



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



XPS yalıtımlı dış duvarların ısı performanslarının deneysel incelenmesi

Experimental investigation of thermal performance of XPS insulated exterior walls

Yazar(lar) (Author(s)): Gökhan KAPLAN¹, H. Yılmaz ARUNTAŞ²

ORCID¹: 0000-0001-6067-7337

ORCID²: 0000-0001-6417-629X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kaplan G., Aruntaş H. Y., “XPS Yalıtımlı Dış Duvarların Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(2): 645-653, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.755753

XPS Yalıtımlı Dış Duvarların Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi

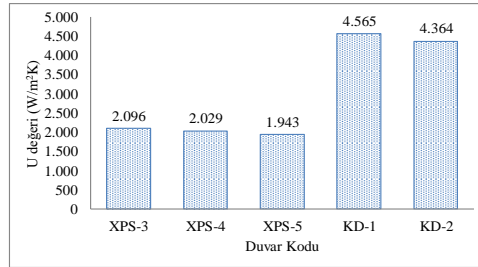
Experimental Investigation of Thermal Performance of XPS Insulated Exterior Walls

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Bu çalışmada farklı kalınlıklardaki XPS uygulanan duvarların ısıl performansları belirlenmiştir. (In this study, thermal performances of XPS applied walls of different thicknesses were determined.)
- ❖ XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılan duvarlarda yalıtım kalınlığındaki artış belirgin bir fark ortaya çıkarmıştır. XPS yalıtımlı duvarların yalıtımsız kontrol duvarlarına göre ısıl performansının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (The increase in the thickness of the insulation on the walls using XPS thermal insulation material revealed a significant difference. It was determined that the thermal performance of XPS insulated walls is quite high compared to non-insulated control walls.)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada XPS yalıtım malzemesi uygulanan duvarların termal performansı sıcak kutu yöntemi ile deneysel olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarların sıcak kutu yöntemi ile U değerleri belirlenmiştir. (In this study, thermal performance of walls with XPS insulation material has been determined experimentally with the hot box method. U values of the insulated and non-insulated walls are determined by the hot box method.)



Şekil. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarların U değerleri / Figure. U values of insulated and non-insulated walls

Amaç (Aim)

XPS yalıtım malzemesi kullanılan duvarların termal performansı deneysel olarak belirlenmiştir. Yalıtım kalınlığının termal performansa etkisi incelenmiştir. (Thermal performance of walls using XPS insulation material has been determined experimentally. The effect of insulation thickness on thermal performance was investigated.)

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

3, 4 ve 5 cm kalınlığında XPS yalıtım malzemeleri 13.5 cm kalınlığındaki duvarlara uygulanmıştır. Ayrıca duvarların 1 ve 2 yüzeyleri sıva yapılarak da yalıtımsız duvarlar üretilmiştir. (3, 4 and 5 cm thick XPS insulation materials were applied to 13.5 cm thick walls. In addition, non-insulated walls were produced by plastering 1 and 2 surfaces of the walls.)

Özgünlük (Originality)

Yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması için EN ISO 8990 standardına uygun deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. (An experimental study in accordance with EN ISO 8990 was carried out to compare the insulation materials.)

Bulgular (Findings)

XPS ile ısı yalıtımı yapılan duvarlarda en uygun yalıtım kalınlığı 5 cm olarak belirlenirken U değeri 1.943 W/m²K olarak elde edilmiştir. (While the most suitable insulation thickness was determined as 5 cm in XPS heat insulated walls, U value is obtained as 1.943 W/m²K.)

Sonuç (Conclusion)

XPS kalınlığı arttıkça duvarların kararlılık süresi artarken U değerleri azalmaktadır. (As the XPS thickness increases, the stability time of the walls increases, while the U values decrease.)

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

XPS Yalıtımlı Dış Duvarların Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Gökhan KAPLAN^{1*}, H.Yılmaz ARUNTAŞ²

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

(Geliş/Received : 21.06.2020 ; Kabul/Accepted : 19.07.2020)

ÖZ

Bu çalışmada; XPS ısı yalıtım levhaları kullanılarak tuğla ile örülmüş dış duvarların ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Duvarların yapımında 13.5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla kullanılmıştır. XPS ısı yalıtım levha kalınlığı olarak üç farklı kalınlık seçilmiştir. Dış duvarların ısı performansı, sıcak kutu yöntemi (EN ISO 8990'a göre) kullanılarak belirlenmiştir. Sıcak kutu deneyinde dış ortam sıcaklığı -5 °C ve iç ortam sıcaklığı 27 °C olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma için beş farklı duvar yapılmıştır. Bunlar sırasıyla; 1 adet yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı, 1 adet yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı ve 3 adet XPS levha ile yalıtım (3, 4 ve 5 cm kalınlıkta) yapılmış duvarlardır. Soğuk ve sıcak bölümlerdeki duvar yüzey sıcaklıkları 480 dakika boyunca ölçülmüş ve EN ISO 8990'a göre duvarların toplam ısı iletkenlik katsayısı (U değeri) hesaplanmıştır. XPS ile ısı yalıtımı yapılan duvarlarda en uygun ısı yalıtım malzemesi kalınlığı 5 cm ve U değeri 1.943 W/m²K olarak elde edilmiştir. Yalıtımsız duvarlar arasında tek yüzeyi sıvalı (KD-1) ve iki yüzeyi sıvalı (KD-2) duvarlarının U değerleri, sırasıyla 4.565 W/m²K ve 4.364 W/m²K olarak elde edilmiştir. İstatistiksel analiz sonucuna göre, XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılan duvarlarda yalıtım kalınlığındaki artışı belirgin bir fark ortaya çıkarmamış ve XPS yalıtımlı duvarlar aynı grup içerisinde yer almıştır. XPS yalıtımlı duvarların yalıtımsız kontrol duvarlarına göre ısı performansının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dış duvar, ısı yalıtımı, XPS, mahfazalı sıcak kutu, sürdürülebilirlik.

Experimental Investigation of Thermal Performance of XPS Insulated Exterior Walls

ABSTRACT

In this study, the thermal performances of the outer walls built with bricks were investigated experimentally using XPS thermal insulation boards. In the construction of the walls, 13.5 cm thick horizontal perforated bricks were used. Three different thicknesses were chosen as XPS thermal insulation board thickness. The thermal performance of the outer walls was determined using the hot box method (according to EN ISO 8990). In the hot box experiment, outdoor temperature was chosen as -5 °C and indoor temperature as 27 °C. Five different walls were built for the experimental study. These are respectively; uninsulated and plastered on the inside, 1 are uninsulated and plastered on both sides and insulated with 3 XPS boards (3, 4 and 5 cm thick). Wall surface temperatures in cold and hot sections were measured for 480 minutes and the overall thermal conductivity coefficient (U value) of the walls was calculated according to EN ISO 8990. The most suitable thermal insulation material thickness was found to be 5 cm and U value was found to be 1.943 W/m²K on the walls that were heat insulated with XPS. U values of single-wall plastered (KD-1) and two-surface plastered (KD-2) walls were obtained as 4.565 W/m²K and 4.364 W/m²K, respectively. According to the results of the statistical analysis, the increase in the thickness of the insulation on the walls using XPS thermal insulation material did not reveal a significant difference and XPS insulated walls were included in the same group. It was determined that the thermal performance of XPS insulated walls is quite high compared to non-insulated control walls.

