

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİÜRETAN KÖPÜKLERİN NEM
DİFÜZYONU İLE ISI İLETİM KATSAYISI
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslı SOYTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Temmuz 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİÜRETAN KÖPÜKLERİN NEM
DİFÜZYONU İLE ISI İLETİM KATSAYISI
DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

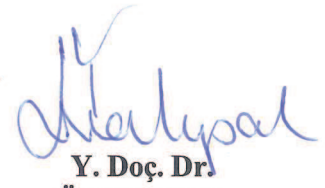
Aslı SOYTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Bu tez 19.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

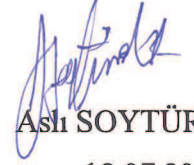

Doç. Dr.
Mustafa ÖZDEMİR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Cenk ÇELİK
Üye


Y. Doç. Dr.
Ünal UYSAL
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde her hangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Aslı SOYTÜRK

19.07.2016

TEŞEKKÜR

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen, beni yüreklendiren değerli aileme, yüksek lisans çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Mustafa Özdemir'e, lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen, ısı iletim katsayısı ölçümleri konusunda bilgilerini benimle paylaşan değerli hocam Y. Doç. Dr. Ünal Uysal'a, deneysel çalışmalarımı destekleyen başta Tırsan Treyler Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Ömer Çetin Nuhoglu olmak üzere tüm Tırsan Treyler çalışanlarına, deney düzeneğinin kurulması ve deneylerin takibinde desteklerini esirgemeyen başta Tırsan Treyler Test ve Doğrulama Yöneticisi Sayın Latif Koyuncu olmak üzere tüm Test ve Doğrulama ekibine, desteklerini esirgemeyen Tırsan Treyler Ar-Ge Koordinatörü Sayın Tugay Yılmaz'a ve Ar-Ge Uzmanı, Sayın Şenol Öztürk'e, yüksek lisans ve tez hazırlama çalışmalarımın her aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, maddi manevi desteğini esirgemeyen, beni yüreklendiren, değerli abim, Ar-Ge Müdürü Sayın Volkan Akıncı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Poliüretan Köpükler.....	1
1.2. Poliüretan Köpüklerin Frigorifik Araçlarda Kullanılması.....	5
1.2.1. Frigorifik araçlarda kullanılan sandviç paneller.....	8
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
2.1. PU Köpükerin Isı İletim Katsayısı Değişimleri.....	12
2.2. PU Köpülerdeki Nem Difüzyonu Çalışmaları.....	16
BÖLÜM 2.	
TEORİ VE MATEMATİKSEL MODEL.....	19
3.1. Isı İletimi	19
3.2. Matematiksel Model.....	22
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEMLER.....	26

4.1. Gravimetrik Yöntem ile Nem Miktarının Belirlenmesi.....	26
4.2. Isı İletim Katsayısı Ölçümü.....	27
4.3. Sıcaklık Gradyeninin Belirlenmesi.....	29
4.4. Deney Düzenegi	31
4.4.1. Deney düzenegi ekipmanları	33
4.4.2. Deney numunelerinin hazırlanması	34
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR.....	36
5.1. 1. Zaman Dilimi Sonuçları	36
5.1.1. 1. Zaman dilimi nem miktarı artışı ölçüm sonuçları	36
5.1.2. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları.....	37
5.1.3. 1. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları	38
5.1.4. 1. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranı hesaplamaları	38
5.2. 2. Zaman Dilimi Sonuçları	41
5.2.1. 2. Zaman dilimi nem miktarı artışı ölçüm sonuçları	41
5.2.2. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları.....	42
5.2.3. 2. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları	42
5.2.4. 2. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranı hesaplamaları	43
5.3. Efektif Hesaplamalar ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	45
5.3.1. Kütle artış miktarlarının karşılaştırılması	46
5.3.2. Isı iletim katsayısı karşılaştırılması	47
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ATP	: Bozulabilir gıda maddelerinin uluslararası taşımacılığı ve taşımalarda özel araçlar kullanımı anlaşması
ABS	: Alkonitril bütan sitren
BM	: Birleşmiş milletler
CTP	: Cam takviyeli polyester
EPS	: Genleştirilmiş polistren
FDM	: Faz değıştiren madde
FG	: Fiberglas
FRC	: C sınıfı frigorifik treyler
HACCP	: Kritik kontrol noktalarında analiz ve tedbir
k	: Isı iletim katsayısı, W/mK
R	: Kuru PU alanı oranı
1-R	: PU içerisindeki nemli alan oranı
m	: PU kütle artış miktarı
PE	: Poliester
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür
VARTM	: Vakum destekli reçine transfer yöntemi
Q	: Isı, W

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İzosiyanatların kimyasal formülü [1].....	1
Şekil 1.2. Poliüretan oluşumu [1].....	1
Şekil 1.3. Köpük ve levha halinde üretilmiş poliüretan ürünler [5].....	2
Şekil 1.4. Boru şeklinde üretilen poliüretan ürünler [5].....	2
Şekil 1.5. Aerosol şeklinde poliüretan köpükler [5]	2
Şekil 1.6. Poliüretan köpüğünün sandviç panel uygulaması [5]	3
Şekil 1.7. PU Köpüklerin yoğunluğa bağlı ısı iletim katsayısı değişimi [15].....	3
Şekil 1.8. Gıda taşımacılığı şeması [8]	5
Şekil 1.9. Soğuk zincir taşımacılığı şeması [9].....	7
Şekil 1.10. Frigorifik araçlar [10]	8
Şekil 1.11. Sandviç panel yapısı [13].....	8
Şekil 1.12. Sandviç panel üretim yöntemi [12].....	9
Şekil 1.13. CTP katmanlı PU sandviç panel [10]	10
Şekil 1.14. Poliüretan köpüklerin gözenek yapısı [10]	10
Şekil 1.15. Poliüretan köpükteki nem difüzyonu [11]	10
Şekil 1.16. Frigorifik araçlarda kullanılan sandviç panel [11].....	11
Şekil 2.1. Çalışma modeli [14].....	12
Şekil 2.2. Isı iletim katsayısı değişimi [14].....	13
Şekil 2.3. Nümerik model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması [14].....	13
Şekil 2.4. Işınımın ısı akısına ve ısı iletim katsayısına etkisi [14]	14
Şekil 2.5. Hücre boyutuna bağlı PU köpüğün ısı iletim katsayısı değişimi [16] ..	14
Şekil 2.6. Sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değişimi [16].....	15
Şekil 2.7. FDM deney düzeneği ve deney sonuçları [17,18]	16
Şekil 2.8. ASTM B 117 deney düzeneği [19]	17
Şekil 2.9. Deney sonuçları [19].....	17
Şekil 2.10. Deney sonuçları ve simülasyon çözümü [19]	18

Şekil 2.11. Çok katmanlı duvarda sıcaklık ve buhar difüzyonu gradyeni [21].....	18
Şekil 3.1. Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi.....	19
Şekil 3.2. Çok katmanlı tek boyutlu duvarda ısı iletimi.....	20
Şekil 3.3. $t=0$ anındaki nem modeli	22
Şekil 3.4. $t=t$ anındaki nem modeli	22
Şekil 3.5. $t= \infty$ anındaki nem modeli	23
Şekil 3.6. İki bölgeye ayrılan numunede ısı iletimi	23
Şekil 4.1. Gravimetri yöntemi ölçümlerinde kullanılan hassas tartı	26
Şekil 4.2. Gravimetrik yöntem ile nem miktarı ölçümü.....	27
Şekil 4.3. TPS2500S sınır şartları	28
Şekil 4.4. TPS2500S cihazı ile ısı iletim katsayısı ölçümleri [22].....	28
Şekil 4.5. TPS2500S cihazı ölçüm probu [22].....	28
Şekil 4.6. Termal çiftlerin deney numunesine yerleştirilmesi	29
Şekil 4.7. J Tipi termal çift.....	30
Şekil 4.8. Termal çiftler, veri toplama sistemi ve bilgisayar bağlantısı.....	30
Şekil 4.9. Dali'08 yazılımı ile verilerin kayıt altına alınması.....	31
Şekil 4.10. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	32
Şekil 4.11. Deney odası görünüşü.....	32
Şekil 4.12. Deneylerde kullanılan nemlendirme cihazı ve ısıtıcı.....	33
Şekil 4.13. Deneylerde kullanılan yatay derin dondurucu	33
Şekil 4.14. Deney numunesi şematik görünüşü	34
Şekil 4.15. Numunelerin derin dondurucuya yerleştirilmesi	34
Şekil 5.1. 1. Zaman dilimi kütle artışı sonuçları	36
Şekil 5.2. 1. Zaman dilimi kütle artışı doğru denklemi.....	37
Şekil 5.3. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı hesaplama sonuçları	37
Şekil 5.4. 1. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni sonuçları.....	38
Şekil 5.5. 1. Zaman dilimi teorik kuru PU oranı	40
Şekil 5.6. 1. Zaman dilimi teorik nemli alan oranı.....	40
Şekil 5.7. 2. Zaman dilimi kütle artışı sonuçları	41
Şekil 5.8. 2. Zaman dilimi kütle artışı doğru denklemi.....	41
Şekil 5.9. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları	42
Şekil 5.10. 2. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni sonuçları.....	43

Şekil 5.11. 2. Zaman dilimi teorik kuru PU oranı	45
Şekil 5.12. 2. Zaman dilimi efektif nemli alan oranı	45
Şekil 5.13. Deneysel kütle artış miktarı	46
Şekil 5.14. Efektif nemli alan oranı	46
Şekil 5.15. Deneysel kütle artış oranı doğru denklemi	47
Şekil 5.16. Efektif nemli alan oranı doğru denklemi	47
Şekil 5.17. Efektif ısı iletim katsayısı sonuçları.....	52
Şekil 5.18. Isı iletim katsayısı karşılaştırma sonuçları.....	53

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Nem artışı takip tablosu	27
Tablo 4.2. Isı iletim katsayısı takip tablosu	29
Tablo 4.3. Sıcaklık takip tablosu	31
Tablo 5.1. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları tablosu.....	37
Tablo 5.2. 1. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranları.....	39
Tablo 5.3. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm Sonuçları.....	42
Tablo 5.4. 2. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranları.....	44
Tablo 5.5. Efektif ısı iletim katsayısı sonuçları tablosu	52
Tablo 6.1. Isı iletim katsayısı sapmalar tablosu	54

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Isı İletim Katsayısı, Poliüretan Köpük, Nem Difüzyonu, Fourier Yasası, Sıcaklık Gradyeni, Deneysel Yöntem

Yalıtım malzemesi olarak kullanılan poliüretan köpükler gözenekli bir yapıya sahiptir. Kullanım koşullarında meydana gelen sıcaklık farkı poliüretan köpüklerde doyma basıncı farkı oluşturur. Bu fark nemin difüzyon ile yüzeyden malzeme içerisine nüfus etmesine neden olmaktadır. Gözenekli köpük yapının içerisine nüfus eden nem, malzemenin ısı iletim katsayısını etkileyerek, yapının ısı yalıtım özelliğini kötüleştirdiği çeşitli sektörlerde yapılan araştırmalarda ortaya konulmuştur.

Bu çalışma kapsamında frigorifik araçlarda sandviç panelin çekirdek malzemesi olarak kullanılan poliüretan köpüğe frigorifik araçların kullanım koşullarında nüfus eden nem miktarı ölçülerek ısı iletim katsayısının hesaplanabilmesi için bir model geliştirmiştir ve modelin geçerliliği yapılan ısı iletim katsayısı ölçümleri ile teyit edilmiştir.

Çalışma sonucunda poliüretan köpük içerisine difüzyon ile giren nem miktarına bağlı olarak etkin ısı iletim katsayısının hesaplanmasını sağlayan bir matematiksel ilişki ortaya konmuştur.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HUMIDITY DIFFUSION OCCURRED AT POLYURETHANE USED FOR INSULATING MATERIAL ON THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT

SUMMARY

Keywords: Thermal Conductivity Coefficient, Polyurethane Foam, Humidity Diffusion, Fourier's Law, Temperature Gradient, Experimental Method.

Polyurethane foam used as insulation material has a porous structure. Temperature difference occurring in using condition creates saturation pressure difference over the polyurethane foam. This difference causes moisture penetrating into the material from surface by diffusion. The moisture penetrating into the porous foam makes structure thermal insulation worsen by affecting the thermal conductivity of the material have been demonstrated in studies conducted in various industries.

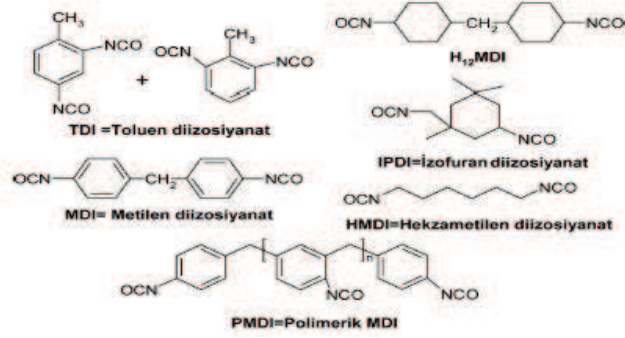
In this study, model of polyurethane foam used as the core material of panel in refrigerated vehicles has developed to calculate the thermal conductivity coefficient by measuring the amount of moisture according to usage profile of the refrigerated vehicle and model correlation was confirmed by the thermal conductivity coefficient measurement.

As a result of this study, a mathematical model that allows calculation of the effective thermal conductivity coefficient was demonstrated regarding to the amount of moisture penetrating into the polyurethane foam by diffusion. In conclusion, thermal conductivity coefficient was calculated according to the amount of moisture penetrating into the polyurethane foam by diffusion.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

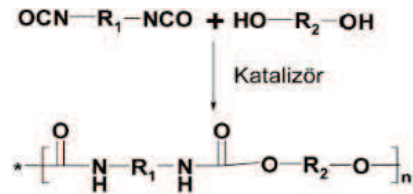
1.1. Poliüretan Köpükler

Poliüretan (PU) elde edilmesi Şekil 1.1'deki izosiyanat bileşiğin alkol ile reaksiyonu sonucu alkolün hidrojen atomu izosiyanata kayması ile olur.



Şekil 1.1. İzosiyanatların kimyasal formülü [1]

Yüksek moleküllü poliüretan meydana gelmesi Şekil 1.2' de verilmiştir. Poliüretan oluşumu dizosiyanatın ve reaksiyonu kolaylaştıran OH gruplu uygun polialkolün kullanılmasıyla olur. Poliüretanlar, gözenek şekillerine göre kapalı gözenekli gevrek ve açık gözenekli yumuşak elastik olarak iki tipte üretilirler. Hammadde olarak poliizosiyanat ile OH grupları içeren polialkol kullanılır. Kimyasal yöntem ile üretimlerinde su ile izosiyanat reaksiyonu sonucunda açığa çıkan CO₂ köpürmeyi sağlarken, fiziksel yöntem ile üretilmeleri düşük sıcaklıkta buharlaşan Freon 11 köpük hammaddesine eklenerek ekzotermik reaksiyonla sıcaklığın yükselmesi sonucu buharlaşması ile köpürme meydana gelir.

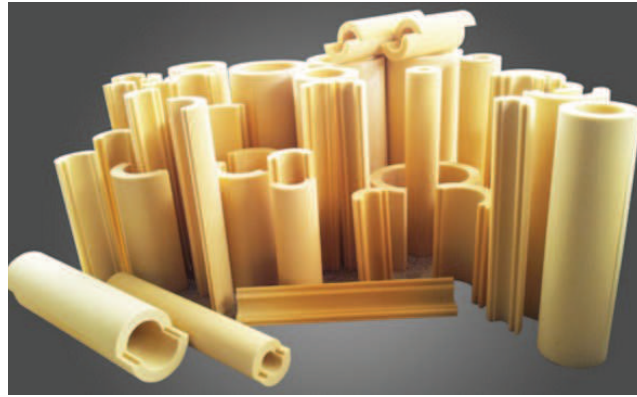


Şekil 1.2. Poliüretan oluşumu [1]

Genellikle levha halinde bulunan PU, boru gibi sekil verilmiş formlarda da bulunabilirler. Dar ve karmaşık kesitli kullanım yerleri için imalat yöntemi prensibi gereği aerosol kutusu içinde imal edilen çeşitleri de vardır. Bu uygulamalarda malzeme dar kesite uygulandıktan sonra, malzeme yapısında meydana gelen reaksiyonlar sonucu hacimce genişleyerek uygulama kesitinde basınç meydana getirir. PU köpük genellikle sarı renktedir, ancak üretim sırasında içerisine katılan pigmentler ile farklı renklerde PU köpük üretilmektedir. Frigorifik araçlarda çekirdek malzeme olarak kullanılan PU köpük ışık geçişini engellemek amacı ile mavi-yeşil renkte üretilmektedir [2,3,4].



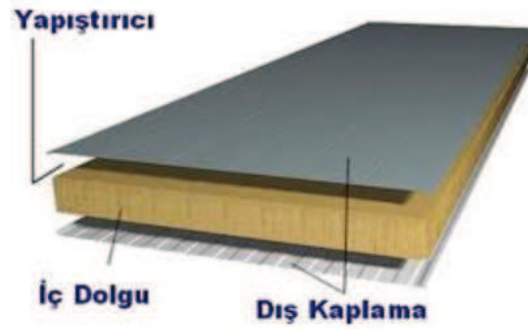
Şekil 1.3. Köpük ve levha halinde üretilmiş poliüretan ürünler [5]



Şekil 1.4. Boru şeklinde üretilen poliüretan ürünler [5]

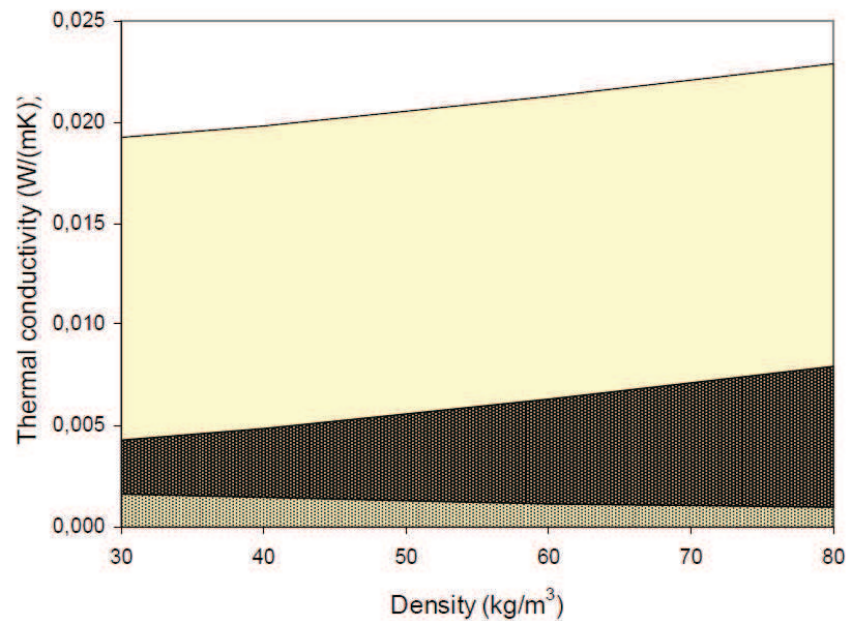


Şekil 1.5. Aerosol şeklinde poliüretan köpükler [5]



Şekil 1.6. Poliüretan köpüğünün sandviç panel uygulaması [5]

PU köpük hücrelerinin % 95'i kapalı gözeneklidir. Ayrıca poliüretan köpükleri açık gözenekli, yumuşak veya sert ve küçük hacim ağırlıklı olarak da üretilmektedirler. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan PU köpüklerin yoğunlukları $30-200 \text{ kg/m}^3$ kullanılır [2,3,4]. Levhaların tek taraflı ısınması halinde şekil deformasyonu görülür. Bu yüzden her iki yüzünün de başka bir malzeme ile (kağıt, bitümlü kağıt, PVC, alüminyum folyo vb.) kaplanması gerekmektedir. Poliüretanın ısı iletkenliği çok düşüktür. Hatta bazı üreticiler $0,012-0,013 \text{ W/mK}$ gibi ısı iletkenlik değerleri vermektedir. Ancak verilen bu düşük değerler, malzemenin ilk üretildiği anda, köpük içerisindeki itici gazın malzeme içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. Zamanla köpük içerisindeki itici gaz difüzyon yoluyla dışarı çıkarak yerini hava doldurur ve böylece PU köpüğün ısı iletim katsayısı değeri de yükselir [5].



