



Araştırma Makalesi – Research Article

Isı Yalıtımının Farklı Dış Duvar Modellerindeki Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi

Numerical Investigation of the Effect of Thermal Insulation on Different Exterior Wall Models

Mehmet Kan^{1*}

Geliş / Received: 22/10/2023

Revize / Revised: 14/01/2024

Kabul / Accepted: 14/01/2024

ÖZ

Enerji kaynaklarının azalması ile enerji ihtiyacı her geçen gün hızla artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla Dünyada farklı enerji arayışlarına gidilmekte var olan tüketimin de azaltılmasına yönelik uğraşlar devam etmektedir. Ülkemizde, enerji tüketiminin önemli bir kısmını binaların ısıtılmasına harcanmaktadır. Bunun için enerji tasarrufu ve yok olan yakıtların tüketiminin azaltılmasına yönelik ısı yalıtımı uygulamaları daha fazla yer almaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığının belirlenmesi ve uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi hem verim açısından hem de ekonomiklik açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bir dış duvarın farklı duvar modellerine göre poliüretan yalıtım malzemesi kullanılarak termal davranışları irdelenmiştir. Yapı malzemesi olarak tuğla ve gaz beton kullanılan yalıtımlı (poliüretan) ve sandviç duvar olmak üzere 4 farklı duvar modelleri için Ansys yazılımı kullanılarak analizler yapılmıştır. Duvar modelleri 2 cm iç sıva, 13,5 cm tuğla/15 cm gaz beton ve 3 cm dış sıva, sandviç duvarda 2 cm iç sıva, iç tarafta 8 cm tuğla/8 cm gaz beton, dış tarafta 13,5 cm tuğla/15 cm gaz beton ve 3 cm dış sıvadan ve yalıtım malzemesinden (poliüretan) oluşmaktadır. 3. iklim bölgesinde bulunan Ankara ili ele alınarak bu duvar modelleri için analizlerden elde edilen sıcaklık ve ısı akısı verileri ile hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır. Analizler ve yapılan hesaplamalar sonucunda sandviç duvar modelinde daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Optimum yalıtım kalınlığı, ısı yalıtımı, HAD analizi.*

ABSTRACT

As energy resources diminish, the need for energy increases rapidly from day to day. Various energy sources are being sought worldwide to meet energy needs, and efforts to reduce current consumption continue. In our country, a significant part of energy consumption is spent on heating buildings. For this reason, thermal insulation applications are increasingly used to save energy and reduce the consumption of waste fuels. Determining the insulation thickness and selecting the appropriate insulation material is very important from both efficiency and economy points of view. In this study, the thermal behavior of an exterior wall with polyurethane insulation material was investigated according to different wall models. The analyzes were carried out using Ansys software for four different wall models: insulated (polyurethane) and sandwich walls, as well as brick and aerated concrete as building materials. Wall models: 2 cm interior plaster, 13.5 cm brick/15 cm aerated concrete and 3 cm exterior plaster, 2 cm interior plaster on the sandwich wall, 8 cm brick/8 cm aerated concrete on the inside, 13.5 cm brick/15 cm on the outside It consists of 2 cm aerated concrete and 3 cm exterior plaster and insulation material (polyurethane). Considering Ankara, which is in the 3rd climate zone, the temperature and heat flux data obtained from the analyzes for these wall models were compared with the optimum insulation thicknesses and payback periods

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mehmetkan@sdu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7336-1489>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

obtained because of the calculations. In conclusion the analyzes and calculations, it was found that the sandwich wall model gave better results.

Keywords- Optimum insulation thickness, thermal insulation, CFD analysis.

I. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin sürekli gelişmesi, sanayileşme, nüfusun hızlı bir şekilde artması ve fosil kökenli yakıtların azalması nedeniyle ülkelerin yeni enerji kaynaklarına talepleri artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına karşılık için alternatif enerji kaynaklarına yönelimler ve arayışlar devam etmektedir. Bu yüzden ülkeler fosil kökenli yakıt tüketimini azaltarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık vermek için çalışmalar yapmaktadır. Bununla birlikte enerji tüketimini azaltmak için enerji tasarruf planlamaları yapılmaktadır. Bu enerji tasarruf planlamalarının başında ısı yalıtımı gelmektedir.

