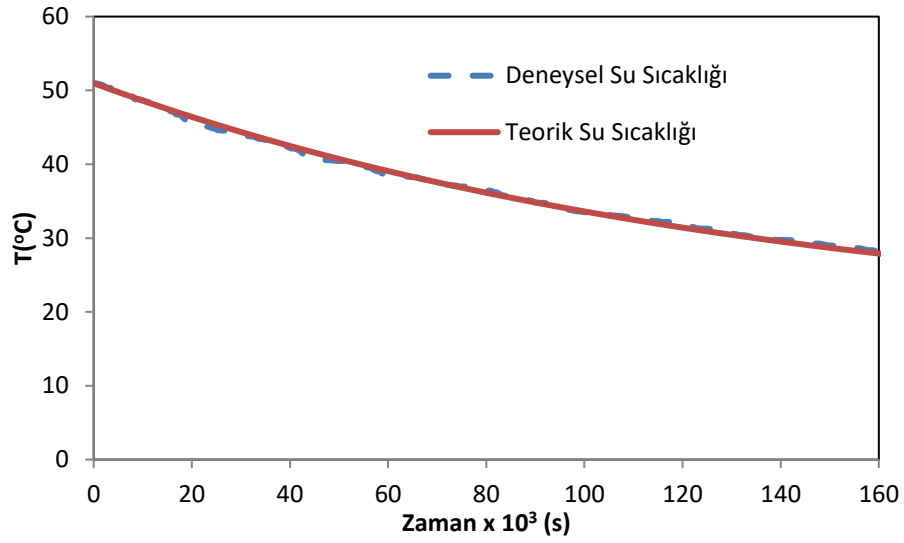
Bu çalışmada ısı iletim katsayıları bilinen 3 farklı numune seçilmiştir. Bu numuneler multipor, gazbeton ve tahtadır. Şekil 4.4'da görüleceği üzere multipor yapı malzemesi kullanıldığında adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı yavaşlamaktadır. Tahta malzemesi ise Multipor malzemeye göre daha hızlı soğumaktadır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan üç numune arasında en yüksek ısı iletim katsayısı tahta, en düşük ısı iletim katsayısı multipor malzemeye aittir. Gaz

beton ve tahta arasında bu kadar çok farkın çıkmasının nedeni gazbeton malzemesinin kalınlığının daha fazla olmasıdır.

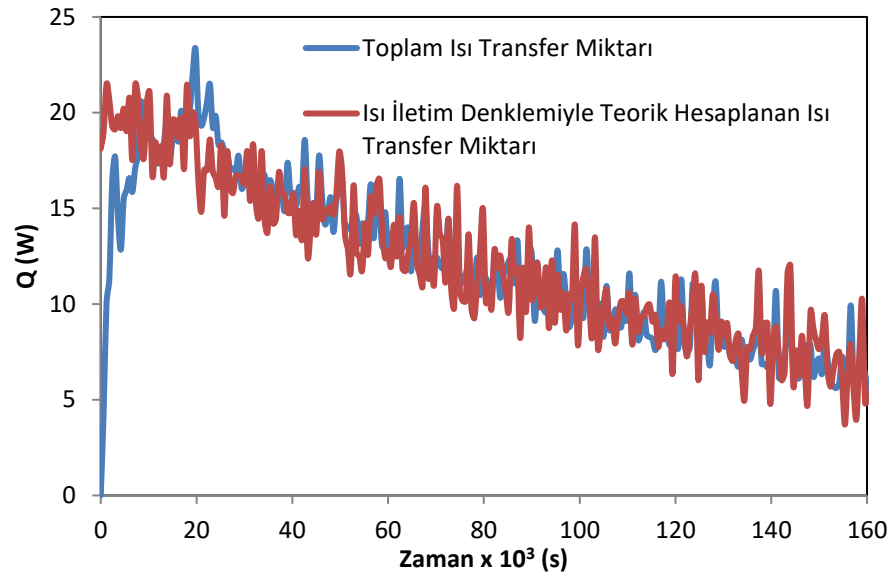


Şekil 4.49. Gazbeton, multipor yapı malzemeleri ve tahta malzemesine ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Multipor yapı malzemesinde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.50.'de Multipor numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan deneysel su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.51 'de gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.11 W/mK olarak tespit edilmiştir.

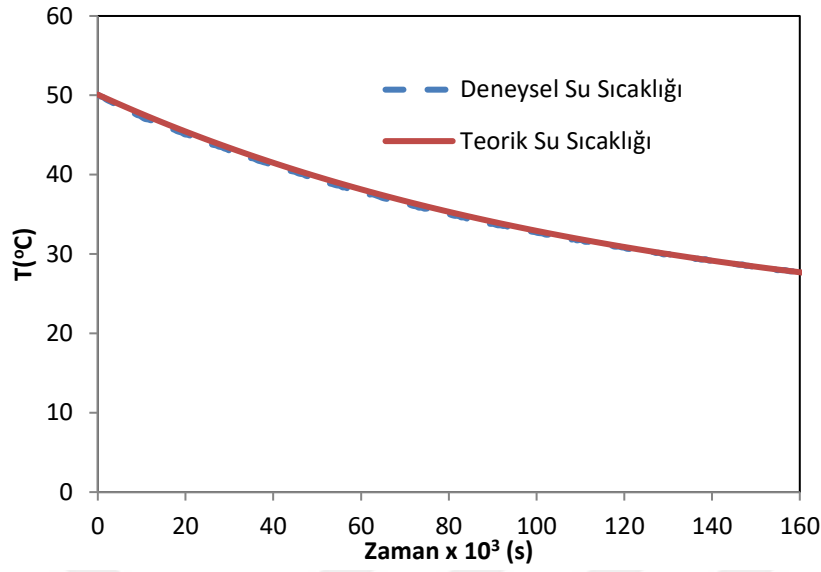


Şekil 4.50. Multipor yapı malzemesinin sıcaklık zaman eğrisi

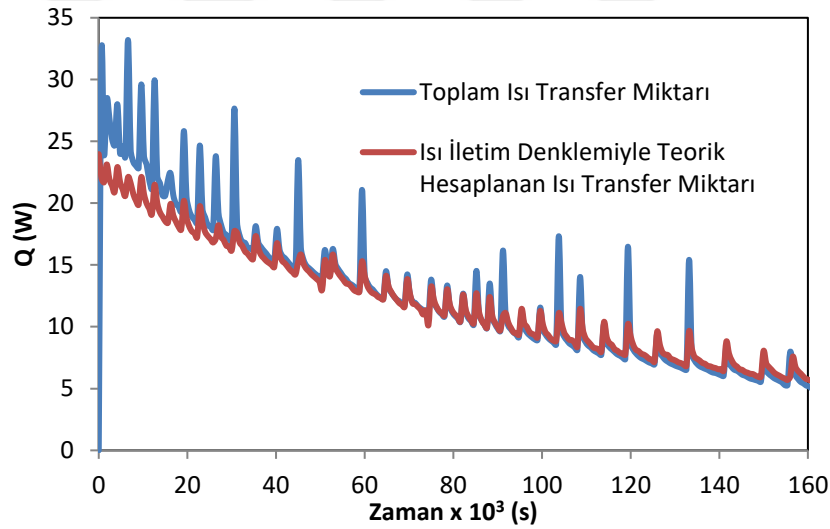


Şekil 4.51. Multipor yapı malzemesinin toplam ısı transfer miktarı

Gazbeton numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.52.'de gazbeton numunesinin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $4.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.53 ' te gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.19 W/mK olarak tespit edilmiştir.



