

## BİNA ISI YALITIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

İsmet Tıkız<sup>1</sup>, Hüseyin Pehlivan<sup>2</sup>, Merve Mermer<sup>3</sup>

### ÖZET

Ülkemizdeki enerjinin %35'inin binalarda tüketildiği ve binalarda tüketilen enerjinin de %80'i ısıtma amaçlı kullanıldığı göz önüne alınırsa, binalara kurulacak daha verimli ısıtma sistemlerinin yanı sıra binalara uygulanacak uygun ısı yalıtımları ile büyük enerji tasarrufu sağlanacağı çok önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bir binanın TS 825 Isı Yalıtım Kuralları esas alınarak kullanılan ısı yalıtım malzemesinin kalınlıklarının enerji tasarrufu yönünden incelemesi, yapılan ısı yalıtım maliyetinin geri ödeme sürelerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bunun için Bolu ilinde bulunan bir bina seçilmiş, binanın dış kabuğundaki yapı elemanları ele alınarak gerekli yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, binanın enerji verimliliği, binanın özgül ısı kaybı hesapları yapılarak binadaki yapı elemanları kesit halinde verilerek ısı geçirgenlik katsayıları belirlenmiştir. Binayı oluşturan pencere, beton ve duvar malzemeleri miktarı belirlenmiştir. Ayrıca o bölgede bulunan binaların ısı yalıtımlarının termal kamera ile görüntüleri incelenmiştir. Çalışma ile alternatif yalıtım malzemeleri kullanıldığında maliyet etkisi de göz önünde bulundurularak optimum ısı yalıtım kalınlığı ve amortisman süresi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bina ısı yalıtımı, ısı kaybı, yalıtım malzemesi, yatırım maliyeti

## INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF BUILDING THERMAL INSULATION SYSTEMS

### ABSTRACT

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. In this study, 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 and to calculate the repayment period of the thermal insulation cost. 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. The optimum heat insulation thickness and depreciation period were determined by considering the cost effect when alternative insulation materials were used.

**Keywords:** Building thermal insulation, heat loss, insulation material, investment cost

### GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. 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. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunluğu uygun malzeme seçimi, optimum yalıtım malzeme kalınlığı ve ekonomiklik üzerine yapılmaktadır. Babota ve Moga, 2018, Romanya'da olağan bir konut binasında, levha üzerindeki toprağın ısı direncinin büyüklüğü incelediler. Çalışmada, CIMSPAT yazılımı kullanılarak, 5 ila 40 cm arasında değişen kalınlıklarda sekiz farklı ısı yalıtım tabakası için gerçekleştirilmiştir. Batard ve vd., 2018, çeşitli bina ısı yalıtım uygulamaları için bina kılıf bileşenlerine Vakum Yalıtım Panellerinin monte edildiğinde uzun süreli termal performansını belirlemek için bir metodoloji geliştirdiler. İklim koşulları, bina modellemesi ve yalıtım sistemleri dahil tüm metodolojide, çeşitli uygulamalarda ve iklimlerde bu panellerin ısı verimliliğini tahmin etmek için performans göstergeleri önerilmiştir. Çetiner ve Sheab, 2018 deneysel çalışmasında, ahşap atık formundaki doğal lifli malzeme, ahşap çerçeve duvar yapımında, herhangi bir bağlayıcı eklenmeden, bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya uygunluğunu araştırdılar. Elde edilen sonuçlara göre, deneysel veriler farklı yoğunluktaki odun atığının ısı iletkenlik değerleri 0.048 ila 0.055 W/mK arasında değişmektedir. Bu değerler,

<sup>1</sup> Kırklareli University, [ismet.tikiz@klu.edu.tr](mailto:ismet.tikiz@klu.edu.tr)

<sup>2</sup> Sakarya University, [pehlivan@sakarya.edu.tr](mailto:pehlivan@sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup> Sakarya University, [merve-mermer@hotmail.com](mailto:merve-mermer@hotmail.com)

piyasada bulunan diğer doğal yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılabilir olmakla birlikte düşük maliyetli bir yan ürün olmanın ekonomik avantajına sahip olmakla birlikte, yaygın olarak kullanılan inorganik esaslı yalıtım malzemelerinden biraz daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Türkiye'de dört farklı iklim bölgesinde seçilen ildeki bir konutun dış duvarının polistiren ve poliüretan yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığını belirlendi. Bunun için enflasyon ve faiz oranlarının etkilerinin de gözönünde bulundurulmuş Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCA) yöntemi kullanıldı (Dombaycı, vd., 2017).

Jain ve Pathak, 2018, enerji tüketiminde azalmayı gözlemlemek için Hindistan'da Bhopal şehrinde 3 katlı binalara hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak termal simülasyon uyguladılar. Binaların çatı ve duvarlarının solar paneller ile kaplanmasının %25 oranında ısı tasarrufu sağladığı görüldü. Khoukhi, 2018, sıcaklığı ve nem içeriğinin, polistiren yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği üzerindeki etkisini ve binaların enerji performansını araştırdı. Elde ettiği sonuçlara göre, polistiren yalıtımın değerinin, farklı çalışma sıcaklıklarında nem içeriğinden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koyuldu. Yeşil duvarların termal alana etkisini incelemek amacıyla, sphagnum yosunu, sarmaşık (*Hedera helix*) ve Virginia sarmaşık (*Parthenocissus quinquefolia*) malzemeleri kullanıldığında iletkenlik değerleri oldukça yüksek elde edildi. Bu çalışmanın devamında bina termal simülasyonu ile yeşil duvarlar binaların yalıtımını teknik olarak geliştirebilir (Libessart ve Kenai).

Mahlia ve vd., 2007, termal iletkenlik ile bina duvarındaki seçilmiş yalıtım malzemelerinin kalınlığı arasındaki korelasyon analiz ettiler. Çalışma ile yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği ve optimum kalınlığı arasındaki ilişkinin lineer olmayan bir ilişki olduğu, ama fonksiyonun bir polinom fonksiyonuna uygun olduğunu ortaya koydular. Farklı duvar yalıtım formlarının termal performansını yaz aylarında aralıklı ve sürekli çalışma koşullarında analiz eden karşılaştırmalı olarak doğrulanmış bir sayısal simülasyon gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar, farklı ısı yalıtım katsayılarının, aynı ısı transfer katsayılarına sahip olmalarına rağmen, sıcaklık tepki oranı ve iç yüzeydeki hava akışının aralıklı çalışması altında ısı akışı üzerinde kayda değer bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Meng vd., 2018).