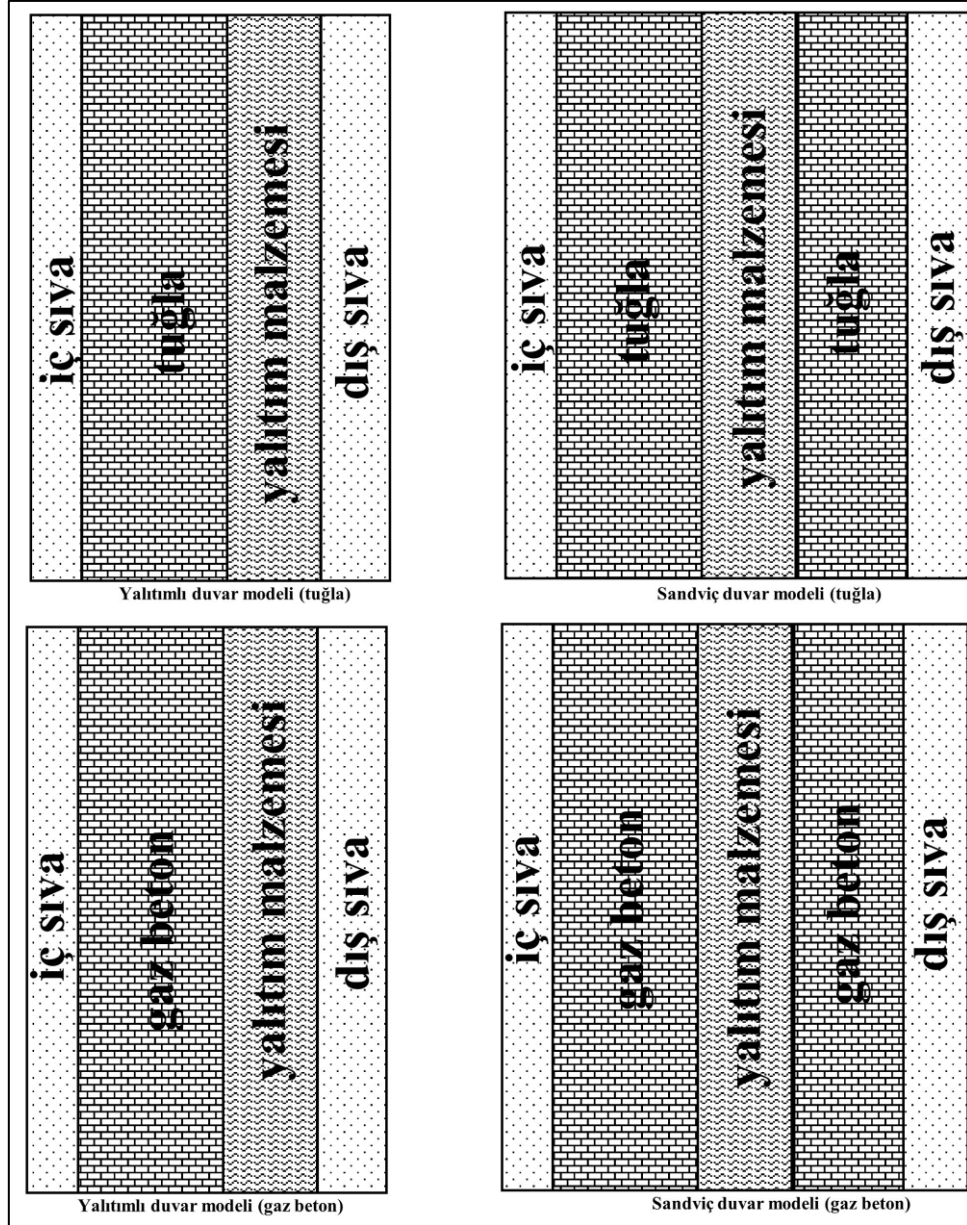
Kış aylarında iç ortam sıcaklığı dış ortamdaki daha yüksektir. Bu yüzden ısı geçişi dışarıya doğru olacağından ısı yalıtım malzemeleri ön plana çıkmaktadır. Bu ısı geçiş miktarı yapının ısı geçirgenlik katsayısına bağlıdır. Bu amaçla binanın iklim şartları göz önünde bulundurularak ısı geçirgenlik katsayısına göre tasarlanmalıdır [1]. Enerji, tüm dünya ülkeleri için önemlidir. Ülkemizde, enerji kaynaklarının yetersiz olması nedeniyle enerji ihtiyacının çoğunu yurtdışından karşılamaktadır. Bu yüzden enerji ihtiyaçları daha da artmaktadır. Enerji ihtiyacını azaltmak ve fosil kökenli yakıtların çevreye olumsuz etkilerinin minimize etmek için ısı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. [2-4]. Yüksek sıcaklıktaki ortamlardan düşük sıcaklığa sahip ortamlara doğru ısı transferi gerçekleşmektedir. Ayrıca ısı direnç azaldıkça ısı akışının hızı da artmaktadır. Bu nedenle kışın meydana gelen ısı kayıplarını ve yazın da oluşan ısı kazanımlarını azaltmakla birlikte yapılarca harcanan enerji miktarının da azaltılması gerekmektedir. Binalarda enerji kayıplarını azaltmak ve enerji maliyetini aza indirmek için ısı yalıtımı yapılmaktadır [5-6]. Isı yalıtımı, iklim şartlarına göre yazın sıcak havayı önleyerek soğutma veya kışın soğuk havayı önleyerek ısıtma problemlerinin azaltılmasına yardımcı olur. Isı yalıtımı sayesinde iki ortam arasında sıcaklık farkından meydana gelen ısı kayıpları azaltılabilir. Fakat yalıtım malzemelerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bununla beraber elde edilen enerji tasarrufları sayesinde amortisman süresi göz önüne alındığında ilerideki yıllarda enerji sarfiyatını engellediği ve enerji tüketiminin azaldığını tespit etmişlerdir [7-10]. Enerji tasarrufu sağlamak amacıyla binalarda enerji ihtiyaçlarını azaltmak için ısı yalıtımı daha da önem kazanmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte saman, kil, toprak gibi organik malzemelerden yapılan yalıtım malzemeleri yerine polistren, poliüretan veya taş yünü, cam yünü gibi inorganik bileşenli malzemeler almıştır [11]. Poliöl reçinesi ve yangın geciktirici katkı maddelerinden oluşan poliüretan; çatılarda, döşemelerde, sandviç panellerde ve endüstriyel yapılarda yaygın olarak kullanılan uygulama alanlarındandır [12]. Gürel ve Cingiz [13] yaptıkları çalışmada yatay delikli tuğla ve gaz beton yapı malzemeleriyle ve dıştan yalıtımlı ve sandviç yalıtımlı bir bina dış duvarı modelleyerek ısı kaybı hesaplamışlar ve ömür maliyet analizine göre optimum ısı yalıtım kalınlıklarını, geri ödeme sürelerini ve enerji tasarruflarını belirlemişlerdir. Kandemir vd. [14] bu çalışmada dıştan yalıtım uygulamasında taş yünü ve cam yünü yalıtım malzemesi kullanarak Ankara için iki farklı tuğla duvar ve gaz beton duvar modellerine uygulamışlardır. Sonuç olarak yalıtım malzemesi