Keywords: Exterior wall, thermal insulation, XPS, enclosed hot box, sustainability.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarındaki önemli artışlar, plansız nüfus artışı ve yaşam standartlarının artması nedeniyle, günümüzün sürdürülebilir kalkınmasında enerji tasarrufunun çok önemli bir konu olduğunu göstermiştir [1]. Özellikle sürdürülebilir yapı tasarımı, bir kentin sürdürülebilir kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü inşaat sektörü enerji tüketimine ve sera gazı emisyonlarına önemli oranda katkıda bulunmaktadır [2]. Binaların enerji tüketimi, dünyadaki enerji kullanımının %30'undan fazlasını oluştururken; bu değerinde % 30-60'ı sağlıklı ve konforlu bir iç ortam sıcaklığı sağlamak için kullanılmaktadır [3-5]. Binalardan kaynaklanan enerji kaybı ise, diğer ilgili

emisyonlarla birlikte toplam küresel sera gazı emisyonlarının % 40'ından fazlasını oluşturmaktadır [6-8]. Bu nedenle, mevcut binaların enerji verimliliğini artırarak, toplam enerji kullanımı ile sera gazı emisyonlarını azaltmak çok önemlidir [9]. Avrupa Birliği'nde son yıllarda, üye ülkelere ait binaların enerji verimliliğini artırmak için bazı adımlar atılmış ve çeşitli yönetmelikler hazırlanarak binaların ısı yalıtım özelliklerine daha çok önem verilmiştir [10]. Isı yalıtımı, son on yılda binalar için önemli bir konu haline gelmiştir. Çünkü binaların ısı korunmasına ilişkin mevcut şartlar, pratik olarak ısı yalıtımı yapılmadan karşılanamamaktadır [11]. Isı yalıtımı, genellikle binalarda iç ve dış cephede olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Her iki uygulamanın da avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Dış cepheye uygulanan ısı yalıtımı atmosferik şartlardan (dolu hasarı vb.) etkilenerek hasara uğrama riski ile karşılaşabilir. İç cephede uygulanan ısı

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gkaplan@atauni.edu.tr

yalıtımında ise ısı köprüleri tam olarak kapatılmamakta ve iç mekândaki alanlarda azalma olmaktadır [12]. Öte yandan içten ısı yalıtımı yapılması durumunda duvar katmanları arasında kondensasyon oluşma ihtimali de artmaktadır. Türkiye’de ısı yalıtımı daha çok cephe duvarlarında dıştan yalıtım şeklinde tercih edilmektedir. Dış duvarların hava koşullarına karşı korunması (donma-çözülme etkisi, biyolojik etkenler vb.) ve ısı köprülerinin daha etkili bir şekilde ortadan kaldırılması için doğru bir yöntem ile yalıtılması gerekmektedir. Pencereler, duvarlar ve çatı dahil olmak üzere binada önemli bir ısı enerjisi kaybına yol açan kaynaklar (ısı köprüleri) bulunmaktadır. Yapı bileşenleri arasında yer alan duvarlarda %25-30 değerinde ısı enerjisi kaybı oluşmaktadır. Bu yüzden dış cephede yer alan duvarların yalıtılması enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir [13]. Diğer taraftan, ısı yalıtımı ile ilgili olarak maliyet, bazı cephelere düşük adaptasyonu ve soğuk iklimlerde higrotermal performans gibi bazı sorunlar da ortaya çıkmaktadır[14]. Doğrudan hava koşullarına maruz kalmayan iç ortamda uygulanan ısı yalıtımları, uzun vadeli bir bakış açısından daha uygun maliyetli olup aynı zamanda daha uzun dayanıklılığa sahiptir. İçten ısı yalıtım sistemleri, daha çok yüksek su buharı yoğunlaşma riski ile karşı karşıya kalmaktadır [15, 16].

Uygun ısı yalıtım malzemesinin seçilmesi bina ısı performansı açısından oldukça önemlidir. Bina cephesinde ısı yalıtımı yapılması durumunda, soğutma ve ısıtma maliyetleri düşerken, CO₂-SO₂ gibi emisyon değerleri de azalmaktadır. Yakıt kaynağı olarak kullanılan kömürün binada optimum ısı yalıtım kalınlığı kullanılması durumunda % 41,53 oranında azaldığı bildirilmiştir [17]. Daha önce birçok araştırmacı, farklı yalıtım malzemeleri için uygun yalıtım kalınlıklarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Sıcak iklimdeki bir bina için soğutma ihtiyacına bağlı olarak 5.4 cm ile 19.2 cm arasında değişen optimum ısı yalıtım kalınlığı seçilmiş ve buna karşılık gelen enerji tasarrufunun 86.26 ile 146.05 \$/m² arasında değiştiği belirlenmiştir [18–20]. Kaynaklı tarafından yapılan çalışmada, optimum ısı yalıtım kalınlığının birçok faktöre bağlı olduğu belirlenmiş ve bu faktörler; binanın türü, iklim şartları, enerji kaynağının türü ve maliyeti olarak sıralanmıştır. Yalıtım kalınlığı arttığında, binada oluşan ısı kayıpları ve enerji maliyetleri azalırken, malzeme maliyetleri artmakta ve optimum ısı yalıtımı kalınlığı genel olarak sınırlanmış olmaktadır [21]. Genleştirilmiş polistiren (EPS), ekstrüde polistiren (XPS) köpük ve poliüretanın (PU) optimum yalıtım kalınlıkları 0.053 ile 0.236m arasında değişirken, geri ödeme süreleri 1.9 ile 4.7 yıl arasında değişmektedir.

Lu ve Memari sıcak kutu yöntemini kullanarak farklı özellikteki yalıtım sistemlerinin termal özelliklerini belirlemek için modeller önermişlerdir [22]. Chowdhury ve Neogi Hindistan’da yapılarda yaygın olarak kullanılan yığma duvarların ve betonarme çatıların sıcak kutu yöntemi ile termal performansını araştırmıştır. Betonarme çatılarda, duvar örneklerine kıyasla yaklaşık iki kat yüksek U değeri elde edilmiştir [23]. Zhaoa vd. cam yalıtım malzemelerinin termal performansını belirlemek sıcak kutu yöntemini kullanmış ve bu yöntemde 0.2x0.2 m örnekler ile U değerlerinin tespit edileceğini belirlemişlerdir [24]. Lucchi vd. sıcak kutu yöntemi ile ısı olarak kararlı bir duvarın termal performansını incelemişlerdir. Duvar yüzeyine aerojel esaslı bir malzeme uygulanarak termal özellikler belirlenmiştir. Sonuçlar, aerojelin duvar yüzeyine uygulanmasından sonra ısı geçişinin yaklaşık %30 oranında azaldığı gözlenmiştir [25]. Literatürde sıcak kutu yöntemi kullanılarak birçok yapı malzemesinin termal performansını belirlemeye yönelik çalışma bulunmaktadır [26–34].