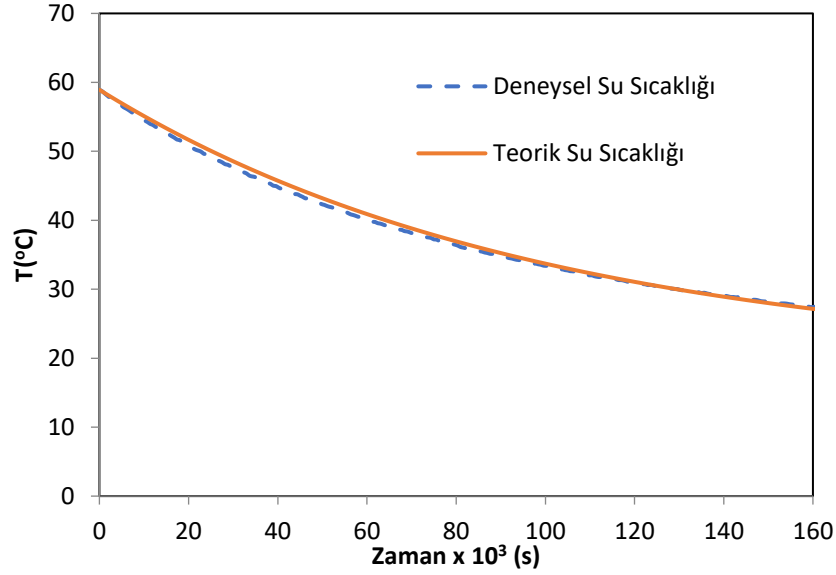
Şekil 4.52. Gazbeton numunenin sıcaklık zaman eğrisi



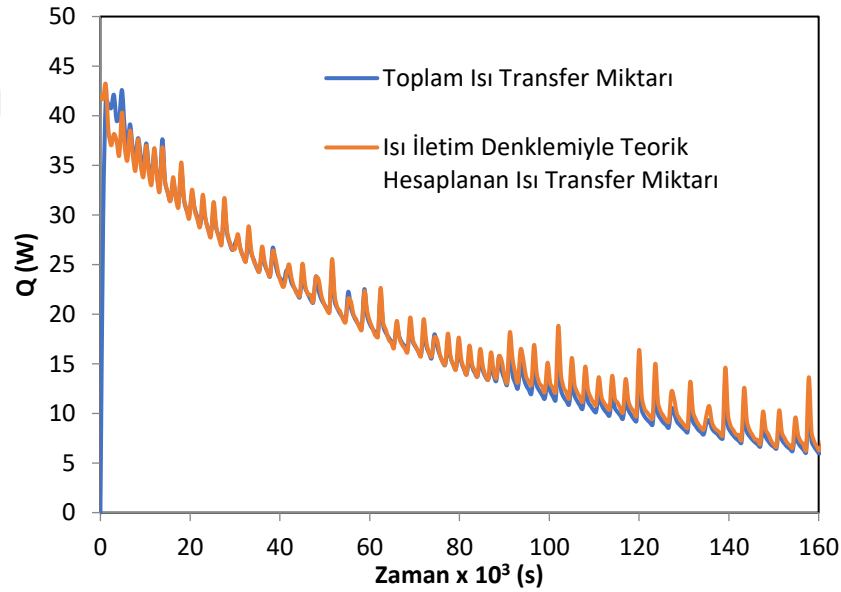
Şekil 4.53. Gazbeton numunenin toplam ısı transfer miktarı

Tahta numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemine göre; Şekil 4.54.'te tahta numunenin sıcaklık zaman eğrisi çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer $5.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış ve Şekil 4.55' te gösterilmiştir. Toplam

ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 0.22 W/mK olarak tespit edilmiştir.



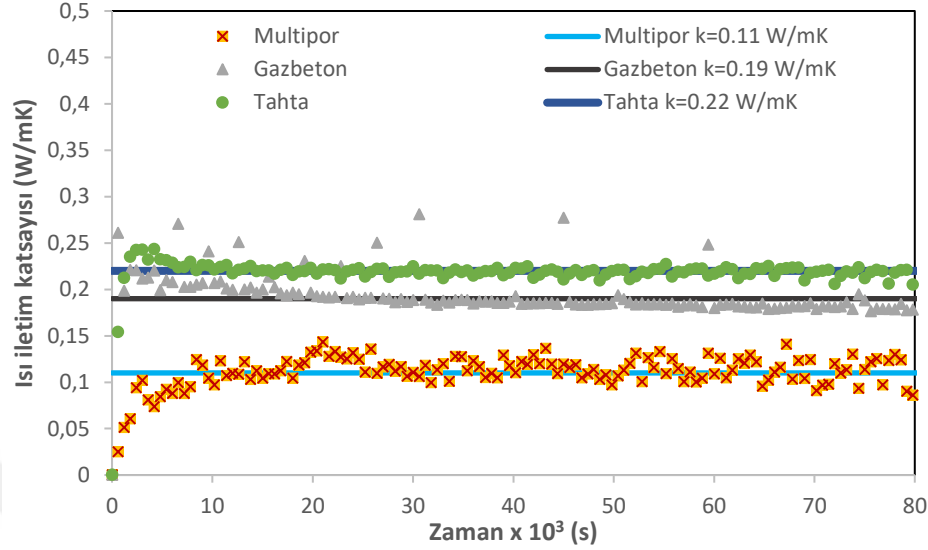
Şekil 4.54. Tahta numunenin sıcaklık zaman eğrisi



Şekil 4.55. Tahta numune için toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.56 'da gösterildiği gibi Multipor, Gazbeton ve tahta numunelere ait dinamik ısı iletim katsayılarından elde edilen ortalama ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu ısı iletim katsayıları genel ısı iletimi denkleminde yerine konulduğunda her üç numune için Şekil 4.55-4.53-4.51 'e göre verilen grafiklerde çok

güzel bir uyum gözükmemektedir. Bu grafikte numunelerin daha homojen olduğu durumlarda dinamik ısı iletim katsayısının neredeyse sabit olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.56. Gazbeton-multipor yapı malzemeleri ve tahta malzemesine ait dinamik ısı iletim katsayıları

Gazbeton, multipor yapı malzemeleri ve tahta malzemesine ait ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek için öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazları ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.6' da verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde multipor yapı malzemesine ait sapma %77, gazbeton yapı malzemesine ait sapma %68 ve tahta malzemesine ait sapma %0.045' tir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde multipor yapı malzemesine ait sapma %50, gazbeton yapı malzemesine ait sapma %47 ve tahta malzemesine ait sapma %35' tir. Katalog değerlerine bakıldığında multipor numunenin ısı iletim katsayısı 0.044 W/mK (URL-3), gaz beton numunenin ısı iletim katsayısı katalog değeri 0.13 W/mK (URL-3), tahta numune (mdf yüzeyi kaplanmış) ise literatürde 0.247 W/mK olarak bulunmuştur (Açık ve Tutuş, 2012). Multipor yapı malzemesi ve gazbeton yapı malzemesinde sapmanın yüksek çıkmasının nedeni kullanılan adyabatik haznenin malzemesinin ısı iletim katsayısının bu malzemelere yakın olmasından kaynaklanmaktadır

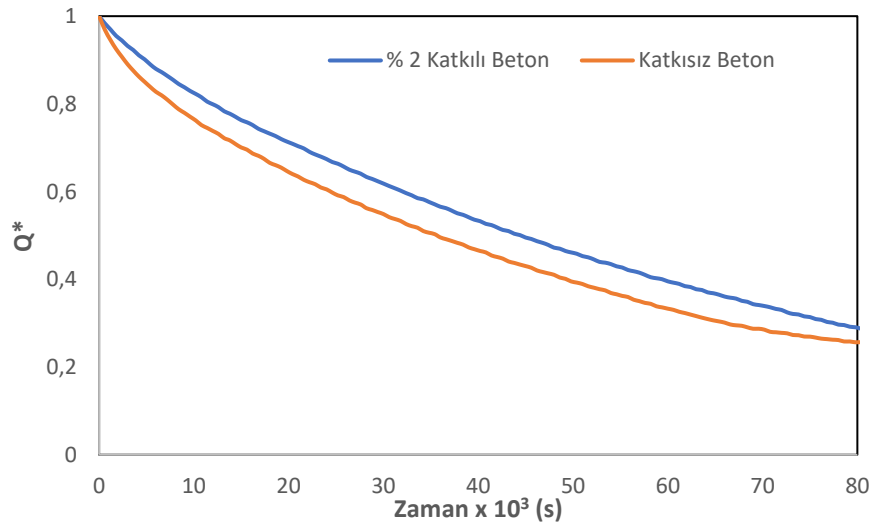
Çizelge 4.6. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Cihaz ile direkt ölçümü (W/mK)	sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Multipor	0.11	0.0621	77	0.07788	50
Gazbeton	0.19	0.1128	68	0.1293	47
Tahta	0.22	0.2199	0.045	0.3338	35