Şekil 1.7. PU Köpüklerin yoğunluğa bağlı ısı iletim katsayısı değişimi [15]

Sandviç panel uygulamasında ise maliyet % 10 kadar artarken ısı iletim katsayısı değerinde küçük yükselmeler görülmektedir. Binalardaki ısı yalıtım uygulamalarda kaplamasız ve difüzyon geçirgen kaplamalı köpüklerde ısı iletim katsayısı değeri 0,060 W/mK olarak kullanılır. Negatif sıcaklıklardaki soğutma tesisleri gibi yapılar için ise 0,048 W/mK'lik bir ısı iletim katsayısı değeri kullanılması pratikte uygundur [2]. Poliüretan köpüklerin yoğunlukları üretim yöntemi ve kullanılan değişken oranları ile 30-200 kg/m^3 arasında ayarlanabilir. Yalıtım için kullanılan levhaların 32 kg/m^3 'den az olmaması önerilmektedir. Bina yalıtımında kullanılan PU köpük yoğunlukları genellikle 50 kg/m^3 'tür. 30 kg/m^3 yoğunluğun altındaki poliüretan köpükler dış katmansız kullanımı olduğunda, poliüretan köpükler düşük sıcaklıklarda büzülme, gözeneklerdeki özel gazın sıcaklık etkisi ile genişlemesi ile şekilsel değişiklikler meydana gelmektedir. Buhar difüzyonu yolu ile ıslanma durumu söz konusu olduğunda levhalar ya buhar sızdırmaz şekilde kaplanmalıdır. Yerinde püskürtme köpüklerinde yoğunluk oldukça düşüktür. Poliüretan köpüklerin hafif asitlere, benzene, mazota, alkalilere ve deniz suyuna karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir. Poliüretan köpüğün eskime ve çürümeye karşı dayanıklılığı da diğer yalıtım malzemelerine göre oldukça fazladır [6].

Poliüretan köpüğün hacim ve şekil dayanıklılığı ile özgül ağırlığı arasında yakın bir ilişki vardır. 32 kg/m^3 'ün altındaki kaplanmamış plakalarda sıcaklık etkisi ile genişleme, büzülme görülmektedir. Genleşme, büzülme gibi fiziksel değişimlerin yanı sıra güneşin mor ötesi ışınları karşısında dayanıksızdır. Mor ötesi ışınlar etkisinde poliüretan rengi sarıdan kırmızı kahveye dönüşerek, yüzeyinde pullanma dökülme bozulma olmaktadır [2]. Poliüretan levhalar 110-120 °C sıcaklığa dayanıklıdır. Sert köpük plakalar, gözenek içindeki basınçlar ve gözenek şekline göre ısı altında deformasyona uğrayabilirler. Bu deformasyonlar uzunluk değişimleri şeklinde olduğunda köpük yönünde olmaktadır. Poliüretan köpükler petrol esaslı bir ürün olduğu için yanıcıdır. Üretim sırasında konulan alev almayı zorlaştırıcı maddelerle zor alev alabilen hale getirilebilirler. Poliüretan köpükler yalıtım malzemesi olarak diğer yalıtım malzemelerine oranla ucuz olmasa da hazır prefabrik elemanlar olarak işçilikten ve zamandan çok kazandırır [6].

1.2. Poliüretan Köpüklerin Frigorifik Araçlarda Kullanılması

Gıda taşımacılığında sıcaklığın belirli bir değerde tutulması için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler jel/buz paketleri, ötektik plaka, yorgan, likit nitrojen, kuru buz ve soğutulmuş konteyner gibi yöntemler olarak sıralanabilir. Soğutulmuş konteyner sıcaklığı kontrol edilen konteynerlerdir. Küçük bir soğutulmuş kamyondan, soğutulmuş gemiye kadar farklı nitelik ve kapasitede olabilirler. Genel olarak bu araçların tümüne frigorifik araçlar denir. Soğuk zincir taşımacılığı, kolay bozulabilen ve belirli sıcaklıklarda saklanması gerekli olan ürünlerin taşınmasında kullanılan bir sistemdir. Bu sistem, kolay bozulabilen ve ısı hassasiyeti olan ürünlerin taşınması sırasında oluşan sorunların giderilmesi için ortaya çıkmıştır. Ürünlerin taşındığı araçların farklılık göstermesi (uçak, gemi, kamyon vb.) ve ürünün bir araçtan başka bir araca transfer edilişi nedeniyle ürünü her koşulda sabit sıcaklıkta tutabilecek sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle et ve meyve taşımacılığında ürünü soğuk tutarak taşımak, ürünün bozulmasını önlemek açısından önem taşır. Günümüzde bu yöntem geliştirilerek hem tıbbi ürünlerin hem de gıdaların bozulmadan taşınmasında ve bir başka önemli nokta olarak da raf ömürlerinin uzatılması konusunda işlevsellik gösterir. Tıbbi ürünlerin içerisinde sıcaklık hassasiyeti olan ilaçlar, aşular, test sonuçları, örnekler, klinik deneyler ve tıbbi aletler bulunmaktadır. Taşınan ürünleri iki başlık altına aldığımızda ilkinin tıbbi, kimyasal ürünler oluştururken ikincisini gıdalar oluşturur. Gıdaların tazeliğinin korunması yine sağlık açısından oldukça önemlidir [8].



Şekil 1.8. Gıda taşımacılığı şeması [8]

Gıda güvenliği ile ilgili başlıca standartlar “ISO 22000: 2005 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi” ve Bozulabilir gıda maddelerinin uluslararası taşımacılığı ve taşımalarda özel araçlar kullanımı anlaşmasıdır (ATP anlaşması). ISO 22000 standardının temelini oluşturan HACCP yaklaşımı kritik kontrol noktalarında analiz yaparak tedbir almayı gerektirmektedir. Bu sistem gıda üretimi, muhafazası ve satışı yapan işletmeler ile gıda işletmelerine lojistik hizmeti veren kuruluşlarca uygulanır [8].

Bozulabilir gıda maddelerinin uluslararası taşımacılığı ve taşımalarda özel araçlar kullanımı anlaşması olarak bilinen, Fransızca baş harflerden oluşan ATP anlaşması 1 Eylül 1970 tarihinde Cenevre'de imzalanmış ve 21 Kasım 1976' da yürürlüğe girmiştir. Anlaşma yürürlüğe girdiği tarihten itibaren birçok kez revize edilmiş, teknolojik ve bilimsel tespitlere göre güncellenmiştir. İlgili sözleşmeye başta 7 ülke imza atarak taraf olmuş, süreç içerisinde toplam taraf olan ülke sayısı bugün itibarıyla 52 'ye ulaşmıştır [8].

Ülkemizin ATP anlaşmasına taraf olması, 22.09.2011 tarih 24/2 yasama yılında 1/415 esas numarası ile komisyondan geçen ve meclis gündemine 77 Esas komisyon raporu ile gelen ATP anlaşmasına taraf olma tasarısı kanunlaşmış, Cumhurbaşkanlığı Makamına sunulmuş, makamca onaylanarak 10 Mayıs 2012 tarih 28288 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [8].

Taraf ülkeler bozulabilir gıda ürünleri için bu sözleşmede belirlenen teknik ve teknolojik detayları içeren araçların soğuk tedarik zincirinde daha aktif ve verimli olabilecek çözüm önerileri için sözleşme üzerinde bazı değişiklikler yapılması için BM genel sekreterliğine başvurabilme yetkisine sahiptirler. Bundan dolayı teknik uygulama ve yönetmelik değişikliğine temel teşkil edecek ve sektördeki paydaşları etkileyecek olan kuralların konulması mümkün olmaktadır [8].

Genel olarak gıda ürünlerinin üretiminden tüketimine kadar soğuk tedarik zincirinin denetlenmesi ve zincirin korunması olarak özetlenen bu anlaşmada, gıda taşımacılığında kullanılacak araçların üretimlerinde, teknik donanımlarında

ürünlere zarar verecek maddelerin kullanılmaması zorunluluğu bulunmaktadır [9,10].

Soğuk zincir taşımacılığı, besinleri hangi hava koşulları altında olursa olsun aynı sıcaklık derecesinde tutarak gıdanın çevresel faktörlerden olumsuz etkilenişini ortadan kaldırmak için kullanılır. Normal koşullar altında taşınmayan ürünler, soğuk zincir sayesinde taşınarak kendine yeni pazarlar bulabilmektedir [6]. Ülkemizde uluslararası karayolu taşımacılık sektöründe hizmet sunan frigorifik araç sayısı 8.600 civarındadır. Bu araçların tamamı ATP Sertifikalı ve EURO-4/ EURO-5 normlarında çevreye duyarlı, düşük emisyonlu araçlardır [9,10].



Şekil 1.9. Soğuk zincir taşımacılığı şeması [9]

Taşımayı yapacak araçların ATP anlaşması gereklerine uygunluk testleri akredite edilmiş kurumlarca yapılır. Test sonuçlarının uygun olması ile araç sertifikalandırılır. Sertifikalandırılan seride üretilen araçlarda ATP sertifikasının kullanım ve geçerlik süresi 6 yıldır. Sertifika süresini uzatmak için aracın bu süre sonucunda akredite kurumlarda yeniden test edilmeleri gerekmektedir. Testten başarı ile çıkan araçların sertifika uzatma süreleri 3 yıldır [9,10].

Soğuk tedarik zincirinde kullanılan araçlar üretim teknikleri ve istiap hadlerine göre A-B-C-D-E-F harflerine göre sınıflandırılırlar. Uluslararası taşımacılıkta kullanılan frigorifik araçlar ATP anlaşmasına göre C kodu ile sınıflandırılmış ve

işareti baş harflerin kısaltılmış şekli İle FRC olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterlere uygun üretilmiş ve sertifikalanmış bu araçların dışında okunabilir şekilde koyu mavi harflerle FRC sertifika numarası ve geçerlilik tarihi yazılması şart koşulmuştur [9,10].



Şekil 1.10. Frigorifik araçlar [10]

1.2.1. Frigorifik araçlarda kullanılan sandviç paneller

Sandviç paneller iki yüzey katmanı arasına dolgu maddesi konulup katmanlar birbirine yapıştırılarak oluşturulur. Yüzey katmanları yüksek mukavemetli, dolgu maddesi ise kalın ve hafiftir. Bu şekilde oluşturulan sandviç paneller rijit, dayanımı yüksek ve hafif olarak üretilir.

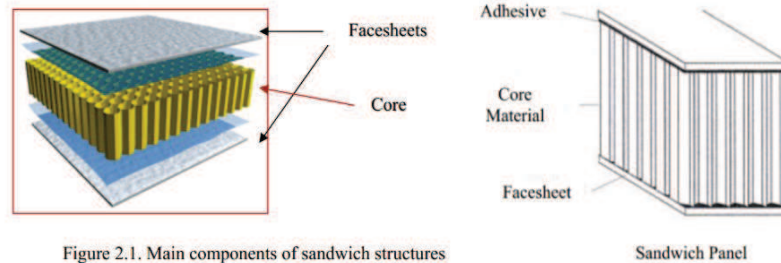


Figure 2.1. Main components of sandwich structures

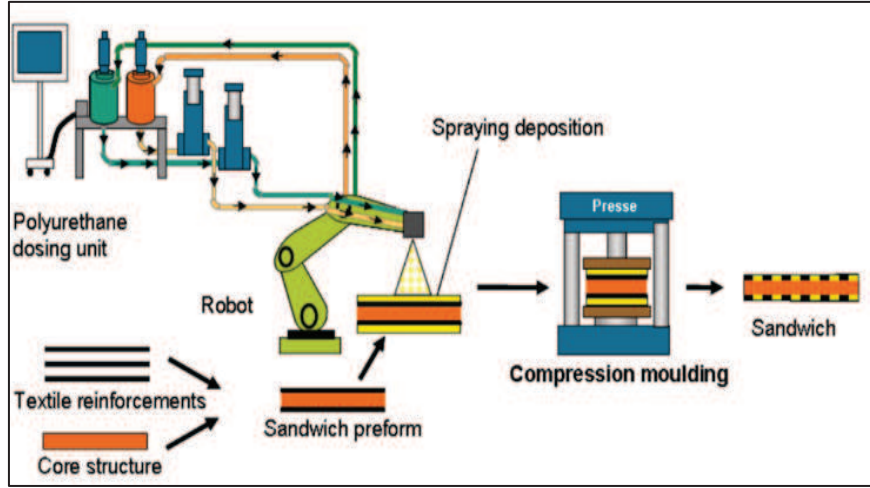
Sandwich Panel

Şekil 1.11. Sandviç panel yapısı [13]

Sandviç panellerin ortasında yer alan malzeme, dolgu malzemesi olarak adlandırılır. Dolgu malzemeleri yüzey katmanlarının eğilmeye zorlanması sebebi ile enine kesme kuvvetlerini taşır.

Sandviç panellerin çeşitleri temelde dolgu malzemelerinin çeşitlerine bağlıdır. Sandviç paneller, dolgu malzemesi üzerine yapıştırıcı sürülerek yüzey katmanı ile presleme yöntemi uygulanarak üretilir. Dolgu malzemesi rijit formlu olarak ya da sıvı halde sprey yöntemi ile oluşturulur. Her iki dolgu malzemesi yönteminde de

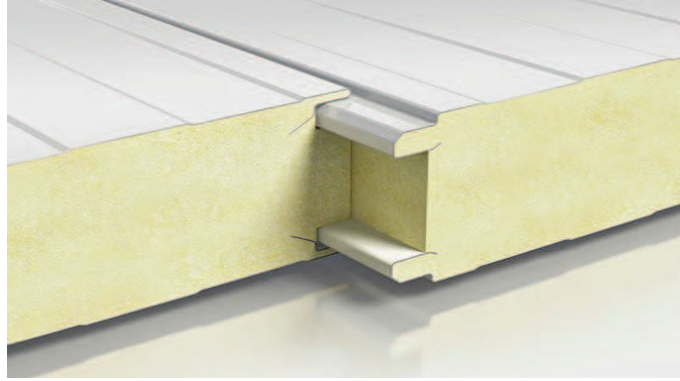
yüzey katmanları konulduktan sonra birleştirme işlemi presleme yöntemi ile yapılır. Bina yalıtımında kullanılan sandviç panellerin farklı üretim yöntemleri vardır. Bu yöntemler, el yatırması, VARTM, pultrüzyon, vakum, pres ve otoklavdır [13,14].



Şekil 1.12. Sandviç panel üretim yöntemi [12]

Sandviç panelin ortasında yer alan poliüretan köpüğe iki taraflı olarak uygulanan katmanlar da homojen bir yapıdadırlar ve bilinen bir ısı iletim katsayısına sahiptirler. Dış katman olarak alüminyum, CTP, FG, PE, ABS, karbon fiber gibi malzemeler kullanılmaktadır [13,14].

Gıdaların değişen dış ortam koşullarında sabit sıcaklık ve nem oranlarında tutularak taşınması zorunluluğu, frigorifik araç üretiminde ısı yalıtım özelliği ve mukavemeti yüksek, fakat hafif malzemelerin kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle taşıma sırasında ısı kazanımlarını artıran dış ortam koşulları (yüksek rüzgâr hızı ve güneş ışınları) nedeniyle frigorifik araçların yapıldığı malzemelerin yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu malzemeler genel olarak sert polimer köpükleri olup tüm soğutucu sistemlerde kullanılmaktadır. Buzdolabı, derin dondurucu ve soğuk hava depolarının üretiminde, dış yüzeyde metal saç, ortada poliüretan sert köpük ve iç yüzeyde plastik katmandan oluşan sandviç paneller yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğuk taşımacılıkta ise metal levha ve cam takviyeli polyester (CTP) katmanlı PU sandviç paneller kullanılmaktadır.



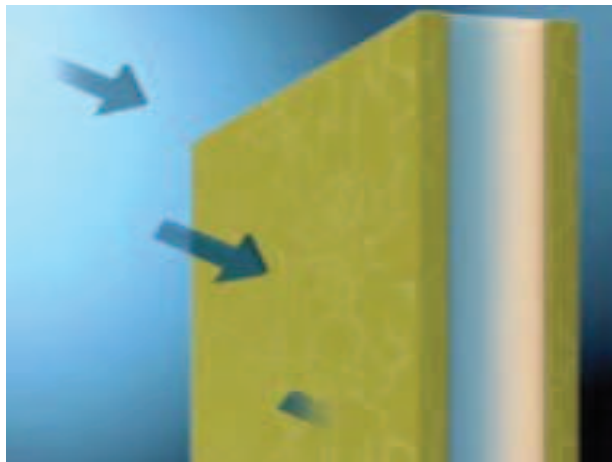
Şekil 1.13. CTP katmanlı PU sandviç panel [10]

Kompozit katmanlı PU sandviç paneller ve PU köpükler gözenekli bir yapıya sahiptir.