Bu çalışmada, yalıtım malzemesi olarak XPS ve üç farklı yalıtım kalınlığı kullanılarak elde edilen tuğla ile örülmüş dış duvarların ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma, yatay delikli tuğla duvar ve petrol esaslı XPS ısı yalıtım malzemesi ile sınırlandırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

Duvar yapımında EN 771-1 [35] standardına uygun 19x19x13,5 cm boyutlarında 3000±15 g ağırlığında yük taşımayan yatay delikli tuğlalar kullanılmıştır. Duvar örme işleminde ve sıva yapımında bağlayıcı olarak EN 197-1’e [36] uygun CEM II/A-M 32,5 R Portland kompoze çimento (Baştaş Başkent Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş) kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of cement)

Kimyasal özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşen	(%)	Priz başı (dk.)	180
SiO ₂	24,11	Priz sonu (dk.)	275
Fe ₂ O ₃	3,22	Özgül ağırlık	2,95
Al ₂ O ₃	6,53	2 Günlük basınç dayanım (MPa)	16,3
CaO	57,36	28 Günlük basınç dayanım (MPa)	35,2
SO ₃	1,98		
MgO	1,42		
N ₂ O+K ₂ O	1,26		
Kızdırma Kaybı	3,74		
Çözünmeyen Kalıntı	10,35		
Serbest Kireç	1,18		

Duvar örme işleminde ve sıva yapımında bağlayıcı olarak sönmüş toz kireç (Baştaş Başkent Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş) kullanılmıştır. Toz kirecin kimyasal kompozisyonu Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Sıva ve harç yapımında kullanılan kirecin özellikleri (Properties of lime used in plaster and mortar making)

Teknik özellikler	Ca(OH) ₂	CaO	Nem
(%)	86,44	66,09	<1

Çizelge 3.XPS ısı yalıtım malzemesinin teknik özellikleri (Technical properties of XPS thermal insulation material)

Teknik Özellikler	XPS
Isı iletkenlik katsayısı, λ (W/mK)	0,032
Su buharı difüzyon direnç faktörü, μ	90-100
Kapiler su emme (%)	Yok
Basınç dayanımı	Yüksek
Asit ve baz türü kimyasallara karşı direnci	Var

Duvar örme işleminde ve sıva yapımında kullanılan harç içersin de ince agrega olarak ASTM C 33’e [37] uygun kaba sıva için 0-2 mm, ince sıva için 0-1 mm boyutunda dere kumu kullanılmıştır. 0-2 mm kum duvar örme işleminde ve kaba sıva yapımında, 0-1 mm kum ise ince sıva yapımında kullanılmıştır. Deneysel çalışmada ısı yalıtımı için kullanılan XPS’ye ait teknik özellikler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çalışmada, deneye tabi tutulan dış duvarların TS 825 [38] standardına göre 3. bölgede yer alan Ankara ili iklim şartlarına maruz kaldığı kabul edilmiştir. Soğuk ortam hava sıcaklığı olarak Ankara'nın uzun yıllar ortalama dış hava sıcaklığı kullanılmıştır. Dış hava sıcaklığı ve diğer iklim verileri 25 yıllık olarak T.C. Çevre ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Elde edilen verilerle yapılan hesaplama sonucunda Ankara kış mevsimi ortalama hava sıcaklığı -10 °C olarak belirlenmiştir. Duvarların örülmesinde ve sıva yapılmasında kullanılan takviyeli ve temditli harçların hazırlanmasında ilk olarak takviyeli harç için Çizelge 4'de verilen oranlarda kum, çimento ve kireç kuru olarak yaklaşık olarak 2 dakika kürek ile karıştırılmıştır. Ardından karışımın içerisine belirtilen oranda su ilave edilmiş ve yaklaşık olarak 3 dakika süre ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar kürek ile karıştırılarak harçlar üretilmiştir.

Çizelge 4. Deneysel çalışmalarda kullanılan harç karışım oranları-hacimce) (Mortar mix ratios used in experimental studies-volume/volume)

Harç tipi	Çimento	Sön. kireç	Kum	Su
Takviyeli harç (duvar yapımında)	1/5-1/7	1	5	1-2
Temditli harç (sıva yapımında)	1	1/2	4	1-2

Sıcak kutuya (hot box) uygunluk sağlamak amacıyla duvarların kalınlığı 13.5 cm, maksimum duvar kalınlığı ise 25 cm olarak belirlenmiştir. Bu nedenle yan taraf (dar kenar) üzerine gelecek şekilde 19x19x13,5 cm boyutundaki yatay delikli tuğlalar kullanılarak 13,5 cm kalınlığında duvarlar, 120x120 cm boyutundaki metal çerçeve içerisine takviyeli harç kullanılarak duvar örgü kurallarına göre örülmüştür. Duvarların örülmesinde takviyeli harç kullanılmıştır.

Örülen tuğla duvarlarda ısı yalıtımı yapmak amacıyla XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Dış duvarda 3 cm, 4 cm ve 5 cm olmak üzere 3 farklı ısı yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. 120x120 cm boyutundaki duvar yüzeyine XPS levhalar 60x120 cm boyutunda olduğundan iki levha halinde 1 m²'de 4 dübel kullanılarak sabitlenmiştir.

İç ve dış sıva yapımında kullanılan harçlar, EN 13914-2 [39] standardında belirtilen karışım oranlarına göre hazırlanmıştır. Sıvanın duvar yüzeyine uygulanmasında EN 13914-1 [40] ve EN 13914-2 [39] standartlarında belirtilen sıva yapım kuralları dikkate alınarak sıva yapımı gerçekleştirilmiştir.