Mushtaq vd., 2018, duvar ve tavan katmanları ile birleştirilerek ısı yalıtım malzemesi olarak faz değişim malzemesi (PCM) kullanılarak termal performans ve konforun iyileştirilmesindeki rolünü inceledi. Elde edilen sonuçlar, ele alınan bölgenin iç ortam sıcaklığındaki azalma ve soğutma yükündeki azalmayı ve sonuç olarak PCM'yi yalıtım malzemeleri olarak kullanarak elektrik tüketiminde tasarruf elde edildiği gösterildi. Nyers vd., 2015, yeni bir "yatırım tasarrufu" yöntemi uygulayarak dış duvar için ısı yalıtım tabakasının optimum enerji-ekonomik kalınlığını analiz ettiler. Bu amaç ile enerji ve ekonomik kısımları ele alan matematiksel bir model geliştirildi. Söz konusu yapı için duvar tuğladan yapılmış ve ısı yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanılmıştır. Olivieri vd., 2017 yeşil dış cephe optimizasyonu (GFO) adı verilen yeni bir metodoloji kullanılarak yalıtım kalınlığının yeşil bir duvarın enerji performansı üzerindeki etkisini analiz ettiler. Yapılan modelleme ve deneysel çalışmaların sonucunda, cephenin orta düzeyde yalıtıldığı, 9 cm'lik bir yalıtım kalınlığına kadar, daha fazla yalıtımın fazlalık ve verimsiz olduğu durumlarda, yeşil duvarın pasif bir soğutma sistemi olarak çalıştığını gösterdiler. Özel, 2011 binaların duvarlarında termal performans ve optimum yalıtım kalınlıkları üzerine çalışmıştır. Yalıtım malzemesi olarak Ekstrüde polistiren (XPS) ve ekspande polistiren (EPS) yalıtım malzemesi olarak seçilerek yıllık soğutma ve ısıtma iletim yükleri hesapladı. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarının 2 ve 8,2 cm arasında, enerji tasarrufunun 2,78 ile 102,16 \$/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme süreleri 1,32 ile 10,33 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Özkan ve Onan, 2011, çeşitli izolasyon malzemeleri, cam alanları ve yakıt türleri için Türkiye'nin dört yıllık bölgeleri için optimizasyon çalışması yapmıştır. Ayrıca, farklı yalıtım kalınlıklarının ve yakıtın yakıt tüketimi üzerindeki etkileri ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi kirlenici emisyonları değerlendirilmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonları, optimum yalıtım malzemesi (XPS) ve doğal gazın kullanıldığı durumlarda % 50,91 azalmıştır. Optimum yalıtım malzemesi (XPS) ve akaryakıt kullanıldığı durumlarda CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları % 54,67 azalmıştır. Pásztorly vd., 2018, termal iletkenliğin sıcaklığa bağlılığını ve alüminyum folyo ile kaplanmış kâğıdı karşılaştırarak yüzey yayıcılığının önemini araştırdı. Bunun için çok katmanlı yansıtıcı yalıtım panellerini geleneksel köpük izolasyonları ile karşılaştırarak kapak OSB'nin etkisini belirlediler. Sonuç olarak, termal iletkenliği, 5 °C ila 35 °C arasındaki sıcaklık aralığında doğrusal olarak arttığı ortaya konuldu. Qiu vd., 2018, binalarda hibrid sistemin termal performansı ve tasarım yöntemi araştırdılar. Hibrid sistem için termal performans değerlendirmesi ve enerji verimliliği tasarımı için güneşle uyumlu kaplamaya eşdeğer termal direnç ortaya konmuştur. Shi vd., 2018, yeraltındaki gömülü ofis binasında bina enerji tüketiminin yıllık enerji tüketimi üzerindeki termal performansının, DeST tabanlı dinamik bina enerji simülasyonu yoluyla etkisi incelendi. Sonuçta, yeraltı binaları için kabul edilen ısı işlem ile uğraşmanın doğruluğu, DeST kullanılarak ölçülmüş verilerle doğrulanmıştır. Analiz edilen sonuçlar, bu tür binalar için yıllık enerji tüketimlerinin önemli ölçüde değiştiğini ve zarfların toplam ısı transfer katsayısının değerine bağlı olduğunu göstermektedir.

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. Binalarda ısı 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.

Yapılan çalışma ile 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. Türkiye'de ve Dünya'da yeni yalıtım tekniklerinin araştırılması ayrıca yürürlükte olan yönetmelik ve standartlar incelenmiştir. Ele alınan binanın özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının farklı ısı yalıtım malzemelerine göre hesapları yapılacaktır. Yapılarda ısı kayıplarının gerçekleştiği duvar, çatı ve döşeme kısımlarında uygulamada kullanılan malzemeler termal kamera analizi ile incelenip karşılaştırmalar yapılacaktır.

### MALZEME VE YÖNTEM

Sağlıklı yaşam koşullarının oluşturulması, yakıt tüketimlerini azaltarak; kullanıcıların düşük yakıt masrafları ile sistemin işletmesini ve dolayısıyla hava kirliliğinin azaltılmasının sağlanması, binanın iç ve dış etkenlerden korunarak ömrünün uzatılması amacıyla; yapı bileşenleri üzerinden farklı sıcaklıktaki iki ortam yani dış hava ile yaşanan mahaller arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtım denir. Isı yalıtımının amacı kapalı mahallerin iç sıcaklığını korumak, istenilen seviyede tutmayı sağlamak, enerji tasarrufu sağlamak, hava kirliliğini azaltmak için yapılan işlemlerin tümünü kapsar.

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 alınmasıdır.

Bir başka deyişle ısı yalıtımının amacı; yapının bakım masraflarını sınırlı düzeyde tutmak, kışın ısıtma-yazın soğutma enerjisinden tasarruf sağlayarak aile ve ulusal ekonomimize katkıda bulunmaktır. Bu nedenle ısı yalıtımında ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilemesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık vb. bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır (Akıncı, 2007).

### Bir öğretim binasının ısı yalıtımı yönünden incelenmesi

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 'e uygun ısı yalıtım malzemeleri ile farklı kalınlıklarda kullanılarak yalıtımlı durumlar için genel ısı yalıtım maliyeti, binanın özgül ısı kaybı, yıllık ısıtma enerjisi hesapları ve yoğuşma analizi yorumları yapılarak grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu 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 1 'de verilmiştir.

