

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

**BİNA ISI YALITIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ  
VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve MERMER**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA ISI YALITIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ  
VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve MERMER

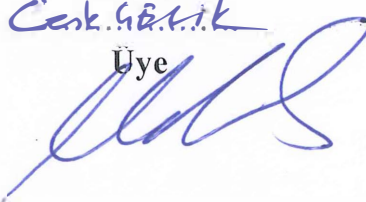
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 21.12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

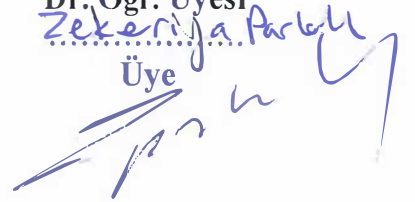
Doç. Dr.  
Hüseyin PEHLİVAN  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Cenk Gökçelik  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Zekeriya Parlak  
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 herhangi 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.

Merve MERMER

16.03.2019

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimin süresince değerli görüş, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tüm konularda desteğini esirgemeyen, teşvik eden, pozitifliği ve azmi ile değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN 'a; benden yardımını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İsmet TIKIZ hocama ve beni bugünlere getiren emek veren sevgili aileme teşekkür ve saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 3.	
ISI YALITIM MALZEMELERİ .....	6
3.1. Isı Yalıtımı.....	6
3.2. Isı Yalıtımının Önemi.....	6
3.3. Isı Yalıtım Malzemeleri .....	7
3.3.1. Ekstrüde polistren köpük (XPS).....	7
3.3.2. Ekspande polistren köpük (EPS).....	8
3.3.3. Taş yünü .....	8
BÖLÜM 4.	
TERMAL KAMERA .....	10

4.1. Termal Kamera.....	10
4.2. Termal Kamera ve Uygulamaları .....	11
4.3. Bolu İli Üniversite Kampüsü Binalarının Termal Kamera Görüntüleri	13
BÖLÜM 5.	
BİR ÖĞRETİM BİNASI PROJESİNİN ISI YALITIM YÖNÜNDE TEKNIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ .....	17
5.1. Öğretim Binası Projesinin Yalıtımsız Durumda Özgül Isı Kaybı ve Yıllık Enerji İhtiyacının Bulunması .....	18
5.2. Öğretim Binası Projesi İçin Örnek Isı Yalıtım Sistemleri.....	23
5.2.1. Ekstrüde polistren ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti .....	23
5.2.2. Ekspande polistren ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti.....	30
5.2.3. Taş yünü ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti.....	37
5.2.4. Isı Yalıtım Sistemlerinin Tüketilecek Enerji Açısından Amorti Sürelerinin Hesabı .....	44
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	45
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS 825	: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı
XPS	: Ekstrüde Polistren Köpük
EPS	: Ekspande Polistren Köpük
IR	: Kızılötesi
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
HFCL	: Hafniyum tetraklorür
BEPY	: Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
TL	: Türk Lirası

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ekstrüde Polistren Köpük (XPS) .....	7
Şekil 3.2. Ekspande Polistren Köpük (EPS). .....	8
Şekil 3.3. Taş Yünü.....	9
Şekil 4.1. Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları . .....	11
Şekil 4.2. Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları . .....	12
Şekil 4.3. Sıcaklık Yayan Boru Uygulamaları Isı Kaçakları . .....	12
Şekil 4.4. Bolu İli Üniversite Kampüsü Binalarının Farklı Cephelerden Termal Kamera Görüntüleri 1 .....	13
Şekil 4.5. Bolu İli Üniversite Kampüsü Binalarının Farklı Cephelerden Termal Kamera Görüntüleri 2 .....	14
Şekil 5.1. Öğretim Binası Zemin Kat Planı.....	18
Şekil 5.2. Öğretim Binası Normal Katlar Planı.....	18



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Termal kamera özellikleri.....	11
Tablo 5.1. Yalıtımsız Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi.....	17
Tablo 5.2. Yalıtımsız Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi.....	19
Tablo 5.3. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı .....	20
Tablo 5.4. Yalıtımsız Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	21
Tablo 5.5. Yalıtımsız Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	21
Tablo 5.6. Yalıtımsız Binanın Tavan (Üzeri Açık) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	22
Tablo 5.7. Yalıtımsız Binanın Taban (Toprak Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	22
Tablo 5.8. Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi .....	24
Tablo 5.9. Ekstrüde Polistren ile Oluşturulan Isı Yalıtımı Sisteminin Maliyet Çizelgesi.....	25
Tablo 5.10. Ekstrüde Polistren ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi.....	26
Tablo 5.11. Ekstrüde Polistren ile Dıştan ısı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	27
Tablo 5.12. Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	28
Tablo 5.13. Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	28
Tablo 5.14. Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	29

Tablo 5.15. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi .....	31
Tablo 5.16. Ekspande Polistren ile Oluşturulan Isı Yalıtımı Sisteminin Maliyet Çizelgesi.....	32
Tablo 5.17. Ekspande Polistren ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi .....	33
Tablo 5.18. Ekspande Polistren ile Dıştan ısı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	34
Tablo 5.19. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	34
Tablo 5.20. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	35
Tablo 5.21. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi .....	36
Tablo 5.22. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi .....	38
Tablo 5.23. Taş Yünü ile Oluşturulan Isı Yalıtımı Sisteminin Maliyet Çizelgesi.....	39
Tablo 5.24. Taş Yünü ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi .....	40
Tablo 5.25. Taş Yünü ile Dıştan ısı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	41
Tablo 5.26. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	41
Tablo 5.27. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	42
Tablo 5.28. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi.....	43
Tablo 5.29. Isı Yalıtım Sistemlerinin Amorti Sürelerinin Hesabı .....	47
Tablo 6.1. Öğretim Binasının Isı Yalıtımı Optimizasyon Sonuçları.....	47

## ÖZET

Anahtar kelimeler: termal kamera, ısı yalıtım, ısı kaybı, sıcaklık, yalıtım malzemesi, yatırım maliyeti

Türkiye'deki enerjinin %35'i binalarda tüketilmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin %80'i ısıtma için kullanılmaktadır. Binalarda kullanılacak daha verimli ısıtma sistemleri ve binalara uygulanması gereken ısı yalıtımları ile çok büyük enerji tasarrufu yapılacaktır. Bu çalışmada, bir binanın TS 825 Isı Yalıtım Kuralları ile ilgili yönetmelik dikkate alındığında kullanılan ısı yalıtım malzemesinin kalınlıklarının enerji tasarrufu yönünden incelemesi amaçlanmıştır. Bunun için Bolu ilinde bulunan bir bina seçilmiş, binanın dış kabuğundaki yapı elemanları ele alınarak gerekli yıllık bina ısıtma enerjisi ihtiyacı, binanın enerji verimliliği, binanın özgül ısı kaybı hesapları yapılarak binadaki yapı elemanları kesit halinde verilerek ısıl geçirgenlik katsayıları belirlenmiştir. Binayı oluşturan pencere, beton ve duvar malzemeleri miktarı belirlenmiştir. Ayrıca o bölgede bulunan binaların ısı yalıtımlarının termal kamera ile görüntüleri incelenmiştir.

# **INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF BUILDING THERMAL INSULATION SYSTEMS**

## **SUMMARY**

Keywords: thermal camera, heat insulation, heat loss, temperature, insulation material, investment cost.

Considering that 35% of the energy in our country is consumed in buildings and 80% of the energy consumed in the buildings is used for heating purposes, it is very important that more energy efficient heating systems to be installed in the buildings will be provided with suitable heat insulation to be applied to the buildings. It is aimed to examine the thickness of the thermal insulation material used in the basis of TS 825 Thermal Insulation Rules of a building in terms of energy saving. For this purpose, a building in Bolu province was selected, the building elements in the outer shell of the building, the required annual heating energy need, the building's energy efficiency, the building's specific heat loss calculations were made by giving the building elements in the building in the section of the thermal permeability coefficients were determined. The building, window, concrete and Wall materials were determined. In addition, thermal insulations of the buildings in the area were examined by thermal camera.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Nüfus artışının hızlanması ve sanayileşmedeki gelişmeler enerji ihtiyacını artırmaktadır. Ayrıca enerji kaynaklarının bilinçsiz şekilde kullanılması ile birlikte ekolojik dengenin bozulması nedeniyle de gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmama tehlikesi karşımıza çıkmaktadır. Büyük yatırımlar yapılarak üretilen enerjinin tasarruflu kullanılması önem arz etmektedir.

Enerjinin en çok tüketildiği alanlardan biri olan yapılarda enerji tasarrufu yapmak için ısı yalıtım konusuna eğilim göstermek gerektiğinden ülkemizde TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı oluşturulmuştur. Isı yalıtımı bu standarda uygun olarak hesaplanmalı ve tasarlanan ısı yalıtımının uygulaması da doğru bir şekilde yapılmalıdır. Isı yalıtımı uygulamalarındaki hataların binadan daha fazla ısı kaybına neden olacağından sorunlar tespit edilerek ortadan kaldırılması gerekir. Isı yalıtımı sağlandığında bina için ısıtma veya soğutma gideri azalır ve enerji tasarrufu sağlanmış olur.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Binaların ısıtılmasında kullanılan enerjinin sınırlandırılması ve enerji ihtiyacının hesaplanması belirlenecektir. Binalarda ısı yalıtım malzemesi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları belirlenerek ısı yalıtımı uygulaması ile ilgili malzeme seçimi, malzeme boyutlandırılması, detay çözümleri konusunda mevcut uygulamaların yerinde incelenmesi amaçlanmıştır. Yapı elemanlarından duvar, döşeme ve tavanlarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin TS 825'e göre hesaplarının yapılması, detayların standarttaki hesap metoduna göre analiz edilmesi, sorunların açıklanması, standartlarda belirtilen ideal enerji tasarrufu sağlayacak detayların belirlenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Binalarda ısı yalıtımına gereken önem verilmeyerek enerji tasarruflu binalar üretilmez ise önümüzdeki yıllar içerisinde çevre sorunları ile karşı karşıya kalınacağı çok açıktır. Bundan dolayı enerjinin kullanıldığı tüm sektörlerde verimli kullanımı şarttır. Ülkemizde enerji kaynaklarının giderek azalması ve buna rağmen enerji tüketiminin artması da enerjinin verimli kullanılması gerektiğinin bir göstergesidir. Türkiye’de ve Dünya’da yeni yalıtım tekniklerinin araştırılması ayrıca yürürlükte olan yönetmelik ve standartlar incelenmiştir. Ele alınan binanın özgül ısı kaybının ve yıllık ısıtma enerji talebinin farklı ısı yalıtımı malzemelerine göre hesapları yapılacaktır. Yapılarda ısı kayıplarının gerçekleştiği duvar, çatı ve döşeme kısımlarında uygulamada kullanılan malzemeler termal kamera analizi ile incelenip karşılaştırmalar yapılacaktır.

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Binaların ısı performansını artırmak için enerji tüketimini en aza indirmek fazla enerji kullanımını çözmeye büyük katkı sağlar. Binaların enerji verimliliğini sağlamak için ısı kayıplarını en aza indirip araştırmalar o yönde yapılmalıdır. Binalarda meydana gelen ısı köprülerini incelemeye alarak pencerelerden dolayı dışarı atılan enerjinin sadece pencere malzemesi ile ilgili olmadığı; pencere montajının da ısı köprülerinin oluşması ile ilgili ilişkilendirildiğini termal kamera ile izlendiğini incelenmiştir [5]. Ayrıca pencerelerin gölgelendirmelerinin binaya girmeden önce güneş ışınımını engellediklerinden dolayı güneş ısı kazanımlarını kontrol ederek deney ve ölçümlerle termal analizleri araştırılmaktadır. Öngörülen enerji verimliliği standartlarının geliştirilmesi, ticari ürünler için derecelendirme ve etiketleme sistemleri, tasarım kılavuzlarının geliştirilmesi için çalışılmaktadır [6]. Bina duvarlarına dıştan yapılan ısı yalıtım ve uygulamadaki yapılan hatalar incelenip uygulamada yapılması gerekenler önerilmiştir. Isı yalıtımı ile ilgili yasal mevzuat incelenip 2008 tarihli “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” ve 2010 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ile ilgili yönlendirmek için akış şemaları oluşturulmuştur [7].