Şekil 1.14. Poliüretan köpüklerin gözenek yapısı [10]

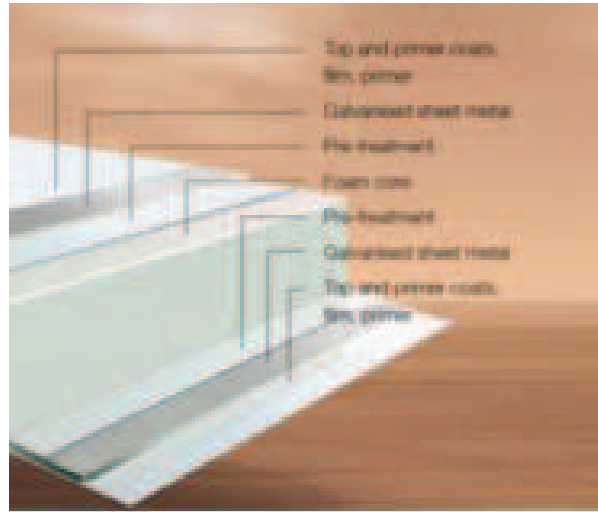
Yalıtım malzemesi olarak kullanılan kompozit katmanlı PU sandviç paneller ve PU köpükler kullanım koşullarında meydana gelen sıcaklık farkı poliüretan köpüklerde doyma basıncı farkı oluşturur. Bu fark nemin difüzyon ile yüzeyden malzeme içerisine nüfus etmesine neden olmaktadır. Gözenekli köpük yapının içerisine nüfuz eden nem, malzemenin ısı iletim katsayısını etkiler.



Şekil 1.15. Poliüretan köpükteki nem difüzyonu [11]

PU köpük içerisine nüfus eden nem PU köpüklerin ısı yalıtım özelliklerini zamanla kaybetmesine, standartları karşılayamaz hale gelmesine ve yapısal deformasyonlar oluşmasına neden olmaktadır. Nem difüzyonu ile PU köpük içerisine nüfus eden nem sadece teknik bir sorunlar oluşturmanın ötesinde, gereksiz enerji sarfiyatına neden olmakta ve kazanılmış becerilerin değersizleşmesine neden olmaktadır. Zamana bağlı olarak gelişen bu olumsuzluğun kaynağının nem difüzyonu olduğu bilinmektedir.

Avrupa’da frigorifik araç sektörünün önderi konumunda olan kuruluşun teknik tanıtım videosunda konu ile ilgili duyuru bulunmakta ve bu yaklaşım satış argümanı olarak kullanılmaktadır [11]. Bu sorun gereksiz enerji sarfiyatının yanı sıra sandviç panel içerisinde biriken nemin araç ağırlığını artırması nedeni ile araçların bir seferde taşıyacakları yük kapasitesinin de azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.16. Frigorifik araçlarda kullanılan sandviç panel [11]

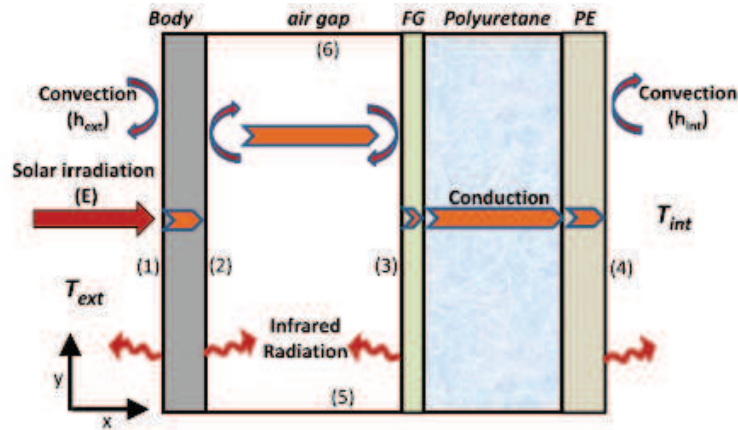
Bu nedenle frigorifik araçların yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi, enerji tüketimi ve üretim kalitesinin artırılması için, CTP katmanlı PU sandviç panelin nem difüzyonunu etkileyen parametrelerinin tespiti (Sıcaklık, bağıl nem ve PU niteliği) ve ısı yalıtım özelliklerinin nem difüzyonu ile ilişkilerini ortaya koymak için bir bilimsel çalışma yapma ihtiyacı vardır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

PU köpüklerin nem difüzyonu etkisinde ısı iletim katsayısı değişiminin deneysel incelenmesi konusunda yapılan literatür araştırmaları iki bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde PU köpüklerin ısı iletim katsayısı değişimlerinin araştırılması, ikinci bölümde nem difüzyonu çalışmaları incelenmiştir.

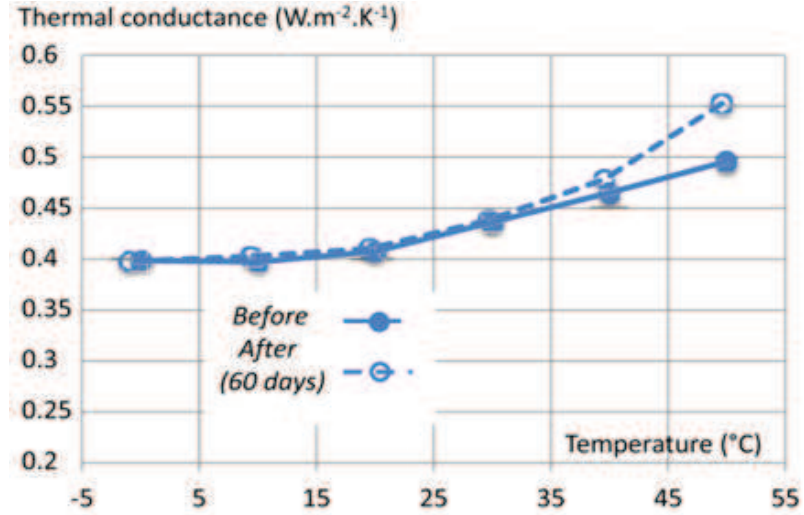
2.1. PU Köpüklerin Isı İletim Katsayısı Değişimleri

Frigorifik araçların dış cidarlarından gerçekleşen ısı geçişinin karmaşık yapısı birçok araştırmaya konu olmuştur. Soğutulmuş panelvanlarda sac, hava boşluğu ve PU köpükten meydana gelmiş sandviç paneller kullanılır. Bunların uygulama biçimlerine göre nitelikleri değiştiğinden dolayı üç farklı nitelikteki duvar yapısı için çevreden gelen ışınlam ile kazanılan ısının da dikkate alındığı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Panel içinde farklı mesafelerde yapılan sıcaklık ölçümleri sayesinde her bir katman için enerji denkliği uygulanarak, panellerin ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. Ayrıca ısı iletim katsayısı aletsel olarak ölçülmüş ve sıcaklık ölçümleri ile de doğruluğu teyit edilmiştir [14].



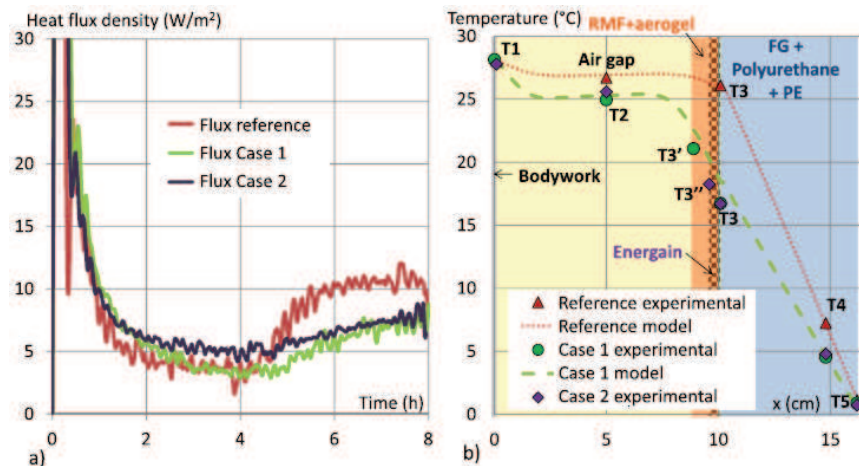
Şekil 2.1. Çalışma modeli [14]

Bu alanda yapılmış olan en kapsamlı çalışmada 60 günlük bir yaşlandırma prosedürü uygulanarak yaşlanmaya bağlı az da olsa bir ısı iletim katsayısı artışı belirlenmiştir. Bu artış poliüretan malzemede meydana gelen değişime dayandırılarak açıklanmıştır.



Şekil 2.2. Isı iletim katsayısı değişimi [14]

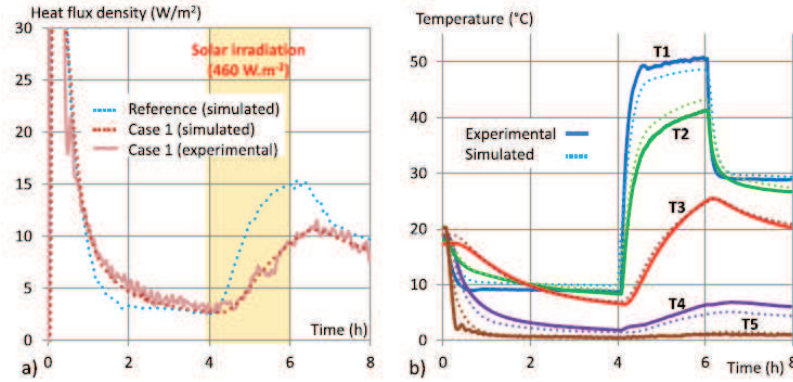
Şekil 2.2.'de verilen diyagramda bu artışın ivmeli olduğu görülmesine rağmen nedeni araştırılmamıştır. Oluşturulan nümerik modelin deneysel sonuçları yansıtılabildiği gösterilerek uygunluğu kanıtlanmıştır [14].



Şekil 2.3. Nümerik model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması [14]

Test çalışmalarında panel içinde bulunan nem oranı parametre olarak değerlendirilmeye alınmamış ve zamana bağlı bir kütleli ölçüm yapılmamıştır. Isı

kazancı sadece çevre havasından değil aynı zamanda ışınlam ile gerçekleştiği için, çevreden ışınlam ve taşınım ile yüzeye gelen ısı akısı panel tarafında iç mekâna iletilmektedir. Işınlam ile panele geçen ısı miktarı için panel yüzeyinin absorpsiyon katsayısı belirleyicidir. Bu nedenle panele ait bu özelliğin de dikkate alınarak toplam ısı geçiş katsayısı belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır [14].



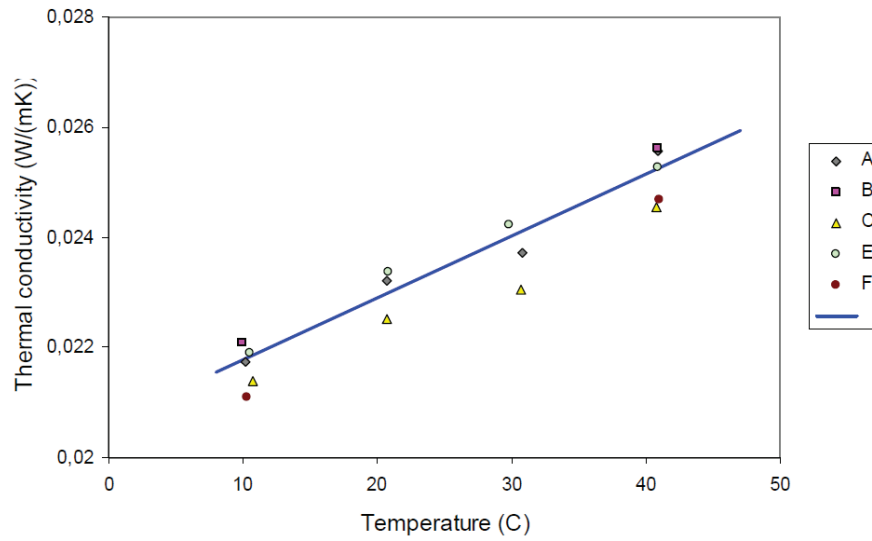
Şekil 2.4. Işınlamın ısı akısına ve ısı iletim katsayısına etkisi [14]

Poliüretan köpük, içinde gaz karışımı bulunan mikro kabarcıklardan oluşan bir malzeme olup, üretim sürecinde bu gaz karışımı tarafından kabartılmaktadır. Kapalı kabarcıklı olanlarda bu gaz karışımı hapsolmuşken, açık kabarcıklı olanlarda gaz karışımının yerini zamanla hava almaktadır. Bir kabarcıktan diğerine ısı geçişi, iletim, taşınım ve ışınlam ile gerçekleşmektedir. Ancak bu ısı geçiş probleminin çözümünü karmaşık olduğu için poliüretan köpük tek ve homojen bir malzeme olarak kabul edilip bir ısı iletim katsayısı belirlenerek ısı geçişi Fourier yasası ile çözümlenmektedir [15,16].

Foam	Density kg.m ⁻³	Cell size* mm	λ_{10} W.m ⁻¹ .K ⁻¹ x10 ⁻³	λ_{40} W.m ⁻¹ .K ⁻¹ x10 ⁻³
Rigid foam	64	0,26-0,31	22,16	-
Rigid foam	55	0,29-0,31	22,10	25,51
Microcellular Rigid	68	0,15-0,25	21,32	24,43
Microcellular Semi-flexible	66	0,12-0,15	20,24	-
Microcellular Semi-flexible	72	0,10-0,15	21,85	25,18
Microcellular Semi-flexible	57	0,18-0,22	21,06	24,59

Şekil 2.5. Hücre boyutuna bağlı PU köpüğün ısı iletim katsayısı değişimi [16]

Poliüretan köpüğün ısı iletkenliği birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bunlar yoğunluk, kapalı veya açık hücreli gözenekler ve kullanılan gaz karışımlarıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, yoğunlukla ısı iletim katsayısı artmakta ve gözeneklerin çapının küçük olması ısı yalıtım özelliğini iyileştirmektedir. Yukarıdaki çalışmada ortaya konulan önemli bir diğer konu da ısı iletim katsayısının sıcaklıkla lineer bir artış göstermesidir. Birbirinden farklı gaz karışımı içeren poliüretan köpüklerden en yüksek nem oranına sahip olan numunenin ısı iletim katsayısının sıcaklığa olan duyarlılığının daha az olduğu görülmüştür. Testler 10°C, 40°C aralığında yapılmıştır [16].

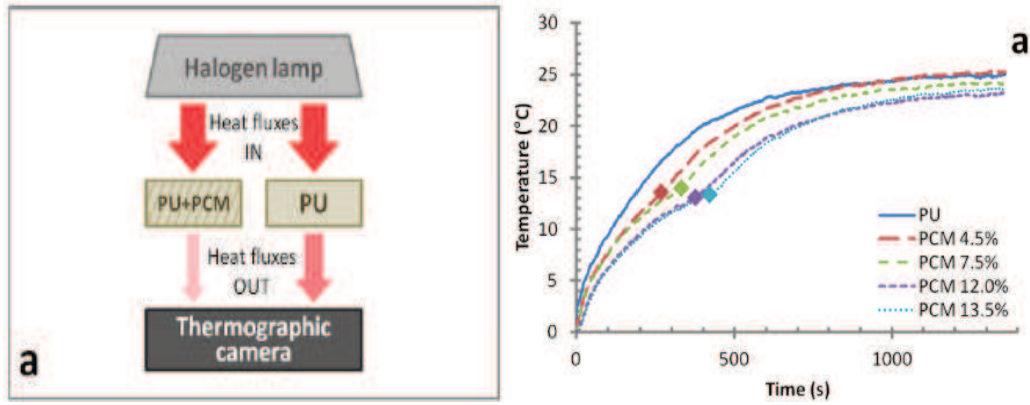


Şekil 2.6. Sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değişimi [16]

Elde edilen doğrusal ilişki sayesinde daha düşük sıcaklıklara interpolasyon yapıldığında ise nem oranı yüksek olan numunenin diğerlerinden daha yüksek bir ısı iletim katsayısına sahip olabileceği görülmektedir. Bu çalışmada daha düşük sıcaklıklarda deneyler yapılmadığı için bu ilişki tam olarak kanıtlanmış değildir. Ancak düşük sıcaklıklarda diğer gazlar hala gaz fazında bulunurken, suyun sıvı fazına hatta katı faza geçmesi bu beklentiyi güçlendirmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer sonuç da, azalan yoğunluk ile ısı iletimi azalırken, ışıınım ile geçen ısının arttığı gerçeğidir. Köpük içinde ışıınım ile geçen ısının azaltılması için günümüzde poliüretana pigment eklenmektedir. Ancak bu önlem diğer taraftan dış ortamdan soğurulan ışıınımı artırdığı için sınırlı bir etkiye sahiptir [16].

Frigorifik araç kasaları ve konteynerlerinin yalıtım özelliğinin iyileştirilmesinde yalıtım malzemesi içine faz değiştiren maddeler yerleştirilmektedir. Bu tür uygulamaların amacı; sık periyodlarla soğutulmuş mekânların kapıları açılarak içeriye giren ısı ve güneş ışınlarının etkisiyle değişen iç ortam sıcaklığının tekrar elde edilmesi için soğutma sisteminin yükünün azaltılmasıdır. FDM faz değiştirdiği sıcaklıkta faz değişim entalpisi kadar bir ısıyı aldığı veya verdiği için ani sıcaklık değişimlerine karşı sönümleyici etki oluşturmaktadır. Özellikle gece-gündüz sıcaklık farklarının büyük olduğu iklim ve mevsim koşullarında ve taşıma sıcaklığının gece sıcaklığından yüksek ve gündüz sıcaklığından düşük olduğu durumlarda, FDM kullanımını doğrudan enerji tasarrufu sağlayabileceği bilinmektedir.



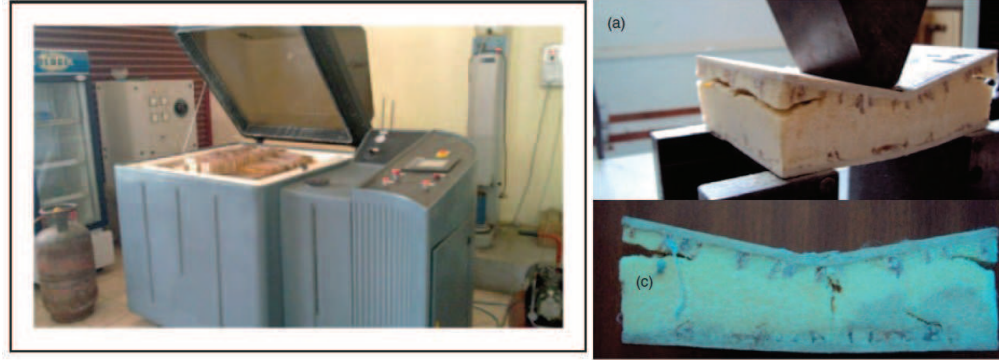
Şekil 2.7. FDM deney düzeneği ve deney sonuçları [17,18]

Bunun için ön görülen taşıma sıcaklığında FDM gerekli olmaktadır. Bu çalışmalarda ve uygulamalarda FDM'ler PU gibi sert malzemeye farklı oranlarda nüfuz etmesi sağlanarak veya uzun boru şeklindeki tüplere konulmak suretiyle kullanılmaktadır. FDM'li malzemelerin sürekli rejimde olmayan yerlerde ısı yalıtımına pozitif etkisinin olduğu yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir [17,18].