4.2. Palmiye Katkılı Beton Numunelerin Ortam Isıl Özelliklerinin Tespiti

4.2.1. Palmiye katkılı beton numunelerin iç ortam ısıl özellikleri

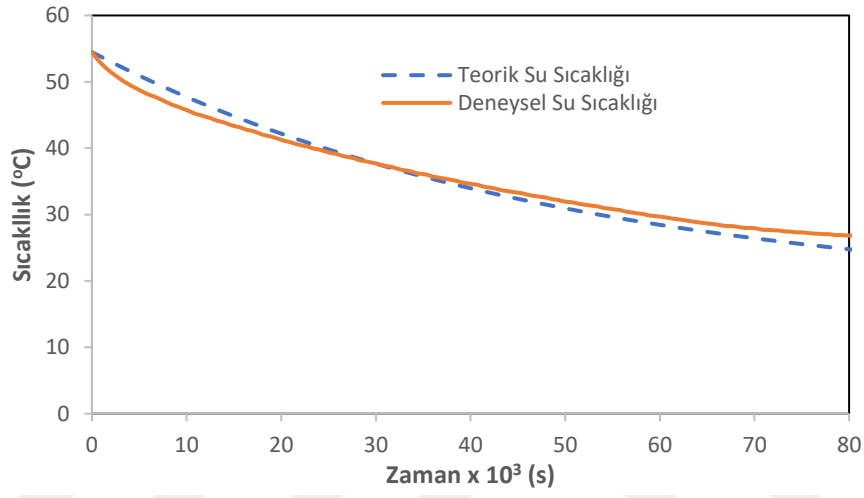
Binaların dış atmosferik özelliklerini ölçmek için palmiye %2 lif katkılı ve katkısız numune 62.5 cm x 62.5 cm x 5 cm ebatlarında dökülmüş ve beton malzeme dış atmosferik şartların oluşturulması için başlangıçta laboratuvar ortamında tankın içerisine 30 kg su kullanılarak sıcaklığı yaklaşık olarak 55 °C'ye getirilmiştir. Daha sonra numuneler tankın üzerine bırakılarak etrafı iyi bir şekilde yalıtılmıştır. Yaklaşık 25 saat süre boyunca deney devam etmiştir. Şekil 4.57'de gösterildiği gibi boyutsuz sıcaklık değişiminde %2 katkılı beton numunenin daha geç soğuduğu buna bağlı olarak katkısız betonun daha çabuk soğuduğu gözlemlenmiştir.



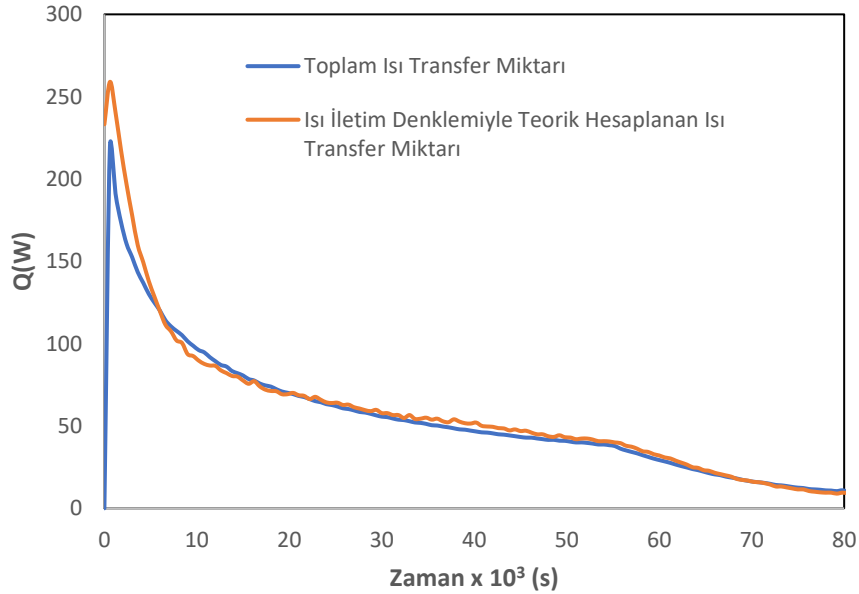
Şekil 4.57. %2 Palmiye katkılı ve katkısız betona ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Şekil 4.58.'de gösterildiği gibi katkısız numunenin sıcaklık zaman eğrisi adyabatik hazne tekniği 1. çözüm yöntemi kullanılarak çizilmiştir. Adyabatik hazne

içerisindeki deneysel su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $7 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenerek toplam ısı transfer miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4.59’ da bulunan toplam ısı transfer miktarı gösterilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.65 W/mK tespit edilmiştir.

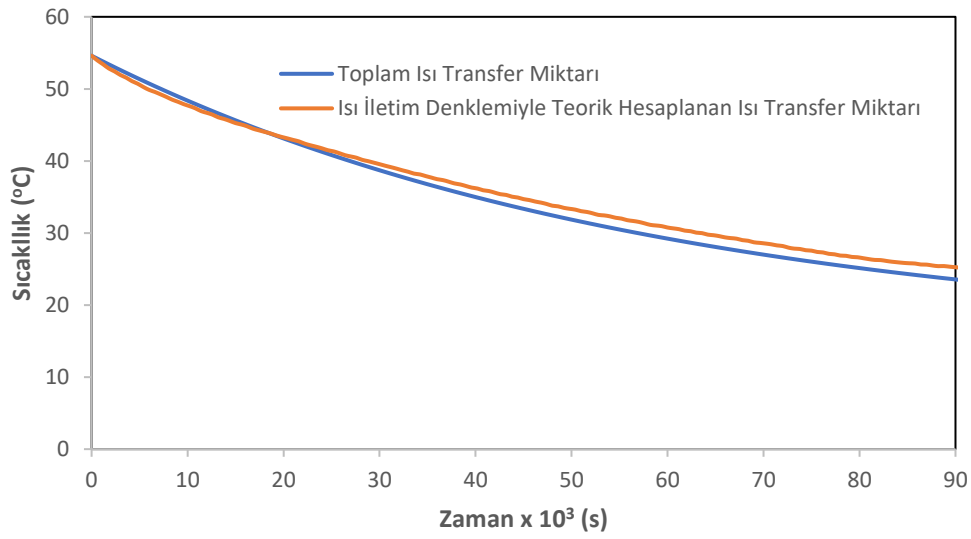


Şekil 4.58. Katkısız beton numunenin sıcaklık zaman eğrisi

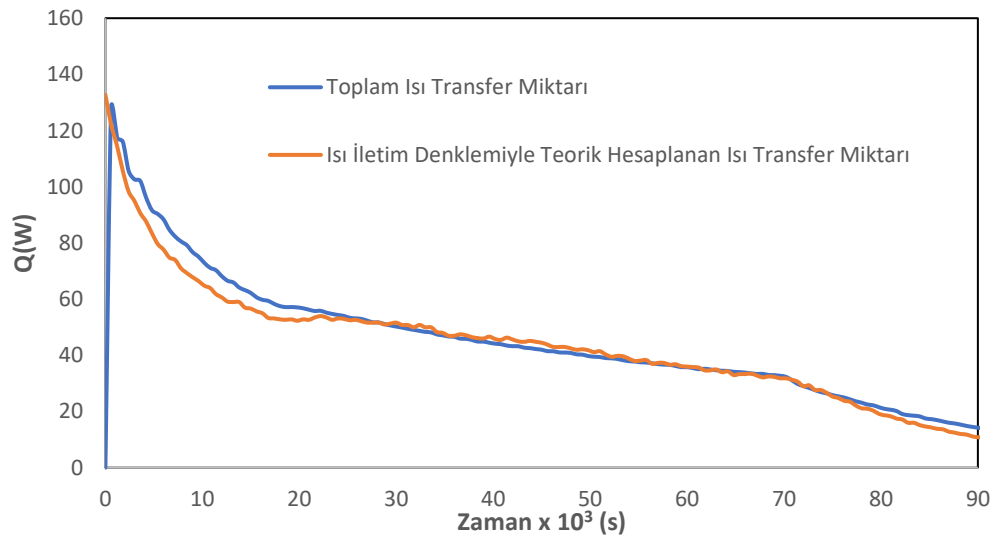


Şekil 4.59. Katkısız beton numunenin toplam ısı transfer miktarı

Şekil 4.60'ta gösterildiği gibi %2 katkılı palmiye lifi katkılı numunenin sıcaklık zaman eğrisi adyabatik hazne tekniği 1. çözüm yöntemi kullanılarak çizilmiştir. Adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayısı $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ belirlenerek toplam ısı transfer miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4.61' de bulunan toplam ısı transfer miktarı verilmiştir. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek ortalama ısı iletim katsayısı 1.3 W/mK tespit edilmiştir.



Şekil 4.60. %2 Katkılı beton numunenin sıcaklık zaman eğrisi



Şekil 4.61. %2 Katkılı beton numunenin toplam ısı transfer miktarı

Adyabatik hazne yönteminde 1. çözüm yöntemi kullanılarak her iki numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra ısı iletim katsayısı ölçme cihazı ile elde edilen değerlerle kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler çizelge 4.7’ de verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 7.21 ve % 2 palmiye lifi katkılı betonda ise % 6.28 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 6.3, % 2 palmiye lifi katkılı betonda ise % 23 sapma meydana gelmektedir.