Yeni bir ısı yalıtım malzemesi oluşturmak için yapılan bir çalışmada çam ağacı ve selülozdan oluşan karışımla düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetli malzeme elde edilmiştir. Bu özelliklerin yanı sıra yalıtım için önemli olan termal iletkenliğini azaltmak için malzemelerin karışım oranlarını değiştirerek ısı dayanımı yüksek malzeme oluşturmak için deney ve ölçümler yapılmıştır[8].

Teknolojinin gelişmesi ile yeni malzemelerin oluşturulup deneylerle incelenmesi tüm Dünya’da geniş araştırma konusu olmaktadır. Uzay araçlarının yalıtımı da aynı doğrultuda ve daha ayrıntılı incelenmektedir. Uzay aracı sistemlerinde gelişen teknoloji ile ileri kompozitler, nanoteknoloji ve katkı maddeleri içeren yapı tasarımları

ile termal, elektrik, radyasyon kalkanı, güç ve sensörler yönünden incelenmiştir. Azaltılmış kütle ve ambalaj hacmi ile uzay sistemleri için entegrasyon kolaylığı sağlanması amaçlanmıştır [9].

Türkiye'nin illerinde yapılan araştırmalar yalıtımın önemini ortaya koymaktadır. Araştırma konusu olan binalarda yalıtımsız ve yalıtımlı halleri incelenmiştir. Erzincan iline ait seçilmiş olan ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız binalar incelenmiştir. Bu ildeki ısı yalıtımsız binalarda oluşan ısı kayıpları ekonomik analizleri yapılmıştır. Yine Erzincan'daki ısı yalıtımı bulunan binaların ısı yalıtımlarının termal kamera ile incelenmesi ve yanlış yalıtım uygulamalarından dolayı meydana gelen ısı kayıp bölgeleri tespit edilmiştir [10]. Kahramanmaraş ilimizde bulunan bazı binalara yapılan ısı yalıtımında kullanılan malzemeler, ısı yalıtımın özellikleri, uygulanması gereken yerler ve ısı yalıtımın yıllık olarak yakıt masraflarına olan tesirinin oluşturduğu maliyet ve ekonomik analizi araştırılmıştır. Sonuç olarak binalara yalıtım yapıldığında yakıt gideri olarak ısıtma enerjisinde yüzde seksen tasarruf edilebileceği ortaya çıkmıştır [2].

Bina kabuğundaki ısı yalıtım yapılan binalarda enerji verimliliği yönünden ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Isı yalıtımı yapılırken oluşan ısı köprülerinin nedenleri incelenmiştir. Bunların sebeplerinin ısı yalıtım kalınlığının gereğinden az olması, yalıtım uygulamalarının tam olarak havaya ve suya karşı sızdırmazlıklarının sağlanmaması, işçilerin tam olarak bağlantılarını sağlam yapamamaları ve yoğuşma sorunlarının belirlenmesi üzerine çalışılmıştır [11]. Isı yalıtımı; çatı, döşeme ve duvar bölgelerine ses yalıtımı ve su yalıtımı ile birlikte yapılabilmektedir. Çatılarda uygulanan ısı yalıtımları çeşitleri çatının türüne ve kullanım amacı göre belirlenmektedir. Mantolama işlemi ise duvarlarda uygulanan en iyi ısı yalıtım yöntemidir. Bu yöntem aracılığı ile ısı köprülerinin oluşmaması için tedbir alınmış olur. Örnek bir konut ele alınarak farklı ısı yalıtım sistemlerine göre ısı yalıtım ve maliyet analizleri yapılmış; böylelikle ısı yalıtım sistemlerinin kıyaslaması mümkün olmuştur [12].



Örnek bir bina projesinde dış yüzeyden, iç yüzeyden, çift duvar arası uygulanan yalıtım sistemleri ile dış yüzeylerde farklı ısı yalıtım malzemeleri ile oluşturulmuş ısı yalıtım sistemlerinin Türk Standartları'nın 825 no'lu Isı Yalıtımı Kuralları ele alınıp ısı yalıtım programı yardımıyla ısı performans analizleri yapılmış, maliyetleri hesaplanarak karşılaştırmaları yapılmıştır [13]. Yapılan termal kamera görüntüleriyle binaların ısı yalıtımlı veya yalıtımsız olarak farkları araştırılmıştır. Çıkan sonuçlar ışığında gereken önlemlerin nasıl alınması gerektiği, zamandan tasarruf ile hem mali açıdan kazanç sağlanması ve hem de sağlık açısından oluşabilecek zararların önüne geçilmesi gibi önem arz eden konularda çalışılmıştır [4].

## **BÖLÜM 3. ISI YALITIM MALZEMELERİ**

### **3.1. Isı Yalıtımı**

Sağlıklı hayat şartlarının oluşturulması için harcanan yakıtları azaltmak gerekir. Ekonomik yakıt giderleri oluşturmak, sistem işlerken hava ve çevre kirliliğini azaltmak ve binanın her türlü etkenlerden korunması için ömrünün uzatılması gerekmektedir. Yapının bileşenlerinin üzerinden; dış ve iç ortam sıcaklığındaki ısı geçişi farkını azaltmak için yapılan işlemlere ısı yalıtımı denmektedir. Isı yalıtımının amacı kapalı mahallerin iç sıcaklığını korumak, istenilen seviyede tutmayı sağlamak, enerji tasarrufu sağlamak, hava kirliliğini azaltmak için yapılan işlemlerin tümünü kapsar.

### **3.2. Isı Yalıtımının Önemi**

Yapılara ısı yalıtımı uygulanarak ömrünün uzatılması ile birlikte kullanıcıların da daha sağlıklı ve konforlu bir şekilde yaşaması amaçlanır. Yıl içerisinde değişen iklim koşullarının yapı bileşenlerine zarar vermesini önlemek yani nem hasarı, don hasarı, küflenme, demirlerin korozyona uğramaması için tedbir alınması gerekmektedir. Isı yalıtımı amacı; yapıyı korumak, bakım masraflarını azaltmak, kışın ısıtmada yazın da soğutma enerjisi açısından önemli tasarruflar sağlamaktır. Isı yalıtımında milli ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması için çözümler üretebilmek için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık bilim dalları birlikte paralel bir şekilde çalışmalarda bulunmalıdır [1].

### 3.3. Isı Yalıtım Malzemeleri

#### 3.3.1. Ekstrüde polistren köpük (XPS)

Ekstrüde polistren levha (XPS-Haddelenmiş Polistren Köpük), polistren ham maddesinin ekstrüzyon yöntemi ile levha halinde çekilerek ortaya çıkar. Ekstrüde polistrenin olumlu yönü haddeleme (ekstrüzyon) işlemi sonucunda ortaya çıkan kapalı gözenekli olan hücre yapısıdır. Polistren tanecikler halinde olup bu malzemenin hammaddesidir. Polistren, üretim hattında iken eritilir ve daha başka katkı maddeleri de eklenir. Köpük yapısını oluşturabilmek için şişirme malzemesi eklenir. Karışım belirlenen ısı ve basınç şartlarında hat boyunca arzu edilen boyutlarda, kalınlıkta çekilir. Üretilen malzeme ihtiyaca göre boyu ve yüzey yapısı (kenar binileri, kanallar, pürüzlendirme) düzenlenmesi ile son ürün ortaya çıkmış olur. Bu üretim aşamalarının önemli getirisi malzemelerin homojen ve kalitelerinin her zaman aynı seviyede kalmasıdır. Hat boyunca üretilmiş olan malzeme kapalı gözenekli hücre yapısına sahip ekstrüde polistrendir. Sürekli ve düzenli olan hücre yapısı ve de kapalı gözenekler ekstrüde polistreni suya karşı dayanıklı hale getirir. Ayrıca ömrünü uzatır. Yalıtımı yaparken kolaylık sağlar. Gelecek olan yüklere karşı da dayanımının yüksek olmasını sağlamaktadır. Polistren termoplastiktir. İşlendikten sonra tekrar üretim hattına sokulabilmektedir. Bu sebep ile ekstrüde polistren tesislerinde çalışmalar zayıtsızdır [2].



Şekil 3.1. Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)

Ekstrüde Polistren Köpük (XPS) üretiminde şişirici gaz olarak kullanılan HCFC (hidrokloroflorokarbon) ozon tabakasına zarar vermektedir.

### 3.3.2. Ekspande polistren köpük (EPS)

Ekspande polistren köpük, kapalı gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir. Polistren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilmektedir. EPS ürünlerinde, taneciklerin şişirilmesi ve de köpük elde edilmesi için pentan gazı kullanılmaktadır. Pentan gazı, tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağlar. Üretimde çok kısa sürede hava ile yer değiştirme yapar. Bundan dolayı EPS levhalarda yer alan çok fazla sayıdaki (1 m<sup>3</sup> EPS 'de üç ila beş milyar kadar) küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin çok büyük kısmı hareketsiz ve durgun havadan oluşmaktadır. Şekil verme işlemi yani kalıplamada taneciklerin birbirlerine kaynaşmaları sağlanır. Ekspande polistren köpük levha haline getirilebilir ya da levha şeklinde kalıp içerisinde genleştirilerek oluşturabilmek mümkündür [2].



Şekil 3.2. Ekspande Polistren Köpük (EPS)

### 3.3.3. Taş yünü

Taş yünü bazalt ya da diabaz taşının 1400 °C 'lerde eritilerek elyaf haline getirilmesidir. Kullanım amaçlarına göre, değişik boyutlarda ve de teknik özelliklerde üretilir. Şilte, levha, dökme, boru şekli verilir. Genellikle ısı, ses ve yangın yalıtımı hatta akustik düzenlemede kullanılır. Taş yünleri yüzde yüz boyutsal kararlılığa sahiptirler. Sıcak ya da rutubet aldıklarında dahi boyutları değişmez. Fiziksel olan özelliklerini zamanla kaybetmez. Zamana bağlı olarak bozulmazlar, çürümezler. Ayrıca küf oluşturmaz, korozyon ya da paslanma yapmaz. Böceklerin ve mikroorganizmaların tahrip

edemeyeceği yapıdadırlar. Ergime sıcaklığı 1000 °C olduğundan yangından korunmada önem taşır. Kolay işlenebilmesi, kesilmesi ve zayıtsız olarak herbir parçası değerlendirilebilir [2].



şekil 3.3. Taş Yünü

## **BÖLÜM 4. TERMAL KAMERA**


### **4.1. Termal Kamera**

Termal kameraların çalışma prensibi kızılötesi dalga boyunda malzemelerle ya da kütlelerle temasa geçmeden sıcaklığını algılayan ve ölçen bir cihazdır. Görüntüleme sistemi IR yani kızılötesidir. Gözle görülemeyen kızılötesi enerjisini (ısıyı) temel alır. Görüntünün genel yapısını IR yani kızılötesi enerjisine göre oluşmuş renk ve şekillerin belirlendiği görüntülemedir. Termal kameralar ile çalışmalardaki sistem; çıplak gözle incelenemeyen fakat ciddi problemleri çözmek için kolaylık sağlayan cihazlardır [3].

Termal kamera ile görüntülenen ısı resimleri çok sıcak bölgeleri açık renk ile soğuk bölgeleri de koyu renk ile gösterir. Problemin de kaynağının nerede olduğunu bulmaya yardımcı olmaktadır. Termal kamera görüntüleri; çekilen alanın durumunu ya siyah-beyaz ya da renkli gösterirler. Ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçmektedir. Bu gösterimin anlamı; mavi alanlar en soğuk bölgeleri, sarı alanlar ise en sıcak bölgeleri gösterir. Termal kameralar birçok alanda kullanılacağı gibi bina gözlemlerinde çatıda oluşan rutubeti, bina yalıtımı incelemelerinde hava sızıntılarının takibinde ve binadaki yoğuşmayı inceler [3].