Çevre sıcaklığının hesaplanmasında EN ISO 8990 EK-A'da [41] verilen eşitlikler kullanılmıştır. Çevre sıcaklığı (T_n), yüzeye olan ısı akışının tayini için radyant mutlak sıcaklığı ile hava sıcaklığının uygun biçimde ağırlıklarının alınmasını temsil etmektedir. Radyasyon kat sayısı ve uygun ortalama radyant mutlak sıcaklık (T_m) değerlerinin hesaplanmasında sırasıyla aşağıda verilen Eş. 1 kullanılmıştır:

$$h_r = 4\sigma T_m^3 \quad (1)$$

Burada,

h_r : Radyasyon kat sayısı, W/m².K

σ : Stefan Boltzman sabiti, [5.67 x 10⁻⁸ W/(m².K⁴)]

T_m : Ortalama radyant mutlak sıcaklık, K

$$T_m^3 = \frac{(T_r^2 + T_s^2)(T_r + T_s)}{4} \quad (2)$$

Burada,

T_r : Deneysel numunesinden görülen ortalama radyant sıcaklık, K
 T_s : Deneysel numunesinin yüzey sıcaklığı, K

Çevre (sıcak/soğuk kutu içi ortam) sıcaklığı ise Eş.3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$T_n = \frac{T_a \frac{\Phi}{A} + E h_r (T_a - T_r) T_s}{\frac{\Phi}{A} + E h_r (T_a - T_r)} \quad (3)$$

Burada,

T_n : Çevre sıcaklığı, K

Φ : Güç, W

A : Alan, m²

Φ/A : Birim alandan yüzeye geçen ısı akışıdır, W/m²

T_a : Cıvardaki sıcaklık, K

E : Salm faktörü

U değerleri, deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklık verileri kullanılarak EN ISO 8990 [21] standardındaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel uygulanan duvarların U değerleri, aşağıda verilen Eş. 4. kullanılarak bulunmuştur:

$$U = \frac{\Phi}{A (T_{n1} - T_{n2})} \quad (4)$$

Burada,

U : Toplam ısı iletimi, [W/(m².K)]

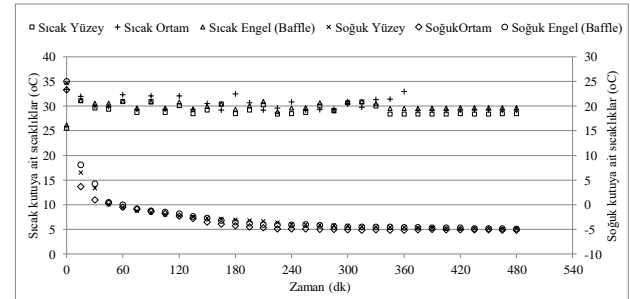
T_{n1} : Sıcak ortama ait çevre sıcaklığı, K

T_{n2} : Soğuk ortama ait çevre sıcaklığı, K

3. BULGULAR VE TARTIŐMA (RESULTS AND DISCUSSION)

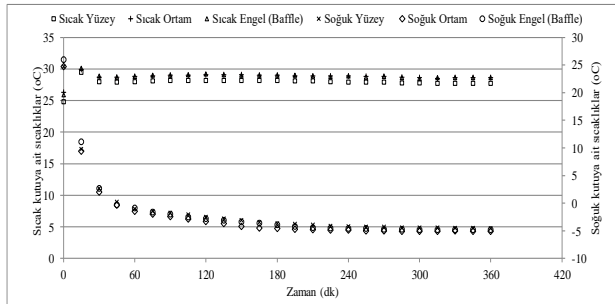
3.1. Isıl İşlem Kararlılık Süresi (Heat Treatment Stability Time)

KD kodlu kontrol ve XPS kodlu yalıtımlı duvarlar üzerinde yapılan sıcak kutu deney sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda değerlendirilmiştir. KD-1 kodlu yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı kontrol duvarına ait ısıl işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 1'in üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



Şekil 1. KD-1 kodlu yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı duvarda ısıl işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi (KD-1 coded uninsulated and inner surface plastered wall heat treatment stability time-temperature relationship)

KD-1 kodlu duvara ait Şekil 1 incelendiğinde sıcaklığı ~ 25 °C olan laboratuvar da deney yapıldığında sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin 28~33 °C arasında değiştiği görülmektedir. Aradaki 8~13 °C'lik sıcaklık farkının nedeni şu şekilde açıklanabilir: XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların sıcak kutu deneyleri genellikle kış aylarında yapılmıştır. KD-1 kodlu duvarın sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının ortalama 20 °C olduğu ilkbahar mevsiminde yapılmış dolayısıyla laboratuvar sıcaklığı KD-1 deneyinde ~ 25 °C olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte cihazın sıcak bölümününün 480 dk süreyle deney yapılmasına rağmen kararlı duruma gelmediği görülmektedir. Bunun nedenleri arasında Şekil 1'de olduğu gibi, 1) duvar örülürken yatay ve düşey derzlerin tam olarak doldurulmaması, 2) duvarın dış yüzeyinin sıvanmamış olması dolayısıyla ısı köprülerinin meydana gelmesi sayılabilir. KD-1 kodlu kontrol duvar numunesinin iç yüzeyinde sıva tabakası (kaba+ince sıvalı) yapılmış olmasına karşılık dış yüzeyde sıva yapılmadığından, iç sıva tabakası yatay ve düşey derzlerde meydana gelen ısı transferini engellemeye yeterli olmamıştır. Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin Şekil 1'de gösterilen ~ 300 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmüştür. Cihazın soğuk bölümünün kararlı duruma gelmesinin sebebi, soğutucunun kesintisiz veya devamlı olarak çalışmasıdır.



Şekil 2. KD-2 kodlu yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi (KD-2 code non-insulated and both surfaces plastered wall heat treatment stability time-temperature relationship)

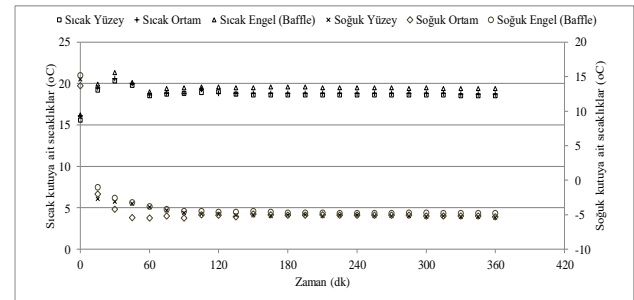
KD-2 kodlu yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı kontrol duvarına ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 2'nin üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

Şekil 2 incelendiğinde, KD-1 kodlu kontrol duvarlarına ait Şekil 1'de gösterilen ve kararlı duruma gelmeyen ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi eğrilerinden farklı olarak, KD-2 kodlu duvarda sıcaklığı ~ 23 °C olan laboratuvar da deney yapıldığında sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20°C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~ 28 °C olarak ~ 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği görülmektedir. KD-2 kodlu duvarın sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının ortalama 20 °C olduğu ilkbahar mevsiminde yapılmış dolayısıyla laboratuvar sıcaklığı KD-1 deneylerinde sırasıyla ~ 25 °C iken KD-2 deneyinde ~ 23 °C olarak tespit edilmiştir. KD-2 kodlu duvardaki sıcaklık değerindeki artış yukarıda belirtilen sıcaklık farkı ile açıklanabilir. KD-2 kodlu kontrol duvarının KD-1 kodlu diğer kontrol duvarından farklı olarak kararlı duruma gelmesinin sebebi ise, duvar kalınlığı aynı olmakla birlikte duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin kaba ve ince sıva ile sıvanmış olması dolayısıyla duvar yüzeyindeki boşlukların tamamının sıva

tabakası tarafından hemen hemen kapatılarak ısı transferinin azaltılmış olmasıdır.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~ 240 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmüştür. Diğer yandan KD-1 ile KD-2 kodlu duvarlarda elde edilen ısı işlem kararlılık süresi arasındaki 20 dk'lık azalmanın sebebinin, KD-1 kodlu duvarın yalnız iç yüzeyi sıvalı iken KD-2 kodlu duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin de sıvanmış olmasıdır.