Çizelge 4.7. Palmiye lifi katkılı ve katkısız büyük numuneler için ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

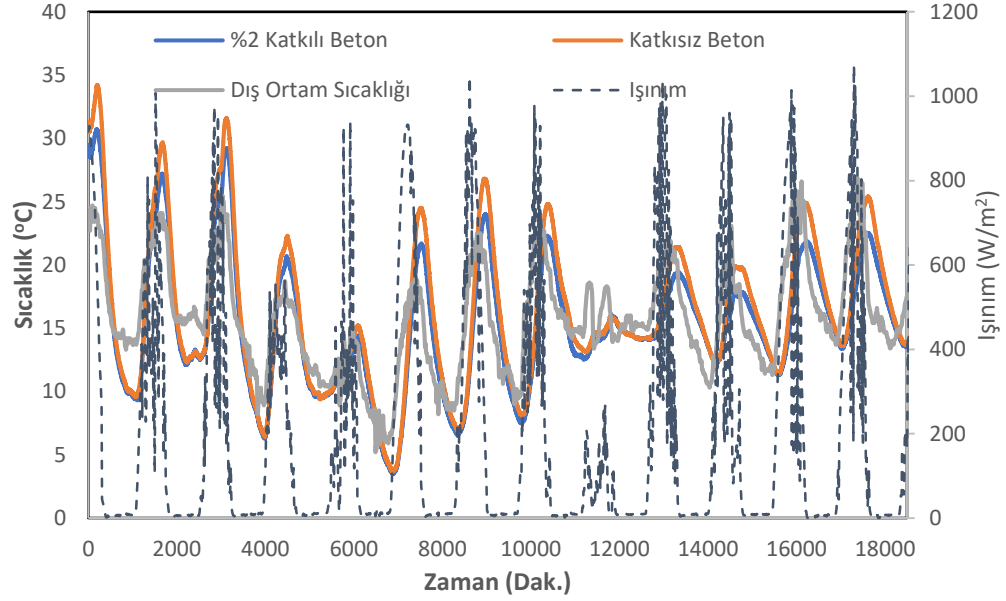
Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi (W/mK)	Cihaz ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)	Disk ısı kaynağı cihazı ile direkt ölçümü (W/mK)	Sapma (%)
Katkısız Beton	1.65	1.5390	7.21	1.551	6.3
Palmiye Lifi %2 Katkılı	1.3	1.3872	6.28	1.053	23

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %2 palmiye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, katkısız betonlarda daha yüksek çıkmıştır.

4.2.2. Dış ortam ısı özellik

Binaların dış ortam iklimik koşullarının incelenmesi için Şekil 3.9’da gösterildiği gibi palmiye ağacı liflerini kullanarak agrega miktarına bağlı olarak Katkısız, %2 katkılı 62.5 cm x 62.5 cm x 5 cm ebatlarında dökülen malzemeler için Şekil 3.7. gösterildiği gibi her tarafı köpükten yapılmış 15 cm kalınlığında 2 tank imal edilerek üzerine dökmüş olduğumuz malzemeler yerleştirilerek dış ortama bırakılmıştır.

İmal edilen tankın alt kısmı, orta kısmına, malzemenin altı, malzemenin orta kısmına, malzemenin üst kısımlarının sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca çevre sıcaklığı ve ışınlam değerleri de ölçülmüştür. Şekil 4.62’de gösterildiği gibi. 05.04.2017 tarihinden başlayarak yaklaşık 13 günlük veriler alınmış ve verilerden de gözüktüğü gibi %2 Katkılı malzemenin sıcaklığı içerisinde daha fazla hapsettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.62. Numunelerin dış ortam atmosferik özelliklerinin zamana bağlı sıcaklık değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında enerji verimli alternatif yapı malzemelerinin ısı performanslarını belirlemek için ilk aşamada, enerji verimli yapı malzemeleri için farklı katkı oranlarında numuneler dökülmüş, dökülen her bir numune yaklaşık olarak iki ay kül havuzunda bırakılmıştır. Daha sonra numunelerin üst tarafı 1 mm çapında matkap ucuyla delinerek ısı özellik ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Bu süre zarfında adyabatik hazne oluşturulmuş ve Kontrol odasının üniform sıcaklık dağılımı deneyler açısından kritik bir öneme sahip olduğundan, sıcaklık dağılımının üniform olduğunu belirlemek için termal kamera ölçümleri alınarak kontrol odasının üniform sıcaklık dağılımı gösterdiği gözlemlenmiştir.

Oluşturulan numunelerin başlangıçta ısı testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu testlerden sonra bulunan ısı iletim katsayıları, standartlaşmış farklı geçici rejim yöntemiyle çalışan sıcak tel ve disk ısı kaynağı yöntemleri ile ısı iletim katsayıları karşılaştırılarak literatürle desteklenmiştir.

Adyabatik hazne tekniğiyle gerçekleştirilen ısı özellik ölçümlerindeki numunelerin ilki; agrega miktarlarına bağlı olarak %1-2 palmiye katkılı ve katkısız betondur. Bu numuneler ilk önce adyabatik hazne tekniğinde ölçümleri alınarak 1. yöntemle çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde başlangıçta elde edilen sıcaklık değerleri boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırmaya göre, palmiye lif katkılı beton numuneler kullanıldığında, adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızının yavaşladığı buna karşı katkı oranı azaldıkça ve katkısız betonda bu hızın yükseldiği gözükmemektedir. Bu kıyaslama, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan üç numune arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı ile %2 palmiye lifi katkılı betona ait olduğu gözlemlenmektedir.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayısının numunelerin katkı oranlarına bağlı olarak (10-9-8.5 W/m²K) düştüğü tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları, katkısız beton 1.53 W/mK, %1 katkılı beton 1.25 W/mK ve %2 katkılı beton 0.9 W/mK olarak bulunmuştur. Ayrıca dinamik ısı iletim katsayıları tespit edilmiş ve ortalama ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması yapılarak her üç numune içinde çok güzel bir uyum gözlemlenmiştir.

Numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazlarıyla (sıcak tel yöntemi, disk ısı kaynağı yöntemi) ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %0.5, %1 palmiye lifi katkılı betonda %13.8 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %35 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda %1.5, % 1 palmiye lifi katkılı betonda %1.03 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %14.5 sapma meydana gelmektedir.

Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %1 ve %2 palmiye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, palmiye lif katkılı betonlarda daha yüksektir. Palmiye lif katkısı numune morfolojisini daha karmaşık/kompozit yapıya sürüklediğinden, söz konusu ticari cihaz ile istenen seviyede ölçüm doğruluğu/hassasiyeti sağlanamamaktadır. Ayrıca ticarileşmiş iki cihaz arasında bile farklı ölçüm sonuçları gözlemlenmiştir. Bu fark literatürde de gözükmemektedir.

Geliştirilen adyabatik hazne yöntemiyle palmiye lifi katkılı betonlarda 2. çözüm yöntemi ile yapılan çalışmada numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel

trendi kontrol etmek amacıyla bir boyutlu ısı iletim denklemi kullanılmıştır. Verilen sınır şartlarına bağlı olarak denklem çözülmüş çözülen denklemde ısı difüzyon katsayısı tespit edilmiştir. Isı iletim katsayısını tespit etmek için, farklı bir yöntemle özgül ısı değerleri tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler ışığında malzemelerin yoğunluklarını da ekleyerek ısı iletim katsayısı bulunmuştur. Adyabatik hazne tekniğinde 2. çözüm yöntemi kullanılarak teste tabi tutulan her üç numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra ısı iletim katsayısı ölçme cihazlarıyla elde edilen değerlerle kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %5.4, %1 palmye lifi katkılı betonda %11.45 ve %2 palmye lifi katkılı betonda ise %12.91 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda %6.4, %1 palmye lifi katkılı betonda %1.66 ve %2 palmye lifi katkılı betonda ise %14.7 sapma meydana gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %1 ve %2 palmye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. 2. çözüm yönteminde ısı iletim denklemiyle ısı difüzyon oranı bulunduğundan, numunelerin ısı iletim katsayısını tespit etmek için, özgül ısı değerine tespit edilmesi gerekmektedir. Buda ayrı bir işlem gerektiğinden dolayı öbür numuneler için 2. çözüm yöntemine uygulanmamıştır.

