

BİNA DIŞ DUVARLARINDA YOĞUŞMA DİKKATE ALINARAK GEREKLİ YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ: BİTLİS İLİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

*Ali Hüsnü BADEMLİOĞLU **
*Ahmet Serhan CANBOLAT ***
*Ömer KAYNAKLI ***

Alınma:26.11.2018; düzeltme:03.12.2018; kabul:05.12.2018

Öz: Türkiye gibi dış ortam sıcaklıklarının geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği ülkelerdeki binalarda, kış aylarında ısı kayıplarını, yaz aylarında ise ısı kazançlarını azaltmak için yapılan yalıtım uygulamalarının önemi her geçen gün artmaktadır. Yapılan yalıtım uygulamalarında su buharı hareketlerinin göz önüne alınması yoğuşma riski açısından oldukça önemlidir. Yoğuşma veya terleme olarak adlandırılan bu olay, malzemelerin zarar görmesi, mukavemetin azalması ve toplam ısı transfer katsayısının yükselmesi nedeniyle ısı kayıplarının artması gibi istenmeyen sonuçlar doğurur. Bu çalışmada dıştan yalıtımlı duvar tipi seçilmiş ve Bitlis ili için yapılan yalıtım uygulamasında yoğuşma riski dikkate alınarak, aylara göre gerekli minimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yoğuşma riskinin en fazla olduğu ve bu nedenle yoğuşmayı önlemek için gereken yalıtım kalınlığının maksimum olduğu ay olarak şubat ayı belirlenmiştir. Yapı elemanındaki ısı ve kütle transferi hesaplamaları, farklı iç ortam sıcaklıkları ve bağıl nem koşulları için yapılmıştır. Belirlenen çalışma şartlarında, şubat ayı için gerekli minimum yalıtım kalınlığı yaklaşık 0,104 m olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yoğuşma, Yalıtım kalınlığı, Dıştan yalıtımlı duvar, Sıcaklık, Bağıl Nem

Determination of Required Insulation Thickness by Considering Condensation in Outer Walls: A Case Study for Bitlis Province

Abstract: In buildings which are located in countries where external ambient temperatures vary in a wide range, such as Turkey, the importance of insulation applications are increasing day by day in order to reduce the heat losses in winter months and the heat gains in summer months. Consideration of water vapor motion in the insulation applications is very important in terms of the risk of condensation. This phenomenon, which is called condensation or sweating, results in undesirable outcomes such as damage to the materials, reduced strength and increased heat losses due to increased overall heat transfer coefficient. In this study, the externally insulated wall type was chosen and the required minimum insulation thickness was calculated according to months considering the risk of condensation in the insulation application for Bitlis province. It was determined February as a month in which the condensation risk is the greatest and therefore the required insulation thickness is maximum to prevent condensation. Heat and mass transfer calculations within the structural component were performed with respect to various indoor temperature and relative humidity values. In the specified working conditions, the required minimum insulation thickness was calculated as 0,104 m for February.

Keywords: Condensation, Insulation thickness, Externally insulated wall, Temperature, Relative humidity

* Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa.

** Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

İletişim Yazarı: Ali Hüsnü Bademlioğlu (husnu.bademlioglu@btu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Binalarda, yoğuşma olayı yalıtım için önemli bir sorundur. Yapı malzemelerinde ortaya çıkan yoğuşma olayı; hava ile temas eden yapı malzemesi yüzey sıcaklığının, havanın çiy noktası sıcaklığının altında olması durumunda gerçekleşir. Bu durumda yoğuşan su duvarlarda küf, mantar üremesi, koku veya boya bozulmalarına neden olabilir. Yoğuşma olayının önlenmesi için yapı bileşeninin su buharı hareketine karşı direnci artırılmalıdır. Yapı bileşeninin, yalıtım yapılarak su buharına ve ısı geçişine karşı direnci artırılabilir.

Literatürde optimum yalıtım kalınlığı hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Bolattürk, 2008; Kaynaklı, 2008; Zhu ve diğ., 2011; Gürel ve Cingiz, 2011). Kaynaklı ve diğ. (2017), yalıtım kalınlığını etkileyen birçok parametrenin (ısıtma/soğutma yükleri, duvar yapısı, yalıtım malzemesi özellikleri vb.) optimum ısı yalıtım kalınlığına ve geri ödeme sürelerine olan etkisini incelemiştir. Kürekçi (2016), ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini ve yaşam döngüsü maliyet analizini kullanarak dört farklı yakıt ve beş farklı yalıtım malzemesi için Türkiye'nin 81 ilindeki gerekli optimum yalıtım kalınlıklarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Genellikle yoğuşma faktörü dikkate alınmadan yapılan bu çalışmalarda derece-gün metodu kullanılarak ısı kaybının minimize edilmesi amaçlanmış ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.