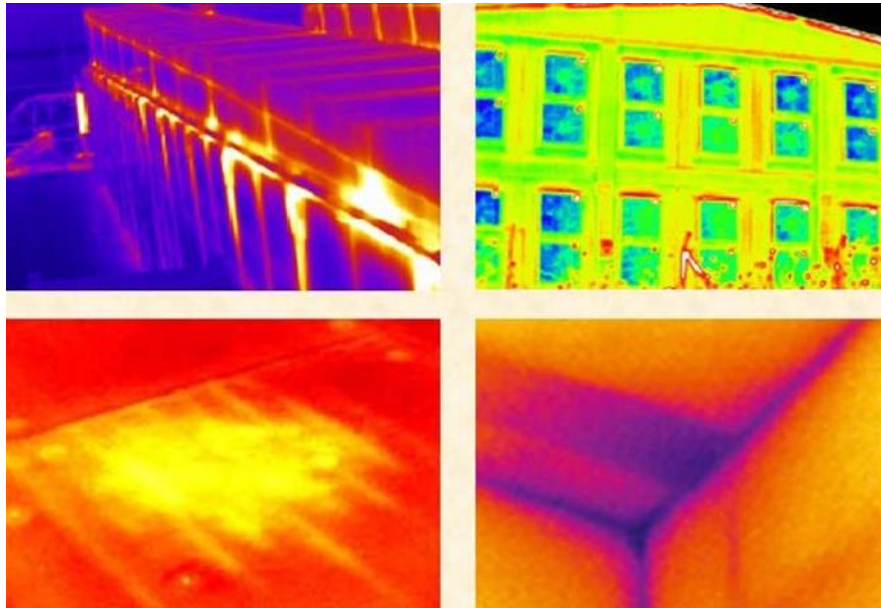
Bu çalışmada Bolu'daki yalıtımsız ve hatalı yalıtımlı binaların termal kamera görüntüleri alınmıştır. Termal görüntüler sayesinde yapılardan olan ısı kayıpları ve hatalı yalıtımdan kaynaklanan ısı kayıpları görsellerle belirtilmiştir. Bu hataların giderilmesi ve tekrar edilmemesi için alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Termal görüntüler için Testo markalı 875 modelli termal kamera kullanılmıştır. Testo 875 termal kameralara ait teknik bilgiler ise aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1. Termal kamera özellikleri

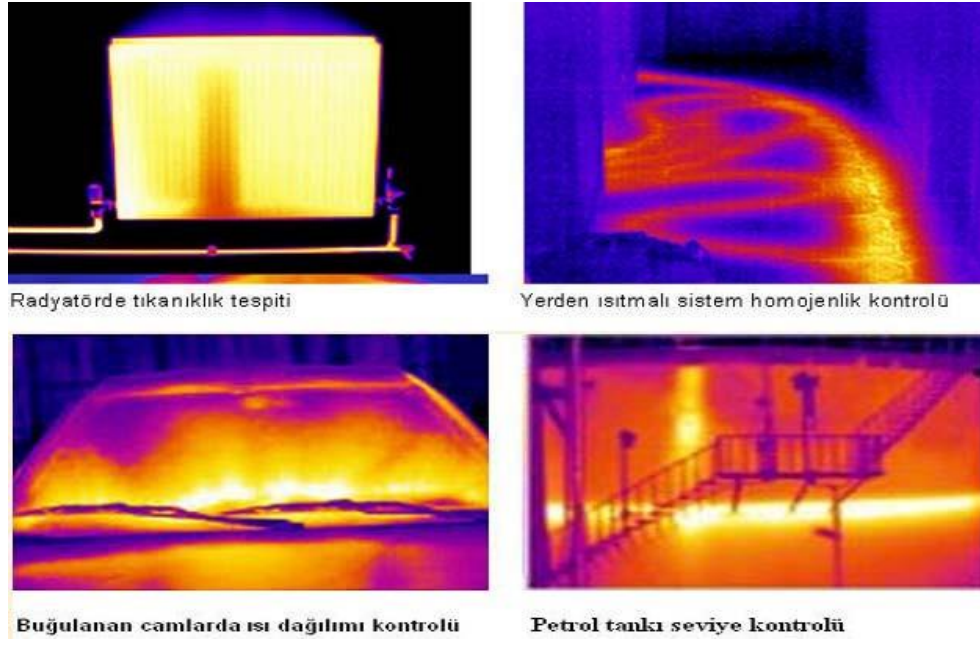
Özellik	Değer	Resim
Markası	Testo 875	
Dedektör	160x120 piksel	
Termal duyarlılık	< 80mK	
Sıcaklık aralığı	-20°C...+280°C	
Görüntü yenileme hızı	9 Hz	
Lens	32°x23° SuperResolution	
Otomatik sıcak/soğuk nokta belirleme	Solar mod	
Lens koruma camı		

## 4.2. Termal Kamera ve Uygulamaları

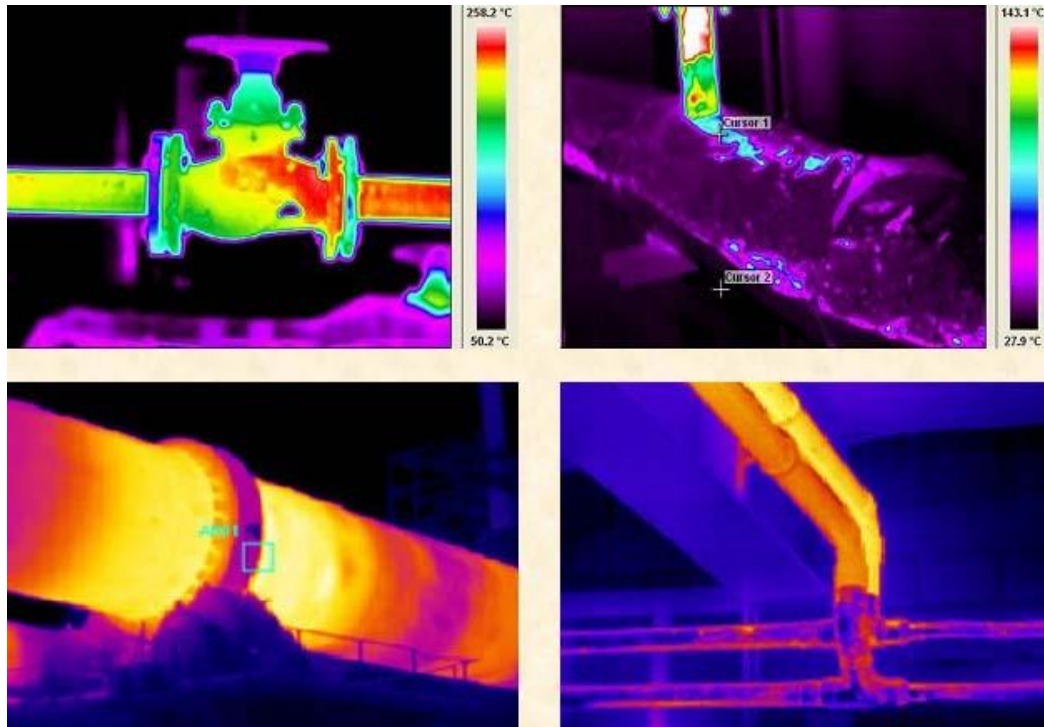
Termal kameraların kullanımı yaygın olarak birçok alanda yer almaktadır. Beklenmedik durumlarda ani müdahale edilebildiği için birçok sorunun çözülmesini sağlar. Elektrik kontrolleri, trafolar, kapasitörlerin durumlarının değerlendirilmesi, güç üretimi, jeneratör kontrolleri, rafineriler için termal sıcaklık kayıp kontrolleri, fabrikalarda nem kontamasyon değerlendirmeleri, beton bütünlüğü kontrolleri, sızıntılar, binalar, sıcaklık dağılımına göre zemin kontrolleri, hasarlı ısı yalıtımların yerlerinin tespit edilmesi, sıcaklık yayan boruların yerlerinin tespit edilmesi gibi birçok alanda termal kameraların kullanımı ile hasarlar giderilir.



Şekil 4.1. Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları [4].



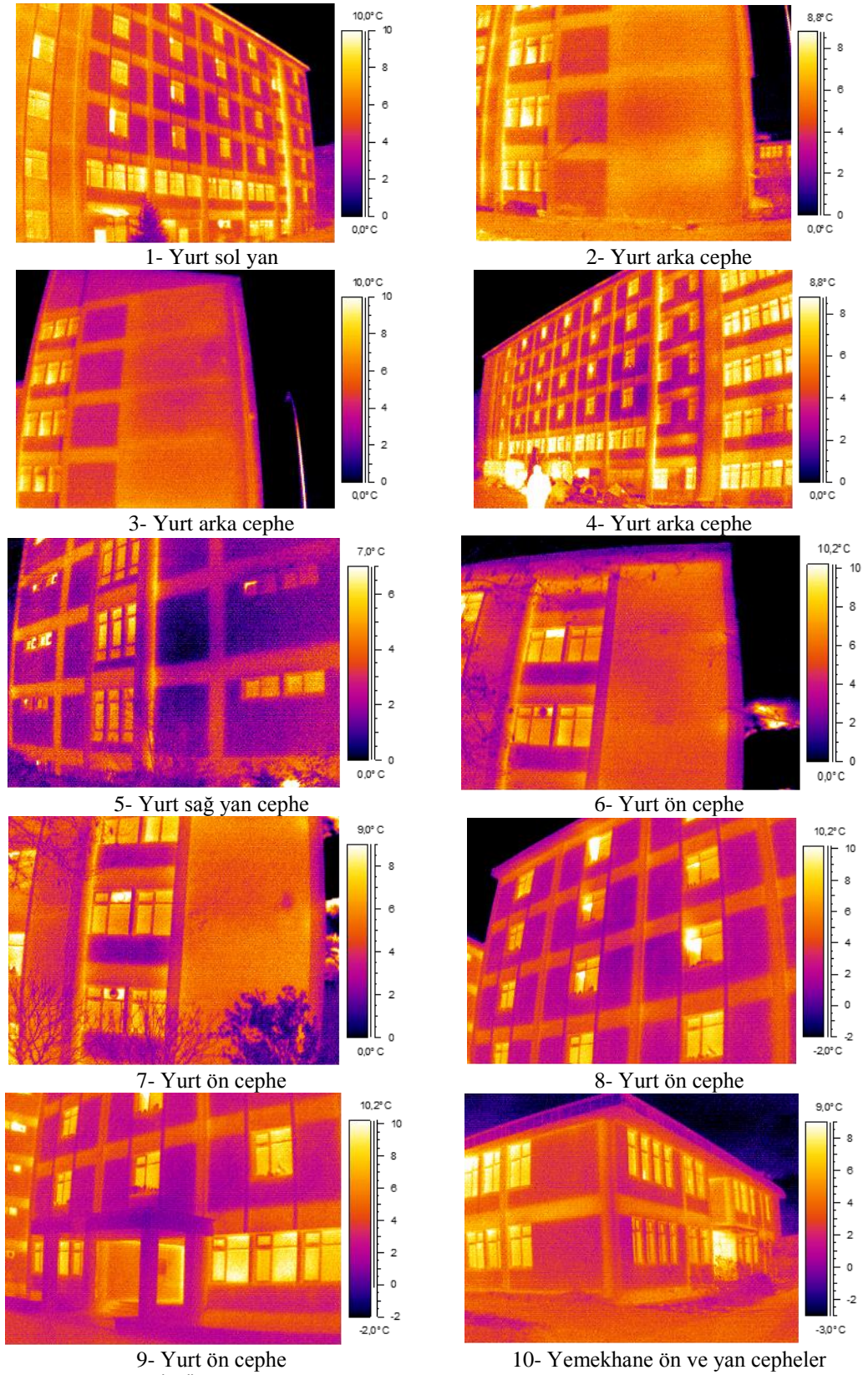
Şekil 4.2. Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları [4].

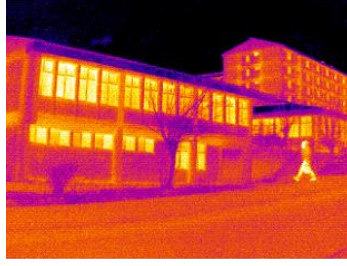


Şekil 4.3. Sıcaklık Yayan Boru Uygulamaları Isı Kaçakları [4].