olarak taş yünü olan gaz betonun kullanılmasının daha uygun olduğunu söylemişlerdir. Öztunalı ve Dereli [15] yaptıkları çalışmada, Edirne ili için iki yalıtım malzemesine göre dış ve sandviç duvar modellerinde farklı yakıt türleri kullanılarak geri ödeme sürelerini ve optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir. Kürekçi vd. [16] bu çalışmada bütün iller için dıştan yalıtımlı bir duvar modelinde doğal gaz ve ithal kömüre göre beş farklı yalıtım malzemelerine ait geri ödeme süreleri ve optimum yalıtım kalınlığı belirlediklerini söylemişlerdir. Ertürk [17] yaptığı çalışmada yalıtım malzemesiyle birlikte hava boşluğunun eklemesinin ısı yalıtımındaki etkisini incelemiştir. Sandviç duvar modeli için EPS, XPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri kullanarak, XPS için optimum yalıtım kalınlığı belirlemişlerdir. Yu vd. [18] yaz-kış mevsimleri için Çin'in farklı bölgelerinde farklı yalıtım malzemelerine ait optimum yalıtım kalınlıklarını karşılaştırmışlardır. Gölcü vd. [19] dış duvar modelinde taş yünü yalıtım malzemesi olarak kullanarak enerji tasarruflarını, optimum yalıtım kalınlıklarını ve geri ödeme sürelerini hesapladıklarını belirtmişlerdir. Yavuz vd. [20] çalışmalarında bir yapının yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarında meydana gelen ısı problemleri analiz etmişlerdir. XPS yalıtım malzemesi olarak kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0.0882 m olarak hesaplamışlardır. Uçar ve Balo [21] çalışmalarında değişik iklimlere sahip bölgelerde optimum yalıtım kalınlıklarını ve yatırım maliyetlerini inceleyerek, bölgelerdeki farklılıklardan dolayı enerji tasarrufunun değiştiği gözlemlemişlerdir. Liu vd. [22] Çin'de bulunan farklı şehirler için EPS ve XPS için optimum yalıtım kalınlıklarını bulmak amacıyla yaptıkları çalışmada hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığının XPS ve EPS için sırasıyla 0.053-0.069 m ve 0.081-0.105 m arasında değiştiği belirtmişlerdir. Aktemur ve Atikol [23] sandviç duvar modelinde Muğla, Kocaeli, Ardahan ve Ankara için farklı yalıtım malzemesi ve yakıtlara göre optimum yalıtım kalınlıklarını tespit etmişlerdir. Yaptıkları hesaplamalara göre optimum yalıtım kalınlığının 2.8-45.1 cm arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, bir dış duvarın farklı duvar modellerine göre poliüretan yalıtım malzemesi kullanılarak termal davranışları irdelenmiştir. Yapı malzemesi olarak tuğla ve gaz beton kullanılan yalıtımlı (poliüretan) 4 farklı duvar modeli için Ansys yazılımı kullanılarak analizler yapılmıştır. Ankara iline ait bu duvar modelleri için analizlerden elde edilen sıcaklık ve ısı akısı verileri ile hesaplamalar sonucunda elde edilen geri ödeme süreleri ve optimum yalıtım kalınlıkları karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Dış Duvar Modelleri ve Matematiksel Analizi