2.2. PU Köpülerdeki Nem Difüzyonu Çalışmaları

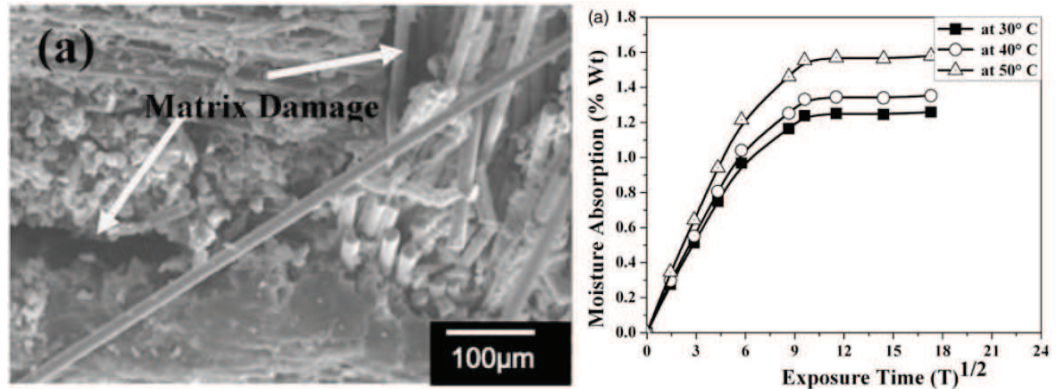
Literatürdeki nem difüzyonu çalışmaları incelendiğinde, sert polimer köpüklerde meydana gelen nem difüzyonunun ısı iletim özelliklerine etkisinden çok mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Çekirdek malzemesi PU olan dört farklı tip sandviç panel numuneler kullanılmıştır. ASTM B 117 standartlarındaki Deniz suyu etkisinde bir deney düzeneğine yerleştirilerek 180 günlük bir yaşlandırma prosedürü uygulanmıştır.



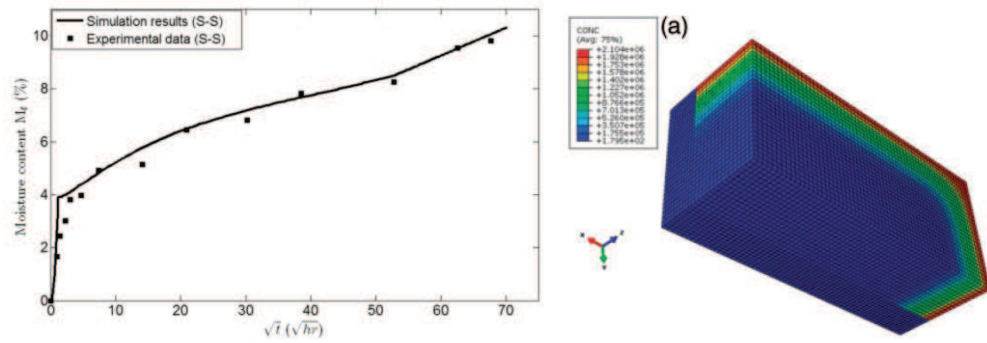
Şekil 2.8. ASTM B 117 deney düzeneği [19]

180 gün sonunda numune yapılarındaki değişiklikler mikroskop ile incelenmiş, gözenekler ölçülmüştür. Nem absorpsiyon oranı ve difüzyon katsayısı hesaplanmıştır, difüzyon katsayısı değişimine bağlı panelin mekanik özelliklerindeki değişimler ortaya konulmuştur [19].



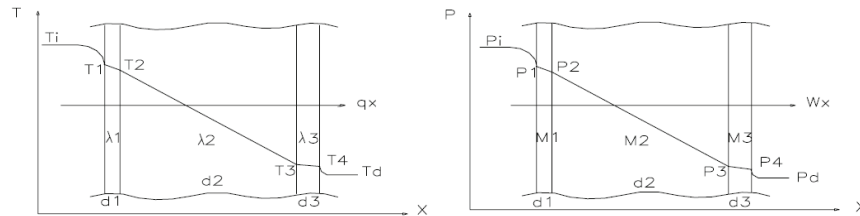
Şekil 2.9. Deney sonuçları [19]

Çekirdek malzemesi poliüretan, yüzey katmanı cam esaslı malzemeden olan sandviç ASTM C272, çekirdek malzemeli sandviç panellerin su absorpsiyon test metodu ile deneysel çalışmalar yapılmıştır, ASTM D5229 şartlarında deney sonuçları hesaplanmıştır. Bu çalışmada deneysel çalışmalar ile aynı sınır koşullarda simülasyon modeli oluşturulmuş ve çözümlenerek karşılaştırılmıştır [19].



Şekil 2.10. Deney sonuçları ve simülasyon çözümü [19]

Su buharı difüzyonu sonucu oluşan yoğuşma yalıtım malzemelerinde meydana gelen ısı yalıtımına olumsuz yönde etki eder. Su buharı, yalıtım malzemesi yüzeyinde yoğuşmazsa, terleme olmadan yalıtım malzemesi içerisine girer. Yalıtım malzemesi içerisine giren su buharının kısmi basıncı iç katmanlarda herhangi bir noktada o sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu anda yoğuşma başlar. Malzeme içinde yoğuşan su malzemenin nemini artırır. Yoğuşan suyun miktarı, malzemenin absorbe edebileceği doyma neminden fazla ise serbest kalır ve muhtelif şekillerde malzeme içinde hareket eder [21].



Şekil 2.11. Çok katmanlı duvarda sıcaklık ve buhar difüzyonu gradyanı [21]

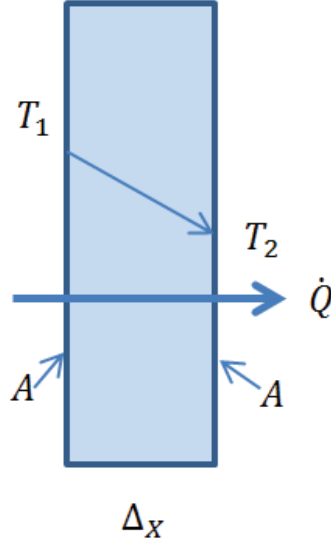
Yoğuşma yalıtım malzemesinin yapısını bozacağı gibi malzemenin toplam ısı geçiş katsayısını yükseltir, ısı kayıplarını da artırır [21].

BÖLÜM 3. TEORİ VE MATEMATİKSEL MODEL

Isı, sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğerine geçebilen bir enerji türü olarak tanımlanmıştır. Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğrudur. Isı geçişi iki ortamın sıcaklıkları eşitlenince durur. Isı, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon) olmak üzere üç farklı yolla aktarılabilir.

3.1. Isı İletimi

İletim, parçacıkla arası etkileşmelerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır [23,24].



Şekil 3.1. Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi

Kalınlığı $\Delta x=L$ ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda sürekli şartlarda ısı iletimi göz önüne alındığında sıcaklık farkı $\Delta T= T_2 - T_1$ 'dir. Bir levhada ısı geçiş hızı, levha boyunca sıcaklık farkı ve ısı geçiş alanı ile doğru, levhanın kalınlığı ile ters orantılıdır.

$$\text{Isı iletim hızı} \propto \frac{(\text{Alan})(\text{Sıcaklık farkı})}{(\text{Kalınlık})} \quad (3.1)$$

veya

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{W}) \quad (3.2)$$

Burada k orantı sabiti, bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. A alan, T sıcaklık, ΔT sıcaklık değişimi, Δx ısı geçiş yönünü göstermektedir.

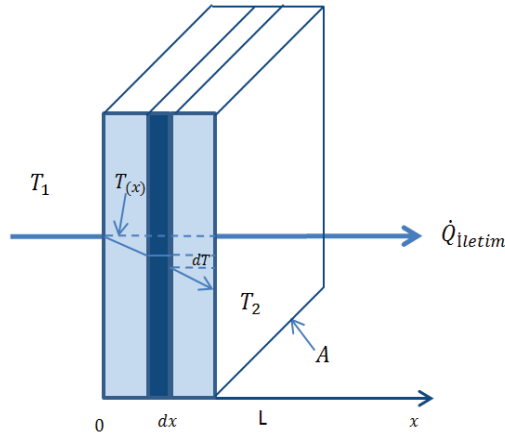
3.2 de yer alan denklem $\frac{dT}{dx}$ limit durumunda;

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (3.3)$$

Diferansiyel şekline indirgenir.

Bu denklemi ilk kez 1822'de ifade eden J. Fourier'den sonra Fourier ısı iletim kanunu olarak bilinir. Burada dT/dx sıcaklık gradyeni T-x diyagramında sıcaklık eğrisinin eğimi yani T sıcaklığının x'e göre değişim hızıdır.

Çok katmanlı, sürekli ısı iletimi dikkate alındığı bir yapıda ısı geçişinin duvar yüzeyine dik doğrultuda olduğu ve diğer doğrultularda ısı geçişinin önemli olmadığı görülmektedir. Belirli bir doğrultudaki ısı geçişine, o doğrultudaki sıcaklık gradyeni neden olur. Sıcaklığın değişmediği doğrultularda ısı geçişi olmaz [23,24].



Şekil 3.2. Çok katmanlı tek boyutlu duvarda ısı iletimi

Çok katmanlı tek boyutlu bir yapıdaki ısı geçişi sürekli ve tek taraflı olarak modellenebilir. Böyle bir durumda yapıdaki sıcaklık yalnızca bir doğrultuya (x doğrultusu) bağlı olur ve $T_{(x)}$ olarak gösterilebilir.

Bu durumda yapı için enerji dengesi;

$$\dot{Q}_{İçeri} - \dot{Q}_{Dışarı} = \frac{dE_{duvar}}{dt} \quad (3.4)$$

Çok katmanlı yapıda sürekli işlemde $dE_{duvar}/dt = 0$ dir.

Kalınlığı L ve ısı iletim katsayısı k olan bir düzlem yapı göz önüne alınsın. Yapının iki yüzeyi T_1 ve T_2 sabit sıcaklıklarında tutulduğunda tek boyutlu ve sürekli ısı iletimi için sıcaklık $T_{(x)}$ şeklindedir. Bu durumda yapı için Fourier ısı iletim kanunu,

$$\dot{Q}_{iletim,yapı} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (3.5)$$

Olarak yazılabilir. Burada $\dot{Q}_{iletim,yapı}$ iletim ısı geçiş hızını A sabit yapı alanını göstermektedir. Dolayısı ile $\frac{dT}{dx}$ sabittir ve bu durum yapıda sıcaklığın x ile doğrusal olarak değişeceği anlamına gelir.

Denklem değişkenlere ayrılarak integre edilirse,

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_{iletim,yapı} = \int_{T=T_1}^{T_2} -kAdT \quad (3.6)$$

$$\dot{Q}_{iletim,yapı} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (W) \quad (3.7)$$

Olarak yazılabilir. Burada k ısı iletim katsayısını, L levha kalınlığını T sıcaklığı ifade etmektedir. Bu durumda ısı iletim hızı, ortalama ısı iletim katsayısı, yapı alanı ve sıcaklık farkı ile doğru orantılı, fakat duvarın kalınlığı ile ters orantılı olur [22,23].

3.2. Matematiksel Model

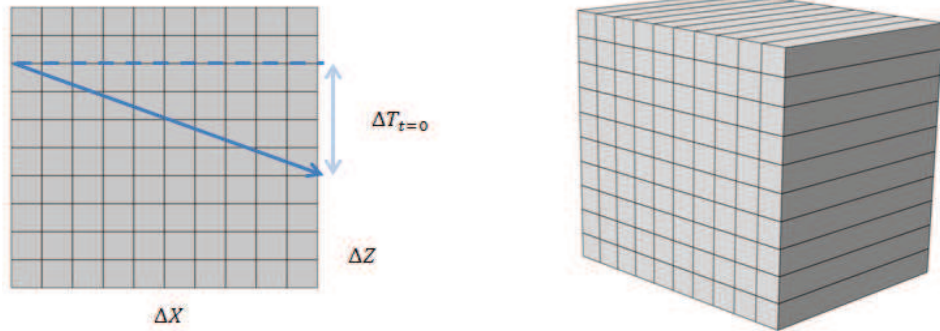
Çalışmaların temelini Fourier ısı iletim kanunu oluşturmaktadır. Bu temele oturtulan matematiksel model için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

Model varsayımları;

- Gözenekli PU içerisinde açık ve kapalı hücreler vardır, bu hücrelerin bazıları daha az sayıda bazıları ise daha çok sayıda açık hücreler ile bağlantılıdır.
- Nem geçişi X yönünde olur Z-Z düzleminde nem gradyeni yoktur.
- Nemlenen PU ısı iletim katsayısı değeri ölçülebilmektedir.

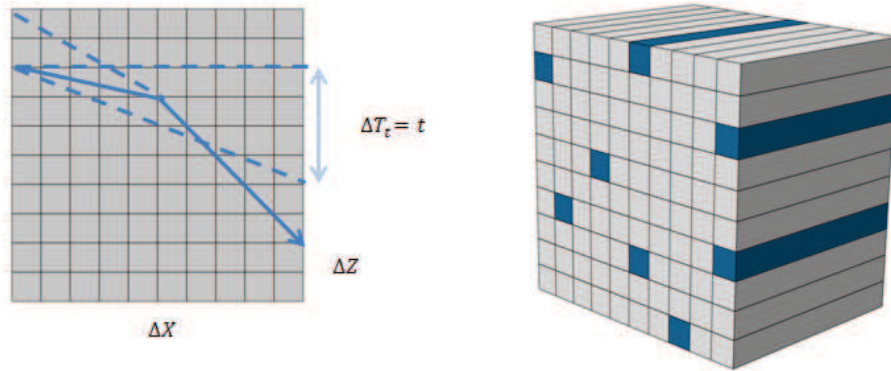
Varsayımlar doğrultusunda şematik olarak gösterilen zamana bağlı nem modelleri Şekil 3.9., Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de verilmiştir.

t = 0 anında nem modeli,



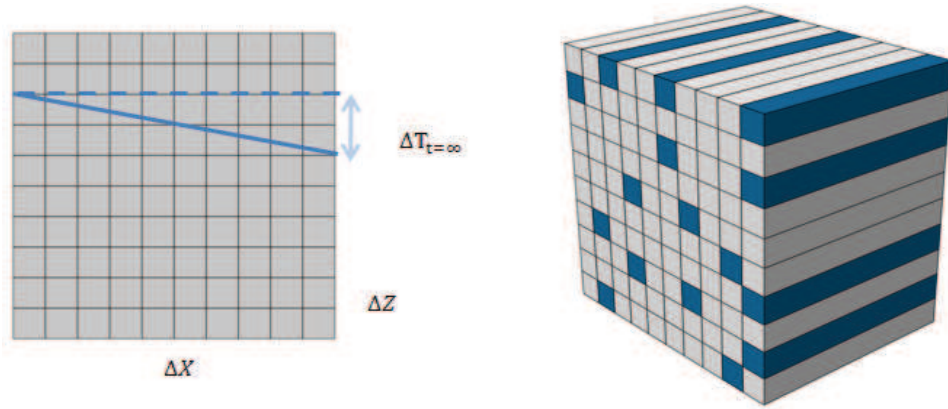
Şekil 3.3. t=0 anındaki nem modeli

t = t anında nem modeli,



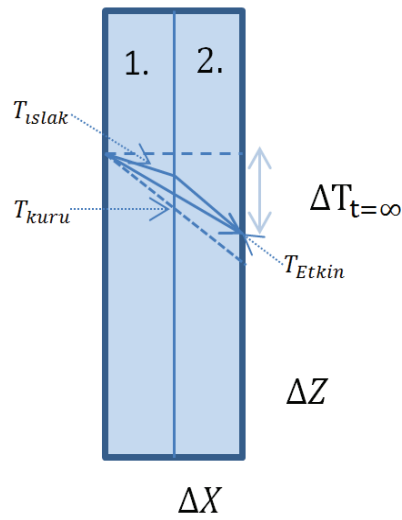
Şekil 3.4. t=t anındaki nem modeli

$t = \infty$ anında nem modeli,



Şekil 3.5. $t = \infty$ anındaki nem modeli

Bu varsayımlar ve modeller doğrultusunda deney numunesi iki bölgeye ayrılmıştır, 1. Bölge nem difüzyonu olan, 2. Bölge nem difüzyonu olmayan bölge olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.6. İki bölgeye ayrılan numunedeki ısı iletimi

1. bölge için Fourier Eşitliği;

$$3 \text{ L } G \# \text{---}$$

Fourier yasasında yer alan ısı geçişi olan yüzey alanı PU numune ve nem ile giren alanının toplamına eşittir.

$$A_{1.Bölge} = A_{su} + A_{PU} \quad (3.8)$$

$$A_{1.Bölge} = 1$$

Burada A yüzey alanını ifade etmektedir. Yüzey alanı birim alan olarak kabul edilirse,

R sabit bir değerdir ve Kuru PU alanı oranına eşittir.

$$A_{PU\ t=0} = R_{t=0} \quad (3.9)$$

$$A_{su\ t=0} = 1 - R_{t=0} \quad (3.10)$$

Eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler Denklem 3.8' de yerine yazıldığında ise numune içerisindeki su alanı,

$$A_{su\ t=0} = 1 - A_{PU\ t=0} \quad (3.11)$$

Şeklinde tanımlanabilir.

$$Q_{toplam} = Q_{su} + Q_{PU} \quad (3.12)$$

$$Q_{su} = A_{su} \cdot k_{su} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (3.13)$$

$$Q_{PU} = A_{PU} \cdot k_{PU} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (3.14)$$

Burada Q ısıyı, A yüzey alanını, k ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. Denklem 3.12'de verilen toplam ısı denkleminde Denklem 3.5 ve 3.13 yazılarak,

$$Q_{toplam} = (1 - R).k_{su} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} + (R).k_{PU} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Eşitliği elde edilir.

$$Q_{toplam} = \frac{\Delta T}{\Delta X} [(1 - R).k_{su} + R.k_{PU}] \quad (3.15)$$

Her iki bölge için ısı miktarı aynı olacağı için;

$$Q_{toplam\ 1.Bölge} = Q_{toplam\ 2.Bölge}$$

Şeklinde ifade edilebilir.

A= 1 birim alan alındığında ise,

$$Q_{toplam\ 2.Bölge} = k_{PU\ 2.Bölge} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (3.16)$$

$$Q_{toplam\ 1.Bölge} = \frac{\Delta T}{\Delta X} [(1 - R).k_{su} + R.k_{PU\ 1.Bölge}] \quad (3.17)$$

Eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikler birbirlerine eşitlenerek

$$[(1 - R).k_{su} + R.k_{PU\ 1.Bölge}] = k_{PU\ 2.Bölge} \quad (3.18)$$

Denklemini elde edilir.