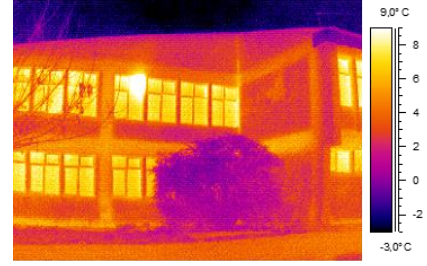


### 4.3. Bolu İli Üniversite Kampüsü Binalarının Termal Kamera Görüntüleri





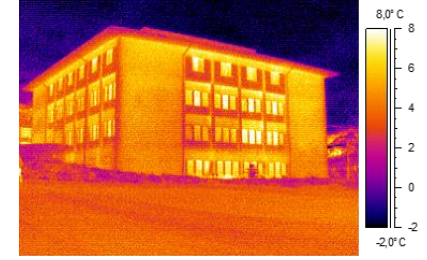
11- Yemekhane ön cephe



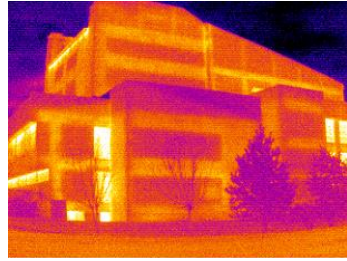
12- Yemekhane ön cephe



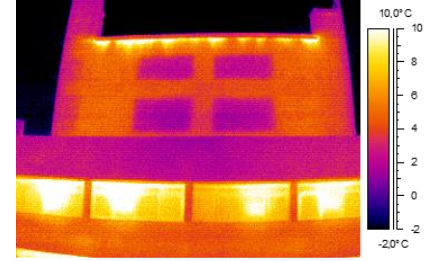
13- Yemekhane ön cephe



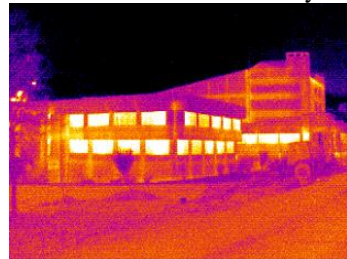
14- Kütüphane



15- Kültür merkezi yan



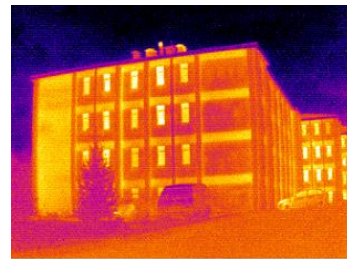
16- Kültür merkezi arkası



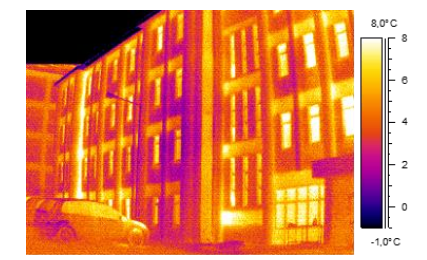
17- Kültür merkezi



18- Fen fakültesi



19- Fen fakültesi



20- Laboratuvar yan



22- Mühendislik fakültesi



23- Mühendislik fakültesi

Şekil 4.5. Bolu İli Üniversite Kampüsü Binalarının Farklı Cephelerden Termal Kamera Görüntüleri 2

Termal görüntülerin renkleri siyahtan beyaza doğru geçiş olurken sıcaklıktaki karşılığı da soğuktan sığa doğru yükselmesidir. Termal görüntülerin yanında sıcaklık renk skalaları görülmekte, skaladaki en düşük sıcaklık değeri siyah renkteki bölgelerin bu değerin altında olduğunu, en yüksek sıcaklık ise beyaz renkteki bölgelerin bu değerin üstünde olduğunu söylemektedir. Siyah ve beyaz arasındaki tüm renkler, skaladaki en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri arasında dağılmıştır.

Termal kamera ile kampüs içerisinde 03.01.2018 tarihinde yapılan, yalıtım performansı ile ilgili elde edilen termal resimler binalarda yalıtım uygulamalarının ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik değerlendirilmektedir. Kampüs içerisinde bulunan binalarda dış cephe termal kamera görüntülerinde kiriş ve kolonları yüksek sıcaklıklarda gözlemlendi. Binanın görülen dış cephe termal görüntülerinde perde betonların yüksek sıcaklıklarda görülmesi kolon ve kirişlerle beraber perde betonlarında ısı köprüsü oldukları anlaşılmaktadır.

Binalarda görülen ısı köprüleri aynı zamanda yoğunlaşmaya da sebep olmaktadır. Yoğunlaşma genellikle ısı transferi yapan yapı elemanlarında kolon, kiriş, perde beton gibi yapının taşıyıcı elemanlarında gözlemlenmektedir. Yoğunlaşmaya maruz kalan inşaat demiri nem ve su ile reaksiyona girmesi sonucu korozyona uğramaktadır. Korozyon demir çapını inceltmekte dolayısıyla bina ömrünü azaltmaktadır.

Pencere yüzeylerinde yüksek sıcaklıklar ölçülmesi ısı kayıplarının bu bölgelerde daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Kat döşeme betonunun arasından geçen sıcak su hatları da dış cephe termal görüntülerinde tespit edilebilmiştir. Dış cepheden yapılacak ideal kalınlıktaki ısı yalıtımı cephede görülen ısı köprülerini engelleyerek, iç ortamın ısı kayıpları en aza indirilmelidir. Isı yalıtımı yapılmadan önce TS 825 Isı Yalıtım kurallarına göre ısı yalıtımının planlanması, en ideal yalıtımın yapılması sağlanarak ısı kayıpları en aza indirilecektir.

İldeki bina sahiplerinin ısı yalıtımı konusunda yeterli bilgiye sahip olmayışı yalıtımsız binalarda ısınamama sorununu gündeme getirmiştir. Doğal gazın il geneline yaygınlaşması ile birlikte binalarda ısı yalıtımı önem kazanmıştır. Bolu'daki yalıtım

firmaları ve ustalarının ısı yalıtımı konusunda yeterli eğitim almamış olması, uygulama sonrası binalarda bazı hataları meydana getirmiştir. Yalıtım malzemesine uygulama sırasında yeterli sayıda dübel çakılmaması, uygun olmayan zemine yalıtım yapılması, yalıtım levhasının uygulama sırasında günlerce olumsuz hava şartlarına maruz bırakılması, yalıtım levhasına yapıştırma harcının eksik ya da yanlış sürülmesi, uygun kalınlıkta ve gerekli standartlara sahip olmayan ısı yalıtım malzemesi kullanılması ve bina sakinleri arasındaki uyumsuzluk sonucu yapılan parça yalıtımlar ildeki başlıca ısı yalıtım hatalarıdır. Bu hataların bazılarını gözle görmemiz mümkün olmamaktadır. Ancak uygulama sonrası üzerinden bir kış mevsimi geçtikten sonra bazı hatalar gözle görülmektedir. Örneğin, yalıtım levhasına yeterince sürülmeyen yapıştırma harcı sonucu yapılan ısı yalıtımlı bir binanın üzerinden bir kış mevsimi geçtikten sonra yalıtım levhalarının duvardan ayrılarak parçalandığı görülmektedir. Gözle görülmeyen yalıtım hatalarını termal kamera görüntüleri ile görmek mümkündür.

Termal çekimlerden de görüldüğü gibi yalıtımsız binalarda meydana gelen ısı kaybı yalıtımlı binalara göre çok fazladır. Yani yalıtımsız binada oturan kişi ısınma için fazla enerji harcamakta ve dolayısıyla daha fazla yakıt faturası ödemektedir. Yalıtımlı bina sahipleri ise daha az para ile ısıl konfora ulaşmaktadır. 1 Ocak 2011 tarihinden önce ilde yapılan ısı yalıtımsız binaların ısı yalıtım hesabı yetkili mühendisler ile görüşülerek hesap edilmelidir. Bu hesap ile birlikte mühendis kontrolünde, ısı yalıtımı konusunda eğitim almış firma yetkilileri ve ustalarına binaların ısı yalıtımı işi verilmelidir.

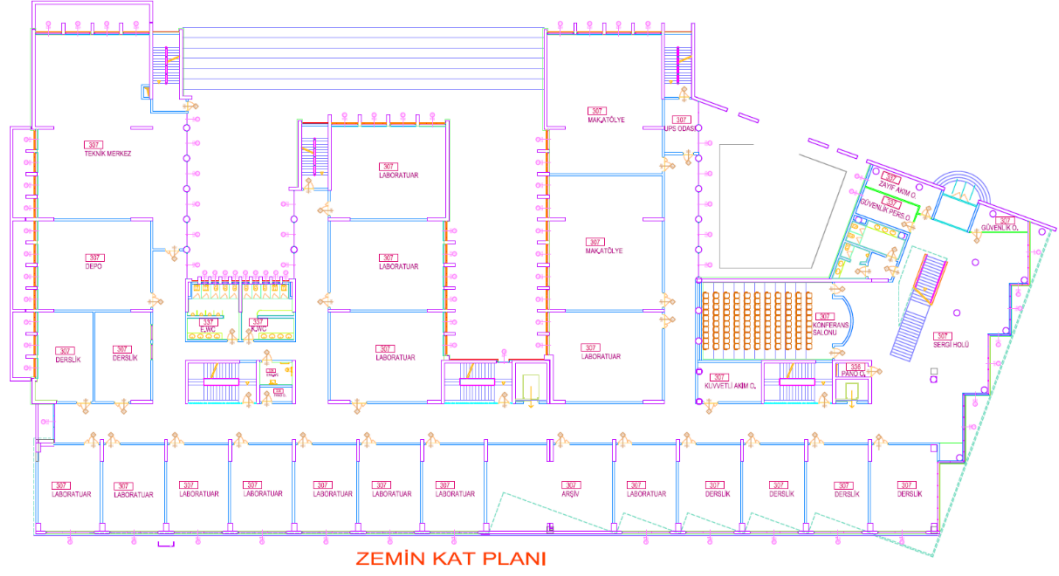
## BÖLÜM 5. BİR ÖĞRETİM BİNASI PROJESİNİN ISI YALITIM YÖNÜNDE TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde örnek alınan bir öğretim binasının TS 825 Isı Yalıtım Kuralları esas alınıp TS 'ye uygun ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak ve ısı yalıtımsız durumu incelenmiştir. Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği'nin TS 825 Isı Yalıtım Hesap Programı kullanılarak projenin ilk olarak yalıtımsız, daha sonra TS 'ye uygun ısı yalıtım malzemeleri ile farklı kalınlıklarda kullanılarak yalıtımlı durumlar için genel ısı yalıtım maliyeti, binaya ait özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi hesapları ve de yoğuşma analizi yorumları yapılarak grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için hesap yönteminde ısıtılan ortamın sınırları, ortamı dış ortamdaki ve eğer varsa ısıtılmayan iç ortamdaki ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencerelerden oluşan ısı kaybeden alanların hesaplanması gerekmektedir. Binanın ısı kaybeden alanları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

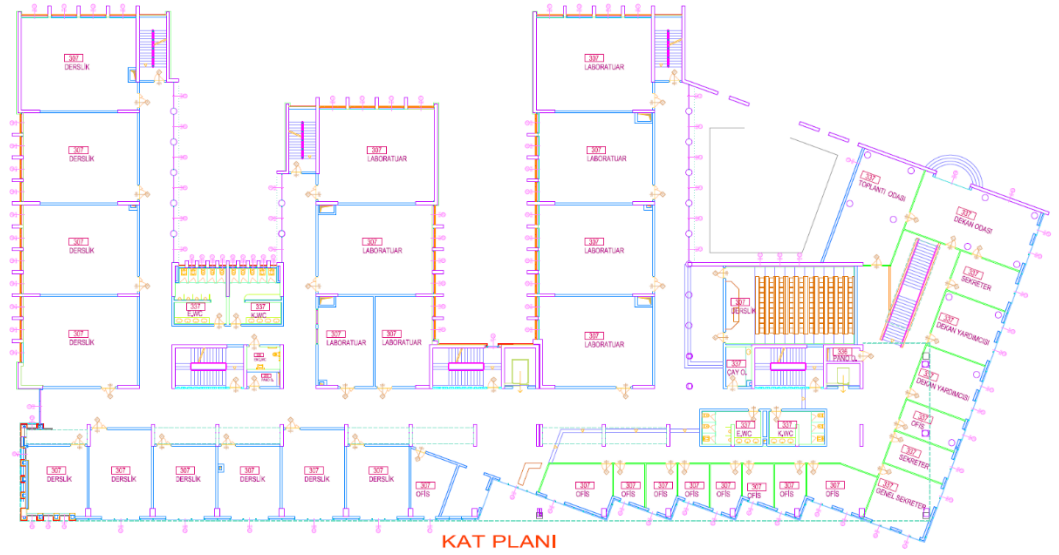
Tablo 5.1. Yalıtımsız Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