Ülkemizde, genellikle sandviç duvar ve dıştan yalıtımlı duvar tipi olmak üzere iki çeşit dış duvar yalıtım uygulaması kullanılmaktadır. Her ne kadar tuğla yapı malzemesi olarak kullanılsa da son yıllarda gaz beton kullanımı da yaygınlaşmıştır. Binalardaki dış duvarlarda en çok ısı kayıp-kazançları meydana gelmektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar model uygulamalarında kullanılmıştır. Şekil 1'de duvar modelleri verilmiştir. Yapılan bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanılan iki adet (tuğla ve gaz beton), iki adet sandviç duvar (tuğla ve gaz beton) olmak üzere dört farklı duvar modelleri incelenmiştir. 1. yalıtımlı duvar modelinde sırasıyla iç sıva, tuğla, yalıtım malzemesi ve dış sıva; 2. yalıtımlı duvar modelinde sırasıyla iç sıva, gaz beton, yalıtım malzemesi ve dış sıvadan oluşmaktadır. 1. sandviç duvar modelinde sırasıyla iç sıva, tuğla, yalıtım malzemesi, tuğla ve dış sıva; 2. sandviç duvar modelinde sırasıyla iç sıva, gaz beton, yalıtım malzemesi, gaz beton ve dış sıvadan oluşmaktadır. Ayrıca duvar bileşenlerine ait kalınlıklar Tablo 1'de x (m) olarak verilmiştir.