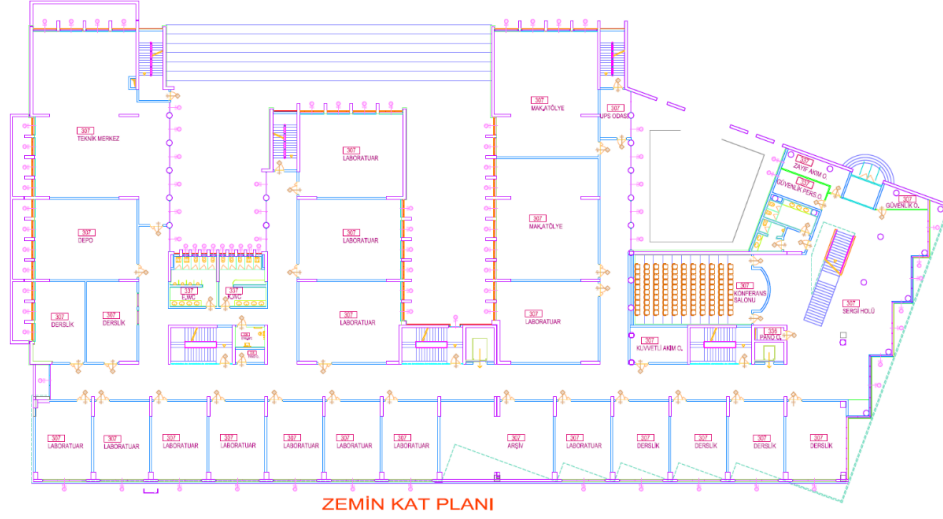
**Tablo 1:** Yalıtımsız Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

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	-
Taban Alanı	Toprak Temaslı	4089 $m^2$
	Isıtılmayan İç Ortamla Bitişik	-

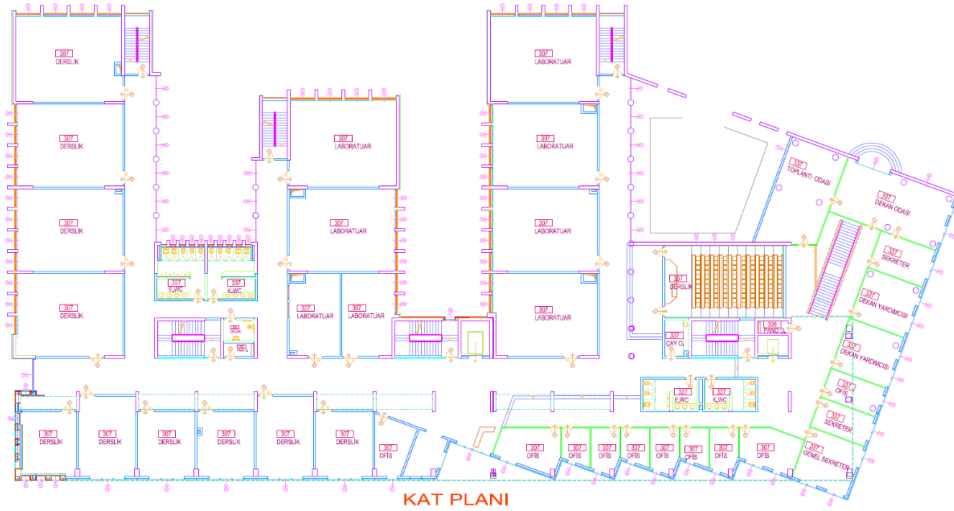
	Açık Geçit Üzeri	-
Pencere Alanı	Toplam	1409 m <sup>2</sup>
Kapı Alanı	Toplam	6 m <sup>2</sup>

Çalışmada, Ekstrüde Polistren Köpük (XPS), Ekspande Polistren Köpük (EPS) ve taş yünü yalıtım malzemeleri kullanılmıştır (Karayiğit, 2015).

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 1 ve Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 1: Öğretim Binası Zemin Kat Planı



Şekil 2: Öğretim Binası Normal Katlar Planı

### 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 Isı Yalıtımı Hesap Programı kullanılarak oluşturulan Binanın Özgül Isı Kaybı tablosu olan Tablo 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 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	$\lambda_b$	R	U	A	A x U
		(m)	(W/mK)	(m²K/W)	W/m²K	m²	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			
4.8	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;  
iletim yolu ile gerçekleşen ısı kaybı,  $H_i = 32336,92 \text{ W/K}$   
Havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kaybı,  $H_V = 23320,05 \text{ W/K}$   
Binanın Toplam Isı kaybı,  $H = H_i + H_V = 55656,97 \text{ W/K}$

Tablo 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			
	$H=H_i + H_v$	$T_i - T_d$	$H(T_i - T_d)$	$\Phi_i$	$\Phi_g$	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_g$			
	(W/K)	(K,°C)	(W)	(W)	(W)	(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

Toplam  $Q_{yil} = \sum Q_{ay} = 12.206.117.869$  kJ

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

TS 825'te tanımlanan hesap metodu 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 3 'te görüldüğü üzere öğretim binasının  $Q_{yil} = 3.393.301$  kWh enerji tükettiği belirlenmiştir. Öğretim binasının kapladığı alan ve hacim için TS 825 Isı Yalıtım Standardının sınırladığı enerji ihtiyacı  $Q' = 16,6$  kWh/m<sup>3</sup> ancak hesaplamada ısı yalıtım malzemesi kullanılmadığından öğretim binasının ısı ihtiyacı ise  $Q = 30,73$  kWh/m<sup>3</sup> '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 Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğunlaşma analizleri yapılmış ve Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7 'de gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Yalıtımsız Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi  
Yapı Elemanındaki Basınç ve Sıcaklık Dağılımı Çizelgesi

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 İç Bağıl Nem -  $\phi_i$ (%) =65

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	19.95	2331	18.41	2119	16.76	1910	15.58	1771	15.14	1722	15.25	1734
1Ara Yüzey	19.9	2324	18.29	2103	16.56	1886	15.32	1742	14.86	1692	14.97	1704
2Ara Yüzey	17.41	1990	12.14	1417	6.49	969	2.43	729	0.93	654	1.3	672
Dış Yüzey	17.36	1983	12.02	1406	6.29	956	2.17	715	0.65	641	1.02	659
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 İç Bağıl Nem -  $\phi_i$ (%) =65

	MART	MART	NİSAN	NİSAN	MAYIS	MAYIS	HAZİRAN	HAZİRAN	TEMMUZ	TEMMUZ	AĞUSTOS	AĞUSTOS
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	16.35	1861	18	2065	19.18	2223	20.31	2384	21.19	2516	21.06	2496
1Ara Yüzey	16.13	1835	17.86	2047	19.09	2210	20.28	2379	21.2	2518	21.06	2496
2Ara Yüzey	5.07	878	10.73	1291	14.77	1682	18.64	2149	21.66	2590	21.19	2516
Dış Yüzey	4.85	865	10.59	1279	14.68	1672	18.61	2145	21.67	2591	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 5:** Yalıtımsız Binanın beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 2**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 İç Bağıl Nem -  $\phi_i$ (%) =65

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	18.79	2169	15.54	1767	12.05	1409	9.55	1193	8.62	1121	8.85	1138
1Ara Yüzey	18.61	2145	15.1	1718	11.33	1344	8.63	1121	7.63	1048	7.88	1066
2Ara Yüzey	17.73	2030	12.91	1491	7.75	1056	4.05	817	2.68	742	3.02	760
Dış Yüzey	17.55	2007	12.47	1448	7.03	1006	3.13	766	1.69	691	2.05	709
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar					1. bileşende yoğuşma şartları oluşmuştur.		1. bileşende yoğuşma şartları oluşmuştur.		1. bileşende yoğuşma şartları oluşmuştur.		1. bileşende yoğuşma şartları oluşmuştur.	