XPS-3 kodlu yalıtımlı duvara ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 3'ün üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

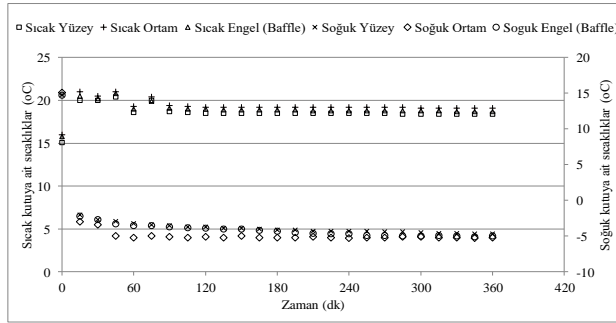


Şekil 3. XPS-3 kodlu duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi (Heat treatment stability time-temperature relationship in XPS-3 coded wall)

XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarların sıcak kutu deneyi, KD kodlu kontrol duvarlarından farklı olarak dış hava ortalama sıcaklığının $5\sim 10$ °C arasında olduğu kış mevsiminde yapılmıştır. Bu yüzden XPS yalıtımlı duvarlarda, sıcak kutu deneyi ilkbahar mevsiminde yapılan KD kodlu kontrol duvarlarında mevsime bağlı sıcaklık artışı nedeniyle elde edilemeyen hedeflenen 20°C sıcaklık sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde sağlanmıştır.

XPS-3 kodlu duvara ait Şekil 3 incelendiğinde, sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~ 18 °C olarak elde edildiği, başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Cihazın sıcak bölümünün kararlı duruma gelme süresi ~ 75 dk olarak belirlenmiştir. KD-2 kodlu duvarın 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında aradaki 85 dk'lık farkın 3 cm'lik XPS yalıtımından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~ 100 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir.

XPS-4 kodlu yalıtımlı duvara ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4'ün üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

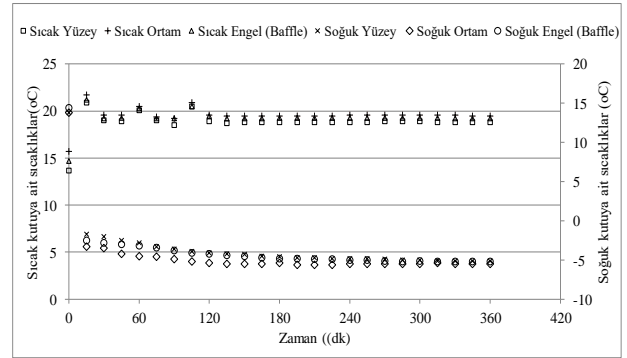


Şekil 4. XPS-4 kodlu duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi (Heat treatment stability time-temperature relationship in XPS-4 coded wall)

XPS-4 kodlu duvara ait Şekil 4 incelendiğinde, XPS-3 kodlu duvarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~18 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Eğri üzerinden cihazın sıcak bölümünün ~120 dk sonunda kararlı duruma geldiği tespit edilmiştir. KD-2 kodlu kontrol duvarının 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 40 dk'lık süre farkının ısı yalıtımından ve yalıtım kalınlığının 1 cm artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan XPS yalıtımlı iki duvar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 75 dk sonunda elde edilen kararlı durum, XPS-4 kodlu duvarda ~120 dk sonunda elde edildiğinden aradaki 45 dk'lık süre artışının ısı yalıtım kalınlığının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Cihazın soğuk bölümünde -5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~180 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. XPS yalıtımlı iki duvar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 100 dk sonunda kararlı durum elde edildiğinden XPS-4 kodlu duvardaki 80 dk'lık süre artışının yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

XPS-5 kodlu yalıtımlı duvara ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 5'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 5'in üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



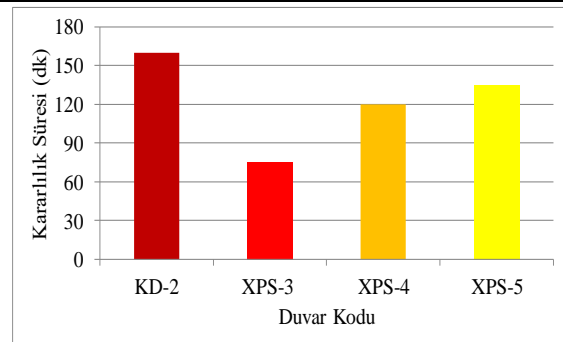
Şekil 5. XPS-5 kodlu duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi (Heat treatment stability time-temperature relationship in XPS-5 coded wall)

XPS-5 kodlu duvara ait Şekil 5 incelendiğinde, XPS-3 ve XPS-4 kodlu yalıtımlı duvarlarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~18 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Yine eğri üzerinden cihazın sıcak bölümünün ~135 dk sonunda kararlı duruma geldiği tespit edilmiştir. KD-2 kodlu kontrol duvarının 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 25 dk'lık süre farkının, ısı yalıtımından ve yalıtım kalınlığının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan XPS yalıtımlı duvarlar birbiri ile kıyaslandığında, XPS-3 kodlu duvarda ~75 dk, XPS-4 kodlu duvarda ~120 dk sonunda elde edilen kararlı durum, XPS-5 kodlu duvarda ~135 dk sonunda elde edildiğinden, aradaki 60 dk ve 15 dk'lık süre artışlarının ısı yalıtım kalınlığının artmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Cihazın soğuk bölümünde -5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~260 dk süre sonunda elde edildiği ve cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. XPS yalıtımlı duvarlar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 100 dk ve XPS-4 kodlu duvarda 180 dk sonunda kararlı durum elde edildiğinden XPS-5 kodlu duvarda elde edilen sıcaklıkla 160 dk ve 80 dk'lık süre artışlarının yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5. XPS kodlu yalıtımlı ve KD kodlu kontrol duvarlarının kararlılık süreleri (Stability times of XPS coded insulated and KD coded control walls)