Gerekli yalıtım kalınlığının belirlenmesi için yoğuşma dikkate alınarak yapılan çalışmaların sayısı literatürde oldukça sınırlıdır. Heperkan ve diğ. (2001), buhar difüzyonu ve yoğuşma hesaplarını kolaylaştıran, yapı malzemesi içerisinde yoğuşmanın meydana geldiği noktayı tespit eden bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Atmaca ve Kargıç (2006), Konya ilinde, bir yapı konstrüksiyonundaki buhar geçişini ve yoğuşma olayını incelemiştir.

Arslan ve Köse (2006), Kütahya ili için yoğuşmayı dikkate alarak yalıtım kalınlığının termoeconomik optimizasyonunu incelemiştir. Chang ve Kim (2015), Kore'de kullanılan iki farklı duvar yapısının ısı ve nem performansını simülasyon programı yardımıyla araştırmıştır. You ve diğ. (2017), yüksek nemli iklim koşullarında binaların iç yüzeyinde görülen yoğuşma olayını araştırmış ve yoğunlaşmanın sıklıkla meydana geldiği alanları belirlemeyi amaçlamıştır. Moon ve diğ. (2014) nem transferinin, binalarda enerji verimliliği, termal konfor ve küf oluşumu gibi bina performans özelliklerine olan etkisini higrotermal simülasyona dayalı olarak incelemiştir.

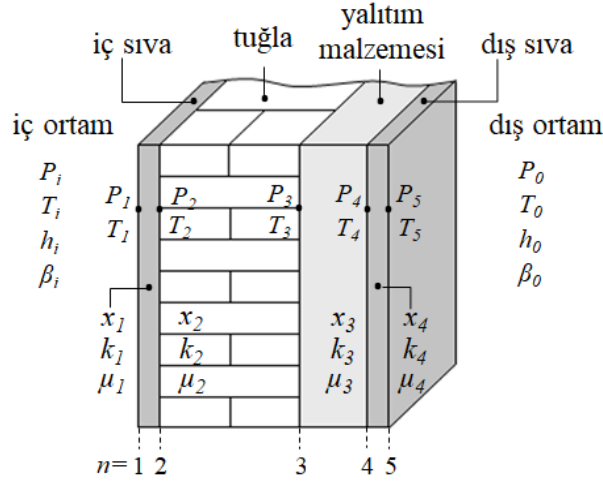
Liu ve diğ. (2015) Çin'in belirli bölgeleri ve iklim koşulları için binalarda görülen nem transferinin binaların termal performansına olan etkisini araştırmıştır. Kaynaklı ve diğ. (2018) farklı yalıtım uygulamalarından oluşan yapılarda ısı yalıtım kalınlığının optimizasyonunu yoğuşmaya bağlı olarak gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada, Bitlis ili için yapılan yalıtım uygulamasında yoğuşma riski dikkate alınarak gerekli minimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Dış ortam şartları Bitlis ili için belirlenmiş olup aylara göre gerekli minimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yoğuşma riskinin en fazla olduğu ve bu nedenle yoğuşmayı önlemek için gereken yalıtım kalınlığının maksimum değerinin hesaplandığı ay olarak şubat ayı belirlenmiştir Yapı elemanındaki ısı ve kütle transferi hesaplamaları, farklı iç ortam sıcaklıkları ve bağıl nem koşulları için yapılmıştır.

2. MATEMATİKSEL YÖNTEM

2.1. Dıştan Yalıtımlı Duvar için Isı İletimi ve Su Buharı Difüzyonu

Şekil 1'de dört farklı yapı malzemesinden oluşan dıştan yalıtımlı duvar tipi verilmiştir.