Şekil 1. Farklı dış duvar modelleri

Binalarda ısı kaybının en fazla olduğu ve dış ortamın olumsuz etkilerinin görüldüğü yerler genellikle bina duvarlarıdır. Bu yüzden yalıtım malzemelerini seçerken bina duvarının dış tarafında meydana gelen ısı kayıpları dikkate alınmalıdır. Ülkemizde “TS 825 (Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı) Standardı” ısı yalıtımlarında dikkat edilmektedir. Ülkemiz TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartlarında dört iklim bölgesinden oluşmaktadır [24]. Bu çalışmada 3. İklim bölgesinde yer alan Ankara ili için dört farklı duvar modelleri tasarlanmıştır. Tasarlanan duvar modelleri için Tablo 1’de dış duvar bileşenlerine ait özellikler yer almaktadır.

Tablo 1. Dış duvar bileşenlerinin özellikleri [6,15]

Duvar bileşenleri	x (m)	k (W/m K)	R (m ² K/W)
Dış sıva	0.03	0.87	0.02
Tuğla	0.135	0.45	0.3
Gaz beton	0.15	0.24	0.65
Poliüretan		0.035	
İç sıva	0.02	1.4	0.02
R _i			0.13
R _o			0.04
R _{wi} Tuğla duvar			0.52
R _{wi} Gazbeton duvar			0.84
R _{wi} Sandviç duvar			0.69

Binada meydana gelen ısı kayıpları genellikle en çok duvar ve pencerelerde meydana gelmektedir. Denklem 1’de dış duvar için birim yüzeydeki ısı kaybı (q) verilmiştir [2, 15, 25, 26].

$$q = U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Burada U ve ΔT sırasıyla toplam ısı transfer katsayısı ve gün içerisindeki dış ortam sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığının farkını ifade etmektedir. Bu durumda gerçekleşen yıllık ısı kazanç ve kaybı (q_A) Denklem 2’de verilmiştir [2, 15, 26].

$$q_A = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (2)$$

Burada DG derece-günü ifade etmektedir. DG değeri belirli bir denge sıcaklık dikkate alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışıınımı vs.) binada olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışıınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir. Ülkemizde, TS 825’de derece-gün (DG) sayılarına göre il merkezleri için 4 yalıtım bölgesine ayrılmıştır. 1. bölge ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir.

Duvarın toplam ısı transfer katsayısı Denklem 3’ te verilmiştir [2, 15, 26].

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_y + R_o} \quad (3)$$

Burada iç ve dış ortamların, yalıtımsız duvar tabakaları ve yalıtım malzemesinin ısı dirençleri sırasıyla R_i ve R_o , R_w ve R_y ’dir. R_y Denklem 4’teki bağıntıyla hesaplanabilir. Ayrıca Denklem 5’te toplam ısı transfer katsayısı (U) verilmiştir [26].

$$R_y = \frac{x_y}{k_y} \quad (4)$$

$$U = \frac{1}{R_{wt} + \frac{x_y}{k_y}} \quad (5)$$

Burada x_y , k_y ve R_{wt} , sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı, ısı iletkenliği ve yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direncini ifade etmektedir.

Isı kazanç-kayıbını önemli ölçüde azaltmak için binaların dış duvarlarına yalıtım yapılması gerekmektedir. Bu yüzden yalıtımın optimum kalınlığının tespit edilmesi enerji tasarrufu da sağlanmış olacaktır. Optimum yalıtımın kalınlığı, enerji ve yatırım maliyeti ile yıllık maliyetlerin daha düşük ve ekonomik açıdan daha verimli olacaktır. Isıtma ($C_{A,I}$) ve soğutma ($C_{A,S}$) yıllık enerji maliyeti için Denklem 6-7 ile hesaplanır [2, 15, 26]:

$$C_{A,I} = \frac{86400 \cdot IDG \cdot C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x_y}{k_y}\right) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (6)$$

$$C_{A,S} = \frac{86400 \cdot SDG \cdot C_e}{\left(R_{wt} + \frac{x_y}{k_y}\right) \cdot COP} \quad (7)$$