Adyabatik hazne tekniğiyle gerçekleştirilen ısı özellik ölçümlerindeki numunelerin ikincisi; agrega miktarlarına bağlı olarak talaş katkılı % 5-10-15-20 ve katkısız beton numunelerdir.. Talaş katkılı numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta sıcaklık değeri zamana bağlı olarak boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırma değerleri numunelerin katkı oranlarına göre kıyaslandığında, talaş katkılı beton numunelerin katkı oranına bağlı olarak adyabatik hazneden, kontrol

odasına ısının transfer hızı yavaşlamaktadır. Yani daha yüksek oranda talaş katkısı ısı transfer hızını yavaşlatmaktadır. Bu boyutsuzlaştırma numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan beş numunenin arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı %20 talaş katkılı betona aittir.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayısının numunelerin katkı oranlarına bağlı olarak (10-9-8.5-8-7 W/m²K) düştüğü tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları, katkısız beton 1.53 W/mK, %5 katkılı beton 1.05 W/mK, %10 katkılı beton 0.7 W/mK, %15 katkılı beton 0.5 W/mK ve %20 katkılı beton 0.41 W/mK olarak bulunmuştur. Ayrıca dinamik ısı iletim katsayıları tespit edilmiş ve ortalama ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması yapılarak her beş numune içinde çok güzel bir uyum gözlemlenmiştir.

Talaş katkılı numuneler için ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek için öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazlarıyla (sıcak tel yöntemi, disk ısı kaynağı yöntemi) ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %2.5, %5 talaş katkılı betonda %0.3, %10 talaş katkılı betonda ise %26.7, %15 talaş katkılı betonda ise %21, %20 talaş katkılı betonda ise %31.8 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda %1.3, %5 talaş katkılı betonda %6.6, %10 talaş katkılı betonda ise %5.7, %15 talaş katkılı betonda ise %6.2, %20 talaş katkılı betonda ise %45 sapma meydana gelmektedir. Elde edilen sonuçlar kapsamında talaş katkılı numuneler için önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %5-10-15-20 talaş katkılı beton numunelerin ısı iletim

katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Bazı sapma değerlerin yüksek çıkmasının nedeni ısı iletim katsayı değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, talaş katkılı betonlarda daha yüksektir.

Adyabatik hazne tekniğiyle gerçekleştirilen ısı özellik ölçümlerindeki numunelerin üçüncüsü; faz değiştiren malzeme olarak parafin katkılı ve katkısız beton numunelerdir. Parafin katkılı numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta sıcaklık değeri zamana bağlı olarak boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırma değerleri kıyaslandığında faz değiştiren (parafin) malzeme katkılı betonun, katkısız beton numuneye göre adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı daha yavaştır.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayısının numunelerin katkı oranlarına bağlı olarak (10-9.5 W/m²K) düştüğü tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları, katkısız beton 1.53 W/mK ve parafin katkılı beton 1.3 W/mK bulunmuştur. Ayrıca dinamik ısı iletim katsayıları tespit edilmiş ve ortalama ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması yapılarak her üç numune içinde çok güzel bir uyum gözlemlenmiştir.

Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda %0.5, ve katkılı numunede %16.2 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda %1.5, ve katkılı numunede %12 sapma meydana gelmektedir.

Adyabatik hazne tekniğiyle gerçekleştirilen ısı özellik ölçümlerindeki numunelerin dördüncüsü malzeme olarak kendinden yerleşen betonun içerisindeki atık pet katkıları numunelerdir. Bu numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta sıcaklık değeri zamana bağlı olarak boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırma değerleri kıyaslandığında atık pet katkıları beton numuneler kullanıldığında adyabatik hazneden, kontrol odasına ısının transfer hızı yavaşlamaktadır. Yani daha yüksek oranda atık pet katkısı ısı transfer hızını yavaşlatmaktadır. Bu boyutsuzlaştırma, numunelerin ısı davranışı arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmaktadır.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayısının numunelerin diziliş oranlarına bağlı olarak ($10-9.25-8.5-8.4 \text{ W/m}^2\text{K}$) düştüğü tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları, katkısız beton 1.05 W/mK , 3x2 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen beton 0.9 W/mK , 3x3 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen beton 0.8 W/mK ve 3x4 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen beton 0.65 W/mK bulunmuştur. Numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan dört numunenin arasında en yüksek ısı iletim katsayısı katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı 3x4 atık pet katkıları dizilişli kendinden yerleşen betona aittir. Değerlerde bazı sapmaların çıkmasının nedeni katkı oranlarının homojen yapıda olmamasındandır. Ayrıca dinamik ısı iletim katsayıları tespit edilmiş ve ortalama ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması yapılarak her üç numune içinde çok güzel bir uyum gözlemlenmiştir.

Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 3.2, 3x2 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen beton numunede % 2.2, 3x3 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen betonda %6.4 ve 3x4 dizilişli pet katkıları kendinden yerleşen betonda %14 sapma meydana gelmektedir.

Adyabatik hazne tekniğiyle gerçekleştirilen ısı özellik ölçümlerindeki numunelerin sonuncuları, gaz beton malzemesi, mantolamada kullanılan multipor malzemesi ve ısı iletim katsayısı düşük olan tahta numunesinin testleri yapılmıştır. Bu numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta sıcaklık değeri zamana bağlı olarak boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırma değerleri kıyaslandığında mantolamada kullanılan multipor malzemenin sıcaklığı daha fazla hapsettiği, daha sonra gaz beton malzemesinin hapsettiği ve en sonunda tahta malzemenin en az hapsettiği gözlemlenmiştir. Bu boyutsuzlaştırma, numunelerin ısı davranışı olarak niteliksel kıyaslama olanağı sunmaktadır. Gaz beton ve tahta arasında bu kadar çok farkın çıkmasının nedeni gaz beton malzemesinin kalınlığı daha fazladır.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayıları, multipor malzemesi 4 W/m²K, gaz beton yapı malzemesi 4.5 ve tahta malzemesi 5.5 W/m²K olarak tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları Multipor yapı malzemesinde 0.11 W/mK, gazbeton yapı malzemesinde 0.19 W/mK ve tahta malzemesinde 0.22 W/mK' dir. Ayrıca dinamik ısı iletim katsayıları tespit edilmiş ve ortalama ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması yapılarak her üç numune içinde çok güzel bir uyum gözlemlenmiştir.

Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı olan sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde multipor yapı malzemesinde %77, gazbeton yapı malzemesine ait sapma %68 ve tahta malzemesine ait sapma %0.045' tir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde multipor yapı malzemesine ait sapma %50, gazbeton yapı malzemesine ait sapma %47 ve tahta malzemesine ait sapma %35' tir. Multipor yapı malzemesi ve gazbeton yapı malzemesinde sapmanın yüksek çıkmasının nedeni kullanılan adyabatik haznenin malzemesinin ısı iletim katsayısının bu malzemelere yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bir

boyutlu ısı transferi tam olarak gerçekleşmemekte üç boyutlu bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu tür malzemelerin ısı iletim katsayısını adyabatik haznede ölçülebilmesi için yalıtım kalınlığının artırılması ve adyabatik haznenin malzemesinin daha düşük bir ısı iletim katsayısına sahip malzemeden seçilmesi gerekmektedir.

Bütün numuneler için; ısı iletim katsayılarının deney süresi boyunca daha kısa zamanda gerçekleşmesi için iki saatte bir ortalama ısı transfer katsayısı 24 saat boyunca hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde adyabatik hazne tekniğinde yapılan ölçümlerde ısı iletim katsayısının tespiti için 48 saat boyunca deney yapılmasının gerekmediği yaklaşık olarak 10-12 saatlik deney sürecinin sonlandırılmasında herhangi bir sıkıntı gözükmemektedir.

Son aşama olarak binaların dış atmosferik özelliklerini ölçmek için palmiye %2 lif katkılı ve katkısız numune 62.5 cm x 62.5 cm x 5 cm ebatlarında dökülmüş ve beton malzeme dış atmosferik şartların oluşturulması için başlangıçta laboratuvar ortamında tankın içerisine 30 kg su kullanılarak sıcaklığı yaklaşık olarak 55 °C'ye getirilmiştir. Daha sonra numuneler tankın üzerine bırakılarak etrafı iyi bir şekilde yalıtılmıştır. Yaklaşık 25 saat süre boyunca deney devam etmiştir. palmiye katkılı numunelerde toplam ısı transfer katsayısını tespit etmek için adyabatik hazne tekniğinde 1. çözüm yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta sıcaklık değeri zamana bağlı olarak boyutsuzlaştırılmıştır. Bu boyutsuzlaştırma değerleri numunelerin katkı oranlarına göre kıyaslandığında, %2 katkılı beton numunenin daha geç soğuduğu buna bağlı olarak katkısız betonun daha çabuk soğuduğu gözlemlenmiştir.