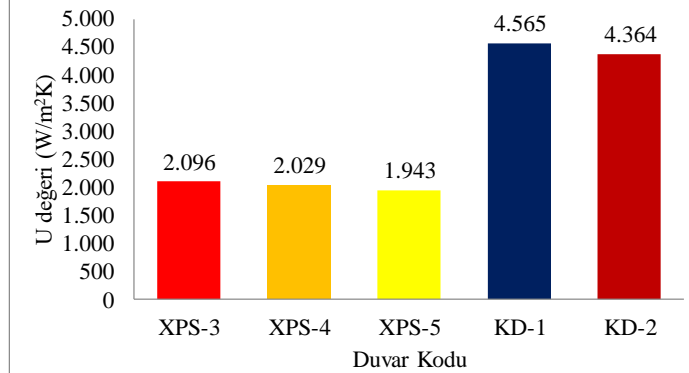
Duvar kodu	Duvar kalınlığı (cm)	Kararlılık süresi-sıcak bölüm (dk)	Laboratuar sıcaklığı (°C)
KD-1	13,5	-	~25
KD-2	13,5	~160	~23
XPS-3	13,5	~75	~15
XPS-4	13,5	~120	~15
XPS-5	13,5	~135	~15



Açıklama: KD-1: İç yüzey sıvalı, KD-2: Her iki yüzey sıvalı

Çizelge 6. KD ve XPS kodlu duvarların EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerleri (Thermal transmittance coefficient (U) values of KD and XPS coded walls calculated according to EN ISO 8990)

Duvar kodu	U Değeri (W/m ² K)	
	EN ISO 8990	
XPS-3	2,096	
XPS-4	2,029	
XPS-5	1,943	
KD-1	4,565	
KD-2	4,364	



Açıklama: KD-1: İç yüzey sıvalı, KD-2: Her iki yüzey sıvalı

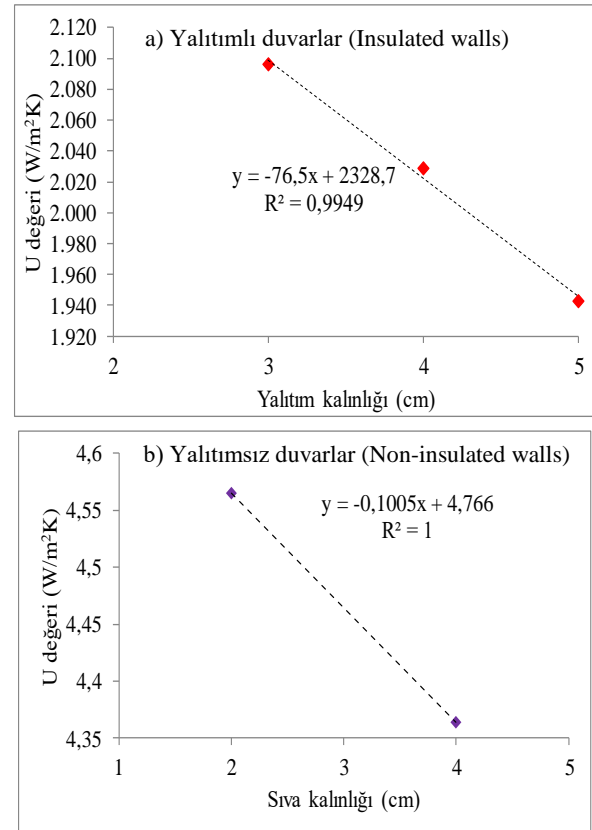
Yukarıda Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilen yalnız sıcak bölüme ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi eğrileri üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Buna göre belirlenen KD kodlu yalıtımsız ve XPS kodlu yalıtımlı duvarların ısı işlem kararlılık süreleri toplu bir şekilde Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'de görüldüğü gibi deneye tabi tutulan bütün duvarlarda duvar kalınlığı 13.5 cm olarak sabit tutulmuştur.

3.2. Toplam Isı İletimi (Overall Heat Transfer)

KD kodlu kontrol ve XPS kodlu yalıtımlı duvarlara ait EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Sıcak kutu deneyinden elde edilen sıcaklıklar kullanılarak EN ISO 8990'a göre duvarlarda ısı yalıtımı malzemesi olarak 3, 4 ve 5 cm XPS kullanıldığında duvara ait U değerleri sırasıyla 2.096 W/m²K, 2.029 W/m²K ve 1.943W/m²K olarak elde edilmiştir. Kontrol duvarlarından KD-1 kodlu duvarda U değeri 4.565 W/m²K elde edilirken, KD-2 kodlu duvarda ise 4.364 W/m²K değeri elde edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan XPS ısı yalıtım malzemesi için Şekil 6'da görüldüğü gibi duvarlarda U değeri-yalıtım kalınlığı ilişkisini lineer regresyon modellemesi ile EN ISO 8990 açısından ifade etmek mümkündür. Şekil 6 (a)' da EN ISO 8990 için $y = -76,5x + 2328,7$ denklemi elde edilmiştir. U değeri- sıva kalınlığı ilişkisi lineer regresyon modellemesi ile ifade edilerek Şekil 6 (b)'deki eğri yardımıyla $y = -0,1005x + 4,766$ denklemi elde edilmiştir.

Verilerin değerlendirilmesinde ve hesaplanmış değerlerin bulunmasında SPSS paket programı kullanılmıştır. Çizelge 7'de verilen varyans analizi sonucuna göre; duvar grupları arasında istatistiksel anlamda önemli düzeyde fark olduğu görülmektedir ($p \leq 0,05$).



Şekil 6. XPS yalıtımlı ve kontrol duvarlarında EN ISO 8990'a göre yalıtım kalınlığı/sıva kalınlığı – U değeri ilişkisi (Insulation thickness/plaster thickness-U value relation in XPS insulation and control walls according to EN ISO 8990) a) Yalıtımlı duvarlar (Insulated walls) – b) yalıtımsız duvarlar (Non-insulated walls)

Çizelge 7. U değerlerine ait varyans analizi sonuçları (Variance analysis results for U values)

	Kareler	Serbestlik	Ortalama	F	P
	Toplamı	Derecesi	Kare		
Gruplar Arası	19,10	4	4,78	71,83	0,00
Gruplar İçi	0,67	10	0,07		
Toplam	19,76	14			

Gruplar arasındaki çoklu karşılaştırma sonuçlarını görmek için Post-Hoc testlerinden Duncan testi (F-Testi) tercih edilmiştir. Duncan testi mühendislik alanında en çok tercih edilen çoklu karşılaştırma testidir. Duncan testi gruplar arasındaki küçük farkları bile önemli kabul ettiği için tercih edilmektedir [42]. Bu çalışma için de çoklu karşılaştırma sonuçları için Duncan testi seçilmiştir.

Çizelge 8. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlara ait U değerlerine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results for U values for insulated and non-insulated walls)

Duvar kodu	Kümeler		
	1	2	3
XPS-5	1,94		
XPS-4	2,03		
XPS-3	2,10		
KD-2		4,03	
KD-1			4,57
P	0,50	1,00	1,00

$\alpha = 0,05$.