Şekil 1:

Dıştan yalıtımlı duvar tipi uygulaması

Uygulamalarda, iç ortamdaki ısı taşınım katsayısı h_i , dış ortamdaki ısı taşınım katsayısı h_o , malzemelerin ısı iletim katsayıları k ve kalınlıkları x olarak tanımlanmış olduğunda, sürekli rejimde ısı akısı (Atmaca ve Kargıç, 2006; Kaynaklı ve diğ., 2018)

$$q = h_i(T_i - T_1) \Rightarrow T_1 = T_i - \frac{q}{h_i} \quad (1)$$

$$q = \frac{k_n}{x_n}(T_n - T_{n+1}) \Rightarrow T_{n+1} = T_n - \frac{q}{\frac{k_n}{x_n}} \quad (2)$$

İç ve dış ortamdaki hesaplamalar için Eşitlik (1), yapı malzemesi katmanlarındaki hesaplamalar için ise Eşitlik (2) kullanılmaktadır. Benzer şekilde bileşik düzlem duvarın tamamı için ısı akısı,

$$q = (T_i - T_o) / \left(\frac{1}{h_i} + \sum \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_o} \right) \quad (3)$$

Isı iletimine benzer olarak bileşik düzlem duvarda iç ortamdaki buhar geçirgenlik katsayısı β_i , dış ortamdaki buhar geçirgenlik katsayısı β_o , yapı malzemelerinin buhar geçirgenliği μ_p ve kalınlıkları x olduğuna göre, sürekli rejimde duvardaki su buharı akısı,

$$w = \beta_i(P_i - P_1) \Rightarrow P_1 = P_i - \frac{w}{\beta_i} \quad (4)$$

$$w = \frac{\mu_{pn}}{x_n}(P_n - P_{n+1}) \Rightarrow P_{n+1} = P_n - \frac{w}{\frac{\mu_{pn}}{x_n}} \quad (5)$$

Eşitlik (4) iç ve dış ortamdaki hesaplamalar için kullanılırken, Eşitlik (5) ise yapı malzemesi katmanlarındaki hesaplamalar için kullanılmaktadır. Bileşik düzlem duvarın tamamı için su buhar akısı ise,

$$w = (P_i - P_o) / \left(\frac{1}{\beta_i} + \sum \frac{x_n}{\mu_{pn}} + \frac{1}{\beta_o} \right) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'daki yapı malzemesi buhar geçirgenliği (μ_p) yerine buhar geçirgenlik direnci (δ) kullanılır ve buhar geçirgenlik direnci (δ),

$$\delta = 1/\mu_p \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de ifade edilen buhar geçirgenlik direnci (δ), havaya göre direnç faktörü (μ) ve havanın difüzyon direnci (δ_{air}) cinsinden,

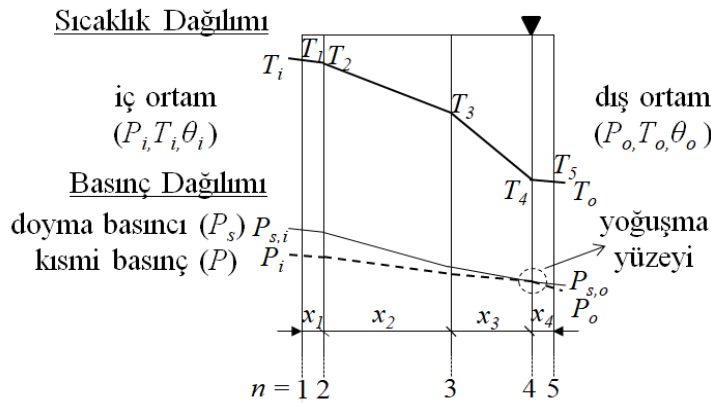
$$\delta = \mu\delta_{air} \quad (8)$$

Havanın difüzyon direnci (δ_{air}) genel olarak $1,5 \times 10^3$ kPa m h/kg olarak alınmaktadır (Kaynaklı ve diğ., 2018; Arslan ve Köse, 2006). Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra su buhar akısı değerini veren Eşitlik (6) aşığıdaki şekilde ifade edilir:

$$w = (P_i - P_o) / \left(\frac{1}{\beta_i} + 1,5 \times 10^3 \left(\sum x_n \mu_n \right) + \frac{1}{\beta_o} \right) \quad (9)$$

2.2. Duvar İçerisindeki Sıcaklık ve Kısmi Basınç Dağılımı

Dıştan yalıtımlı duvarlar için, yapı içindeki muhtemel sıcaklık ve basınç dağılımı şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir. Kısmi ve doyma basınçlarının çakıştığı muhtemel yoğuşma noktası (4 düzlem hattı) şekil üzerinde görölmektedir.