ISI KAYBEDEN ALANLAR		$m^2$
Duvar(Dış Hava Temaslı)	Toplam	6148 $m^2$
Toprağa Temas Eden Duvar Alanı	Toplam	-
Isıtılmayan İç Ortamla Bitişik Duvar Alanı	Dolgu Duvar	-
	Betonarme	-
Tavan Alanı	Üzeri Açık	4089 $m^2$
	Çatılı	-
	Toprak Temaslı	4089 $m^2$
Taban Alanı	Isıtılmayan İç Ortamla Bitişik	-
	Açık Geçit Üzeri	-
Pencere Alanı	Toplam	1409 $m^2$
Kapı Alanı	Toplam	6 $m^2$

Örnek olarak ele alınan bina Bolu İli Merkez İlçesi'nde bulunduğundan TS 825 standartlarına göre 3. Bölge Derece Gün illeri arasında yer almaktadır. Öğretim binasının projesi Şekil 5.1., Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Öğretim Binası Zemin Kat Planı



Şekil 5.2. Öğretim Binası Normal Katlar Planı

### 5.1. Öğretim Binası Projesinin Yalıtımsız Durumda Özgül Isı Kaybı ve Yıllık Enerji İhtiyacının Bulunması

Öğretim binası projesinin yalıtımsız durumdayken özgül ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesapları yapılmıştır. TS 825'e göre Isı Yalıtımı Hesap Programı kullanılarak oluşturulan Binanın Özgül Isı Kaybı tablosu olan Tablo 5.2.'de öğretim binası projesinde kullanılan yapı malzemelerinin kesit kalınlıkları, ısı iletkenlik ve direnç katsayıları gibi ilgili özellikleri belirtilmiş ve öğretim binasının özgül ısı kayıpları hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. Yalıtımsız Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanın Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d (m)	$\lambda_h$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	A x U (W/K)
<b>DH-1-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
7.1.3.1.1	Normal harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,19	0,32	0,59			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>0,78</b>	<b>1,268</b>	<b>3581</b>	<b>4540,71</b>
<b>DH-2-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>0,31</b>	<b>3,226</b>	<b>2567</b>	<b>8281,14</b>
<b>CA-1-Tavan( Üzeri Açık )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,2	2,5	0,08			
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04			
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03			
3.1	Kum, çakıl, kırma taş ( micir )	0,05	0,70	0,07			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>0,39</b>	<b>2,593</b>	<b>4089</b>	<b>10602,78</b>
<b>TT-1-Taban( Toprak Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
1.1.1	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar ( granit, bazalt, mermer, vb. )	0,02	3,5	0,01			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,65	2,5	0,26			
4.5	Alçı harçlı şap	0,02	1,2	0,02			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0			
<b>TOPLAM</b>				<b>0,46</b>	<b>0,5x2,211</b>	<b>4089</b>	<b>4520,39</b>
<b>PENCERE 1</b>					<b>3,1</b>	<b>1409</b>	<b>4367,9</b>
<b>KAPI 1</b>					<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>24</b>

Buna göre, öğretim binasının yapı bileşenlerinde iletim ve havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kayıpları;

$$\text{İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, } H_i = 32336,92 \text{ W/K}$$

$$\text{Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, } H_v = 23320,05 \text{ W/K}$$

$$\text{Binanın Toplam Isı kaybı, } H = H_i + H_v = 55656,97 \text{ W/K}$$

Tablo 5.3. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KK O	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H=H_i+H_v$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K,°C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	$\Phi_i$ (W)	$\Phi_g$ (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_g$ (W)			
Ocak	55657	20,3	1.129.836	176.667	31.810	208.477	0,18	0,996	2.390.558.043
Şubat	55657	19,9	1.107.574	176.667	40.195	216.862	0,20	0,994	2.312.127.298
Mart	55657	15,9	884.946	176.667	50.670	227.337	0,26	0,98	1.716.537.926
Nisan	55657	9,9	551.004	176.667	54.180	230.848	0,42	0,908	884.844.391
Mayıs	55657	5,6	311.679	176.667	64.754	241.421	0,77	0,725	354.187.297
Haziran	55657	1,5	83.485	176.667	68.208	244.875	2,93	(-)	
Temmuz	55657	Td yüksek	(-)	176.667	65.887	242.554	(-)	(-)	
Ağustos	55657	Td yüksek	(-)	176.667	61.752	238.419	(-)	(-)	
Eylül	55657	2,8	155.840	176.667	51.391	228.058	1,46	0,495	111.287.794
Ekim	55657	8,4	467.519	176.667	40.883	217.550	0,47	0,883	713.667.886
Kasım	55657	14,4	801.460	176.667	30.441	207.108	0,26	0,979	1.551.760.656
Aralık	55657	18,7	1.040.785	176.667	27.741	204.408	0,20	0,994	2.171.146.577

$$\text{Toplam } Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} = 12.206.117.869 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{yıl}} = 0,278 \times 1/1000 \times 12.206.117.869 = 3.393.301 \text{ kWh}$$

TS 825'te tanımlanan hesap yöntemi kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarı hesaplanmaktadır. Öğretim binası projesinin yalıtımsız durumu için gerekli yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı yapılmıştır. Hesaplar sonucunda Tablo 5.3.'te görüldüğü üzere öğretim binasının  $Q_{\text{yıl}} = 3.393.301 \text{ kWh}$  enerji tükettiği belirlenmiştir. Öğretim binasının kapladığı alan ve hacim için TS 825'e göre Isı Yalıtım Standardı'nın sınırladığı enerji ihtiyacı  $Q' = 16,6 \text{ kWh/m}^3$  ancak hesaplamada ısı yalıtım malzemesi kullanılmadığından öğretim binasının ısı ihtiyacı ise  $Q = 30,73 \text{ kWh/m}^3$ 'tür. Hesaplanan ısı ihtiyacı, standardın sınırladığı enerji ihtiyacından fazla olduğundan öğretim binasının yalıtımsız durumu standarda uygun değildir. Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825 Isı







Projenin Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın basınç-sıcaklık dağılımı çizelgelerinde iç yüzey ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı üç dereceden fazla olduğu için standarda uygun değildir. Yoğuşma meydana gelmektedir. Isı yalıtımı yapılarak yapı bileşenlerinde yoğuşma riski olmadan binanın sağlıklı ve uzun ömürlü olması dış etkenlere karşı korunması sağlanacaktır.

## **5.2. Öğretim Binası Projesi İçin Örnek Isı Yalıtım Sistemleri**

Öğretim binası projesinde farklı ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak ısı yalıtım çözümleri yapılmıştır. Isı yalıtım malzemesi ile dıştan ısı yalıtım sistemi uygulanmıştır.

### **5.2.1. Ekstrüde polistren ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti**

Yalıtımda uygulanması tasarlanan ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılacak ısı ve yoğuşma hesaplarından elde edilecek sonuçlara göre bulunmalıdır. Duvarda (dış hava temaslı) 5 cm ekstrüde polistren levha, tavanda (üzeri açık) 10 cm ekstrüde polistren levha, tabanda (toprak temaslı) 8 cm ekstrüde polistren levha seçilerek ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının hesaplamalar sonucunda standarda uygun olduğu belirlenmiştir. Yalıtımsız öğretim binası için yapılan hesaplamalarda olduğu gibi, yalıtımlı durumda da özgül ısı kayıpları hesaplanmış olup Tablo 5.8.'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binaya ait uygulanan ısı yalıtım metodu gösterilmiştir. Buna göre öğretim binasında yapı bileşenlerinde iletim ve havalandırma ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamı  $H = 32623,86 W/K$  'dir.

Tablo 5.8. Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d	$\lambda_n$	R	U	A	A x U
		(m)	(W/mK)	(m <sup>2</sup> K/W)	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup>	W/K
<b>DH-1-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
7.1.3.1.1	Normal harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,19	0,32	0,59			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk $\geq 25$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,05	0,035	1,43			
4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01			
1/ $\alpha_o$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>2,22</b>	<b>0,45</b>	<b>3581</b>	<b>1611,45</b>
<b>DH-2-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1			
10.3.2.1.1	Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk $\geq 25$ ; ısı iletkenlik grubu 030	0,05	0,030	1,67			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
1/ $\alpha_o$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			4			
<b>TOPLAM</b>				<b>18,81</b>	<b>0,506</b>	<b>2567</b>	<b>1298,9</b>
<b>CA-1-Tavan( Üzeri Açık )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk $\geq 25$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,1	0,035	2,86			
3.1	Kum, çakıl, kırma taş ( micir )	0,05	0,70	0,07			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,2	2,5	0,08			
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04			
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03			
1/ $\alpha_o$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>3,25</b>	<b>0,308</b>	<b>4089</b>	<b>1259,41</b>
<b>TT-1-Taban( Toprak Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
1.5	Bazalt	0,02	3,5	0,01			
		(m)	(W/mK)	(m <sup>2</sup> K/W)	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup>	W/K
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk $\geq 25$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,08	0,035	2,29			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,65	2,5	0,26			
9.2.3.2	PVC örtü	0,003	0,19	0,02			
4.5	Alçı harçlı şap	0,02	1,2	0,02			
1/ $\alpha_o$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0			
<b>TOPLAM</b>				<b>2,77</b>	<b>0,5x0,363</b>	<b>4089</b>	<b>742,15</b>
<b>PENCERE 1</b>					<b>3,1</b>	<b>1409</b>	<b>4367,9</b>
<b>KAPI 1</b>					<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>24</b>

İletim Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,  $H_i$  = 9303,81 W/K

Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,  $H_v$  = 23320,05 W/K

Binanın Toplam Isı Kaybı,  $H = H_i + H_v$  = 32623,86 W/K

Tablo 5.9.'da ekstrüde polistren ısı yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım sisteminin maliyet analizi hesaplanmıştır. Maliyet analizi 2018 yılı fiyatları baz alınarak yapılmıştır. Örnek alınan öğretim binası için yapılan projenin ısı yalıtım maliyeti 770.372,88 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 5.9. Ekstrüde Polistren ile Oluşturulan Isı Yalıtım Sisteminin Maliyet Çizelgesi

	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	m <sup>2</sup> Maliyeti	Öğretim Binası Toplam Sarfiyatı (m <sup>2</sup> )	Öğretim Binası Toplam Maliyet (TL)
<b>Dış Duvarlar</b>						
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	6148	23055
XPS Isı Yalıtım Levhası (5 cm)	m <sup>2</sup>	1	17,80	17,80	6148	109434,40
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	6148	23977,20
Alkali Dayanımlı Donatı Filesi	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	6148	7807,96
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	6148	3688,80
Alüminyum Köşe Profili	mt	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akriklik Son Kat Kaplama	lt	2	3,30	6,60	6148	40576,80
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	6148	110664
<b>Taban</b>						
Ekstrüde Polistren (8 cm)	m <sup>2</sup>	1	21,10	21,10	4089	86277,90
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	4089	15333,75
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	4089	159447,10
Alkali Dayanımlı Donatı Filesi	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	4089	5193,03
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	4089	2453,40
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	4089	1521,11
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	4089	73602
<b>Çatı</b>						
Ekstrüde Polistren (10 cm)	m <sup>2</sup>	1	25,50	25,50	4089	104269,50
<b>GENEL TOPLAM</b>						770372,88

Hesaplamalar sonucunda öğretim binası yılda toplam  $Q_{yıl} = 1.627,315 \text{ kWh}$  enerji tükettiği hesaplanmıştır. Bu öğretim binasının yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanması için hesaplanan ısı ihtiyacı ise  $Q = 14,74 \text{ kWh/m}^3$  'tür. Bu alan ve hacimde bulunan

bir öğretim binasının  $m^3$  'ü için TS 825'e göre Isı Yalıtım Standardı 'nın sınırladığı enerji ihtiyacı ise  $Q' = 16,6 kWh/m^3$  'tür. Hesaplanan ısı ihtiyacı, standardın belirlediği enerji ihtiyacının altında olduğundan dolayı uygulanan ısı yalıtım sistemi standarda uygundur. Tablo 5.10.'da hesaplanmıştır.