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır. Çizelge 8'e göre yalıtım özelliğine sahip XPS kodlu duvarların aynı küme içinde yer aldığı görülmektedir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla U değeri azalmış ve duvarlar benzer özellikler göstermiştir. İç ve dış yüzeyi sıvalı olan yalıtımsız KD-2 kodlu duvar ise yalıtımlı duvarlardan ayrı olarak 2. küme içersin de yer almış ve yalıtım özelliği göstermediği tespit edilmiştir. Sadece iç yüzeyinde 2 cm kalınlığında sıva bulunan ve yalıtımsız KD-1 kodlu kontrol duvarı ise KD-2 kodlu duvarla bile benzer özellik göstermemiş bu yüzden 3. küme içinde yer alarak diğer tüm duvarlardan farklı olduğu belirlenmiştir.

Yalıtımlı duvarların kontrol duvarlarıyla karşılaştırılması için Dunnett t testi kullanılmıştır. Dunnett testi kontrol grubu olan deneylerin istatistiksel analizinde tercih edilen bir yöntemdir [43]. Çizelge 9'da görüldüğü gibi KD-2 kodlu duvar için en büyük fark -2,08 değeriyle 5 cm kalınlığındaki XPS yalıtım malzemesinin kullanıldığı XPS-5 kodlu duvarda elde edilmiştir. KD-2 kodlu duvar ile KD-1 kodlu duvar arasındaki ortalama farkı olarak 0,53 değeri elde edilmiş ve sıva kalınlığının yalıtım üzerinde etkisinin çok olmadığı görülmüştür. Duvarda yalıtım malzemesi kullanılması U değeri üzerinde oldukça etkili olmuş ve en küçük yalıtım kalınlığı olan 3 cm kullanılması durumunda bile ortalama farkı -1,93 değeri elde edilmiştir.

Çizelge 9. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlara ait Dunnett t testi sonuçları (Dunnett t test results for insulated and non-insulated walls)

(I) Duvar	(J) Duvar	Ortalama Fark (I-J)	P	95% Güven Aralığı	
				Alt Sınır	Üst Sınır
XPS-3	KD-2	-1,93*	0,00	-2,54	-1,32
XPS-4	KD-2	-2,00*	0,00	-2,61	-1,39
XPS-5	KD-2	-2,08*	0,00	-2,69	-1,48
KD-1	KD-2	0,53	0,09	-0,07	1,14

*0.05 önemlilik derecesinde

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

XPS ile ısı yalıtımı yapılan duvarlarda en uygun yalıtım kalınlığı 5 cm olarak belirlenirken U değeri 1.943 W/m²K olarak elde edilmiştir.

Yalıtımsız duvarlar arasında tek yüzeyi sıvalı KD-1 ve iki yüzeyi sıvalı KD-2 duvarında U değerleri sırasıyla 4.565 ve 4.364 W/m²K olarak elde edilmiştir

KD-1 kodlu duvarın U değeri ısı yalıtımlı XPS kodlu duvarlarla karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlara göre sırasıyla %54, %56 ve %57 azalmıştır.

KD-2 kodlu duvarın U değeri ısı yalıtımlı XPS kodlu duvarlarla karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlara göre sırasıyla %52, %54 ve %55 azalmıştır. Dış yüzeye yapılan 2 cm'lik sıva tabakası U değerlerindeki azalma yüzdelinde etkili olmuştur.

KD-1 kodlu duvarda dış yüzey sıvalı olmadığından dolayı yatay ve düşey derzler ısı köprüsü görevi yapmış bu yüzden kararlılık süresi elde edilememiştir. Ancak KD-2 kodlu duvarın dış yüzeyi sıvalı olduğu için yatay ve düşey derzlerdeki ısı köprüleri kapatıldığı için ~160 dakika sonunda kararlı durum elde edilmiştir.

Isı yalıtım malzemesi kullanılan XPS kodlu duvarlarda ise derzlerde ısı köprüleri tamamen kapatıldığı için XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda kararlılık süreleri sırasıyla 75 dk, 120 dk ve 135 dk olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı duvarlarda yalıtım kalınlığının artmasıyla kararlılık sürelerinde artış gözlenmiş, bu artışın nedeni ise XPS yalıtım malzemesinin düşük ısı iletkenliğinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Sıcak ortamın kararlı duruma gelmesi için duvar kesitinin de belirli bir sıcaklık değerinde kararlı duruma gelmesi gerekmektedir. Duvar yüzeyinde kullanılan düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerin ısı iletimi düşük olduğu için kararlı duruma gelme süreleri de artmaktadır.

KD-2 kodlu duvarda elde edilen 160 dk'lık kararlılık süresindeki artışın nedeni ise ısı köprüsü görevi yapana yatay ve düşey derzlerin sıva tabakası ile kapatılmasına rağmen, dış yüzeyde kullanılan sıva tabakasının ısı iletkenliğinin oldukça büyük olmasından dolayı ısı transferinin tamamen durdurulamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dış yüzeyde kullanılan sıva tabakası derzleri kapatmasına rağmen yine de ısı kaybı olmakta ve kararlılık süresi de buna bağlı olarak artmaktadır.

İstatistiksel analiz sonucu XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılan duvarlar benzer özellik göstermiş ve kontrol duvarlarına göre ısı performansının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Dunnett t testi sonucuna göre KD-2 kodlu duvara en yakın özelliği yalıtım özelliği bulunmayan diğer kontrol duvarı olan KD-1 kodlu duvar gösterirken, XPS kodlu duvarların KD-2 kodlu duvarlarla arasındaki ortalama farkının büyük olduğu tespit edilmiştir.

İstatistiksel anlamda da sıva kalınlığının ısı yalıtımı üzerinde çok etkili olmadığı ancak duvar örülürken yatay ve düşey derzlerin tam olarak doldurulmasının önemli olduğu da belirlenmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Gökhan KAPLAN: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Performed the experiments and analyse the results.

Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ: Makalenin yazımına ve literatür taramasına katkı sağlamıştır. / Contributed to the writing of the article and the literature review.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Safa, M., Safa, M., Allen, J., Shahi, A., Haas, C.T. "Improving sustainable office building operation by using historical data and linear models to predict energy usage", *Sustain. Cities Soc.* 29:107-111, (2017).
- [2] Huang, H., Zhou, Y., Huang, R., Wu, H., Sun, Y., Huang, G., Xu, T."Optimum insulation thicknesses and energy conservation of building thermal insulation materials in Chinese zone of humid subtropical climate", *Sustain. Cities Soc.* 52: 101840, (2020).
- [3] Berardi, U. "A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends", *Resour. Conserv. Recycl.* 123:230-241, (2017).
- [4] Li, B., Du, C., Yao, R., Yu, W., Costanzo, V. "Indoor thermal environments in Chinese residential buildings responding to the diversity of climates" *Appl. Therm. Eng.* 129: 693-708, (2018).
- [5] Xu, C., Li, S., Zou, K. "Study of heat and moisture transfer in internal and external wall insulation configurations", *J. Build. Eng.* 24: 100724, (2019).
- [6] Li, B., Yao, R., Wang, Q., Pan, Y. "An introduction to the Chinese Evaluation Standard for the indoor thermal environment", *Energy Build.* 82: 27-36, (2014).
- [7] Fang, L., Diao, N., Shao, Z., Zhu, K., Fang, Z. "A computationally efficient numerical model for heat transfer simulation of deep borehole heat exchangers", *Energy Build.* 167: 79-88, (2018).
- [8] Natephra, W., Yabuki, N., Fukuda, T. "Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation", *Build. Environ.* 136: 128,145, (2018).
- [9] Kolaitis, D.I., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D.A., Mandilaras, I., Katsourinis, D.I., Founti, M.A."Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings", *Energy Build.* 64:123-131, (2013).
- [10] Miskinis, K., Dikavicius, V., Buska, A., Banionis, K. "Influence of EPS, mineral wool and plaster layers on sound and thermal insulation of a wall: a case study. *Appl. Acoust.*, 137:62-68, (2018).
- [11] Jerman, M., Palomar, I., Kočí, V., Černý, R. "Thermal and hygric properties of biomaterials suitable for interior thermal insulation systems in historical and traditional buildings", *Build. Environ.* 154:81-88, (2019).
- [12] Aste, N., Angelotti, A., Buzzetti, M. "The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings", *Energy Build.* 41:1181-1187, (2009).
- [13] Abanda, F.H., Byers, L. "An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)", *Energy*, 97:517-527, (2016).
- [14] Künel, H.M. "Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behaviour of exposed walls", *Mater. Struct. Constr.* 31:99-103, (1998).
- [15] Vereecken, E., Van Gelder, L., Janssen, H., Roels, S. "Interior insulation for wall retrofitting - A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks", *Energy Build.* 89:231:244, (2015).
- [16] Vereecken, E., Roels, S. "A comparison of the hygric performance of interior insulation systems: A hot box-cold box experiment", *Energy Build.* 80:37-44, (2014).
- [17] Yuan, J., Farnham, C., Emura, K., Alam, M.A. "Proposal for optimum combination of reflectivity and insulation thickness of building exterior walls for annual thermal load in Japan", *Build. Environ.* 103:228-237, (2016).
- [18] Dombaycı, Ö.A., Ozturk, H.K., Atalay, Ö., Acar, Ş.G., Ulu, E.Y. "The Impact of Optimum Insulation Thickness of External Walls to Energy Saving and Emissions of CO₂ and SO₂ for Turkey Different Climate Regions" *Energy Power Eng.* 8:72186, (2016).
- [19] Kurekci, N.A. "Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers", *Energy Build.* 118:197-213, (2016).
- [20] Özel, G., Açikkalp, E., Görgün, B., Yamik, H., Caner, N. "Optimum insulation thickness determination using the environmental and life cycle cost analyses based entransy approach", *Sustain. Energy Technol. Assessments.* 11:87-91, (2015).
- [21] Kaynaklı, O. "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:415-425, (2012).
- [22] Lu, X., Memari, A.M. "Comparative study of Hot Box Test Method using laboratory evaluation of thermal properties of a given building envelope system type", *Energy Build.* 178:130-139, (2018).
- [23] Chowdhury, D., Neogi, S. "Thermal performance evaluation of traditional walls and roof used in tropical climate using guarded hot box", *Constr. Build. Mater.* 218:73-89, (2019).
- [24] Zhao, X., Mofid, S.A., Hulayel, M.R.A., Saxe, G.W., Jelle, B.P., Yang, R. "Reduced-scale hot box method for thermal characterization of window insulation materials", *Appl. Therm. Eng.* 160:114026, (2019).
- [25] Lucchi, E., Roberti, F., Alexandra, T. "Definition of an experimental procedure with the hot box method for the thermal performance evaluation of inhomogeneous walls" *Energy Build.* 179:99-111, (2018).
- [26] Roque, E., Vicente, R., Almeida, R.M.S.F., Mendes da

- Silva, J., Vaz Ferreira, A. "Thermal characterisation of traditional wall solution of built heritage using the simple hot box-heat flow meter method: In situ measurements and numerical simulation", *Appl. Therm. Eng.* 169:114935, (2020).
- [27] Baldinelli, G., Bianchi, F., Lechowska, A.A., Schnotale, J.A. "Dynamic thermal properties of building components: Hot box experimental assessment under different solicitations", *Energy Build.* 168:1-8, (2018).
- [28] Bienvenido-Huertas, D., Pérez-Ordóñez, J.L., Moyano, J., Seara-Paz, S. "Towards an in-situ evaluation methodology of thermal resistance of basement walls in buildings", *Energy Build.* 208:109643, (2020).
- [29] Trgala, K., Pavelek, M., Wimmer, R. "Energy performance of five different building envelope structures using a modified Guarded Hot Box apparatus—Comparative analysis", *Energy Build.* 195:116-125, (2019).
- [30] Gullbrekken, L., Uvslokk, S., Kvande, T., Time, B. "Hot-Box measurements of highly insulated wall, roof and floor structures", *J. Build. Phys.* 41:58-77, (2017).
- [31] Kivioja, H., Vinha, J. "Hot-box measurements to investigate the internal convection of highly insulated loose-fill insulation roof structures", *Energy Build.* 216:109934, (2020).
- [32] Martin, K., Campos-Celador, A., Escudero, C., Gómez, I., Sala, J.M. "Analysis of a thermal bridge in a guarded hot box testing facility", *Energy Build.* 50:139-149, (2012).
- [33] Li, R., Wei, X., Li, H., Zhu, J. "Experimental Study on Ventilation and Thermal Performance of Exterior Sandwich Wall Based on Hot Box Method", *Procedia Engineering*, 205:2771-2778, (2017).
- [34] Kus, H., Özkan, E., Göcer, Ö., Edis, E. "Hot box measurements of pumice aggregate concrete hollow block walls", *Constr. Build. Mater.* 38:837-845, (2013).
- [35] EN 771-1 "Specification for masonry units - Part 1: Clay masonry units" (2003).
- [36] EN 197-1 "Composition, specifications, and conformity criteria for common cements" (2004).
- [37] ASTM C33-16 "Standard Specification for Concrete Aggregates" (2016).
- [38] TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" (2013).
- [39] EN 13914-2 "Design, Preparation And Application Of External Rendering And Internal Plastering - Part 2: Internal Plastering" (2016).
- [40] EN 13914-1 "Design, Preparation And Application Of External Rendering And Internal Plastering - Part 1: External Rendering" (2016)
- [41] EN ISO 8990 "Thermal insulation-Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box"(1996).
- [42] Clewer, A.G., Scarisbrick, D.H. "Practical statistics and experimental design for plant and crop science", *Wiley* (2001).
- [43] Cramer, D., Howitt, D. "The SAGE Dictionary of Statistics" *SAGE Publications* (2011).