Şekil 2:

Dıştan yalıtımlı duvar için sıcaklık ve basınç dağılımı

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bitlis ili sınırları içerisinde bir bina için yapılan bu çalışma kapsamında belirlenen bir yapıya sahip duvarda yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli yalıtım kalınlığının hesaplanabilmesi için ortam şartlarına ve diğer parametrelere ait veriler Tablo 1'de verilmiştir. Bitlis ilinin aylara göre belirlenen ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri ise Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Belirlenen ortam şartları ve termodinamik parametreler (Dağsöz, 1995; Arslan ve Kose, 2006; Çengel ve Ghajar, 2010; Kaynaklı ve diğ., 2018)

Parametre	Değer		
İç ortam şartları			
Sıcaklık, °C	18 – 25		
Bağıl nem	0,40 – 0,80		
Isı taşınım katsayısı, W/m ² K	8,3		
Buhar geçirgenlik katsayısı, kg/m ² h kPa	0,111		
Dış ortam şartları			
Sıcaklık, °C	-3,1 – 22,8		
Bağıl nem	0,312 – 0,894		
Isı taşınım katsayısı, W/m ² K	34		
Buhar geçirgenlik katsayısı, kg/m ² h kPa	0,39		
Duvar Tipi : Dıştan Yalıtımlı Duvar	Kalınlık, x (m)	Isı iletim katsayısı, k (W/m K)	Havaya göre direnç faktörü, μ
İç sıva	0,02	0,87	10
Tuğla	0,135	0,45	6,8
Yalıtım (XPS)	x	0,034	80
Dış sıva	0,03	1,4	16,5

Tablo 2. Bitlis ili için aylara göre belirlenen ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (Ölçüm periyodu 1963-2017) (TUİK, Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

BİTLİS	Aylar											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık (°C)	-3,1	-2,1	1,7	7,6	13,2	18,5	22,8	22,4	17,6	11,0	4,7	-0,9
Bağıl Nem (%)	87,5	89,4	75,5	65,5	65,8	44,3	31,2	31,2	36,4	55,8	78,9	85,2

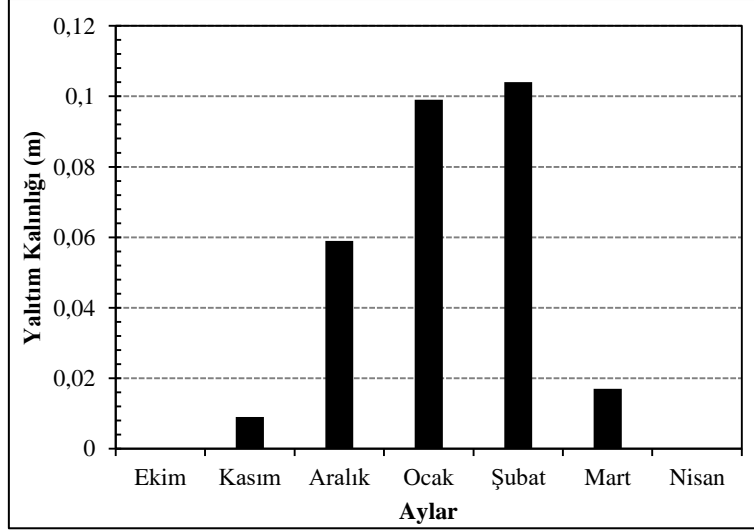
Tablo 2’de verilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri yardımıyla, Bitlis ili için aylara göre belirlenen yağışma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlıkları Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi, belirlenen çalışma şartları için yılın beş ayı (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart) yağışma riski görülmekte ve bu nedenle yağışmayı önlemek için gerekli yalıtım kalınlıkları artmaktadır.

Bitlis ili için şubat ayında görülen yağışma riski diğer aylara göre daha yüksek olmakta ve yağışmayı önlemek için gerekli minimum yalıtım kalınlığı maksimum (0,104 m) olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında dış ortam şartları için Bitlis ilinin şubat ayı referans alınmıştır.

Bitlis ili sınırları içerisindeki bir bina duvarında, yağışma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4’de farklı iç ortam bağıl nem şartları için verilmiştir. İç ortam sıcaklığının artmasıyla, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı yükselmektedir. Bu durumda iç ortamdaki dışarıya transfer olan su buharı miktarı artmakta ve yağışma riski oluşmaktadır. Bu nedenle Şekil 4’de görüldüğü gibi iç ortam sıcaklığının 18°C’den 25°C’ye yükselmesiyle gerekli yalıtım kalınlığı 0,6 bağıl nem değeri için yaklaşık 0,066 m artarken, 0,7 bağıl nem değeri için yaklaşık 0,078 m artmaktadır.