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan Ankara ili için Isıtma derece-gün değeri (IDG) ve soğutma derece-gün değeri (SDG) sırasıyla 2335 ve 229 olarak belirlenmiştir [27]. Yakıt fiyatı (\$/kg), elektriğin fiyatı (\$/kWh), yakıtın alt ısı değeri (J/kg), ısıtma sisteminin verimi ve soğutma performans katsayısı sırasıyla C_f , C_e , H_u , η ve COP ile ifade edilir. Toplam yıllık enerji maliyeti (C_A) Denklem 8 ile yazılır.

$$C_A = C_{A,I} + C_{A,S} \quad (8)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti (C_T) Denklem 9 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_T = C_A \cdot PWF + C_y \cdot x_y \quad (9)$$

Burada C_y , x_y , C_A , N , PWF , i ve g sırasıyla, yalıtımın fiyatı ($\$/m^3$), kalınlığı, birim yüzey için yıllık ısıtma ve soğutma maliyetinin toplamı, yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti, şimdiki değer faktörü, faiz oranı ve enflasyon oranıdır. PWF , i ve g ' ye bağlı olarak Denklem 10 ile hesaplanır. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı (x_{opt}), Denklem 11 ile elde edilir [2, 15, 26].

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N}, \quad i > g \quad r = \frac{i-g}{1+g} \quad (10)$$

$$x_{opt} = 293.94 \sqrt{\frac{PWF \cdot k}{C_y} \left(\frac{C_f \cdot IDG}{H_U \cdot \eta} + \frac{C_e \cdot SDG}{3,6 \cdot 10^6 \cdot COP} \right) - k_y \cdot R_{wt}} \quad (11)$$

Denklem 12 ile geri ödeme periyodu (P_b) hesaplanır.

$$P_b = \frac{\ln \left[1 - \left(\frac{i-g}{1+g} \right) \cdot \left(\frac{C_y \cdot x_y}{S_A} \right) \right]}{\ln \left(\frac{1+g}{1+i} \right)} \quad (12)$$

Burada S_A yıllık tasarrufu ifade etmekte olup, yalıtımsız-yalıtımlı duvarların yıllık enerji maliyetleri Denklem 13'te verilmiştir [2, 15, 26].

$$S_A = (C_A)_{yalsz} - C_A \quad (13)$$

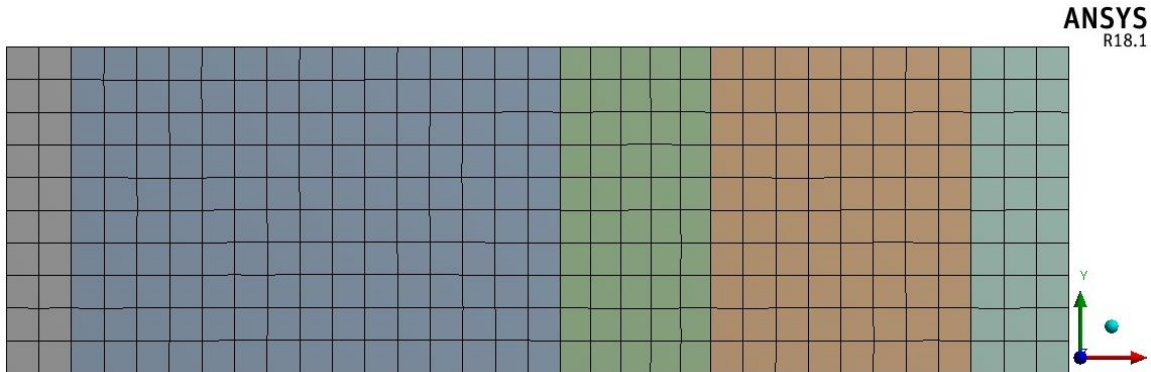
Hesaplamalarda kullanılan yakıtın ve yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Hesaplamalarda; i (%)=36; g (%)=30; PWF =7,55; N =10 yıl olarak alınmıştır [2,15].