Elde edilen bu denklem ile nemli alan oranı ve kuru PU oranı bulunabilecektir. Nemli alan oranı ve kuru PU oranının belirlenebilmesi için gerekli parametreler ve bu parametrelerin ölçüm detayları deneysel çalışma ve yöntem bölümünde açıklanmıştır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada nem difüzyonu etkisinde ısı iletim katsayısı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme için öncelikle parametreler belirlenmiştir. Parametreler difüzyon ile numune içerisine nüfus eden nem miktarı, sıcaklık ve ısı iletim katsayısıdır. Bu parametrelerin ölçümü için çalışma kapsamında üç farklı deney yapılmıştır. Bu parametreler için ölçüm tekniği, bu ölçüm teknikleri ile ölçümlerin gerçekleştirilebileceği bir deney düzeneği kurulmuştur. Ölçümler sonucu elde edilen verilerin arşivlenerek değerlendirilebilmesi deney prosedürleri oluşturulmuştur.

4.1. Gravimetrik Yöntem ile Nem Miktarının Belirlenmesi

Gravimetrik yöntem hassas tartı ile belirli aralıklarda ölçüm yapılması olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem ile difüzyon ile PU köpük numune içerisine nüfus eden nem miktarı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Deneyleerde kullanılan hassas tartı 10 kg kapasiteli, 0,1 g hassasiyetlidir.



Şekil 4.1. Gravimetri yöntemi ölçümlerinde kullanılan hassas tartı

PU köpük numune içerisine nüfus eden nem, hassas tartı ile günlük olarak kütle ölçümleri yapılarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.2. Gravimetrik yöntem ile nem miktarı ölçümü

Gravimetrik yöntem ile PU köpük numune içerisine nüfus eden nem deney süresince günlük olarak yapılarak Tablo 4.1.'de yer alan nem artışı takip tablosunda arşivlenmiştir.

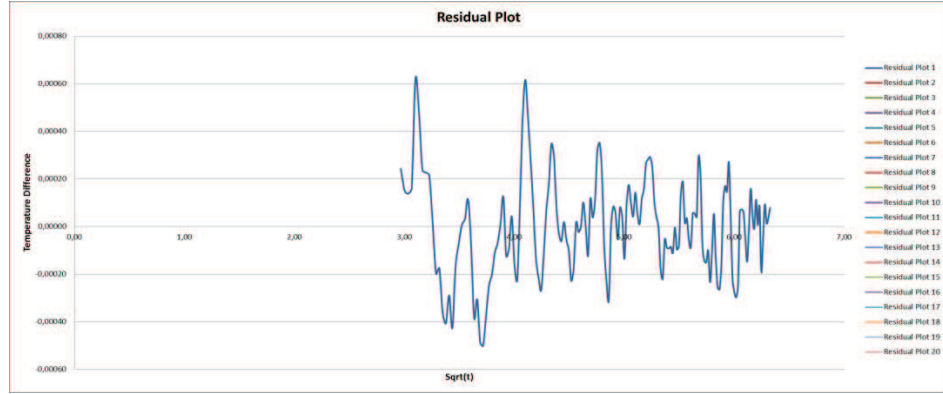
Tablo 4.1. Nem artışı takip tablosu

Numune	Açıklama	25.03.2016 Kütle Ölçümü (g)	26.03.2016 Kütle Ölçümü (g)	Day-1 Kütle Artışı (g)	27.03.2016 Kütle Ölçümü (g)	Day-2 Kütle Artışı (g)
1	Numune-1					
2	Numune-2					
3	Numune-3					
4	Numune-4					
5	Numune-5					
6	Numune-6					

4.2. Isı İletim Katsayısı Ölçümü

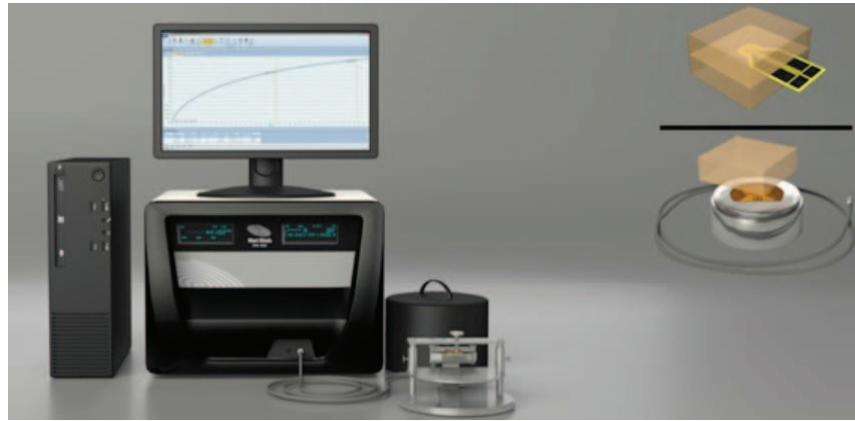
TPS2500S cihazı ISO 22007-2 standardına uygun şekilde ölçüm gerçekleştirmektedir. TPS 2500 S cihazı kendi kendine ısı kaynağı olarak ısı kapasiteleri ihmal edilebilen seviye proplar kullanılmaktadır. Bu proplar numuneler içerisine yerleştirilir. Numune içerisine yerleştirilen proba kademeli olarak enerji verilerek propların olduğu numunede bir dinamik ısı alanı oluşturulur. Oluşturulan bu alanda meydana gelen sıcaklık değişimi zamana bağlı bir fonksiyon olarak kaydedilir. Prop içinde sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen

ısl direnç değişimi ölçölür. Kabul edilen sınır şartlarına göre geliştirilen modele bağlı propda meydana gelen elektriksel direnç ve sıcaklık tepkileri analiz edilerek ısı geçişi katsayısı hesaplanır [22].



şekil 4.3. TPS2500S sınır şartları

Çalışma kapsamında ölçümler numunelerin ısı geçişi yönünde eşit aralıklar ile termal çiftlerin bulunduğu ekseninde, 1. gün, 7. gün, 15. gün, 30. gün, 45. gün ve 60. gün bu yöntem ile ısı iletim katsayıları ölçölmüştür. Ölçüm cihazı ve prop şekil 4.4 ve şekil 4.5.'de verilmiştir.



şekil 4.4. TPS2500S cihazı ile ısı iletim katsayısı ölçümleri [22]



şekil 4.5. TPS2500S cihazı ölçüm probu [22]

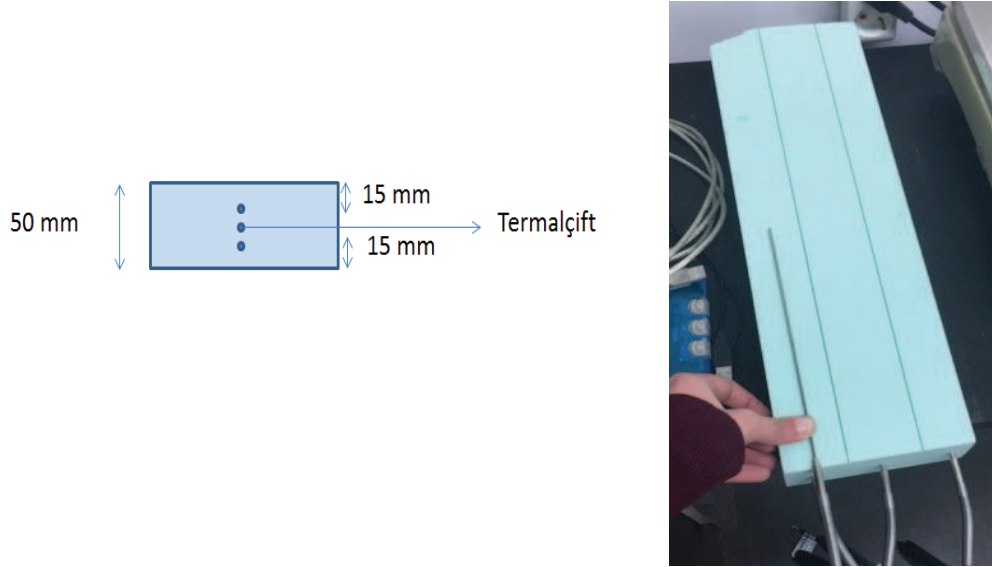
TPS2500S cihazı ile yapılan ısı iletim katsayısı ölçümleri Tablo 4.3.'de yer alan ısı iletim katsayısı takip tablosunda arşivlenmiştir.

Tablo 4.2. Isı iletim katsayısı takip tablosu

Açıklama	Gün	Isı İletim Katsayısı Ölçüm Değerleri	
		Isı İletim Katsayısı	Birim
kPU	0		W/mK
kPU	7		W/mK
kPU	15		W/mK
kPU	30		W/mK
kPU	45		W/mK
kPU	60		W/mK

4.3. Sıcaklık Gradyeninin Belirlenmesi

Sıcaklık gradyanları belirlenmesi için numunelerin içerisine termal çiftler yerleştirilmiştir. Termal çiftler ölçüm sonuçlarına kenar etkilerinin yok edilmesi için Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi üst ve alta eşit aralıklar ve numunenin ortasına olmak üzere 3 adet yerleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında sıcaklık gradyanı ölçümleri nitelik olarak incelenmiş olup, hesaplamalarda kullanılmamıştır.



Şekil 4.6. Termal çiftlerin deney numunesine yerleştirilmesi

Sıcaklık gradyeni belirlenmesi çalışmalarında J tipi termal çift kullanılmıştır. Termal çiftler 2 mm çapında 180 mm boyunda 3 m kablo boyundadır.



Şekil 4.7. J Tipi termal çift

Termal çiftler numune içerisinde yerleştirildikten sonra veri toplama sistemi bağlantıları yapılmıştır. Termal çiftler veri toplama sistemine, veri toplama sistemi verilerin kayıt altına alınabileceği bir bilgisayara bağlanmıştır.



Şekil 4.8. Termal çiftler, veri toplama sistemi ve bilgisayar bağlantısı

Termal çiftlerden alınan veriler 750 ms örnekleme frekansına sahip, 0-10 V ve 4-20 mA çalışabilen, 5 kanallı UDL 100 marka veri toplama sistemi ile kayıt altına

alınmıştır. Kayıt raporları günlük olarak 1 Hz örnekleme frekansı ile kayıt altına alınmıştır. Raporlama ve kayıtlarda Dali'08 yazılımı kullanılmıştır.

Tablo	Tarih	Saat	SAA_2_ÜST	AA_2_MÜDÜ	AA_2_DÜMÜ	SAA_2_ORTA	AA_2_MÜDÜ
1301-0031 (001)	4/12/2011	01:09:34	5,7	-5,4	-14,0	7,9	0,0
1301-0031 (002)	4/12/2011	01:09:35	5,7	-5,4	-14,0	7,9	0,0
1301-0031 (003)	4/12/2011	01:09:36	5,7	-5,4	-14,0	7,9	0,0
1301-0031 (004)	4/12/2011	01:09:37	5,7	-5,4	-14,0	7,9	0,0
	4/12/2011	01:09:38	5,7	-5,4	-14,0	7,9	0,0
	4/12/2011	01:09:39	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:40	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:41	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:42	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:43	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:44	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:45	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:46	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:47	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:48	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1
	4/12/2011	01:09:49	5,7	-5,4	-14,0	7,9	-0,1

Şekil 4.9. Dali'08 yazılımı ile verilerin kayıt altına alınması

Dali'08 yazılımı ile kayıt altına alınan veriler Tablo 4.3.'de yer alan sıcaklık takip tablosunda arşivlenmiştir.

Tablo 4.3. Sıcaklık takip tablosu

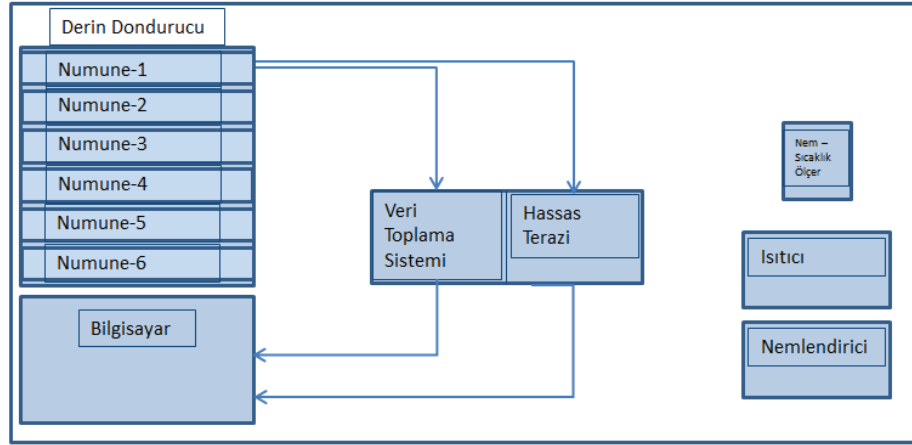
TARİH	GÜN	NUMUNE-1		
		ÜST	ORTA	ALT
26 Mart	Day1			
27 Mart	Day2			
28 Mart	Day3			

4.4. Deney Düzenliği

Bu çalışmada incelenen yalıtım malzemesi frigorifik araçlarda kullanılan sandviç panelin çekirdek malzemesi olan PU köpüktür. Bu nedenle yukarıda açıklanan deneylerin gerçekleştirilmesi için şartlandırılmış bir deney odası hazırlanmıştır. Deney odası frigorifik araçların kullanım koşulları olarak bilinen araç iç sıcaklığı -25 °C, araç dış sıcaklığı ortalama 26 °C ve ortalama bağıl nem oranı %70'dir.

İç sıcaklık simülasyonu için bir adet yatay derin dondurucu kullanılmış olup sıcaklık -25 °C ye set edilmiştir. Dış ortam simülasyonu için izolasyonlu bir deney

odası yapılmış ve içerisine sıcaklık ve nemlendirme cihazı yerleştirilmiştir. Deney odasına yerleştirilen bu cihazlar ile şartlandırılmış iç ve dış ortam sağlanmıştır.



Şekil 4.10. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Deneyleerin şartlandırılmış bir ortamda yapılmasının sağlanması için, 15 m² yalıtımlı bir test odası yapılmıştır. Odanın izolasyonu 80 mm PU dolgu sandviç panel ile yapılmıştır. Test odasının birleştirme noktalarında ısı kayıpları olmaması için aerosol PU kullanılmıştır. Taban izolasyonu ise 30 mm plywood (ahşap) ile yapılmıştır.



Şekil 4.11. Deney odası görünüşü

4.4.1. Deney düzeneği ekipmanları

Deneylein belirlenen ortam Şartlarında yapılabilmesi için tüm malzeme ve ekipmanların teknik özellikleri kullanıma uygun Şekilde ŐeçilmiŐtir.

Deney Şartlarında belirtilen ortam koŐullarını oluŐturmak için 2000 W gücünde, bir adet fanlı rezistans ısıtıcı kullanılmıştır. Ortam nemi nemlendirme cihazı kullanılarak %70 neme ayarlanmıŐtır. Deneyleerde bir adet nemlendirme cihazı kullanılmıştır. Nemlendirme cihazı otomatik nem ayarlı 5,8 lt tank kapasiteli loobex markadır.



Şekil 4.12. Deneyleerde kullanılan nemlendirme cihazı ve ısıtıcı

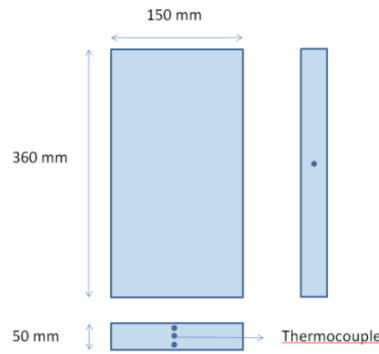
İç ortam simülasyonu için, frigorifik araç iç ortam koŐullarını sağlayabilen bir adet 200 lt hacimli -25°C sıcaklığa düşme özellikli yatay derin dondurucu ile sağlanmıştır.



Şekil 4.13. Deneyleerde kullanılan yatay derin dondurucu

4.4.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan PU köpük 40 kg/m^3 yoğunluklu ısı iletim katsayısı $0,0215 \text{ W/mK}$ 'dir. Numune boyutları $360 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 'dir ve Şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Deney numunesi şematik görünüşü

Deney numunesi levha şeklinde üretilen PU köpükten derin dondurucu boyutlarında kesilmesi ile üretilmiştir. Derin dondurucu boyutları olan $360 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ olarak kesilen numune Şekil 4.14.'de olduğu gibi işlenmiştir. Derin dondurucuya yerleştirilmek üzere hazırlanan numunelere termal çiftler Şekil 4.15.'de olduğu gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.15. Numunelerin derin dondurucuya yerleştirilmesi

Derin dondurucunun kapağı sökülerek numunelerin şartlandırılmış ortam ile direkt temas etmesi sağlanmıştır. Numunelerin derin dondurucu içerisine yerleştirilmesinin ardından termal çiftler veri toplama sistemi kanallarına

bağlanmıştır. Veri toplama sistemi bilgisayar bağlantıları yapılarak Dali '08 yazılımı ile sıcaklık verileri takip ve kayıt işlemleri başlatılarak deneyler başlatılmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

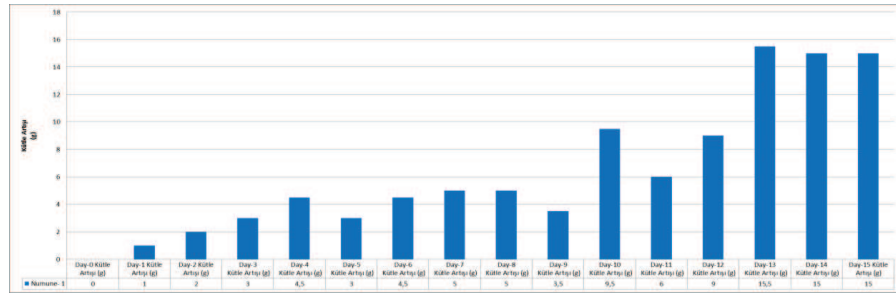
Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılan PU köpük için yapılan gravimetrik yöntem ile numune içerisine nüfus eden nem miktarı artışı ölçümleri, ısı iletim katsayısı ölçümleri ve sıcaklık gradyeni belirlenmesi ölçüm çalışmaları daha sonra yapılacak araştırmalarda kullanılmak üzere iki zaman dilimi için ayrı ayrı ele alınmıştır. Her bir zaman dilimi için yapılan hesaplamalar Fourier yasası, matematiksel model, model kabulleri çerçevesinde yapılmıştır. 1. zaman dilimi deneylerin başlangıcı, 7. gün ve 15. gündür. 2. zaman dilimi 30. gün, 45. gün ve 60. gündür.