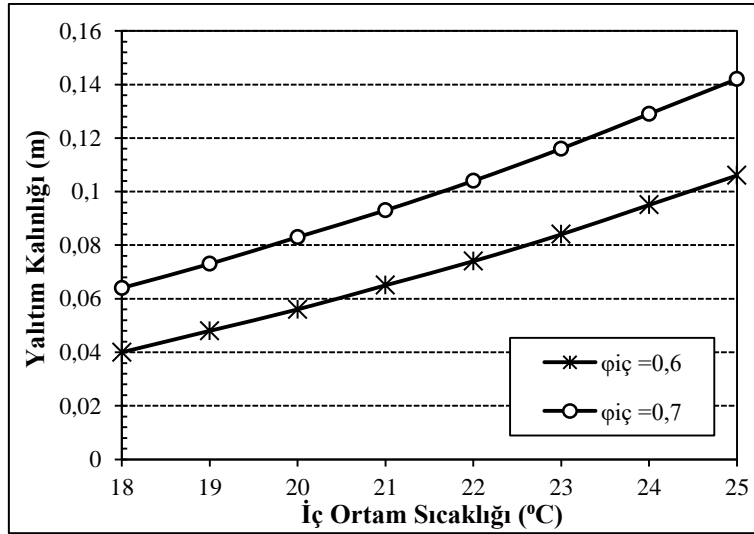
Bitlis ili için, farklı iç ortam sıcaklıklarında yağışma gerçekleşmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlığının iç ortam bağıl nemine bağlı olarak değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Genel olarak iç ortam bağıl neminin artmasıyla, iç ortamdaki dışarıya transfer olan su buharı miktarı artmakta ve yağışma riski oluşmaktadır. Bu nedenle Şekil 5’de görüldüğü gibi iç ortam bağıl neminin 0,4’den 0,8’e yükselmesiyle, yağışma gerçekleşmemesi için gerekli minimum

yalıtım kalınlığı 22°C iç ortam sıcaklığı için yaklaşık 0,123 m artarken, 24°C iç ortam sıcaklığı için yaklaşık 0,136 m artmaktadır.



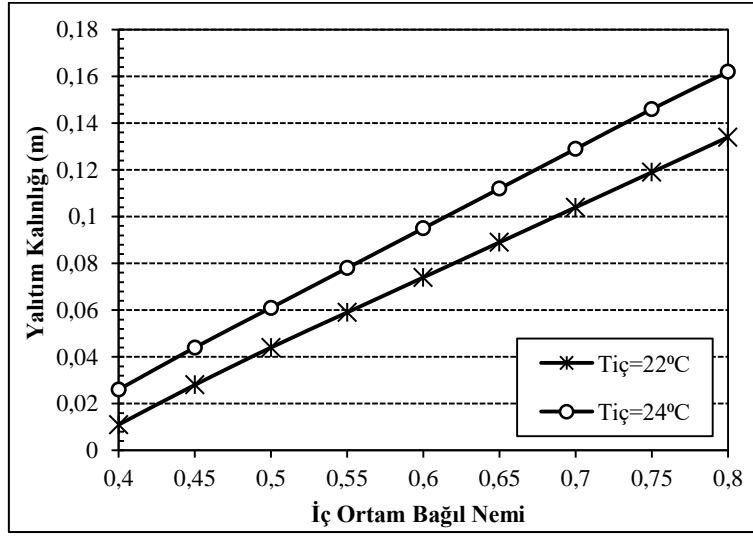
Şekil 3:

Bitlis'te yer alan ve örnek duvar şekli verilen yapının duvarlarında yoğuşma meydana gelmemesi için gerekli minimum yalıtım kalınlıklarının aylara göre değişimi



Şekil 4:

Farklı iç ortam bağıl nem değerlerinde yoğuşma gerçekteşmemesi için gerekli yalıtım kalınlığının iç ortam sıcaklıkları ile değişimi



Şekil 5:

Farklı iç ortam sıcaklıkları için, belirlenen duvarda yoğuşma gerçekleşmemesi için gerekli yalıtım kalınlığının iç ortam bağıl nem değerleriyle değişimi