Aynı numunelerin adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı ile teorik olarak bulunan su sıcaklıkları örtüştürülerek toplam ısı transfer katsayıları tespit edilmiştir. Bulunan bu katsayılardan toplam ısı transfer katsayısının numunelerin katkı oranlarına bağlı olarak (7-6 W/m²K) düştüğü tespit edilmiştir. Belirlenen bu katsayıya göre, toplam ısı transfer miktarı hesaplanmış. Toplam ısı transfer miktarı ile numunenin üzerinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan birbirlerine eşitlenerek numunenin ortalama ısı iletim katsayıları, katkısız beton 1.65 W/mK, ve %2 katkılı beton 1.3 W/mK dir. Tespit edilen bu ısı iletim katsayıları genel ısı iletimi

denkleminde yerine konulduğunda her üç numune içinde çok güzel bir uyum gözükmetedir.

Numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek öncelikle numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazlarıyla (sıcak tel yöntemi, disk ısı kaynağı yöntemi) ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile sıcak tel yöntemi ile yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 7.21 ve % 2 palmiye lifi katkılı betonda ise % 6.28 sapma meydana gelmektedir. Disk ısı kaynağı yöntemiyle yapılan ölçümlerde katkısız betonda % 6.3, % 2 palmiye lifi katkılı betonda ise % 23 sapma meydana gelmektedir.

Dış ortam özelliklerinin ölçümü için imal edilen tankın alt kısmı, orta kısmı, malzemenin altı, malzemenin orta kısmı, malzemenin üst kısımlarının sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca çevre sıcaklığı ve ışıınım değerleri de ölçülmüştür. Yaklaşık 13 günlük veriler alınmış ve verilerden de gözüktüğü gibi %2 Katkılı malzemenin sıcaklığı içerisinde daha fazla hapsedtiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Atık katkılı malzemelerin betonun ısı iletkenliğini düşürmedeki etkisi

Numune adı	Adyabatik hazne yöntemi ısı iletim katsayısı (W/mK)	Katkısız numuneye göre ısı iletim katsayısında meydana gelen iyileşme (%)
Talaş %5 Katkılı	1.05	48
Talaş %10 Katkılı	0.7	83
Talaş %15 Katkılı	0.5	103
Talaş %20 Katkılı	0.4	113
Palmiye Lifi %1 Katkılı	1.25	28
Palmiye Lifi %2 Katkılı	0.9	63
Prafin Katkılı	1.33	20
3x2 Atık pet dizilişli	0.9	15
3x3 Atık pet dizilişli	0.8	25
3x4 Atık pet dizilişli	0.65	40

Ayrıca bu çalışma kapsamında farklı atık katkılı malzemelerin betonun ısı iletkenliğini düşürmedeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.1’de gösterildiği gibi adyabatik hazne yöntemi ile bulunan ısı iletim katsayıları, katkısız beton numuneye

göre ısı iletim katsayısında meydana gelen değişim hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre %20 talaş katkılı numunenin %113, %2 Palmiye lifi katkılı numunenin %63, parafin katkılı numunenin %20 ve kendinden yerleşen beton içerisine yerleştirilmiş 3x4 atık pet katkılı numune %40 iyileşme gerçekleşmektedir.

Sonuç olarak elde edilen veriler ışığında; bu çalışmada önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sunulan yöntemin en çarpıcı özelliği karmaşık/kompozit morfolojik yapıya sahip yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını mutlak olarak hassas bir biçimde belirleyebilmesidir. Kompozit yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını belirlemeye yönelik standartlaştırılmış bir cihaz ticari pazarda bulunmadığından, homojen morfolojiye sahip malzemelerin ölçümünü yapan cihazlar kullanılarak yaklaşık doğruluktaki sonuçlara ulaşılmaktadır. Farklı iki yöntem ile yapılan ölçümlerde bile fark çıkması deneysel olarak çalıştığımız yöntemin güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

5.2. Öneriler

Kompozit yapı malzemelerinin ısı performansının belirlenmesinde önemli zorluklar söz konusudur. Halihazırda homojen yapıya sahip malzemeler için kullanılan cihazlarla ölçümler yapılmakta ve düşük doğruluktaki sonuçlarla yetinilmektedir. Söz konusu bu ticari cihazların temin edilme maliyeti de çok yüksektir (kullanılan yönteme bağlı olarak 30,000 – 100,000 USD aralığında). Ülkemizde yapı malzemeleri eğitim ve araştırma çalışmaları yürüten birçok laboratuvar bu dezavantajlardan etkilenmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen özgün bir yöntem vasıtasıyla, adyabatik hazne tekniği kullanılarak, kompozit yapı malzemelerinin mutlak ısı iletim katsayısı tespit edilebilmektedir. Önerilen yöntem vasıtasıyla ısı performans davranışı birbirine yakın üç numunelerin ısı iletim katsayıları yüksek bir hassasiyetle belirlenebilmiştir. Kullanılan test düzeneğinin basit imal edilebilmesi ve ekonomik olması, önerilen yöntemin diğer önemli avantajları arasındadır. Mevcut yöntemin standart bir ölçüm

cihazına dönüştürülebilme potansiyeli yüksek olup, bu konudaki çalışmalarımız devam etmektedir. Belirtilen hedefe ulaşıldığı takdirde ithal ölçüm cihazlarına bağımlılık azalabileceği gibi, kompozit yapı malzemelerinin ölçümleri daha yüksek doğrulukta yapılabilecektir.

Bu kapsamda bu yöntemin daha da geliştirilmesi için aşağıda verilen öneriler dikkate alınmalıdır.

- a) Bu yöntem için 40 cm x 40 cm ebatları yerine daha düşük ebatlarda da deneysel çalışmalar yapılarak yöntemin daha küçük numunelerde de çalışma imkânı sağlanmalıdır.
- b) Yapılan ölçümlerde 3 cm kalınlığından fazla olan numunelerin herhangi bir etkisinin olmadığı ve ısı iletim katsayısının tespitinde malzeme kalınlığı yaklaşık olarak 2 cm alınmıştır. Bu nedenden dolayı numuneler en fazla 3 cm dökülmeli ve numunelerin iç tarafındaki sıcaklık ölçüm yeri numunenin alt tarafından itibaren 2 cm olmalıdır.
- c) Malzeme kalınlığı olarak minimum 2 cm alınarak deneyler yapılmalıdır. 2 cm aşağısındakilerde yanlış sonuç verebilmektedir.
- d) Isı iletim katsayısı 0.2 W/mK altındaki değerlerde hata payı çok artmaktadır. O yüzden bu değer altındaki değerlerin ölçümünde dikkat edilmelidir. Yada adyabatik haznenin malzemesinin ısı iletim katsayısı daha düşük seçilmelidir.
- e) Bu yöntemin piyasaya kazandırılabilmesi için bir yazılım yazılarak kart oluşturulmalı ve bu kartın üzerinden sıcaklık değerleri bu kart üzerinden okunarak ihtiyaç duyulan veriler için kullanılan dataloger daha ucuz fiyata mal edilmelidir.
- f) Deney yapılırken ısı odanın ısı davranışı iyi bir şekilde kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- AÇIK, C. ve TUTUŞ, A., 2012. Çeşitli Sentetik Yüzey Kaplamalarının Lif levhanın Isı İletkenliği Üzerine Etkisi. *Ormancılık Dergisi*, 8(2):1-8.
- ADITYA, L., MAHLIA, T.M.I., RISMANCHI, B., NG, H.M. HASAN, M.H., METSELAAR, H.S.C., MURAZA, O. and ADITIYA, H.B., 2017. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 1352–1365.
- AKTACİR, A., YEŞİLATA, B. ve AÇIKER Ş.M., 2000. Binalarda yalıtım kullanımının ekonomik analizi üzerine bir çalışma. 3. Gap Mühendislik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 24-26 Mayıs, Şanlıurfa s.65-70.
- ANDRIANOV, I., DANISHEVSKYI, V. and TOKARZEWSKI, S., 1996. Two-point quasifractional approximants for effective conductivity of a simple cubic lattice of spheres. *J. Heat Mass Transfer*, 39-11:2349-2352.
- ASTM, 2000a. Standard test method for steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus. *Annual Book of ASTM Standards (04.06)*, C 177-197.
- ASTM, 2000b. Standard test method for steady state thermal performance of building assemblies by means of a guarded hot box. *Annual Book of ASTM Standards (04.06)*, C 236-289.
- ASTM, 2015. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. C518 – 15.
- ASTM, 2013. Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus. C177 – 13.
- ASTM, 2011. Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus. C1363 – 11.
- ASTM, 2001. Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method. E 1461–01.
- BAL, H., JANNOT, Y., QUENETTE, N., CHENU, A., and GAYE, S., 2012. Water content dependence of the porosity, density and thermal capacity of laterite based bricks with millet waste additive. *Construction and Building Materials*, 31:144–150.
- BOHÁČ, V., GUSTAVSSON, M., KUBIČÁR, Ľ. and VRETENÁR, V., 2003. Measurements of building materials by transient methods. *Proceedings of the Meeting of the Thermophysical Society-Working Group of the Slovak Physical Society*, s.58–66.
- BOUGUERRA, A., AIT-MOKHTAR, A., AMIRI, O. and DIOP, M. B., 2001. Measurement of thermal conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 28-8:1065-1078.
- BURATTI, C., BELLONI, E., LUNGHI L., BORRI, A., CASTORI, G. and CORRADI, M., 2016. Mechanical characterization and thermal conductivity measurements using of a new 'small hot-box' apparatus: innovative insulating reinforced coatings analysis. *Journal of Building Engineering*, 7:63–70.