5.1. 1. Zaman Dilimi Sonuçları

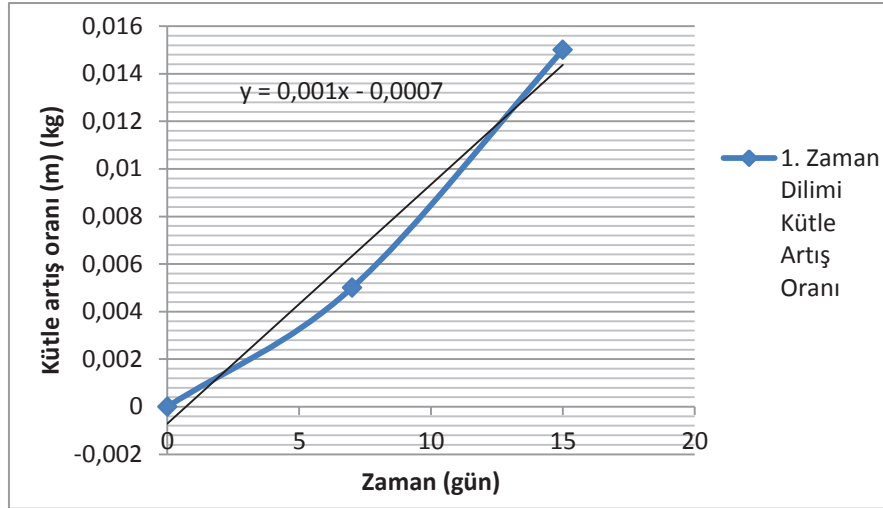
1. zaman diliminde (7. ve 15. gün) gravimetri yöntemi, sıcaklık gradyeni ve ısı iletim katsayıları ölçülerek, kuru PU ve nemli alan oranı matematiksel model ile hesaplanarak değerlendirilmiştir.

5.1.1. 1. Zaman dilimi nem miktarı artışı ölçüm sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde 1. zaman diliminde hızlı bir nem miktarı artışı olduğu belirlenmiştir. Kütle artış sonuçları bar şeklinde ve doğru denklemi şeklinde Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. 1. Zaman dilimi kütle artışı sonuçları



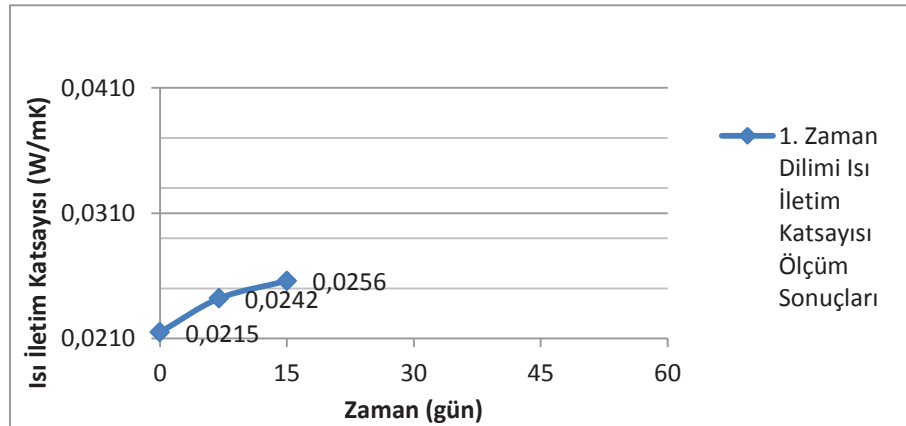
Şekil 5.2. 1. Zaman dilimi kütle artışı doğru denklemi

5.1.2. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları

Isı iletim katsayısı ölçümleri değerlendirildiğinde ısı iletim katsayısında artış olduğu belirlenmiştir. TPS2500S cihazı ile ISO 22007 standartlarında 1.zaman diliminde yapılan ısı iletim katsayısı ölçümleri Tablo 5.1. ve Şekil 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları tablosu

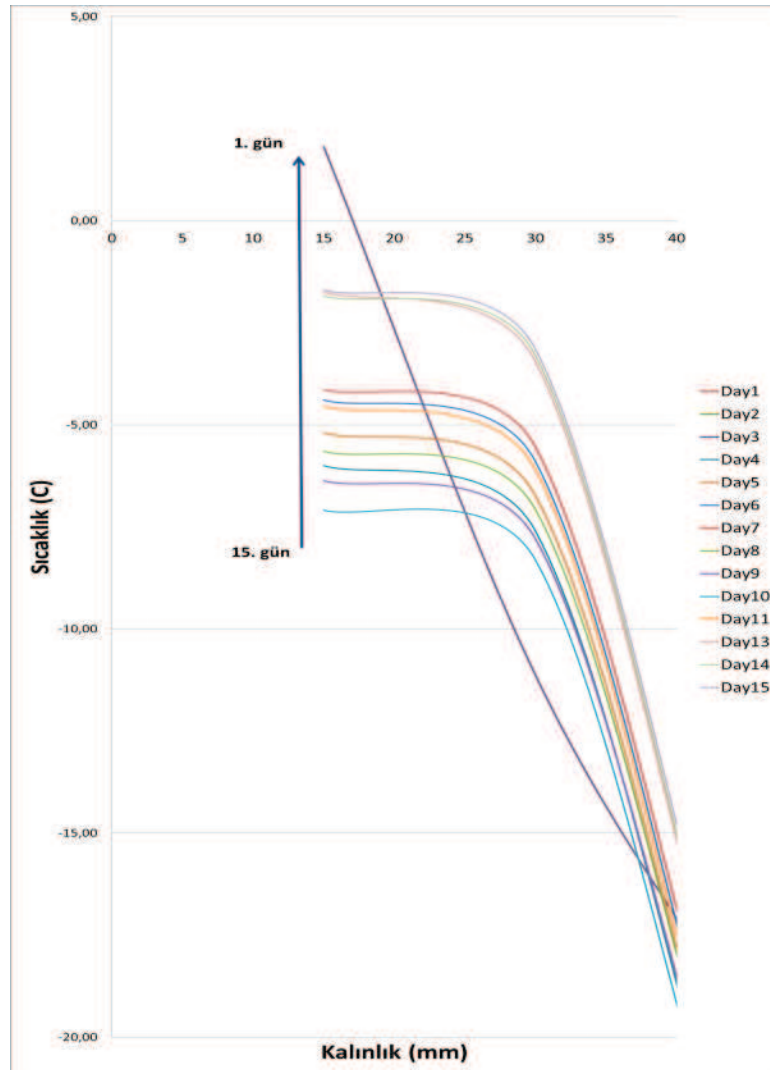
Açıklama	Gün	Isı İletim	
		Katsayısı	Birim
kPU	0	0,0215	W/mK
kPU	7	0,0242	W/mK
kPU	15	0,0256	W/mK



Şekil 5.3. 1. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı hesaplama sonuçları

5.1.3. 1. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları

Sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları incelendiğinde nem girişinin numunenin üst yüzeyinden olduğu ve ilerleyen günlerde sıcaklık gradyeninin ölçüm noktaları arasında düzleştiği belirlenmiştir. 1. zaman diliminde anlık olarak yapılan sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları Şekil 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.4. 1. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni sonuçları

5.1.4. 1. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranı hesaplamaları

Matematiksel modelde ortaya konulan Denklem 3.18 ile, 1. zaman dilimi kuru PU oranı ve nemli alan oranı hesaplanmıştır.

$$[(1 - R) \cdot k_{su} + R \cdot k_{PU \text{ 1.Bölge}}] = G_{6} \quad (3.18)$$

$$4 \cdot \frac{G_{0F} \cdot G_{27 \text{ t. s. HC A}}}{G_{0F} \cdot G_{27 \text{ s. s. HC A}}}$$

k_{su} r ($\mathbb{R} \times r$ (aralığında 2,2 $\leq r \leq 1$ -olarak alınmıştır [25,26].

Kuru PU (R) oranı TPS2500S cihazı ile ISO 22007 standardında yapılan ölçümlerdeki kPU değerleri ile hesaplanmıştır.

$$; e \cdot \frac{1}{1 - \frac{68 \cdot 4 \cdot 68}{65 \cdot 9}} \cdot r \cdot \{ \text{zdir} \}$$

Nemli alan oranı olan 1-R ise 7. Gün için 0,001239 olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde 15. Gün için R oranı;

$$59e \cdot \frac{1}{1 - \frac{68 \cdot 4 \cdot 69}{65 \cdot 9}} \cdot r \cdot \{ \text{zdir} \}$$

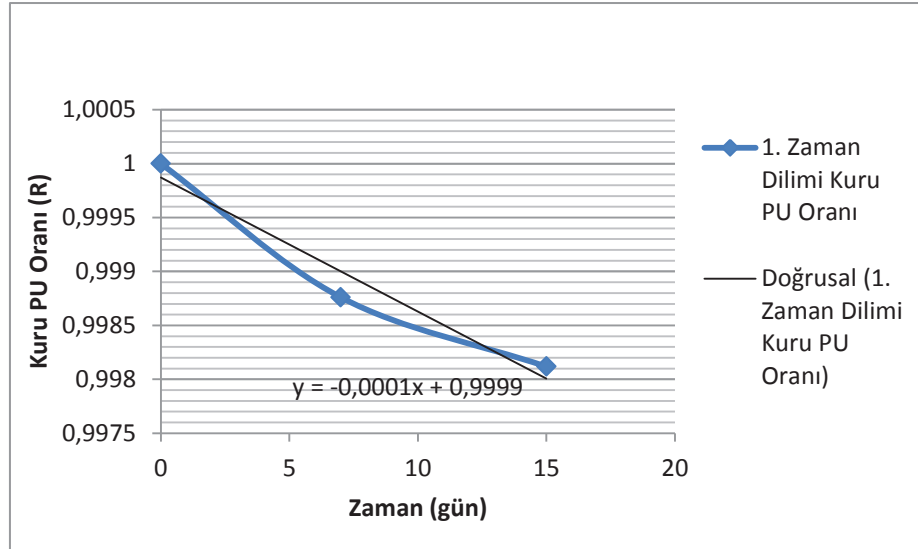
Nemli alan oranı olan 1-R ise 15. Gün için 0,001882 olarak hesaplanmıştır.

1. zaman dilimi için R ve 1-R hesaplama sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. 1. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranları

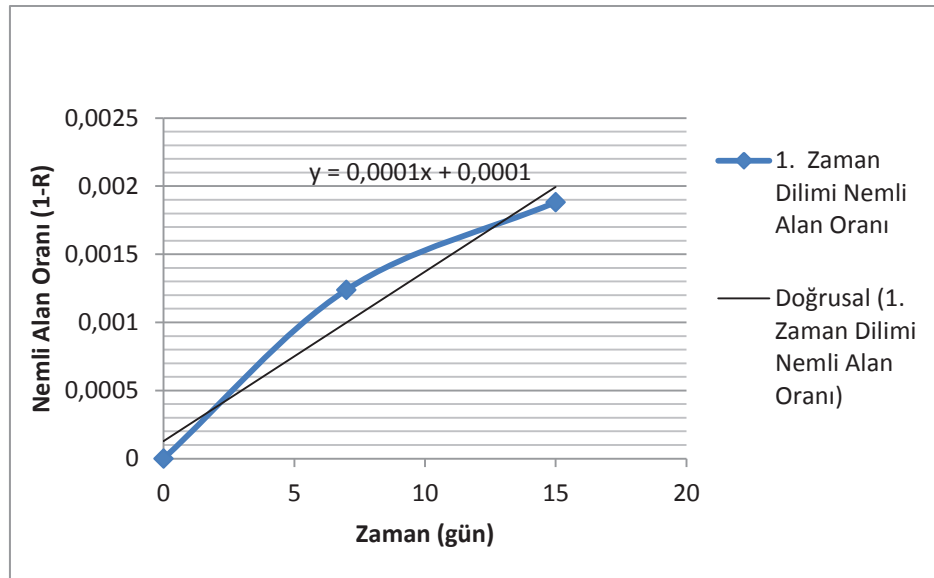
Açıklama	Gün	APU	Asu
		R	1-R
Oran	0	1	0
Oran	7	0,998760615	0,001239
Oran	15	0,998117971	0,001882

1. zaman dilimi kuru PU oranı grafiği ve doğru denklemi Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. 1. Zaman dilimi teorik kuru PU oranı

1. zaman dilimi nemli alan oranı grafiği ve doğru denklemi Şekil 5.6.'de verilmiştir.



Şekil 5.6. 1. Zaman dilimi teorik nemli alan oranı

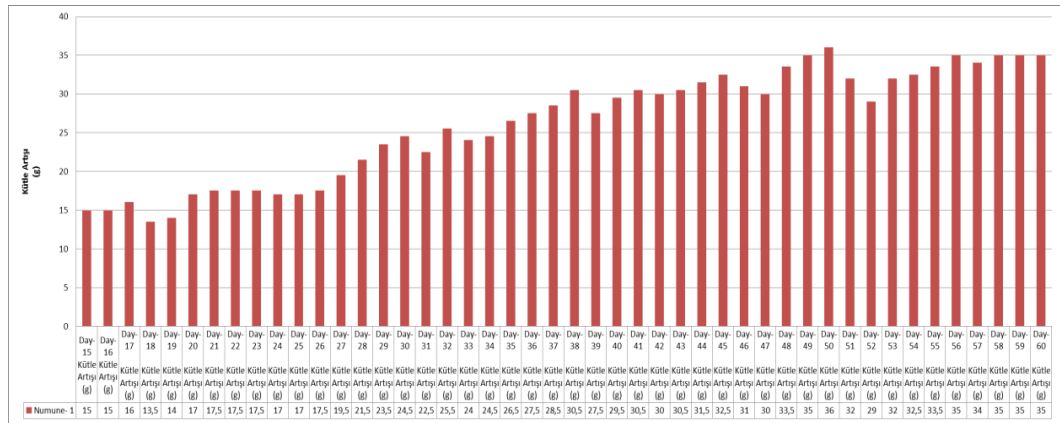
Matematiksel model ile yapılan hesaplamalarda numunenin kuru PU kısmının azaldığı, nem oranının arttığı 1. zaman dilimi sonuçlarında net olarak belirlenmiştir. Nem oranının artması ile olması beklenen ısı iletim katsayısı artışı beklentisi ise TPS2500S ile yapılan ölçüm sonuçları ile teyit edilmiştir.

5.2. 2. Zaman Dilimi Sonuçları

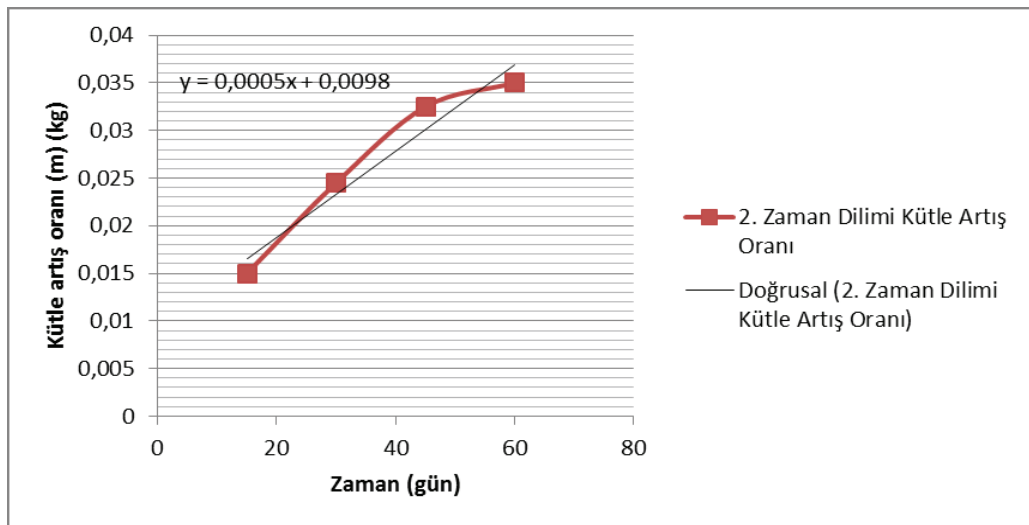
2. zaman dilimi (30. gün, 45. gün ve 60. Gün) gravimetri yöntemi, sıcaklık gradyanı ve ısı iletim katsayıları ölçülerek, kuru PU ve nemli alan oranı matematiksel model ile hesaplanarak değerlendirilmiştir.

5.2.1. 2. Zaman dilimi nem miktarı artışı ölçüm sonuçları

2. zaman dilimindeki nem miktarı artış sonuçları incelendiğinde, artışların devam ettiği ancak 1. zaman dilimine oranla artış hızının daha az olduğu belirlenmiştir. Kütle artış sonuçları Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. 2. Zaman dilimi kütle artışı sonuçları



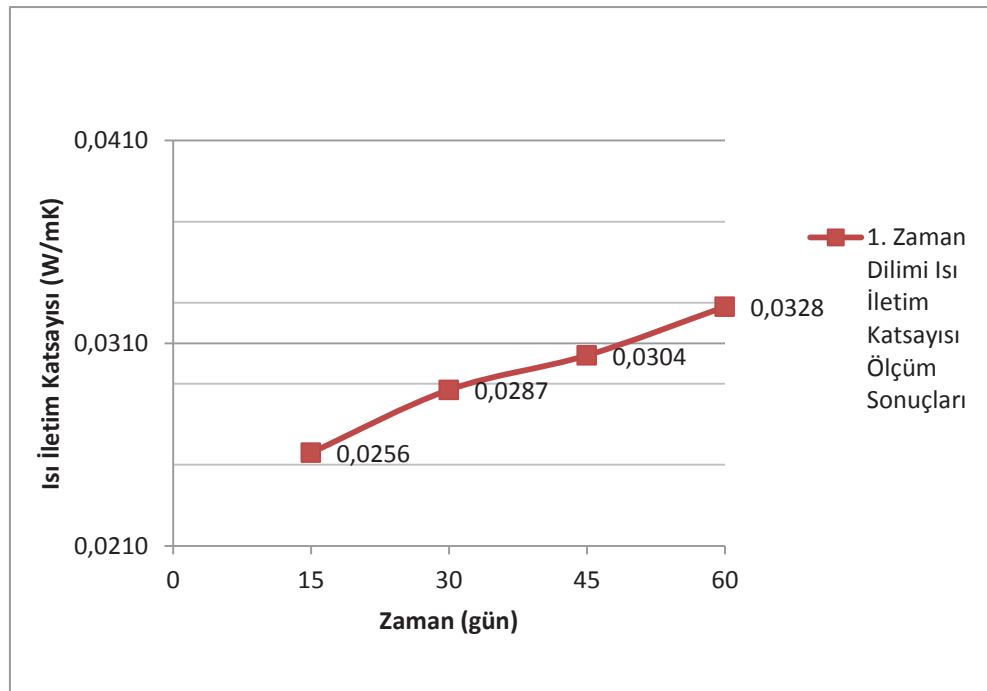
Şekil 5.8. 2. Zaman dilimi kütle artışı doğru denklemi

5.2.2. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları

2. zaman diliminde ısı iletim katsayısının artmaya devam ettiği belirlenmiştir, ölçüm sonuçları Tablo 5.3.'de ve Şekil 5.9.'da verilmiştir.