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 2**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 İç Bağıl Nem -  $\phi_i$ (%) =65

	MART	MART	NİSAN	NİSAN	MAYIS	MAYIS	HAZİRAN	HAZİRAN	TEMMUZ	TEMMUZ	AĞUSTOS	AĞUSTOS
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	11.17	1329	14.66	1670	17.16	1959	19.55	2274	21.41	2550	21.12	2505
1Ara Yüzey	10.38	1261	14.15	1616	16.85	1921	19.43	2258	21.44	2555	21.13	2507
2Ara Yüzey	6.45	966	11.62	1370	15.32	1742	18.85	2178	21.6	2580	21.18	2515
Dış Yüzey	5.66	915	11.11	1324	15.01	1708	18.73	2161	21.63	2585	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar		1. bileşende yoğuşma şartları oluşmuştur.										

**Tablo 6:** Yalıtımsız Binanın Tavan (Üzeri Açık) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1**

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

	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	19.12	2215	16.36	1862	13.39	1538	11.27	1338	10.48	1270	10.67	1286
1Ara Yüzey	18.52	2133	14.87	1693	10.96	1311	8.16	1086	7.11	1011	7.37	1029
2Ara Yüzey	18.25	2098	14.2	1621	9.86	1218	6.76	987	5.59	910	5.88	929
3Ara Yüzey	18.03	2069	13.66	1565	8.98	1148	5.63	913	4.37	836	4.68	854
Dış Yüzey	17.5	2001	12.34	1436	6.82	991	2.87	752	1.38	676	1.75	694
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

**Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1**

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

	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	12.65	1466	15.61	1775	17.74	2031	19.76	2304	21.35	2541	21.1	2502
1Ara Yüzey	9.98	1228	13.89	1589	16.7	1902	19.36	2248	21.46	2558	21.13	2507
2Ara Yüzey	8.78	1133	13.11	1510	16.23	1846	19.18	2223	21.51	2566	21.14	2509
3Ara Yüzey	7.81	1061	12.49	1450	15.85	1802	19.04	2204	21.55	2572	21.15	2510
Dış Yüzey	5.44	901	10.96	1311	14.92	1698	18.69	2156	21.65	2588	21.18	2515
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 7:** Yalıtımsız Binanın Taban (Toprak Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1**

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

	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	19.22	2228	16.59	1889	13.78	1578	11.76	1382	11.01	1315	11.2	1332
1Ara Yüzey	19.18	2223	16.48	1876	13.61	1560	11.54	1362	10.77	1295	10.96	1311
2Ara Yüzey	17.33	1980	11.89	1394	6.1	943	1.93	703	0.38	629	0.76	646
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 -  $\phi_t(\%) = 65$

	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	13.07	1506	15.89	1807	17.9	2052	19.83	2314	21.33	2538	21.09	2501
1Ara Yüzey	12.88	1488	15.77	1793	17.83	2043	19.8	2310	21.34	2539	21.09	2501
2Ara Yüzey	4.64	852	10.45	1267	14.61	1665	18.58	2141	21.68	2593	21.19	2516
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 yüzey ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı 3 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.

### Öğretim Binası için alternatif ısı yalıtım malzemelerinin uygulanması

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

### Ekstrüde Polistren uygulaması

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 8 'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binada 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 8:** Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanın in Kalınlığı	Isıl İletkenli k Hesap Değeri	Isıl İletkenli k Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedil en 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			
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			
$1/\alpha_e$	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			
$1/\alpha_e$	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			
$1/\alpha_e$	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 polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥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/α <sub>s</sub>	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<sub>i</sub> = 9303,81 W/K

Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı, H<sub>v</sub> = 23320,05 W/K

Binanın Toplam Isı Kaybı, H = H<sub>i</sub> + H<sub>v</sub> = 32623,86 W/K

Tablo 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 9:** Ekstrüde 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
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	m	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	L	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akrilik Son Kat Kaplama	L	2	3,30	6,60	6148	40576,80
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	6148	110664
<b>Taban</b>						
Extrüde 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	L	0,12	3,10	0,372	4089	1521,11
İşçilik	m <sup>2</sup>	1	18	18	4089	73602
<b>Çatı</b>						
Extrüde 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 hacimdeki bir öğretim binasının  $\text{m}^3$  'ü için TS 825 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 10 'da hesaplanmıştır.

**Tablo 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			
	$H=H_1 + H_v$	$T_1 - T_a$	$H(T_1 - T_a)$	$\Phi_1$	$\Phi_0$	$\Phi_T = \Phi_1 + \Phi_0$			
	(W/K)	(K,°C)	(W)	(W)	W	(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

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

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

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

Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825 Isı Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğuşma analizleri yapılmış ve Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13, Tablo 14 'de gösterilmiştir.

**Tablo 11:** Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 | İç Bağıl Nem -  $\varphi_t$ (%) =65

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.59	2425	20	2339	19.36	2248	18.9	2184	18.73	2161	18.77	2167
1Ara Yüzey	20.57	2422	19.95	2331	19.28	2237	18.8	2171	18.62	2147	18.66	2152
2Ara Yüzey	19.61	2283	17.57	2010	15.38	1749	13.81	1581	13.22	1521	13.36	1535
3Ara Yüzey	19.59	2280	17.52	2004	15.3	1740	13.71	1570	13.11	1510	13.25	1524
4Ara Yüzey	17.27	1972	11.79	1385	5.91	931	1.69	691	0.12	617	0.5	634
Dış Yüzey	17.26	1971	11.77	1383	5.87	928	1.64	689	0.07	615	0.45	632
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 | İç Bağıl Nem -  $\varphi_t$ (%) =65

	MART	MART	NİSAN	NİSAN	MAYIS	MAYIS	HAZİRAN	HAZİRAN	TEMMUZ	TEMMUZ	AĞUSTOS	AĞUSTOS
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	19.2	2226	19.84	2316	20.3	2382	20.73	2446	21.07	2498	21.02	2490
1Ara Yüzey	19.11	2213	19.78	2307	20.27	2378	20.72	2445	21.07	2498	21.02	2490
2Ara Yüzey	14.83	1688	17.02	1941	18.6	2144	20.09	2352	21.25	2526	21.07	2498
3Ara Yüzey	14.74	1679	16.96	1934	18.57	2140	20.08	2350	21.25	2526	21.07	2498
4Ara Yüzey	4.43	840	10.31	1255	14.54	1657	18.56	2139	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.39	837	10.28	1253	14.52	1655	18.55	2137	21.68	2593	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 12:** Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 2**

İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 | İç Bağıl Nem -  $\varphi_t$ (%) =65