Tablo 5.10. Ekstrüde Polistren ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KK O	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H=H_i + H_v$ (W/K)	$T_i - T_e$ (K,°C)	$H(T_i - T_e)$ (W)	$\Phi_i$ (W)	$\Phi_e$ (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_e$ (W)			
Ocak	32624	20,3	662.264	176.667	31.810	208.477	0,31	0,958	1.198.764.453
Şubat	32624	19,9	649.215	176.667	40.195	216.862	0,33	0,95	1.148.822.458
Mart	32624	15,9	518.719	176.667	50.670	227.337	0,44	0,898	815.431.869
Nisan	32624	9,9	322.976	176.667	54.180	230.848	0,71	0,753	386.485.159
Mayıs	32624	5,6	182.694	176.667	64.754	241.421	1,32	0,531	141.381.681
Haziran	32624	1,5	48.936	176.667	68.208	244.875	5	(-)	
Temmuz	32624	Td yüksek	(-)	176.667	65.887	242.554	(-)	(-)	
Ağustos	32624	Td yüksek	(-)	176.667	61.752	238.419	(-)	(-)	
Eylül	32624	2,8	91.347	176.667	51.391	228.058	2,50	0,33	41.673.694
Ekim	32624	8,4	274.040	176.667	40.883	217.550	0,79	0,716	306.426.581
Kasım	32624	14,4	469.784	176.667	30.441	207.108	0,44	0,897	736.409.744
Aralık	32624	18,7	610.066	176.667	27.741	204.408	0,34	0,949	1.078.255.123

$$\text{Toplam } Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} = 5.853.650.762 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{yıl}} = 0,278 \times 1/1000 \times 5.853.650.762 = 1.627.315 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı } Q' &= 16,6 \text{ kWh} / m^3 \\ \text{Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı } Q &= 14,74 \text{ kWh} / m^3 \end{aligned}$$









Projenin Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın basınç-sıcaklık dağılımı çizelgelerinde iç yüzeyi ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı standartlara uygun olduğundan yoğuşma meydana gelmemektedir. Isı yalıtımı doğru bir şekilde yapıldığında yapı bileşenlerinde yoğuşma riski olmadığından binanın sağlıklı ve uzun ömürlü olması dış etkenlere karşı korunması sağlanmıştır. Kararma ve küflenme gibi problemler ortadan kaldırılır. Ayrıca betonarme sistemini etkileyen yoğuşma ve korozyon risklerini ortadan kaldırarak öğretim binasının daha uzun ömürlü olması sağlanabilmektedir.

### **5.2.2. Ekspande polistren ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti**

Yalıtımda uygulanması tasarlanan ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılacak ısı ve yoğuşma hesaplarından elde edilecek sonuçlara göre bulunmalıdır. Duvarda (dış hava temaslı) 5 cm ekspande polistren levha, tavanda (üzeri açık) 10 cm ekspande polistren levha, tabanda (toprak temaslı) 8 cm ekspande polistren levha seçilerek ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının hesaplamalar sonucunda standarda uygun olduğu belirlenmiştir. Yalıtımsız öğretim binası için yapılan hesaplamalar ve ekstrüde polistren yalıtımı ile yapılan ısı yalıtım sisteminde de olduğu gibi, ekspande polistren malzemesi ile yalıtımlı durumda da özgül ısı kayıpları hesaplanmış olup Tablo 5.15.'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binaya ait uygulanan ısı yalıtım metodu gösterilmiştir. Buna göre öğretim binasında yapı bileşenlerinde iletim ve havalandırma ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamı  $H = 32800,98 W/K$  'dir.

Tablo 5.15. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d (m)	$\lambda_n$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U W/m <sup>2</sup> K	A m <sup>2</sup>	A x U W/K
<b>DH-1-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
7.1.3.1.1	Normal harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,19	0,32	0,59			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01			
10.3.1.1	Polistiren - parçacık köpüklü - TS 7316 EN 13163 e uygun; yoğunluk $\geq 15$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,05	0,035	1,43			
4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>2,22</b>	<b>0,45</b>	<b>3581</b>	<b>1611,45</b>
<b>DH-2-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1			
10.3.1.1	Polistiren - parçacık köpüklü - TS 7316 EN 13163 e uygun; yoğunluk $\geq 15$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,05	0,035	1,43			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>1,74</b>	<b>0,575</b>	<b>2567</b>	<b>1476,02</b>
<b>CA-1-Tavan( Üzeri Açık )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,2	2,5	0,08			
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04			
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03			
10.3.1.1	Polistiren - parçacık köpüklü - TS 7316 EN 13163 e uygun; yoğunluk $\geq 15$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,1	0,035	2,86			
3.1	Kum, çakıl, kırma taş ( mıcır )	0,05	0,70	0,07			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
<b>TOPLAM</b>				<b>3,25</b>	<b>0,308</b>	<b>4089</b>	<b>1259,41</b>
<b>TT-1-Taban( Toprak Temaslı )</b>							
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
1.5	Bazalt	0,02	3,5	0,01			
BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d (m)	$\lambda_n$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U W/m <sup>2</sup> K	A m <sup>2</sup>	A x U W/K
10.3.1.1	Polistiren - parçacık köpüklü - TS 7316 EN 13163 e uygun; yoğunluk $\geq 15$ ; ısı iletkenlik grubu 035	0,08	0,035	2,29			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,65	2,5	0,26			
9.2.3.2	PVC örtü	0,003	0,19	0,02			
4.5	Alçı harçlı şap	0,02	1,2	0,02			
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0			
<b>TOPLAM</b>				<b>2,77</b>	<b>0,5x0,363</b>	<b>4089</b>	<b>742,15</b>
<b>PENCERE 1</b>					<b>3,1</b>	<b>1409</b>	<b>4367,9</b>
<b>KAPI 1</b>					<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>24</b>

Tablo 5.16.'da ekspande polistren ısı yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım sisteminin maliyet analizi hesaplanmıştır. Maliyet analizi 2018 yılı fiyatları baz alınarak yapılmıştır. Örnek alınan öğretim binası için yapılan projenin ısı yalıtım maliyeti 575.605,40TL olarak bulunmuştur.

Tablo 5.16. Ekspande Polistren ile Oluşturulan Isı Yalıtımı Sisteminin Maliyet Çizelgesi

	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	m <sup>2</sup> Maliyeti	Öğretim Binası Toplam Sarfiyatı (m <sup>2</sup> )	Öğretim Binası Toplam Maliyet (TL)
<b>Dış Duvarlar</b>						
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	6148	23055
EPS Isı Yalıtım Levhası (5 cm)	m <sup>2</sup>	1	5,94	5,94	6148	36519,12
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	6148	23977,20
Alkali Dayanımlı Donatı Filesı	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	6148	7807,96
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	6148	3688,80
Alüminyum Köşe Profili	mt	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akriklik Son Kat Kaplama	lt	2	3,30	6,60	6148	40576,80
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	6148	110664
<b>Taban</b>						
Ekspande Polistren (8 cm)	m <sup>2</sup>	1	7,70	7,70	4089	31485,30
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	4089	15333,75
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	4089	159447,10
Alkali Dayanımlı Donatı Filesı	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	4089	5193,03
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	4089	2453,40
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	4089	1521,11
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	4089	73602
<b>Çatı</b>						
Ekspande Polistren (10 cm)	m <sup>2</sup>	1	9,10	9,10	4089	37209,90
<b>GENEL TOPLAM</b>						575605,40

Hesaplamalar sonucunda öğretim binası yılda toplam  $Q_{yıl} = 1.640,172 \text{ kWh}$  enerji tükettiği hesaplanmıştır. Bu öğretim binasının yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanması

için hesaplanan ısı ihtiyacı ise  $Q = 14,85 \text{ kWh/m}^3$  'tür. Bu alan ve hacimdeki bir öğretim binasının  $\text{m}^3$  'ü için TS 825'e göre Isı Yalıtım Standardı 'nın sınırladığı enerji ihtiyacı ise  $Q' = 16,6 \text{ kWh/m}^3$  'tür. Hesaplanan ısı ihtiyacı, standardın belirlediği enerji ihtiyacının altında olduğundan dolayı uygulanan ısı yalıtım sistemi standarda uygundur. Tablo 5.17.'de hesaplanmıştır.

Tablo 5.17. Ekspande Polistren ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KK O	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H=H_1 + H_v$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K,°C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	$\Phi_1$ (W)	$\Phi_0$ (W)	$\Phi_1 = \Phi_1 + \Phi_0$ (W)			
Ocak	32801	20,3	665.860	176.667	31.810	208.477	0,31	0,959	1.207.698.717
Şubat	32801	19,9	652.740	176.667	40.195	216.862	0,33	0,951	1.157.504.559
Mart	32801	15,9	521.536	176.667	50.670	227.337	0,44	0,899	821.990.838
Nisan	32801	9,9	324.730	176.667	54.180	230.848	0,71	0,755	389.912.693
Mayıs	32801	5,6	183.686	176.667	64.754	241.421	1,31	0,533	142.748.848
Haziran	32801	1,5	49.201	176.667	68.208	244.875	4,98	(-)	
Temmuz	32801	$T_d$ yüksek	(-)	176.667	65.887	242.554	(-)	(-)	
Ağustos	32801	$T_d$ yüksek	(-)	176.667	61.752	238.419	(-)	(-)	
Eylül	32801	2,8	91.843	176.667	51.391	228.058	2,48	0,331	42.098.896
Ekim	32801	8,4	275.528	176.667	40.883	217.550	0,79	0,718	309.192.515
Kasım	32801	14,4	472.334	176.667	30.441	207.108	0,44	0,898	742.340.854
Aralık	32801	18,7	613.379	176.667	27.741	204.408	0,33	0,95	1.086.409.755

$$\text{Toplam } Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} = 5.899.897.676 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{yıl}} = 0,278 \times 1/1000 \times 5.899.897.676 = 1.640.172 \text{ kWh}$$

$$\text{Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı } Q' = 16,6 \text{ kWh / m}^3$$

$$\text{Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı } Q = 14,85 \text{ kWh / m}^3$$

Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825'e göre Isı Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğuşma analizleri yapılmış ve Tablo 5.18., Tablo 5.19., Tablo 5.20., Tablo 5.21.'de gösterilmiştir.





Tablo 5.21. Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1												
İç Sıcaklık - $\theta_i(^{\circ}\text{C}) = 21$						İç Bağıl Nem - $\phi_i(\%) = 65$						
	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.66	2436	20.17	2363	19.64	2287	19.26	2234	19.12	2215	19.16	2220
1Ara Yüzey	20.65	2434	20.15	2360	19.61	2283	19.22	2228	19.07	2208	19.12	2215
2Ara Yüzey	17.59	2012	12.57	1458	7.19	1017	3.33	777	1.9	702	2.27	720
3Ara Yüzey	17.24	1968	11.71	1378	5.78	923	1.52	683	-0.05	610	0.35	627
4Ara Yüzey	17.22	1966	11.66	1373	5.69	917	1.41	677	-0.17	604	0.23	622
Dış Yüzey	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar			2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.	

Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1													
İç Sıcaklık - $\theta_i(^{\circ}\text{C}) = 21$							İç Bağıl Nem - $\phi_i(\%) = 65$						
	MART	MART	NİSAN	NİSAN	MAYIS	MAYIS	HAZİRAN	HAZİRAN	TEMMUZ	TEMMUZ	AĞUSTOS	AĞUSTOS	
	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	
İç Yüzey	19.51	2269	20.04	2344	20.42	2400	20.78	2454	21.06	2496	21.02	2490	
1Ara Yüzey	19.47	2263	20.02	2342	20.41	2399	20.77	2452	21.06	2496	21.02	2490	
2Ara Yüzey	5.84	926	11.23	1335	15.09	1717	18.75	2164	21.62	2583	21.18	2515	
3Ara Yüzey	4.29	831	10.23	1249	14.48	1651	18.52	2133	21.68	2593	21.2	2518	
4Ara Yüzey	4.19	826	10.17	1244	14.44	1646	18.51	2132	21.68	2593	21.2	2518	
Dış Yüzey	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518	
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518	
Sonuçlar		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.		2. ve 3. bileşenlerde yoğuşma şartları oluşmuştur.									

Projenin Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın basınç-sıcaklık dağılımı çizelgelerinde iç yüzeyi ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı standartlara uygun olduğundan yoğuşma meydana gelmemektedir. Isı yalıtımı doğru bir şekilde yapıldığında yapı bileşenlerinde yoğuşma riski olmadığından binanın sağlıklı ve uzun ömürlü olması dış etkenlere karşı korunması sağlanmıştır. Kararma ve küflenme gibi problemler ortadan kaldırılır. Ayrıca betonarme sistemini etkileyen yoğuşma ve korozyon risklerini ortadan kaldırarak öğretim binasının daha uzun ömürlü olması sağlanabilmektedir.



### 5.2.3. Taş yünü ile ısı yalıtım sistemi ve maliyeti

Yalıtımda uygulanması tasarlanan ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılacak ısı ve yoğuşma hesaplarından elde edilecek sonuçlara göre bulunmalıdır. Duvarda (dış hava temaslı) 5 cm taş yünü levha, tavanda (üzeri açık) 10 cm taş yünü levha, tabanda (toprak temaslı) 8 cm taş yünü levha seçilerek ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının hesaplamalar sonucunda standarda uygun olduğu belirlenmiştir. Yalıtımlı durumda da özgül ısı kayıpları hesaplanmış olup Tablo 5.22.'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binaya ait uygulanan ısı yalıtım metodu gösterilmiştir. Buna göre öğretim binasında yapı bileşenlerinde iletim ve havalandırma ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamı  $H = 32227,92 W/K$  'dir.

Tablo 5.22. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI	Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	$\lambda_n$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U W/m <sup>2</sup> K	A m <sup>2</sup>	A x U W/K
<b>DH-1-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>						
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)		0,13			
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01		
7.1.3.1.1	Normal harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,19	0,32	0,59		
4.2	Çimento harcı	0,02	1,6	0,01		
10.5.1	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri TS 901 EN 13162-10 a uygun; yoğunluk 8-500; ısı iletkenlik grubu 035	0,05	0,035	1,43		
4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01		
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)		0,04			
<b>TOPLAM</b>			<b>2,22</b>	<b>0,45</b>	<b>3581</b>	<b>1611,45</b>
<b>DH-2-Duvar( Dış Hava Temaslı )</b>						
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)		0,13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02		
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1		
10.5.1	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri TS 901 EN 13162-10 a uygun; yoğunluk 8-500; ısı iletkenlik grubu 035	0,05	0,035	1,43		
4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01		
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)		0,04			
<b>TOPLAM</b>			<b>1,73</b>	<b>0,58</b>	<b>2567</b>	<b>1488,86</b>
<b>CA-1-Tavan( Üzeri Açık )</b>						
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)		0,13			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,2	2,5	0,08		
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04		
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03		
10.5.1	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri TS 901 EN 13162-10 a uygun; yoğunluk 8-500; ısı iletkenlik grubu 035	0,1	0,035	2,86		
3.1	Kum, çakıl, kırma taş ( micir )	0,05	0,70	0,07		
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)		0,04			
<b>TOPLAM</b>			<b>3,25</b>	<b>0,308</b>	<b>4089</b>	<b>1259,41</b>
<b>TT-1-Taban( Toprak Temaslı )</b>						
1/ $\alpha_i$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)		0,17			
1.5	Bazalt	0,02	3,5	0,01		
10.5.1	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri TS 901 EN 13162-10 a uygun; yoğunluk 8-500; ısı iletkenlik grubu 035	0,08	0,035	2,29		
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar	0,65	2,5	0,26		
9.2.3.2	PVC örtü	0,003	0,19	0,02		
4.5	Alçı harçlı şap	0,02	1,2	0,02		
1/ $\alpha_d$	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)		0			
<b>TOPLAM</b>			<b>2,77</b>	<b>0,5x0,363</b>	<b>4089</b>	<b>742,15</b>
<b>PENCERE 1</b>				<b>3,1</b>	<b>1409</b>	<b>4367,9</b>
<b>KAPI 1</b>				<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>24</b>

İletim Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,  $H_i$  = 8907,87 W/K

Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,  $H_v$  = 23320,05 W/K

Binanın Toplam Isı Kaybı,  $H = H_i + H_v$  = 32227,92 W/K

Tablo 5.23.'de taş yünü ısı yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım sisteminin maliyet analizi hesaplanmıştır. Maliyet analizi 2018 yılı fiyatları baz alınarak yapılmıştır. Örnek alınan öğretim binası için yapılan projenin ısı yalıtım maliyeti 895.263,7 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 5.23. Taş Yünü ile Oluşturulan Isı Yalıtımı Sisteminin Maliyet Çizelgesi

	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	m <sup>2</sup> Maliyeti	Öğretim Binası Toplam Sarfiyatı (m <sup>2</sup> )	Öğretim Binası Toplam Maliyet (TL)
<b>Dış Duvarlar</b>						
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	6148	23055
Taş Yünü Levhası (5 cm)	m <sup>2</sup>	1	27,14	27,14	6148	166856,72
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	6148	23977,20
Alkali Dayanımlı Donatı Filesi	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	6148	7807,96
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	6148	3688,80
Alüminyum Köşe Profili	mt	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akriklik Son Kat Kaplama	lt	2	3,30	6,60	6148	40576,80
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	6148	110664
<b>Taban</b>						
Taş Yünü Levhası (8 cm)	m <sup>2</sup>	1	29,90	29,90	4089	122261,10
Yapıştırma Harcı	kg	5	0,75	3,75	4089	15333,75
Yüzey Sıvası	kg	6	0,65	3,90	4089	159447,10
Alkali Dayanımlı Donatı Filesi	m <sup>2</sup>	1,10	1,15	1,27	4089	5193,03
Plastik Çivili Dübel	adet	6	0,10	0,60	4089	2453,40
Su Bazlı Astar	lt	0,12	3,10	0,372	4089	1521,11
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	4089	73602
<b>Çatı</b>						
Taş Yünü Levhası (10 cm)	m <sup>2</sup>	1	33,20	33,20	4089	135754,80
<b>GENEL TOPLAM</b>						895263,70

Hesaplamalar sonucunda öğretim binası yılda toplam  $Q_{yıl} = 1.616,587 \text{ kWh}$  enerji tükettiği hesaplanmıştır. Bu öğretim binasının yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanması

için hesaplanan ısı ihtiyacı ise  $Q = 14,64 \text{ kWh/m}^3$  'tür. Bu alan ve hacimdeki bir öğretim binasının  $\text{m}^3$  'ü için TS 825'e göre Isı Yalıtım Standardı 'nın sınırladığı enerji ihtiyacı ise  $Q' = 16,6 \text{ kWh/m}^3$  'tür. Hesaplanan ısı ihtiyacı, standardın belirlediği enerji ihtiyacının altında olduğundan dolayı uygulanan ısı yalıtım sistemi standarda uygundur. Tablo 5.24.'da hesaplanmıştır.

Tablo 5.24. Taş Yünü ile Oluşturulan Dıştan Isı Yalıtımlı Öğretim Binasının Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KK O	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$\frac{H+H_i+H_v}{V}$ (W/K)	$T_i - T_e$ (K,°C)	$H(T_i - T_e)$ (W)	$\phi_i$ (W)	$\phi_g$ (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_g$ (W)			
Ocak	32228	20,3	654.227	176.667	27.566	204.233	0,31	0,959	1.187.889.680
Şubat	32228	19,9	641.336	176.667	34.819	211.486	0,33	0,952	1.140.588.514
Mart	32228	15,9	512.424	176.667	43.867	220.534	0,43	0,902	812.554.388
Nisan	32228	9,9	319.056	176.667	46.867	223.534	0,70	0,76	386.620.474
Mayıs	32228	5,6	180.476	176.667	55.982	232.649	1,29	0,54	142.377.820
Haziran	32228	1,5	48.342	176.667	58.958	235.625	4,87	(-)	
Temmuz	32228	Td yüksek	(-)	176.667	56.962	233.629	(-)	(-)	
Ağustos	32228	Td yüksek	(-)	176.667	53.400	230.067	(-)	(-)	
Eylül	32228	2,8	90.238	176.667	44.477	221.144	2,45	0,335	41.841.835
Ekim	32228	8,4	270.715	176.667	35.410	212.077	0,78	0,721	305.364.134
Kasım	32228	14,4	464.082	176.667	26.381	203.048	0,44	0,898	730.133.467
Aralık	32228	18,7	602.662	176.667	24.043	200.710	0,33	0,95	1.067.692.240

$$\text{Toplam } Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} = 5.815.062.552 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{yıl}} = 0,278 \times 1/1000 \times 5.815.062.552 = 1.616.587 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı } Q' &= 16,6 \text{ kWh / m}^3 \\ \text{Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı } Q &= 14,64 \text{ kWh / m}^3 \end{aligned}$$

Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825'e göre Isı Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğuşma analizleri yapılmış ve Tablo 5.25., Tablo 5.26., Tablo 5.27., Tablo 5.28.'de gösterilmiştir.





Tablo 5.28. Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi  
Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1

İç Sıcaklık - $\theta_i(^{\circ}\text{C}) = 21$	İç Bağıl Nem - $\phi_i(\%) = 65$
---	----------------------------------

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.66	2436	20.17	2363	19.64	2287	19.26	2234	19.12	2215	19.16	2220
1Ara Yüzey	20.65	2434	20.15	2360	19.61	2283	19.22	2228	19.07	2208	19.12	2215
2Ara Yüzey	17.59	2012	12.57	1458	7.19	1017	3.33	777	1.9	702	2.27	720
3Ara Yüzey	17.24	1968	11.71	1378	5.78	923	1.52	683	-0.05	610	0.35	627
4Ara Yüzey	17.22	1966	11.66	1373	5.69	917	1.41	677	-0.17	604	0.23	622
Dış Yüzey	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1

İç Sıcaklık - $\theta_i(^{\circ}\text{C}) = 21$	İç Bağıl Nem - $\phi_i(\%) = 65$
---	----------------------------------

	MART	MART	NİSAN	NİSAN	MAYIS	MAYIS	HAZİRAN	HAZİRAN	TEMMUZ	TEMMUZ	AĞUSTOS	AĞUSTOS
	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	19.51	2269	20.04	2344	20.42	2400	20.78	2454	21.06	2496	21.02	2490
1Ara Yüzey	19.47	2263	20.02	2342	20.41	2399	20.77	2452	21.06	2496	21.02	2490
2Ara Yüzey	5.84	926	11.23	1335	15.09	1717	18.75	2164	21.62	2583	21.18	2515
3Ara Yüzey	4.29	831	10.23	1249	14.48	1651	18.52	2133	21.68	2593	21.2	2518
4Ara Yüzey	4.19	826	10.17	1244	14.44	1646	18.51	2132	21.68	2593	21.2	2518
Dış Yüzey	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

Projenin Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın basınç-sıcaklık dağılımı çizelgelerinde iç yüzeyi ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı standartlara uygun olduğundan yoğuşma meydana gelmemektedir. Isı yalıtımı doğru bir şekilde yapıldığında yapı bileşenlerinde yoğuşma riski olmadığından binanın sağlıklı ve uzun ömürlü olması dış etkenlere karşı korunması sağlanmıştır. Kararma ve küflenme gibi problemler ortadan kaldırılır. Ayrıca betonarme sistemini etkileyen yoğuşma ve korozyon risklerini ortadan kaldırarak öğretim binasının daha uzun ömürlü olması sağlanabilmektedir.