Tablo 5.3. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları

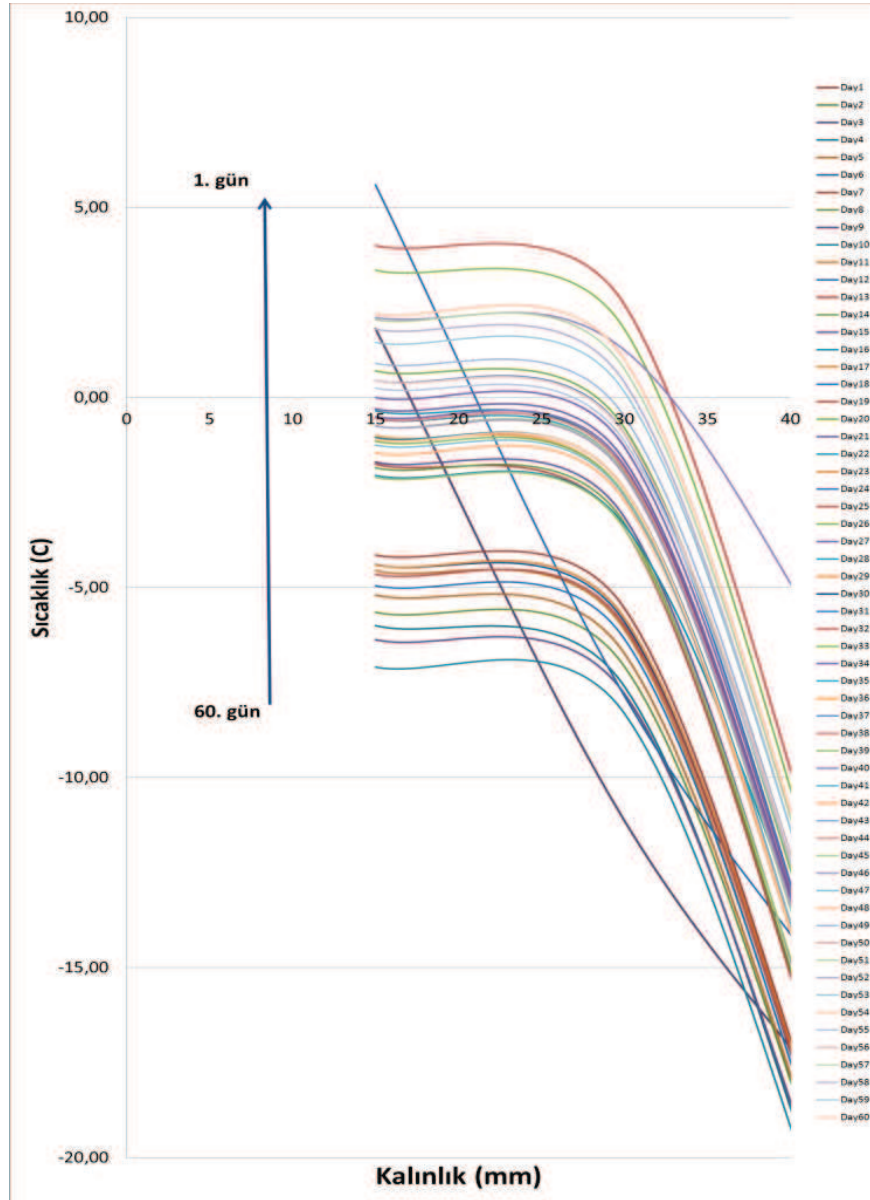
Açıklama	Gün	Isı İletim	
		Katsayısı	Birim
kPU	30	0,0287	W/mK
kPU	45	0,0304	W/mK
kPU	60	0,0328	W/mK



Şekil 5.9. 2. Zaman dilimi ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları

5.2.3. 2. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları

Sıcaklık gradyeni ölçüm sonuçları incelendiğinde nem girişinin numunenin üst yüzeyinden olduğu ve ilerleyen günlerde sıcaklık gradyeninin ölçüm noktaları arasında düzleştiği belirlenmiştir. Sıcaklık gradyeni sonuçları Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. 2. Zaman dilimi sıcaklık gradyeni sonuçları

5.2.4. 2. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranı hesaplamaları

2. zaman dilimi kuru PU oranı ve nemli alan oranı hesaplamaları Denklem 3.18'den faydalanıp R eşitliği bulunarak aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$[(1 - R) \cdot k_{su} + R \cdot k_{PU\ 1.Bölge}] = k_{PU\ 2.Bölge} \quad (3.18)$$

$$R = \frac{k_{su} - k_{PU\ 2.Bölge}}{k_{su} - k_{PU\ 1.Bölge}}$$

k_{Su} 0 °C, –60 °C aralığında 2,2 W/mK olarak alınmıştır [25,26].

Kuru PU (R) oranı TPS2500S cihazı ile yapılan ölçümlerdeki değerler ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$R_{30.gün} = \frac{2,2 - 0,0287}{2,2 - 0,0215} = 0,9966 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Nemli alan oranı olan 1-R ise 30. Gün için 0,003305 olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde 45. Gün için R oranı;

$$R_{45.gün} = \frac{2,2 - 0,0304}{2,2 - 0,0215} = 0,9959 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Nemli alan oranı olan 1-R ise 45. Gün için 0,004085 olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde 60. Gün için R oranı;

$$R_{60.gün} = \frac{2,2 - 0,0328}{2,2 - 0,0215} = 0,9948 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

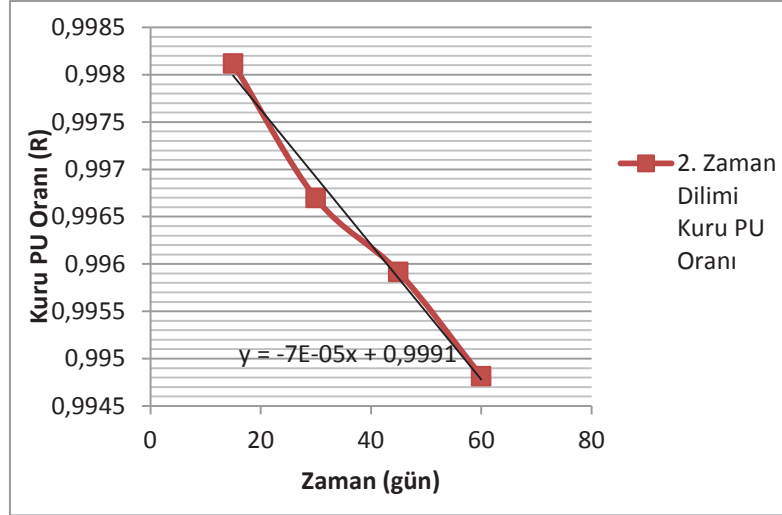
Nemli alan oranı olan 1-R ise 60. Gün için 0,005187 olarak hesaplanmıştır.

1. zaman dilimi için R ve 1-R hesaplama sonuçları Tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. 2. Zaman dilimi kuru PU ve nemli alan oranları

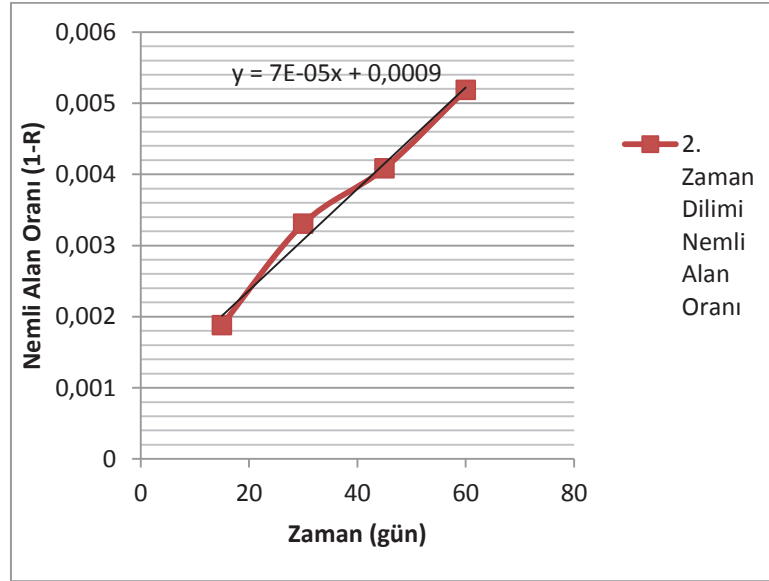
Açıklama	Gün	APU R	Asu 1-R
Oran	30	0,996694974	0,003305
Oran	45	0,99591462	0,004085
Oran	60	0,994812945	0,005187

2. zaman dilimi kuru PU oranı grafiği ve doğru denklemi Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. 2. Zaman dilimi teorik kuru PU oranı

2. zaman dilimi nemli alan oranı grafiği ve doğru denklemi Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. 2. Zaman dilimi efektif nemli alan oranı

1. zaman diliminde gözlemlenen kuru PU oranındaki azalma ve nemli alan oranındaki artışın devam ettiği 2. zaman diliminde de gözlemlenmiştir.

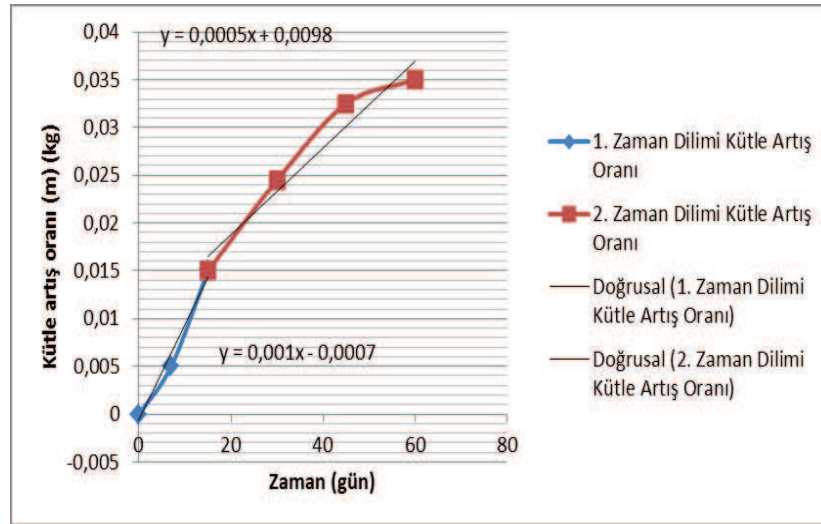
5.3. Efektif Hesaplamalar ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

PU köpük numune içerisine nüfus eden nem miktarı ve ısı iletim katsayısı deneyler ile belirlenmiştir. Deneylerin yanı sıra matematiksel model ile efektif

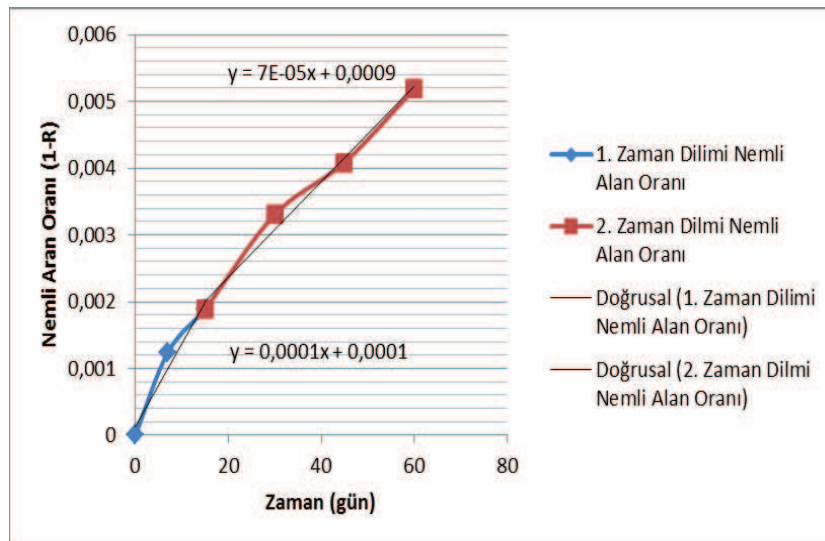
olarak hesaplanan nemli alan oranı ve ısı iletim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Efektif hesaplamalar ve deney sonuçları karşılaştırılarak sapmalar hesaplanarak deney verileri ile matematiksel model doğrulanmıştır.

5.3.1. Kütle artış miktarlarının karşılaştırılması

Efektif kuru PU oranı ve nemli alan oranı hesaplamaları sonrasında deneysel olarak gravimetri yöntemi ile ölçülen kütle artışları 1. ve 2. zaman dilimi için ayrı ayrı incelenmiştir. Birimi gram olan ölçümler matematiksel model ile yapılan hesaplamalar ile kıyaslanabilir olması için kg birimine dönüştürülmüştür.



Şekil 5.13. Deneysel kütle artış miktarı

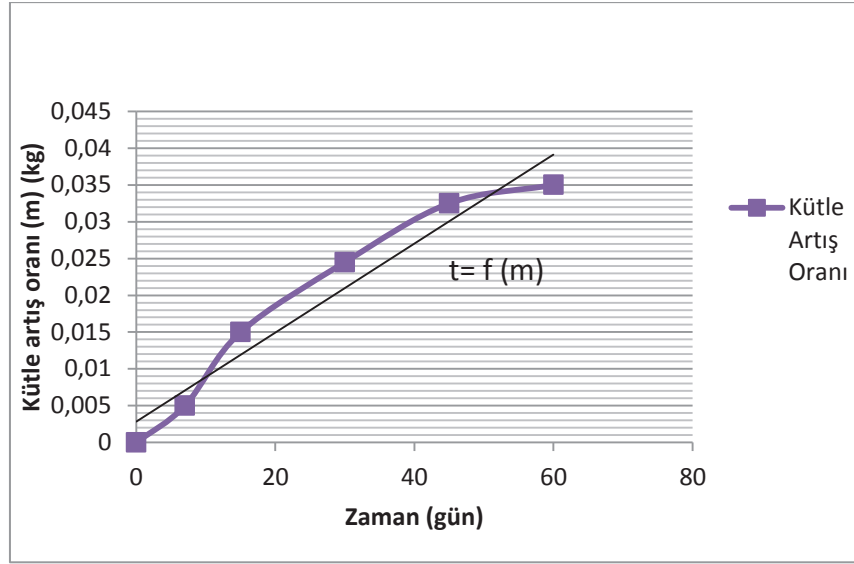


Şekil 5.14. Efektif nemli alan oranı

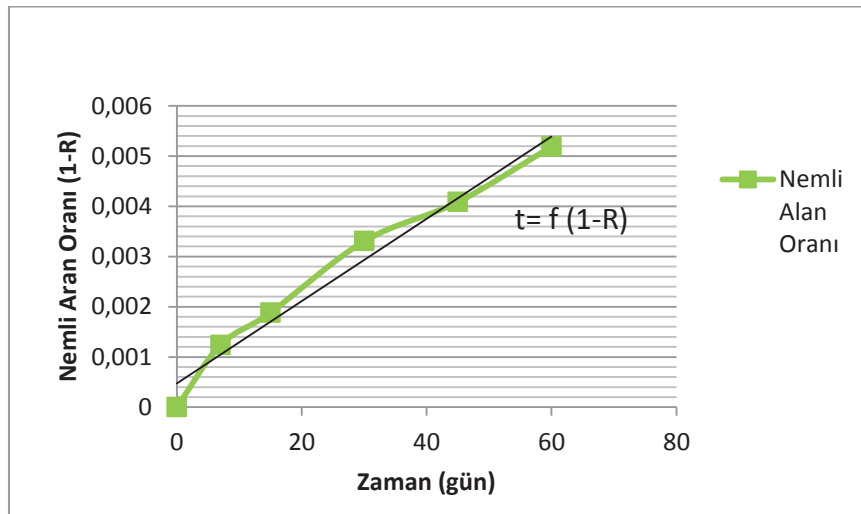
1. ve 2. zaman dilimindeki kütle artış oranının efektif olarak hesaplanan nemli alan oranı karakteristiğinin benzer olduğu belirlenmiştir. 1. ve 2. zaman diliminde olan deneysel kütle artış oranı grafiği Şekil 5.13.'de, efektif nemli alan oranı grafiği Şekil 5.14.'de verilmiştir.

5.3.2. Isı iletim katsayısı karşılaştırılması

Kütle artış oranı ve nemli alan oranı birer zaman fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Bu fonksiyonlar Şekil 5.15.'de ve Şekil 5.16.'da verilmiştir.



Şekil 5.15. Deneysel kütle artış oranı doğru denklemi



Şekil 5.16. Efektif nemli alan oranı doğru denklemi

Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da verilen eğrilerin x eksenleri her iki veri içinde aynı zaman diliminde olması nedeni ile;

$f(m) = f(1 - R)$ şeklinde ifade edilebilir.

Bu yöntem ile her iki zaman diliminin doğru denklemlerinin eşitlenmesi ile 1-R (nemli alan oranı) büyüklüğünün m (kütle artış oranı) değerine bağlı denklemi elde edilmiştir. Elde edilen bu büyüklük ile model teorisinde bulunan;

$$[(1 - R) \cdot k_{su} + R \cdot k_{PU\ 1.Bölge}] = k_{PU\ 2.Bölge} \quad (3.18)$$

Denklemi sayesinde, ölçümlerden bağımsız olarak kütle artış miktarı (m) verisi ile belirli gün sonrasındaki PU yalıtım malzemesi etkin ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Efektif ısı iletim katsayısı, ölçüm ile bulunan ısı iletim katsayıları karşılaştırılarak sapmalar hesaplanmıştır.

1. zaman dilimi için m'e bağlı R değeri denkleminin bulunması;

Nemli alan oranı doğru denklemi Y_T ;

$$Y_T = 0,0001x + 0,0001 \quad (4.1)$$

$$Y_T = 1 - R$$

Kütle artış miktarı doğru denklemi Y_D ;

$$Y_D = 0,001x - 0,0007 \quad (4.2)$$

$$Y_D = m$$

$$t = x$$

Bu eşitlikler olması nedeni ile x her iki denklemde yalnız bırakılarak değerler eşitlenir. Burada YD deneysel doğru denklemini, YT Efektif doğru denklemini, 1-R kuru PU alanı oranını, m kütle artış oranını ifade etmektedir.

$$R = 1 - 0,1m \quad (4.3)$$

Olarak bulunur.