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.55	2419	19.88	2321	19.16	2220	18.65	2151	18.46	2125	18.51	2132
1Ara Yüzey	20.51	2413	19.79	2309	19.01	2199	18.46	2125	18.26	2099	18.31	2105
2Ara Yüzey	20.33	2387	19.34	2245	18.28	2101	17.52	2004	17.24	1968	17.31	1977
3Ara Yüzey	17.31	1977	11.87	1392	6.04	939	1.86	700	0.31	625	0.7	643
Dış Yüzey	17.27	1972	11.78	1384	5.89	930	1.67	690	0.11	616	0.5	634
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Duvar( Dış Hava Temaslı ) DH - 2

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

	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	18.99	2197	19.7	2296	20.21	2369	20.7	2442	21.08	2499	21.02	2490
1Ara Yüzey	18.83	2175	19.6	2282	20.15	2360	20.68	2439	21.09	2501	21.02	2490
2Ara Yüzey	18.02	2067	19.08	2209	19.84	2316	20.56	2421	21.12	2505	21.03	2492
3Ara Yüzey	4.59	849	10.41	1264	14.59	1662	18.57	2140	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.43	840	10.31	1255	14.53	1656	18.55	2137	21.69	2594	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 13:** Ekstrüde Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1

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

	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	20.72	2445	20.3	2382	19.86	2319	19.54	2273	19.42	2256	19.45	2260
1Ara Yüzey	20.63	2431	20.08	2350	19.49	2266	19.07	2208	18.91	2186	18.95	2191
2Ara Yüzey	20.59	2425	19.98	2336	19.33	2244	18.86	2179	18.68	2155	18.73	2161
3Ara Yüzey	20.56	2421	19.9	2324	19.2	2226	18.69	2156	18.5	2131	18.55	2137
4Ara Yüzey	17.33	1980	11.91	1396	6.12	944	1.95	704	0.4	630	0.79	648
Dış Yüzey	17.25	1970	11.71	1378	5.79	923	1.53	683	-0.05	610	0.35	627
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1

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

	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	19.74	2301	20.19	2366	20.51	2413	20.81	2458	21.05	2495	21.01	2489
1Ara Yüzey	19.34	2245	19.93	2329	20.35	2390	20.75	2449	21.07	2498	21.01	2489
2Ara Yüzey	19.16	2220	19.81	2311	20.28	2379	20.72	2445	21.08	2499	21.01	2489
3Ara Yüzey	19.01	2199	19.72	2299	20.22	2371	20.7	2442	21.09	2501	21.01	2489
4Ara Yüzey	4.65	853	10.46	1268	14.61	1665	18.58	2141	21.68	2593	21.18	2515
Dış Yüzey	4.29	831	10.23	1249	14.47	1650	18.53	2135	21.69	2594	21.18	2515
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 14:** Ekstrüde 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 - $\varphi_i(\%) = 65$						
	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 - $\varphi_i(\%) = 65$						
	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 yüzey 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.

### Ekspande Polistren uygulaması

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 15 'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binada uygulanan ısı yalıtım metodu gösterilmiştir. Buna göre öğretim binasında yapı bileşenlerinde iletim ve havalandırma ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamı  $H = 32800,98 \text{ W/K}$  'dir.



**Tablo 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	$\lambda_h$	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			
10.3.1.1	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 micir 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 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			
10.3.1.1	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 ( 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			
BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d	$\lambda_h$	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
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 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>

Tablo 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 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 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	m	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	L	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akrilik Son Kat Kaplama	L	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 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	L	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  $Q_{yıl} = 1.640,172 kWh$  enerji tükettiği hesaplanmıştır. Bu öğretim binasının yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanması için hesaplanan ısı ihtiyacı ise  $Q = 14,85 kWh/m^3$  'tür. Bu alan ve hacimdeki bir öğretim binasının m<sup>3</sup> 'ü için TS 825 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 ve Tablo 17 'da hesaplanmıştır.



**Tablo 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)	$T_1 - T_a$ (K,°C)	$H(T_1 - T_a)$ (W)	$\Phi_i$ (W)	$\Phi_s$ (W)	$\Phi_r = \Phi_1 + \Phi_s$ (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	Td yüksek	(-)	176.667	65.887	242.554	(-)	(-)	
Ağustos	32801	Td 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

Toplam  $Q_{yil} = \sum Q_{ay} = 5.899.897.676$  kJ

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

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı  $Q' = 16,6$  kWh / m<sup>3</sup>  
 Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı  $Q = 14,85$  kWh / m<sup>3</sup>

Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825 Isı Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğunlaşma analizleri yapılmış ve Tablo 18, Tablo 19, Tablo 20, Tablo 21 'de gösterilmiştir.

**Tablo 18:** Ekspande Polistren ile Dıştan ısı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1**  
 İç Sıcaklık -  $\theta_i$ (°C) = 21 | İç Bağıl Nem -  $\phi_t$ (%) = 65

	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.59	2425	20	2339	19.36	2248	18.9	2184	18.73	2161	18.77	2167
1Ara Yüzey	20.57	2422	19.95	2331	19.28	2237	18.8	2171	18.62	2147	18.66	2152
2Ara Yüzey	19.61	2283	17.57	2010	15.38	1749	13.81	1581	13.22	1521	13.36	1535
3Ara Yüzey	19.59	2280	17.52	2004	15.3	1740	13.71	1570	13.11	1510	13.25	1524
4Ara Yüzey	17.27	1972	11.79	1385	5.91	931	1.69	691	0.12	617	0.5	634
Dış Yüzey	17.26	1971	11.77	1383	5.87	928	1.64	689	0.07	615	0.45	632
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Duvar( Dış Hava Temaslı ) DH - 1

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

	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	19.2	2226	19.84	2316	20.3	2382	20.73	2446	21.07	2498	21.02	2490
1Ara Yüzey	19.11	2213	19.78	2307	20.27	2378	20.72	2445	21.07	2498	21.02	2490
2Ara Yüzey	14.83	1688	17.02	1941	18.6	2144	20.09	2352	21.25	2526	21.07	2498
3Ara Yüzey	14.74	1679	16.96	1934	18.57	2140	20.08	2350	21.25	2526	21.07	2498
4Ara Yüzey	4.43	840	10.31	1255	14.54	1657	18.56	2139	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.39	837	10.28	1253	14.52	1655	18.55	2137	21.68	2593	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 19:** Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Beton Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

Duvar( Dış Hava Temaslı ) DH - 2

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

	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	20.49	2410	19.74	2301	18.93	2189	18.35	2111	18.14	2083	18.19	2090
1Ara Yüzey	20.45	2404	19.64	2287	18.76	2165	18.14	2083	17.91	2053	17.97	2061
2Ara Yüzey	20.25	2375	19.13	2216	17.93	2056	17.08	1949	16.76	1910	16.85	1921
3Ara Yüzey	17.33	1980	11.9	1395	6.09	943	1.94	704	0.39	629	0.78	647
Dış Yüzey	17.29	1975	11.8	1386	5.92	932	1.73	693	0.16	619	0.56	637
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Duvar( Dış Hava Temaslı ) DH - 2