- BYRNEA, A., BYRNE, G. and ROBINSON, A., 2017. Compact facility for testing steady and transient thermal performance of building walls. *Energy and Buildings*, 152:602–614.
- CARSON, J.K., LOVATT, S.J., TANNER, D.J. and CLELAND, A.C., 2003. An analysis of the influence of material structure on the effective thermal conductivity of theoretical porous materials using finite element simulations. *International Journal of Refrigeration*, 26:873–880.
- CERNUSCHI, F., BISON, P.G. FIGARI, A., MARINETTI S. and GRINZATO, E., 2004. Thermal diffusivity measurements by photothermal and thermographic techniques. Article in *International Journal of Thermophysics*, 25-2:439–457.
- CEZAIIRLIYAN, A., MAGLIC, K.D. and PELETSKY V.E. (Eds), 1984. Compendium of thermophysical property measurement methods. Vol.1: survey of measurement techniques. New York: Plenum Press.1:789p.
- CONINK, R. D., 1984. Modulated electron beam thermal diffusivity equipment, *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*, Volume 2, chapter 11, 315-346p.
- CZICHOS, H., SAITO, T. and SMITH, L.(EDS.), 2011. *Springer Handbook of Metrology and Testing*. Springer Handbook, Berlin Heidelberg, 1229p.
- ÇELİK, B., 2013. Farklı su emme kapasitesine sahip agregaların kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 67s.
- ÇENGEL, Y. 2014. Isı ve kütle transferleri pratik bir yaklaşım. Güven Kitabevi, İzmir, 873s.
- DE PONTE, F. and KLARSFELD, S., 2002. Conductivité thermique des isolants. *Techniques de l'ingénieur*. <http://www.techniques-ingenieur.fr/basedocumentaire/mesures-analyses-h1/methodesthermiques-d-analyse-42384210/conductivitethermique-des-isolants-r2930>, (Accessed April 4th 2012).
- DEMIRCI, A., GÖRGÜLÜ, K., and DURUTÜRK, Y.S., 2004. Thermal conductivity of rocks and its variation with uniaxial and triaxial stress. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41-7:1133-1138.
- DICKINSON, H. C. and VAN DUSEN, M. S., 1916. The testing of thermal insulators. *The American Society of Refrigeration Engineers*, 3:5-25.
- DOS SANTOS, W. N., 2008. Advances on the hot wire technique. *Journal of the European Ceramic Society*, 28-1:15-20.
- DUBOIS, S. and LEBEAU, F., 2015. Design construction and validation of a guarded hot plate apparatus for thermal conductivity measurement of high thickness crop-based specimens. *Materials and Structures*, 48:407–421.
- DIXON, C., STRONG, M. R. and ZHANG, S. M., 2000. Transient plane source technique for measuring thermal properties of silicone materials used in electronic assemblie. *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*, 23: 4, Fourth Quarter.
- EITHUN, C. F., 2012. Development of a thermal conductivity apparatus: Analysis and design. Master of Science in Product Design and Manufacturing, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 76p.

- FLORI, M., PUȚAN V. and VÎLCEANU, L., 2017. Using the heat flow plate method for determining thermal conductivity of building materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1-8
- FRANCO, A., 2007. An apparatus for the routine measurement of thermal conductivity of materials, for building application based on a transient hot-wire method. Applied Thermal Engineering, 27:2495-2504.
- FRAYSSINET, L., MERLIERA, L., KUZNIK, F., HUBERT, J. L., MILLIEZ, M. and ROUX J. J. 2018. Modeling the heating and cooling energy demand of urban buildings at city scale. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81:2318–2327.
- GOLDSMID H. J., 2010. Introduction to thermoelectricity. Springer Series in Material Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 242p.
- GRACIA, A.D., BARRENECHE, C., FARIDC, M. M. and CABEZA, L. F., 2011. New equipment for testing steady and transient thermal performance of multilayered building envelopes with PCM. Energy and Buildings 43:3704–3709
- GUSTAFSSON, S.E., 1987. Transient Hot Strip Techniques For Measuring Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity, The Rigaku Journal, 4-1-2:10-28.
- GUSTAFSSON, S.E., 1967. A non-steady-state method of measuring the thermal conductivity of transparent liquids. Zeitschrift für Naturforschung A, 22(7): 1005–1011.
- GUSTAFSSON, S.E., KARAWACKIF E. and KHAN, M N., 1979. Transient hot-strip method for simultaneously measuring thermal conductivity and thermal diffusivity of solids and fluids. J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 12, Printed in Great Britain.
- IGAZ, R., KRIST'AK, L., RUZIAK, I., GAJTANSKA, M., and KUCERKA, M., 2017. Thermophysical properties of osb boards versus equilibrium moisture content, BioResources, 12(4):8106-8118.
- INCROPERA, F. P., 2003. Isı ve kütle geçişinin temelleri, Literatür Yayıncılık, 960s.
- İNCE, R., 2008. Bazı yağlı tohumların ısısal özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 72s.
- İŞİKER, Y. ve YEŞİLATA, B., 2017. Yapı malzemelerinin ısı iletim katsayılarının tespitine yönelik yeni bir yöntem geliştirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2(1):14-21.
- İŞİKER, Y., TURGUT, P. ve YEŞİLATA, B., 2007. Hurda otomobil lastiği katkılı betonlarda geçici rejimde ısısal özellik ölçümü. ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Cilt 1 Kayseri, s.395-400.
- JENSEN, C., XING C., FOLSOM, C., BAN, H. and PHILLIP, J., 2012. Design and validation of a high-temperature comparative thermal-conductivity measurement system. International Journal of Thermophysics, 33:311–329
- KALEM, V., 2003. (1-x)TeO₂-xGeO₂ (x=0.10, 0.20, 0.30) camların ısısal analizi ve mikroyapısal incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fenbilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 60s.
- KOCÍ, V., MADERA, J., JERMAN, M., TRNÍK, A. and CERNÝ, R., 2014. Determination of the equivalent thermal conductivity of complex material systems with large-scale heterogeneities. International Journal of Thermal Sciences, 86:365-373.