Bu eşitlik ile 7. Gün de ölçülen m oranı yerine yazılarak $R_{7.Gün}$ ve $1 - R_{7.Gün}$ değerleri bulunur.

$$R_{7.Gün} = 1 - 0,1.0,005$$

$$R_{7.Gün} = 0,99953$$

$$1 - R_{7.Gün} = 6,7.10^{-4} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Hesaplanan $R_{7.Gün}$ değerleri $k_{PU\ 1.Bölge}$ eşitliğinde yerine konularak, $k_{PU7.gün}$ değeri hesaplanır.

$$k_{PU7.gün} = [(1 - R_{7.Gün}) \cdot k_{su} + R_{7.Gün} \cdot k_{PU\ 1.Bölge}]$$

$$k_{PU7.gün} = [(6,7.10^{-4}) \cdot 2,2 + 0,99953 \cdot 0,0215]$$

$$k_{PU7.gün} = 0,02296 \text{ W/mK olarak hesaplanır.}$$

15. Gün de ölçülen m oranı yerine yazılarak $R_{15.Gün}$ ve $1 - R_{15.Gün}$ değerleri bulunur.

$$R_{15.Gün} = 1 - 0,1.0,015$$

$$R_{15.Gün} = 0,99853$$

$$1 - R_{15.Gün} = 1,3.10^{-3} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Hesaplanan $R_{15.Gün}$ değerleri $k_{PU\ 1.Bölge}$ eşitliğinde yerine konularak, $k_{PU15.gün}$ değeri hesaplanır.

$$k_{PU15.gün} = [(1 - R_{15.Gün}) \cdot k_{su} + R_{15.Gün} \cdot k_{PU\ 1.Bölge}]$$

$$k_{PU15.gün} = [(1,3.10^{-3}) \cdot 2,2 + 0,99853 \cdot 0,0215]$$

$k_{PU15.gün} = 0,02514 W/mK$ olarak hesaplanır.

2. zaman dilimi için m' e bağlı R değeri denkleminin bulunması;

Nemli alan oranı doğru denklemi Y_T ;

$$Y_T = 7E - 05x + 0,0009 \quad (4.4)$$

$$Y_T = 1 - R$$

Kütle artış miktarı doğru denklemi Y_D ;

$$Y_D = 0,0005x - 0,0098 \quad (4.5)$$

$$Y_D = m$$

$$t = x$$

Bu eşitlik ile olması nedeni ile x her iki denklemde yalnız bırakılarak değerler eşitlenir,

$$R = 1,000472 - 0,14m \quad (4.6)$$

30. Gün de ölçülen m oranı yerine yazılarak $R_{30.Gün}$ ve $1 - R_{30.Gün}$ değerleri bulunur.

$$R_{30.Gün} = 1,000472 - 0,14 \cdot 0,0245$$

$$R_{30.Gün} = 0,997042$$

$$1 - R_{30.Gün} = 2,958 \cdot 10^{-3} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Hesaplanan $R_{30.Gün}$ değerleri $G_{.5}$ eşitliğinde yerine konularak, $G_{.74}$ değeri hesaplanır.

$$G_{.74} = L \cdot c \cdot s F_{474} ; G_{L} = E_{474} \cdot G_{.5} \quad g$$

$$G_{.74} = L \cdot >:t \cdot w \cdot z r^{27} ; t \cdot E \cdot r \cdot \{ y r \cdot t s ? w$$

$G_{.74}$ olarak hesaplanır.

45. Gün de ölçülen m oranı yerine yazılarak 4_{89} ve $s F_{489}$ değerleri bulunur.

$$4_{89} = L \cdot s \cdot r \cdot r v F y r \cdot v r \cdot u \cdot w$$

$$4_{89} = L \cdot r \cdot \{ w \cdot t \cdot t$$

$s F_{489}$ olarak hesaplanır.

Hesaplanan 4_{89} değerleri $G_{.5}$ eşitliğinde yerine konularak, $G_{.89}$ değeri hesaplanır.

$$G_{.89} = L \cdot c \cdot s F_{489} ; G_{L} = E_{489} \cdot G_{.5} \quad g$$

$$G_{.89} = L \cdot >:v \cdot y \cdot z r^{27} ; t \cdot E \cdot r \cdot \{ w \cdot r \cdot t s ? w$$

$G_{.89}$ olarak hesaplanır.

60. Gün de ölçülen m oranı yerine yazılarak $4_{.4}$ ve $s F_{4.4}$ değerleri bulunur.

$$4_{.4} = L \cdot s \cdot r \cdot r v F y r \cdot v r \cdot u \cdot w$$

$$R_{60.Gün} = 0,995572$$

$$1 - R_{60.Gün} = 4,428.10^{-3} \text{ Olarak hesaplanır.}$$

Hesaplanan $R_{60.Gün}$ değerleri $k_{PU\ 1.Bölge}$ eşitliğinde yerine konularak, $k_{PU60.gün}$ değeri hesaplanır.

$$k_{PU60.gün} = [(1 - R_{60.Gün}) \cdot k_{su} + R_{60.Gün} \cdot k_{PU\ 1.Bölge}]$$

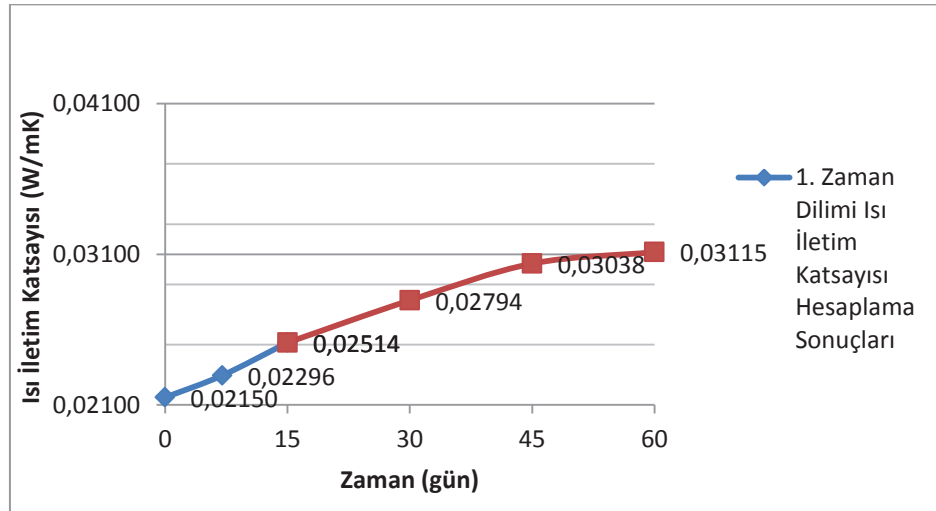
$$k_{PU60.gün} = [(4,428.10^{-3}) \cdot 2,2 + 0,995572 \cdot 0,0215]$$

$$k_{PU60.gün} = 0,03115 \text{ W/mK olarak hesaplanır.}$$

Ölçüm günlerinde numune için hesaplanan efektif ısı iletim değerleri Tablo 5.5. ve Şekil 5.17.'de verilmiştir.

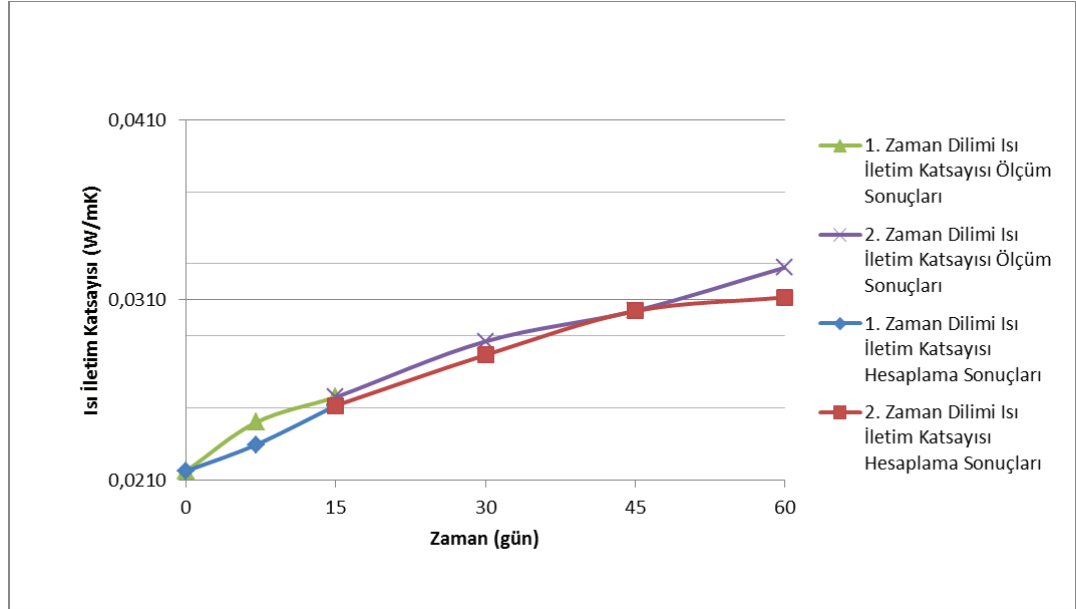
Tablo 5.5. Efektif ısı iletim katsayısı sonuçları tablosu

Açıklama	Gün	Isı İletim	
		Katsayısı	Birim
kPU	0	0,0215	W/mK
kPU	7	0,0230	W/mK
kPU	15	0,0251	W/mK
kPU	30	0,0279	W/mK
kPU	45	0,0304	W/mK
kPU	60	0,0311	W/mK



Şekil 5.17. Efektif ısı iletim katsayısı sonuçları

Efektif ısı iletim katsayısı sonuçları ile ölçümleri sonuçları karşılaştırıldığında eğrilerin karakteristiklerin benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Efektif ısı iletim katsayısı ile ölçülen ısı iletim katsayıları karşılaştırma grafikleri Şekil 5.18.'de verilmiştir.



Şekil 5.18. Isı iletim katsayısı karşılaştırma sonuçları

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma gözenekli köpük bir yalıtım malzemesinin nem difüzyonunun ısı iletim katsayısına dolayısı ile ısı yalıtım özelliğine etkisinin incelenmesini kapsamaktadır. Ortaya konulan matematiksel model ile bulunan etkin ısı iletim katsayısı değerleri ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında en büyük sapmanın 0,17% olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında incelenen numunelerin diğer günlerdeki sapma Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Isı iletim katsayısı sapmalar tablosu

Açıklama	Gün	Isı İletim Katsayısı Ölçüm Değerleri		Efektif Isı İletim Katsayısı Değeri		Isı iletim Katsayısı Sapması
		Isı İletim Katsayısı	Birim	Isı İletim Katsayısı	Birim	
kPU	0	0,0215	W/mK	0,0215	W/mK	0,00%
kPU	7	0,0242	W/mK	0,0230	W/mK	0,12%
kPU	15	0,0256	W/mK	0,0251	W/mK	0,05%
kPU	30	0,0287	W/mK	0,0279	W/mK	0,08%
kPU	45	0,0304	W/mK	0,0304	W/mK	0,00%
kPU	60	0,0328	W/mK	0,0311	W/mK	0,17%

Tablo 6.1.'de de görüldüğü gibi matematiksel model ile yapılan hesaplama ve ölçüm sonuçları birbirlerine çok yakındır. Matematiksel modeldeki kabullerin ilk 60 günlük deney süresi için teyit edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamın deney şartları, frigorifik araçların dış ortam koşulları için ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri alınmıştır. Ancak gerçek koşullarda frigorifik araçlar ortalama sıcaklığın çok üzerindeki sıcaklıklara ve nem oranlarına maruz kalabilmektedir. Bu durumların incelenebilmesi için uzun süre ve farklı

ortam şartları oluşturulması gerektiği için bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Aslında sandviç panel içerisine giren nemin donması ve donan suyun çözülerek tek buhar fazına geçmesi şartlara bağlı olarak mümkün olabilmektedir. Bu durumda sandviç panel içerisine nem difüzyon ile girerek donan su buharı, yüksek sıcaklıklarda buharlaşarak gaz fazına geçmektedir. Bu faz değişimi nedeni ile oluşan hacimsel genişleme sonucu yapısal bozulmalara ve özellikle gözenekler arası geçirgenliğin artması gibi kalıcı deformasyonlara neden olmaktadır. Diğer taraftan donan su buharının ısı iletim katsayısı (2,2 W/mK), kuru PU'nun ısı iletim katsayısının (0,0215 W/mK) yaklaşık 100 katı büyüklüğündedir. Bu oran nem difüzyonunun yapının ısı yalıtım özelliğini ne ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Yapılan deneysel sıcaklık ölçümleri ve farklı katmanlardaki ısı iletim katsayısı ölçümleri sonucu nemin köpük içerisine daha çok dış yüzeyden nüfuz ettiği belirlenmiştir. Yapılan sıcaklık gradyeni ölçümleri numune içerisine yerleştirilen termal çiftler ile yapıldığı için, yalnızca termal çiftlerin olduğu noktalardaki sıcaklık durumları belirlenebilmiştir. Numune içerisindeki nem gradyeninin nasıl gelişerek ilerlediği konusu ve nem difüzyonunun belirli bir zaman sonra nasıl ve ne kadar ilerlediği sıcaklık gradyeninin ani değişiminin numunenin neresinde başladığı bilinmemesi nedeni ile bu çalışmada yeteri kadar incelenememiştir. Bu nedenle çalışmanın ileriki aşamalarında nem gradyeni dağılımının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılması planlanmıştır.

Yalıtım malzemesi içerisine giren nemin yapının mekanik özelliklerinde meydana getirdiği olumsuzluklar literatür de ortaya konmuştur. Bu çalışma kapsamında ise yapı içerisine giren nem nedeni ile termal özelliklerinin olumsuz etkilendiği ortaya konmuştur. Bu olumsuzluklar termal açıdan değerlendirildiğinde soğutma odaları, frigorifik araçlar, buzdolapları gibi soğuk havanın muhafaza edilmesi gerekliliği olan yapılarda ısı yalıtım özelliğinin bozulması, olması gereken şartlandırılmış ortamı yaratmak için daha fazla enerji harcanmasına neden olacaktır. Fazla enerji harcanması dolayısı ile emisyon ve sera gazı etkisi artarak çevreye ciddi kalıcı etkiler bırakacağı ise bu olumsuzluğun kaçınılmaz bir sonucu

olacaktır. Bu doğrudan ve dolaylı etkiler nedeni ile gözenekli yapıya sahip yalıtım malzemelerine nem girişinin engellenmesi konusunda teknik çözüm bulunması zorunluluğunu, ilerleyen zamanlarda gözenekli yapıya sahip yalıtım malzemesi ve imalat yöntemleri alanlarında bilimsel ve teknik çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.putechmagazine.com/Haber/Poliuretan-Kimyasi-Son-Gelismeler.html>, Erişim Tarihi, 15.02.2015.
- [2] Yalıtım TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: 2005/399, s.7-15,19-37,81-104, 2005.
- [3] www.yapex.com, Erişim Tarihi, 20.04.2016.
- [4] www.kimyamuhendisi.com Isı Yalıtım Malzemeleri, Erişim Tarihi, 20.04.2016.
- [5] ODE ISIPAN' Ürün Katalogu, Arge İnsaat Mühendislik Yapı ve Yalıtım Mlz. LTD. ST, 2006.
- [6] http://arkitera.com/v1/malzemedosyasi/duvar_elemanlari/dıs_mantolama, Erişim Tarihi, 20.04.2016.
- [7] <http://www.lojistik.net/1341828216h.html>, Erişim Tarihi, 15.03.2015.
- [8] <http://ekonomiajandasi.net/gida/28472>, Erişim Tarihi, 15.03.2015.
- [9] <http://www.utikad.org.tr/haberler/?id=10619>, Erişim Tarihi, 10.03.2015.
- [10] ECE/TRANS, Agreement On The International Carriage Of Perishable Foodstuffs And On The Special Equipment To Be Used For Such Carriage (ATP), United Nations, 2015.
- [11] http://www.cargobull.com/en/FERROPLASTThermoTechnology_116_320.html, Erişim Tarihi, 15.02.2015.
- [12] Kuppinger, J., Polyurethane Base Sandwich Structures – Face Sheet Characteristics The 12th-annual SPE Automotive Composites Conference & Exhibition (ACCE); Troy, Michigan, USA, 11.-13.09.2012.
- [13] Sezgin, FE., Mechanical Behaviour and Modeling of Honeycomb Cored Laminate Fiber/Polymer Sandwich Structures. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- [14] Patrick G, Benoit M, Guillaume D, Yves G Experimental and numerical study of heat transfer across insulation wall of a refrigerated integral panel van, Volume 73, Issue 1, Pages 196–204, 5 December 2014
- [15] Ulf J. and Olle R., New Materials And Constructions For Improving The Quality And Lifetime Of District Heating Pipes.11th International Symposium on District Heating and Cooling, Reykjavik, ICELAND, August 31 to September 2, 2008.
- [16] Ulf J. and Olle R., Thermal Conductivity of polyurethane foam-best performance. 10 th International Symposium on District and Cooling.,Göteborg, SWEDEN, September 3-5, 2006.
- [17] Andrea T., Antonella T.Alessandra P., Riccardo A., Thermographic analysis of polyurethane foams integrated with phase change materials designed for dynamic thermal insulation in refrigerated transport., Applied Thermal Engineering 70 201-210, 2014.
- [18] Shilei L., Shangbao L., Jingyu H., Xiangfei K., Establishment and experimental verification of PCM room's TRNSYS heat transfer model based on latent heat utilization ratio, Energy and Buildings 84 287–298., 2014.
- [19] BJ M., Vijayalakshmi R., and MP Sham A., Moisture absorption and mechanical degradation studies of polyurethane foam cored E-glass-reinforced vinyl-ester sandwich composites Journal of Reinforced Plastics and Composites Vol. 33(5) 479–492, 2014.
- [20] Z Huo, M Mohamed, JR Nicholas, X Wang and K Chandrashekhara, Experimentation and simulation of moisture diffusion in foam-cored polyurethane sandwich structure, Journal of Sandwich Structures and Materials, Vol. 18(1) 30–49 PhD, 2016.
- [21] Hasan A. H., M. Murat B., M. Kemal S., Yapı Malzemelerinde Buhar Difüzyonu Ve Yoğuşma, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, İzmir, TÜRKİYE, 2001.
- [22] BS EN ISO 22007-2, Plastics - Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity.,UK, 2012.
- [23] Yunus A. Ç., Isı ve Kütle Transferi Güven Blimsel Yayınları 1-878, 2011.
- [24] Frank P. I., David P. D., Isı ve Kütle Geçisinin Temelleri Literatür Yayıncılık, 2010.
- [25] Weast, Handbuch für Chemiker und Physiker, 64th Edition, CRC Press, 1-375, 1983-84.

- [26] Günter Meyer, Erich Schiffner, Übungen zur Technischen Thermodynamik, Fachbuchverlag, Leipzig, 1-276 1989.

ÖZGEÇMİŞ

Aslı Soytürk, 10.01.1989'de Tarsus'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tarsus'ta tamamladı. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2012 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 – 2013 yılları arasında Alnal Railway System'de Tasarım ve Analiz Mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılında Tırsan Treyler'de Test ve Analiz Mühendisi olarak başladığı işine halen devam etmektedir.