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

	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	18.73	2161	19.53	2272	20.11	2355	20.66	2436	21.09	2501	21.03	2492
1Ara Yüzey	18.55	2137	19.41	2255	20.04	2344	20.63	2431	21.1	2502	21.03	2492
2Ara Yüzey	17.64	2019	18.82	2174	19.68	2293	20.5	2412	21.14	2509	21.04	2493
3Ara Yüzey	4.65	853	10.44	1266	14.61	1665	18.58	2141	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.47	842	10.32	1256	14.54	1657	18.55	2137	21.69	2594	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo .20:** Ekspande Polistren ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1

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

	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	20.72	2445	20.3	2382	19.86	2319	19.54	2273	19.42	2256	19.45	2260
1Ara Yüzey	20.63	2431	20.08	2350	19.49	2266	19.07	2208	18.91	2186	18.95	2191
2Ara Yüzey	20.59	2425	19.98	2336	19.33	2244	18.86	2179	18.68	2155	18.73	2161
3Ara Yüzey	20.56	2421	19.9	2324	19.2	2226	18.69	2156	18.5	2131	18.55	2137
4Ara Yüzey	17.33	1980	11.91	1396	6.12	944	1.95	704	0.4	630	0.79	648
Dış Yüzey	17.25	1970	11.71	1378	5.79	923	1.53	683	-0.05	610	0.35	627
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1

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

	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	19.74	2301	20.19	2366	20.51	2413	20.81	2458	21.05	2495	21.01	2489
1Ara Yüzey	19.34	2245	19.93	2329	20.35	2390	20.75	2449	21.07	2498	21.01	2489
2Ara Yüzey	19.16	2220	19.81	2311	20.28	2379	20.72	2445	21.08	2499	21.01	2489
3Ara Yüzey	19.01	2199	19.72	2299	20.22	2371	20.7	2442	21.09	2501	21.01	2489
4Ara Yüzey	4.65	853	10.46	1268	14.61	1665	18.58	2141	21.68	2593	21.18	2515
Dış Yüzey	4.29	831	10.23	1249	14.47	1650	18.53	2135	21.69	2594	21.18	2515
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

Tablo 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 -  $\phi_t(\%) = 65$

	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 yüzey 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.

#### Taş Yünü uygulaması

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 22 'de gösterilmiştir. Tabloda yapı bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve binada 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 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	$\lambda_n$	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			
10.5.1	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 mıcır 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 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			
10.5.1	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 ( 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			
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 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>

$$\begin{aligned} \text{İletim Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı, } H_i &= 8907,87 \text{ W/K} \\ \text{Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı, } H_v &= 23320,05 \text{ W/K} \\ \text{Binanın Toplam Isı Kaybı, } H &= H_i + H_v = 32227,92 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Tablo 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 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	m	0,25	0,51	0,1275	6148	783,87
Su Bazlı Astar	L	0,12	3,10	0,372	6148	2287,06
Orta Tekstürlü Saf Akriklik Son Kat Kaplama	L	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	L	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 m<sup>3</sup> 'ü için TS 825 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 ve Tablo 24 'da hesaplanmıştır.

**Tablo 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			
	$H=H_1 + H_v$ (W/K)	$T_1 - T_2$ (K,°C)	$H(T_1 - T_2)$ (W)	$\Phi_1$ (W)	$\Phi_2$ (W)	$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$ (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

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

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

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı  $Q' = 16,6$  kWh / m<sup>3</sup>

Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı  $Q = 14,64$  kWh / m<sup>3</sup>

Duvar (dış hava temaslı), tabanın ve tavanın TS 825 Isı Yalıtım Hesap Programı ile Glaser yöntemine göre yoğunlaşma analizleri yapılmış ve Tablo 25, Tablo 26, Tablo 27, Tablo 28 'de gösterilmiştir.

**Tablo 25:** Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tuğla Duvarının (Dış Hava Temaslı) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

Duvar (Dış Hava Temaslı) DH - 1												
İç Sıcaklık - $\theta_i$ (°C) = 21						İç Bağıl Nem - $\phi_i$ (%) = 65						
	EYLÜL	EYLÜL	EKİM	EKİM	KASIM	KASIM	ARALIK	ARALIK	OCAK	OCAK	ŞUBAT	ŞUBAT
	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)	Sıcaklık dağılımı (°C)	Basınç dağılımı (Pa)
İç Ortam	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487	21	2487
İç Yüzey	20.59	2425	20	2339	19.36	2248	18.9	2184	18.73	2161	18.77	2167
1Ara Yüzey	20.57	2422	19.95	2331	19.28	2237	18.8	2171	18.62	2147	18.66	2152
2Ara Yüzey	19.61	2283	17.57	2010	15.38	1749	13.81	1581	13.22	1521	13.36	1535
3Ara Yüzey	19.59	2280	17.52	2004	15.3	1740	13.71	1570	13.11	1510	13.25	1524
4Ara Yüzey	17.27	1972	11.79	1385	5.91	931	1.69	691	0.12	617	0.5	634
Dış Yüzey	17.26	1971	11.77	1383	5.87	928	1.64	689	0.07	615	0.45	632
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												



**Duvar( Dış Hava Teması ) DH - 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	19.2	2226	19.84	2316	20.3	2382	20.73	2446	21.07	2498	21.02	2490
1Ara Yüzey	19.11	2213	19.78	2307	20.27	2378	20.72	2445	21.07	2498	21.02	2490
2Ara Yüzey	14.83	1688	17.02	1941	18.6	2144	20.09	2352	21.25	2526	21.07	2498
3Ara Yüzey	14.74	1679	16.96	1934	18.57	2140	20.08	2350	21.25	2526	21.07	2498
4Ara Yüzey	4.43	840	10.31	1255	14.54	1657	18.56	2139	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.39	837	10.28	1253	14.52	1655	18.55	2137	21.68	2593	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												

**Tablo 26:** Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binaın Beton Duvarının (Dış Hava Teması) Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi

**Duvar( Dış Hava Teması ) DH - 2**

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	20.48	2409	19.73	2300	18.91	2186	18.33	2108	18.11	2079	18.17	2087
1Ara Yüzey	20.44	2403	19.63	2286	18.74	2163	18.12	2080	17.88	2049	17.94	2057
2Ara Yüzey	20.23	2372	19.12	2215	17.91	2053	17.05	1945	16.73	1906	16.81	1916
3Ara Yüzey	17.29	1975	11.84	1390	5.98	935	1.79	696	0.23	622	0.62	640
Dış Yüzey	17.28	1973	11.81	1387	5.93	932	1.73	693	0.16	619	0.55	636
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
Sonuçlar												