#### 5.2.4. Isı Yalıtım Sistemlerinin Tüketilecek Enerji Açısından Amorti Sürelerinin Hesabı

Örnek bir öğretim binasının yalıtımı yapılırken farklı ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak yapılan karşılaştırma sonrasında bu yalıtım malzemelerinin uygulandığında oluşan maliyetin amorti süreleri hesaplanmıştır.

	XPS ile Isı Yalıtımlı Bina	EPS ile Isı Yalıtımlı Bina	Taş ile Yünü Isı Yalıtımlı Bina
Hesap Edilen Isı Yalıtım Maliyetleri	770.372,88 TL	575.605,40 TL	895.263,7 TL
Yalıtım Sonrası Yıllık Tüketeceği Enerjideki Tasarruf Miktarı (kWh)	1.765.986 kWh	1.753.129 kWh	1.776.714 kWh
Yalıtım Sonrası Yıllık Tasarruf Maliyeti (TL)	2.030.883 TL	2.016.098,35 TL	2.043.221,11 TL
Amorti Süreleri (Gün)	136 gün	102 gün	157 gün

Tablo 5.29. Isı Yalıtım Sistemlerinin Amorti Sürelerinin Hesabı

Öğretim binası projesinin yalıtımsız durumu için gerekli yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı yapılarak  $Q_{yıl} = 3.393.301 \text{ kWh}$  enerji tükettiği belirlenmişti. Isı yalıtım malzemeleri örnek binaya uygulandıktan sonra da hesaplar yapılarak binanın ayrı ayrı yalıtımlı olarak tükettiği enerji değerleri bulunmuştur. Binanın yalıtım sonrası yıllık tüketeceği enerjideki tasarruf miktarı; yalıtımsız durumdaki tükettiği enerji ile yalıtımlı haldeki tükettiği enerjinin arasındaki farktır. Enerji tüketimi, maliyete dönüştürüldüğü zaman yalıtım malzemesi için harcanan tutar yaklaşık olarak bir yıla yakın ısıtma sağlanacak günlere tekabül etmektedir. Geri kalan yıllarda tasarruf edilen miktar ise kişisel kullanım, bölgesel ve ülkesel bazda değişkenlik göstererek devam edecektir. Amorti süresinin net olarak hesaplanabilmesi için yıllık enflasyon oranının, mevsim şartlarının, yalıtımın uygulanmasının doğruluğunun ve ayarlanan konfor sıcaklığının değerlerinin gibi birçok değişkenin net bir şekilde bilinmesi gerektiğinden hesaplar yaklaşık olarak belirlenmiş bulunmaktadır.



## **BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Ülkemizde enerjinin büyük bir bölümü konutlarda ve sanayide tüketilmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin büyük bölümü ise ısınma için kullanılmaktadır. Isınma için harcanan enerjiyi verimli kullanarak ülke ekonomisine katkıda bulunmamız gerekmektedir. Bundan dolayı yetkili makamlar tarafından yönetmelik (BEPY) çıkarılarak binalarda ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir.

Bolu İli 'nde hava kirliliği yok denecek kadar az olan, verimi diğer yakıtlara göre daha az ve fiyat bakımından daha ekonomik sayılan doğalgaz 2009 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. 2009 yılından günümüze doğal gaz kullanan abone sayısı arttıkça ildeki hava kirliliği aynı oranda azalmıştır. Konutlarda doğal gazın yakıt olarak kullanılması ile birlikte daha önce kullanılan katı ve sıvı yakıtlar önemini kaybetmiştir. Doğalgazın il geneline yaygınlaşması ile birlikte binalarda ısı yalıtımı önem kazanmıştır. Ancak Bolu'daki yalıtım firmaları ve ustalarının ısı yalıtımı konusunda yeterli eğitim almamış olması uygulama sonrası binalarda bazı yalıtım yanlışlıklarını meydana getirmiştir. Binalara ısı yalıtımı çalışması yapılırken elde edilen gözlemlerde; yalıtım malzemesine uygulama sırasında yeterli sayıda dübel çakılmaması, uygun olmayan zemine yalıtım yapılması, yalıtım levhasının uygulama sırasında günlerce olumsuz hava şartlarına maruz bırakılması, yalıtım levhasına yapıştırma harcının eksik ya da yanlış sürülmesi, uygun kalınlıkta ve gerekli standartlara sahip olmayan ısı yalıtım malzemesi kullanılması ve bina sakinleri arasındaki uyuşmazlık sonucu yapılan parça yalıtımlar Bolu'daki başlıca ısı yalıtım kusurları olarak tespit edilmiştir. Bu kusurların bazılarını gözle görmemiz mümkün olmamaktadır. Termal kamera yardımı ile bu hatalı uygulamalar üniversitedeki binalarda çekim yapılarak fotoğraflandırılmıştır. Bolu'da kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin başlıca ekstrüde polistren, ekspande polistren ve taş yünü olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada ele alınan örnek bir öğretim binasının ısı yalıtımının EPS (Ekspande polistren) malzemesi ile ısı yalıtımı yapıldığında; XPS (Ekstrüde polistren) malzemesi ile yapıldığından % 33,8 daha az maliyetli yapılacağı anlaşılmıştır. Ancak öğretim binası için hesaplanmış ısı ihtiyacı  $Q(xps) = 14,74 \text{ kWh/m}^3$  'den  $Q(eps) = 14,85 \text{ kWh/m}^3$  'e yükselmektedir. Yani EPS yapıldığında ısı yalıtım maliyeti daha uygun olacaktır ama binayı ısıtmak için harcanan enerji daha fazla olacaktır. Her ikisinin de üretiminde kullanılan ana malzeme polistroldür. EPS' de (Expanded Polistiren) daha önce de dediğimiz gibi levhalarda pentan şişirme gazı olarak kullanılır. XPS (Ekstrüde Polistiren) de ise HFCL yani hafniyum tetraklorür gazı kullanılır. Pentanın hava ile yer değiştirme hızı fazladır. HFCL (Hafniyum tetraklorür) çevreye karşı zararlı olduğundan bazı ülkelerde kullanımı yasaklanmıştır. Bundan dolayı üreticiler XPS üretiminde şişirme gazını karbondioksit ile yapmaktadırlar. Ayrıca her iki malzeme de 85°C sıcaklıktan sonra deforme olur. EPS'ye göre; XPS tamamen kapalı hücre yapısına sahip olduğu için su emme ve buhar difüzyon direnci için yüksek bir malzemedir. EPS ise nefes alma özelliği bakımından XPS'den daha iyidir. Çünkü malzeme yapısı olarak daha esnektir.

Taş yünü, EPS malzemesine göre öğretim binası için %55,53 daha fazla ısı yalıtım maliyeti oluşturmaktadır. Taş yünü kullanıldığında  $Q(taşyünü) = 14,64 \text{ kWh/m}^3$  olarak ısı ihtiyacı hesaplanmıştır. Maliyeti bakımından bakıldığında 895.263,70 TL olduğundan ısı yalıtım malzemesi olarak en maliyetli olanıdır. Ancak özelliğine baktığımızda ısı yalıtımının yanında ses yalıtımı ve yangın koruması performansı bakımından diğerlerine göre en iyi özelliktedir. Taş yününün yapısı; volkanik kayalardan elde edilen bazalt, dolomit, diyabaz gibi mineral ve inorganik taşların 1400°C 'lerde ergitilip elyaf haline getirilmesi ile oluşturulur. Ayrıca %97 oranında doğal elyaf içerdiğinden yangına karşı dayanıklı, su itici özelliği olan ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Özel işlemler sonucu lifli yapısının tüm katmanlarına uygulanan doymuş yapıdaki taş yünü çok iyi su itici olarak davranmaktadır. Buhar geçirgenliği sayesinde nemin bina içerisinde tutunması engellenmiş olur. Taş yünü ile yalıtılmış yapılar, binalar daha sağlıklıdır bundan dolayı daha konforlu hale gelmiş olur. Taş yünü sıcaklık değişiminden etkilenmez. Çünkü boyutsal kararlılığı vardır.

Uzun lif yapısından dolayı kesim işleminde ayrıca laminasyonda düzgün kenarlara ve yüzeylere sahip ürün elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Taş yününün kullanım alanları; binaların çatıları, bölme duvarlar, dış cephe yalıtımları, gıda veya sanayi fırınları, konutların çelik kapılarının yalıtımları, gemi inşaatları, elektrikli ev aletleri, eğlence mekanlarının ses absorbeleri ve sinemaların ses yalıtımları; ısı, ses, rutubet yalıtımı ve yangın güvenliği gerektiren her alanda üst düzeylerde yalıtım yapılabilmesini kapsar.

Tablo 6.1. Öğretim Binasının Isı Yalıtımı Optimizasyon Sonuçları

Yalıtım malzemesi	Isı kaybı (kWh/m <sup>3</sup> )		TSE Standartlarınd a ısı kaybı (kWh/m <sup>3</sup> )		Maliyet (TL)		Avantaj	Dezavantaj
EPS (Ekspande polistren)	14,85	89%	16.6	100%	575.605,40	64%	- düşük maliyet - esnek yapı	- 85 °C sonra deformasyon - daha yüksek ısıtma maliyeti
XPS (Ekstrüde polistren)	14,74	88,8%			770.372,88	86%	- yüksek emiş ve buhar difüzyon direnci	-85 °C sonra deformasyon - HFCL gaz kullanıyor ve bu gaz bazı ülkelerde yasaklı.
Taş yünü	14,64	88,2%			895.263,70	100 %	- daha iyi ısı yalıtımı ve yangın koruma performansı - sağlıklı ve konforlu.	- en yüksek maliyet

## KAYNAKLAR

- [1] Akıncı H., ‘Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri’ Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Ocak-2007.
- [2] Karayığit S., ‘Enerji Yönetmeliğine Göre Konutların Farklı Isı Yalıtım Malzemeleri ile Yalıtılmasının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği’ Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Sayfa:8,9,12 2015.
- [3] Çalışan M., Türkoğlu İ. S., ‘Termal Kameralar ve Uygulamaları’ Elektrik-elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Sayfa:46-50 2011.
- [4] Değirmenci A. İ., ‘Türkiye’de Uygulanan Yalıtım Tekniklerinin Araştırılmasında Termal Kameranın Etkin Biçimde Kullanılması’ Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Enstitüsü, Sakarya, Sayfa:126,127, Haziran 2010.
- [5] Malgorzata O., Agnieszka A. L., Annette M. H., ‘Application of infrared thermography technique to the thermal assessment of multiple thermal bridges and windows’ Energy and Buildings-168, 347-362, 2018.
- [6] Wang T., Ward G., Lee E. S., ‘Efficient modeling of optically-complex, non-coplanar exterior shading: Validation of matrix algebraic methods’ Energy and Buildings-174, 464-483, 2018.
- [7] Akelçi B., ‘Kentsel Dönüşüm Kapsamında Dıştan Isı Yalıtım Uygulamalarının İrdelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul, Haziran 2016.
- [8] Gupta P., Singh B., Agrawal A. K., MAJİ P. K., ‘Low density and high strength nanofibrillated cellulose aerogel for thermal insulation application’ Materials and Design-158, 224-236, 2018.
- [9] Rawal S., ‘Materials and structures technology insertion into spacecraft systems: Successes and challenges’ Acta Astronautica-146, 151-160, 2018.

- [10] Fırat İ., ‘Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları Ve Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi’ Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013.
- [11] Türkmen M., ‘Bina Kabuğunda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Yapısal Performansı Ve Etkinliğinin İstanbul’da Bir Alan Çalışması İle İncelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul, Eylül 2016.
- [12] Paralı, D., “Bina Duvarında Uygulanan Isı yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnsaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, Haziran 2009.
- [13] Aydın, İ., “Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnsaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, Nisan 2010.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Merve Mermer, 22.06.1989'da Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bolu'da tamamladı. 2007 yılında Bolu Atatürk Lisesi(YD Ağırlıklı) 'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Bolu' da mekanik tesisat proje çizimi alanında çalışmaya başladı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Bolu'da mekanik tesisat alanında çalışmalarını sürdürmektedir.