4. SONUÇ

Bitlis ili için yapılan bu çalışmada yoğuşma faktörü dikkate alınarak yapılan yalıtım uygulamalarında, yalıtım kalınlığının iç ortam şartlarına bağlı değişimi üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Bitlis ili için şubat ayında yapılarda görülen yoğuşma riski diğer aylara göre daha yüksektir ve şubat ayı için gerekli minimum yalıtım kalınlığı yaklaşık 0,104 m olarak hesaplanmıştır.
- İç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, duvardan transfer olan ısı ve su buharı miktarı yoğuşma riskini arttırmaktadır. Sabit çalışma koşullarında 0,6 iç ortam bağıl nem değeri için iç ortam sıcaklığının 18°C'den 25°C'ye yükselmesiyle gerekli yalıtım kalınlığı yaklaşık 2,2 kat artmaktadır.
- Benzer şekilde iç ve dış ortam arasındaki bağıl nem farkının yükselmesi, duvardaki yoğuşma riskini önemli ölçüde arttırmaktadır. Sabit çalışma koşullarında 24°C iç ortam sıcaklığı için iç ortam bağıl neminin 0,4'den 0,8'e yükselmesiyle gerekli yalıtım kalınlığı yaklaşık 6,2 kat artmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Arslan, O. ve Köse, R. (2006) Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings”, *Energy and Buildings*, 38(12), 1400-1408. doi: 10.1016/j.enbuild.2006.02.012
2. Atmaca, Ş.U. ve Kargıcı, S. (2006) Konya’da kış aylarında yapı malzemelerinde oluşan buhar geçişinin örnekle incelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 47, 55-62.
3. Bolattürk, A. (2008) Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and Environment*, 43(6), 1055-1064. doi: 10.1016/j.buildenv.2007.02.014
4. Chang, S.J. ve Kim, S. (2015) Hygrothermal performance of exterior wall structures using a heat, air and moisture modeling, *Energy Procedia*, 78, 3434-3439. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.328

5. Çengel, Y. ve Ghajar, A. (2010) *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, McGraw Hill Inc., New York.
6. Dağsöz, A.K. (1995) *Türkiye’de Derece-Gün Sayıları, Ulusal Enerji Tasarruf Politikası, Yapılarda Isı Yalıtımı*, İzocam Yayınları, İstanbul.
7. Gürel, A.E. ve Cingiz, Z. (2011) Economical analysis of determination thermal insulation thickness for different external walls, *Sakarya University Journal of Science*, 15(1), 75-81.
8. Heperkan, A.H., Bircan, M.M. ve Sevindir, M.K. (2001) Yapı malzemelerinde buhar difüzyonu ve yoğuşma, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 461-470.
9. Kaynaklı, Ö. (2008) A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, *Renewable Energy*, 33, 1164-1172. doi: 10.1016/j.renene.2007.07.001
10. Kaynaklı, Ö., Canbolat, A.S. ve Bademlioğlu, A.H. (2017) A study on the parameters affecting insulation thickness on external wall of buildings, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5(7): 81-84.
11. Kaynaklı, O., Bademlioğlu, A.H. ve Ufat, H.T. (2018) Determination of optimum insulation thickness for different insulation applications considering condensation, *Tehnicki Vjesnik*, 25(Supplement 1), 32-42. doi: 10.17559/TV-20160402130509
12. Kürekçi, N.A. (2016) Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers, *Energy and Buildings*, 118, 197-213. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.03.004
13. Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P. ve Chen, G. (2015) Numerical investigation for thermal performance of exterior walls of residential buildings with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China, *Energy and Buildings*, 93, 259-268. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.016
14. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri. Erişim Adresi: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BITLIS> (Erişim Tarihi:23.11.2018)
15. Moon, H.J., Ryu, S.H. ve Kim, J.T. (2014) The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings, *Energy and Buildings*, 75, 439-446. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.039
16. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu; 2018 (www.tuik.gov.tr)
17. You, S., Li, W., Ye, T., Hu, F. ve Zheng, W. (2017) Study on moisture condensation on the interior surface of buildings in high humidity climate, *Building and Environment*, 125, 39-48. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.041
18. Zhu, P., Huckemann, V. ve Fisch, M.N. (2011) The optimum thickness and energy saving potential of external wall insulation in different climate zones of China, *Procedia Engineering*, 21, 608-616. doi: 10.1016/j.proeng.2011.11.2056