**Duvar( Dış Hava Teması ) DH - 2**

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	18.71	2159	19.52	2270	20.11	2355	20.66	2436	21.09	2501	21.03	2492
1Ara Yüzey	18.53	2135	19.4	2253	20.04	2344	20.63	2431	21.1	2502	21.03	2492
2Ara Yüzey	17.61	2015	18.81	2172	19.68	2293	20.49	2410	21.14	2509	21.04	2493
3Ara Yüzey	4.52	845	10.37	1261	14.57	1660	18.55	2137	21.68	2593	21.19	2516
Dış Yüzey	4.47	842	10.33	1257	14.55	1658	18.54	2136	21.68	2593	21.19	2516
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
Sonuçlar												



**Tablo 27: Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tavanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi**

**Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1**

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

	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	20.72	2445	20.3	2382	19.86	2319	19.54	2273	19.42	2256	19.45	2260
1Ara Yüzey	20.63	2431	20.08	2350	19.49	2266	19.07	2208	18.91	2186	18.95	2191
2Ara Yüzey	20.59	2425	19.98	2336	19.33	2244	18.86	2179	18.68	2155	18.73	2161
3Ara Yüzey	20.56	2421	19.9	2324	19.2	2226	18.69	2156	18.5	2131	18.55	2137
4Ara Yüzey	17.33	1980	11.91	1396	6.12	944	1.95	704	0.4	630	0.79	648
Dış Yüzey	17.25	1970	11.71	1378	5.79	923	1.53	683	-0.05	610	0.35	627
Dış Ortam	17.2	1964	11.6	1368	5.6	911	1.3	672	-0.3	598	0.1	616
<b>Sonuçlar</b>												

**Tavan( Üzeri Açık ) CA - 1**

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

	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	19.74	2301	20.19	2366	20.51	2413	20.81	2458	21.05	2495	21.01	2489
1Ara Yüzey	19.34	2245	19.93	2329	20.35	2390	20.75	2449	21.07	2498	21.01	2489
2Ara Yüzey	19.16	2220	19.81	2311	20.28	2379	20.72	2445	21.08	2499	21.01	2489
3Ara Yüzey	19.01	2199	19.72	2299	20.22	2371	20.7	2442	21.09	2501	21.01	2489
4Ara Yüzey	4.65	853	10.46	1268	14.61	1665	18.58	2141	21.68	2593	21.18	2515
Dış Yüzey	4.29	831	10.23	1249	14.47	1650	18.53	2135	21.69	2594	21.18	2515
Dış Ortam	4.1	820	10.1	1238	14.4	1642	18.5	2131	21.7	2596	21.2	2518
<b>Sonuçlar</b>												

**Tablo 28: Taş Yünü ile Dıştan Isı Yalıtımlı Binanın Tabanının Basınç ve Sıcaklık Çizelgesi**

**Taban( Toprak Teması ) TT - 1**

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

	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
<b>Sonuçlar</b>												

Taban( Toprak Temaslı ) TT - 1

İç Sıcaklık - $\theta_t(^{\circ}\text{C}) =$ 21	İç Bağıl Nem - $\phi_t(\%) =$ 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 yüzey 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.

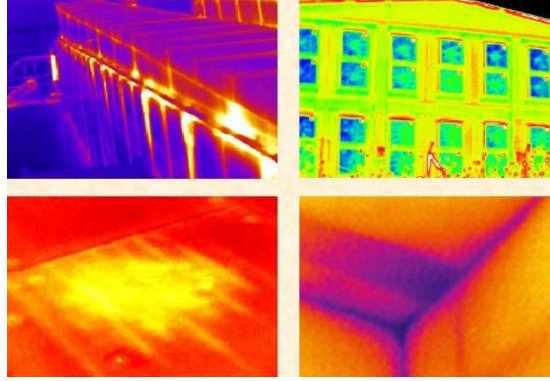
#### Termal kamera ve uygulamaları

Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirilmeden sıcaklık modellerini algılayan bir cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjisi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal kameralar çıplak gözle tespit edilmeyen ancak ciddi sonuçlara yol açabilen küçük problemleri görmemizi sağlar (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

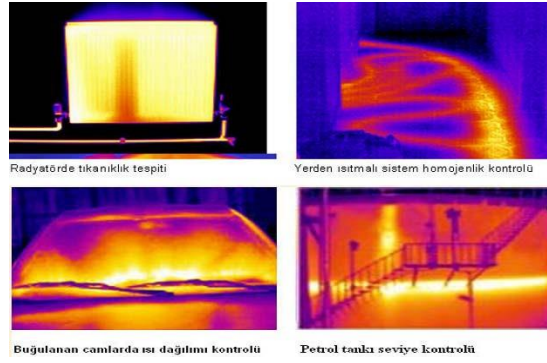
Bu çalışmada Bolu'daki yalıtımsız ve hatalı yalıtımlı binaların termal kamera görüntüleri alınmıştır. Termal görüntüler sayesinde yapılardan olan ısı kayıpları ve hatalı yalıtımdan kaynaklanan ısı kayıpları görsellerle belirtilmiştir. Bu hataların giderilmesi ve tekrar edilmemesi için alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Termal görüntüler için Testo 875 markalı termal kamera kullanılmıştır. Testo 875 termal kameraya ait teknik bilgiler Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29: Termal kamera özellikleri

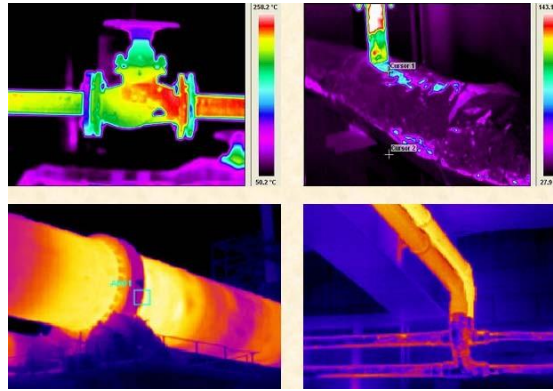
Özellik	Değer	Resim
Markası	Testo 875	
Dedektör	160x120 piksel	
Termal duyarlılık	< 80mK	
Sıcaklık aralığı	-20 $^{\circ}\text{C}$ ...+280 $^{\circ}\text{C}$	
Lens	32 $^{\circ}$ x23 $^{\circ}$ SuperResolution	
Otomatik sıcak/soğuk nokta belirleme	Solar mod	
Lens koruma camı		



Şekil 3: Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları (Değirmenci, 2010).



Şekil 4: Bina ve Isı Yalıtım Uygulamaları Isı Kaçakları (Değirmenci, 2010).



Şekil 5: Sıcaklık Yayan Boru Uygulamaları Isı Kaçakları (Değirmenci, 2010).