- KUBICAR L., BOHAC, V. and VRETENAR V., 2002. Transient methods for the measurement of thermophysical properties: The pulse transient method. *High Temperatures -High Pressures*, 34:505-514
- KUMAR, R, 2017. Numerical Analysis, <http://nptel.ac.in/courses/122104019/numerical-analysis/Rathish-kumar/rathish-ct31/fratnode5.html> (Erişim tarihi: 02/01/2017)
- LI, R., WEI, X, LI, H. and ZHU J., 2017. Experimental study on ventilation and thermal performance of exterior sandwich wall based on hot box method. *Procedia Engineering*, 205:2771–2778
- LUCKMULLER, N., REDGROVE J. and KUBICAR, L.,2004. Measurement of thermal conductivity with the needle probe. *High Temperatures - High Pressures*, 35-36:127-138.
- LUO, C., MOGHTADERI, B., HANDS, S., and PAGE, A., 2011. Determining the thermal capacitance, conductivity and the convective heat transfer coefficient of a brick wall by annually monitored temperatures and total heat fluxes. *Energy and Buildings*, 43- 2–3:379–385.
- MADHUSUDANA, C.V., 2014. Thermal Contact Conductance, chapter 5, Springer International Publishing Switzerland, 260p.
- MAHANTA, N. K. and ABRAMSON, A. R., 2010. The dual-mode heat flow meter technique: A versatile method for characterizing thermal conductivity. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53:5581–5586.
- MARTINS, V.M., BRASSE, G., DOUALAN, J.L., BRAUD, A., CAMY, P., MESSIAS, D.N., CATUNDA, T., and MONCORGÉ R., 2014. Thermal conductivity of Nd³⁺ and Yb³⁺ doped laser materials measured by using the thermal lens technique. *Optical Materials*, 37:211–213.
- MOHSENIN, N. N., 1980. Thermal properties of food and agricultural materials. Gordon and Breach Science Publishers Inc., New York. 407s.
- PUTNAM, S.A., 2007. Thermal probes of nanoparticle interfaces: thermos diffusion and thermal conductivity of nanoparticle suspensions. *Materials Science and Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana*, Doctor Thesis, 209s.
- PAIVA, A., PEREIRA, S., SÁ, A., CRUZ, D., VARUM, H., and PINTO, J., 2012. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particle boards. *Energy and Buildings* 45:274–279.
- PARKER, W. J., JENKINS, R. J., BUTLER, C. P., and ABBOTT, G. L., 1961. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity, *Journal of Applied Physics*, 32-9:1679-1684.
- RAUT, A.N. and GOMEZ, C.P., 2016. Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder. *Construction and Building Materials*, 126:476–483
- RAZAVI, S. M. A. and TAGHIZADEH, M., 2007. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, Temperature and Variety. *Journal of Food Engineering*, 79:158-167.
- RIDES, M., MORIKAWA, J., HALLDAHL, L., HAY, B., LOBO, H., DAWSON, A. and ALLEN, C., 2009. Intercomparison of thermal conductivity and thermal diffusivity methods for plastics. *Polymer Testing*, 28:480–489.
- ROBERT, R. and ZARR, P.E., 2001. A history of testing heat insulators at the national institute of standards and technology. Building and Fire Research Laboratory

- National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Reprinted from ASHRAE Transactions, 107-2:1-11.
- ROBINSON, A.J., LESAGE, F.J., REILLY, A., MCGRANAGHAN, G., BYRNE, G., O'HEGARTY, R. and KINNANE O., 2017. A new transient method for determining thermal properties of wallsections. *Energy and Buildings*, 42:139–146.
- RUIZ-HERRERO, J. L., NIETO, D.V., LÓPEZ-GIL, A., ARRANZ, A., FERNÁNDEZ, A., LORENZANA, A., MERINO, S., DE SAJA, J.A., and RODRÍGUEZ-PÉREZ, M.A., 2016. Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste. *Construction and Building Materials*, 104:298–310.
- RUUSKA, T., VINHA, J. and KIVIOJA, H., 2017. Measuring thermal conductivity and specific heat capacity values of inhomogeneous materials with a heat flow meter apparatus. *Journal of Building Engineering*, 9:135–141
- SANTOS, W.N., MUMMER, Y.P., and WALLWORK, A., 2005. Thermal diffusivity of polymers by the laserflash technique, *Polymer Testing* 24:628–634.
- SASSINE, E., 2016. A practical method for in-situ thermal characterization of walls. *Case Studies in Thermal Engineering*, 8:84–93.
- SEKHU, K. S. and SINGH, P., 2015. Various methods for measuring thermal conductivity-a review. *IJRDO-Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1-5: 86-91.
- SFS EN 10456: 2007. Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
- SHARMA, R.K., GANESAN, P., TYAGI, V.V., METSELAAR, H.S.C. and SANDARAN, S.C. 2015. Developments in organic solid–liquid phase change materials and their applications in thermal energy storage. *Energy Conversion and Management* 95:193–228.
- STACEY, C., PARFITT, M. J., SIMPKIN, A. J., and WU, J., 2014. Design of a guarded hot plate for measuring thin specimens of polymer and composite materials. 32nd International Thermal Conductivity Conference 20th International Thermal Expansion Symposium April 27–May 1, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, p.129-135.
- TSE825, 2008. Binalarda Isi Yalıtım Kuralları, 72s.
- TURGUT, P. and GUMUSCU, M., 2013. Thermo-elastic properties of artificial limestone bricks with wood sawdust. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 7(4): 235-239.
- TURGUT, P., İŞİKER, Y. ve YEŞİLATA, B., 2007. Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü–2: Hurda lastik katkılı betonlar için ısı özellik ölçümü, *Mühendis ve Makina*, 48-565:33–39.
- TURGUT, P., and YEŞİLATA, B., 2008. Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks, *Energy and Buildings*, 40-5:679-688.
- TURGUT, P., ve YEŞİLATA, B., 2005. Atık Lastik katılmış harçların Isı Yalıtım Özelliği. *Politeknik Dergisi*, 8-2:173-177.
- URL-1, Lasercomp thermal conductivity instruments katalog, <http://www.tainstruments.com/wp-content/uploads/BROCH-LC-2015-EN.pdf> (Erişim tarihi: 27/03/2018)

- URL-2, KEM quick thermal conductivity meter katalog, <http://www.kyoto-kem.com/en/pdf/catalog/QTm-500.pdf> (Erişim tarihi: 27/03/2018).
- URL-3, Multipor Mantolama Sistemi, katalogu, <http://ytong.com.tr/dosyalar/user/Multipor-Mantolama.pdf> (Erişim tarihi: 27/03/2018).
- URL-4, Gazbeton Teknik özellikler http://www.betongyapi.com/k/12-blok_urunler.html (Erişim tarihi: 27/03/2018).
- UVSLØKK, S., CHRISTIAN SCHLEMMINGER, C. and ASPHAUG, S., 2017. Thermal insulation performance of reflective foils in floor cavities - Hot box measurements and calculations. *Energy Procedia* 132:333–338
- VILLANUEVA, EP., 1997. Thermal contact conductance. The University of New South Wales, PhD thesis, 238p.
- VIVANCOS, J. L., SOTO J., PEREZ, I., ROS-LIS, J. V. and MAÑEZ, R. M., 2009. A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks. *Building and Environment*, 44:1047–1052.
- VOZAR, L. and HOHENAUER W., 2002. Flash method of measuring the thermal diffusivity. A review. Presented at the 16th European Conference on Thermophysical Properties, Imperial College, London, England, 1-4 September, s. 253-264.
- WALL, J., 2009. Transient heat conduction. Analytical Methods – Notes <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~wallj2/CHT/Notes/ch05.pdf> (Erişim tarihi: 02/01/2017).
- WANG, X., HU, H. and XU, X., 2001. Photo-acoustic measurement of thermal conductivity of thin films and bulk materials. *Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer*, 123:138-144.
- WECHSLER A.E., 1992. The Probe Method for Measurement of Thermal Conductivity. *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*, 2:161-185.
- YEřILATA, B., İřIKER, Y., and TURGUT, P., 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*, 23-5:1878-1882.
- YEřILATA, B. and TURGUT, P., 2007. A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials. *Energy and Buildings*, 39-9:1027-1034.
- YEřILATA B., TURGUT P. ve İşIKER Y., 2007. Kompozit yapı malzemelerinde ısııl özellik ölçümü–1: Mevcut ölçüm tekniklerinin irdelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 48-654:2–9.
- YEřILATA, B., TURGUT, P. ve İşIKER Y., 2006. Atık polimerik malzeme katkılı betonun yalıtım özelliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniğİ Dergisi*, 26-1:15-20.
- ZHAO, D., QIAN, X., GU, X., JAJA, S.A. and YANG, R., 2016. Measurement techniques for thermal conductivity and interfacial thermal conductance of bulk and thin film materials. *Journal of Electronic Packaging*, 138-4:1-19.
- ZHU, Y., 2016. Heat-loss modified Angstrom method for simultaneous measurements of thermal diffusivity and conductivity of graphite sheets: The origins of heat loss in Angstrom method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92:784–791

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf İŞİKER
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Mardin-1980
Telefon : 05324834595
Faks :
e-mail : yusuf47@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mardin Lisesi, Merkez, Mardin	1997
Üniversite	: Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	2003
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	2007
Doktora	: Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005	Harran Üniversitesi Mühendislik Fak.	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

İŞİKER, Y. ve YEŞİLATA, B., 2017. Yapı Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarının Tespitine Yönelik Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2(1):14-21. (Doktora Tezinden Yapılmıştır)