#### Bolu'daki Üniversite Kampüsü Binalarının Termal Kamera Görüntüleri



Şekil 6: Fen fakültesi

#### SONUÇLAR

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 İlinde 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 kaybetmektedir. Doğalgazın 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 yalıtım yanlışlıklarını 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 kusurları olarak tespit edilmiştir. Bu kusurların bazılarını gözle görmemiz mümkün olmamaktadır. Termal kamera yardımı ile bu hatalı uygulamalar görülebilmektedir. Bolu ilinde kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ekstrüde polistren, ekspande polistren ve taş yünü olduğu 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  $Q(xps) = 14,74 kWh/m^3$  'den  $Q(eps) = 14,85 kWh/m^3$  'e yükselmektedir. Yani EPS yapıldığında ısı yalıtım maliyeti daha uygun olacaktır ama binayı ısıtmak için harcanan enerji daha fazla olacaktır. Her ikisinde üretiminde kullanılan ana malzeme polistroidür. EPS ( Expanded Polistiren ) Levhalarda şişirme gazı olarak pentan kullanılır. XPS ( Ekstrude Polistiren ) de HFCL gazı kullanılır. Pentanın hava ile yer değiştirme hızı fazladır. HFCL çevreye karşı zararlı olduğundan bazı ülkelerde kullanımı yasaktır. Bu nedenle üreticiler XPS üretiminde karbondioksit ile şişirme yolunu seçmektedirler. Her iki malzeme de 85 °C sıcaklıktan sonra deforme olurlar. XPS tamamen kapalı hücre yapısına sahip olduğu için su emme ve buhar difüzyon direnci yüksek bir malzemedir. EPS esnek olan yapısı ile daha fazla nefes alma yeteneğine sahip bir malzemedir.

**Tablo 1.29:** Bina ısı yalıtım 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

Taş yünü, EPS malzemesine göre öğretim binası için %55,53 daha fazla ısı yalıtım maliyeti oluşturmaktadır. Taş yünü kullanıldığında  $Q(taşyünü) = 14,64 kWh/m^3$  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, diyabaz, dolomit

gibi mineral, inorganik taşların 1400-1500 °C arasında ergitilip, elyaf haline gelmesiyle oluşturulan ve %97 oranında doğal elyaf içeren yangına karşı dayanıklı, su itici özelliği olan ısı ve ses yalıtım malzemesidir. Lifli yapısının tüm katmanlarına uygulanan özel işlemler sonucu elde edilen doymuş yapıdaki taş yünü iyi bir su itici olarak davranış gösterir. Sahip olduğu buhar geçirgenliği sayesinde nemin bina içerisinde tutunması engellenmiş olur. Taş yünü ile yalıtılmış yapılar daha sağlıklı ve konforlu hale gelir. Taş yünü boyutsal kararlılığı sayesinde sıcaklık değişiminden etkilenmez. Uzun lif yapısı sayesinde, kesim ve laminasyonda, düzgün kenar ve yüzeye sahip ürün elde edilmesine imkân sağlar. Binaların çatılarında, bölme duvarlarda, dış cephe yalıtımlarında, fırınlarda, çelik kapıların yalıtımlarında, gemi inşaatlarında, elektrikli ev aletlerinde, eğlence mekânlarında ve sinemalarda; ısı, ses, rutubet yalıtımı ve yangın güvenliği gerektiren her yerde üst düzeyde yalıtım yapma özelliğine sahiptir.

#### KAYNAKÇA

- Akıncı H., (2007). Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Babota F., ve Moga L. (2018). Computation and analysis of corrected thermal insulation in a common dwelling building in Romania, in various thermal insulation variants – The slab over the soil. *Procedia Manufacturing*, 22, 352–357
- Batard A., Duforestel T., Flandin L., ve Yrieix B. (2018). Prediction method of the long-term thermal performance of vacuum insulation panels installed in building thermal insulation applications. *Energy & Buildings*, 178, 1–10
- Çalışan M., ve Türkoğlu İ. S. (2011). Termal Kameralar ve Uygulamaları. Elektrik-elektronik ve Bilgisayar Sempozyumunda sunulmuş bir bildiri.
- Çetiner İ., ve Sheab A.D. (2018). Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. *Energy & Buildings* 168 374–384
- Değirmenci A. İ. (2010). Türkiye’de Uygulanan Yalıtım Tekniklerinin Araştırılmasında Termal Kameranın Etkin Biçimde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Enstitüsü.
- Dombaycı Ö. A., Atalay Ö., Acar Ş. G., Ulu E. Y., ve Ozturk H. K. (2017). Thermoeconomic method for determination of optimum insulation thickness of external walls for the houses: Case study for Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 1–8.
- Jain, M., ve Pathak, K.K. (2018). Thermal modelling of insulator for energy saving in existing residential building. *Journal of Building Engineering*, 19, 62–68
- Karayiğit S., (2015) 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.
- Khoukhi, M.(2018). The combined effect of heat and moisture transfer dependent thermal conductivity of polystyrene insulation material: Impact on building energy performance. *Energy & Buildings*, 169, 228–235
- Libessart L., ve Kenai M. A. (2018). Measuring thermal conductivity of green-walls components in controlled conditions. *Journal of Building Engineering*, 19, 258–265
- Mahlia T.M.I., Taufiq B.N., Ismail, ve Masjuki, H.H. (2007). Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy and Buildings*, 39, 182–187.
- Meng X., Luo T., Gao Y., Zhang L., Huang X., Hou C., Shen Q., ve Long E. (2018). Comparative analysis on thermal performance of different wall insulation forms under the air-conditioning intermittent operation in summer. *Applied Thermal Engineering*, 130, 429–438.
- Mushtaq I. H., Hadi O. B., ve Ahmed O. S. (2018). Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings. *Sustainable Cities and Society*, 36, 42–58
- Nyers J., Kajtar L., Tomic S., ve Nyers A. (2015). Investment-savings method for energy-economic optimization of external wall thermal insulation thickness. *Energy and Buildings*, 86, 268–274.
- Olivieri F., Grifoni R. C., Redondas D., Reséndiz J.A. S., ve Tascini S. (2017) An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. *Energy and Buildings*, 150, 132–148.
- Özkan D. B., ve Onan C. (2011). Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey. *Applied Energy*, 88, 1331–1342
- Özel, M. (2011). Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Applied Thermal Engineering*, 31, 3854–3863.
- Pásztor Z., Horváth T., Glass S. V., ve Zelinka S. (2018). Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation. *Energy & Buildings*, 174, 26–30.

- Qiu T., Wang G., Xu Q., ve Ni G. (2018). Study on the thermal performance and design method of solar reflective-thermal insulation hybrid system for wall and roof in Shanghai. *Solar Energy*, 171, 851–862
- Shi L., Zhang H., Li Z., Luo Z., ve Liu J. (2018). Optimizing the thermal performance of building envelopes for energy saving in underground office buildings in various climates of China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 77, 26–35.