Tablo 2. Hesaplamalarda kullanılan parametreler [2,15]

Doğalgaz		Poliüretan	
Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
C_f [$\$/m^3$]	0,259	C_y [$\$/m^3$]	75
H_u [J/m^3]	$34,526 \cdot 10^6$	k [W/mK]	0.035
H [%]	93		

B. Dış Duvar Modellerinin Nümerik Analizi

HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizlerinde kullanılmak üzere dış duvar modelleri için sayısal ağ yapısı oluşturulmuştur. Şekil 2'de duvar modeline ait ağ yapısı verilmiştir. Bu modelde ortalama 1761002 eleman ve 1249600 adet düğüm noktası bulunmaktadır.



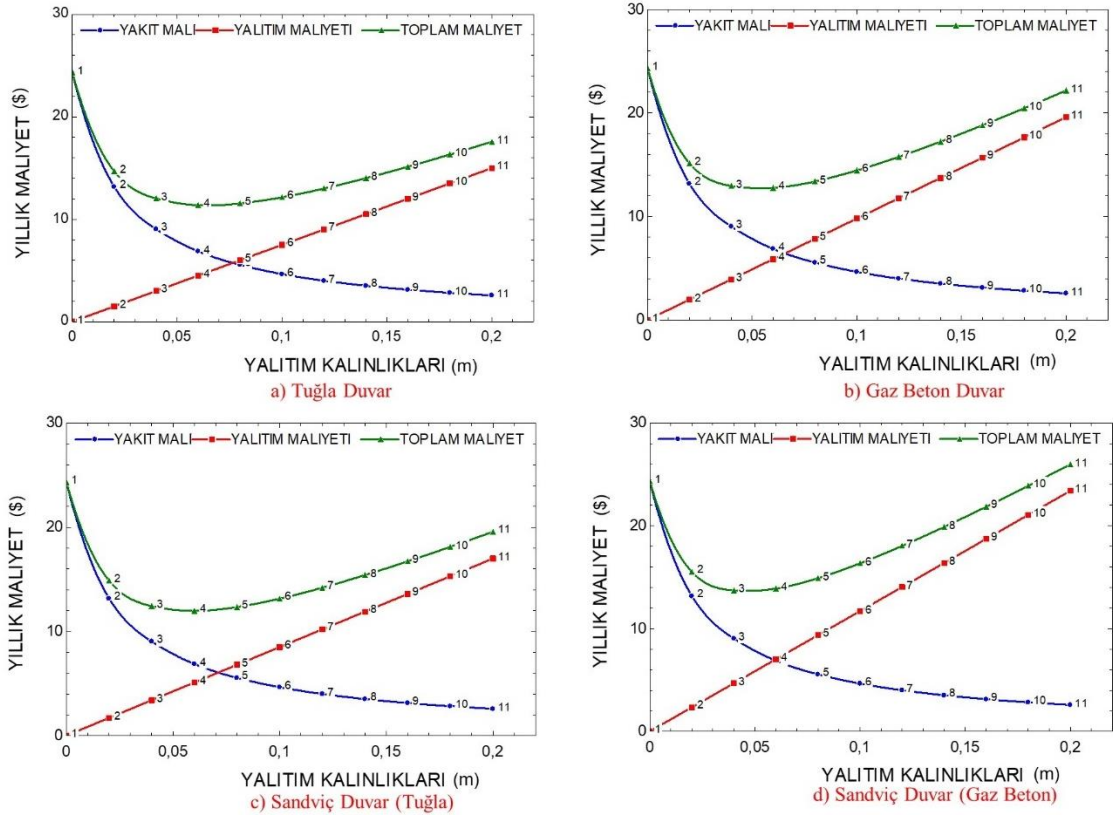
Şekil 2. Duvar modeli ağ yapısı

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Binaların yalıtılması; yakıt maliyetini ve toplam ısıtma maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Yalıtım kalınlığının artması ile ısı kaybı ve gerekli enerji ihtiyacı azalırken toplam maliyette düşer. Fakat gereksiz ve fazla

yalıtım kalınlığı yalıtım maliyetini ve toplam maliyeti artırır. Yalıtım kalınlığı belirlenirken optimum yalıtım kalınlığının önemi ve maliyet üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

Şekil 3'te farklı duvar modelleri için elde edilen yakıt, yalıtım ve yıllık maliyetleri verilmiştir.



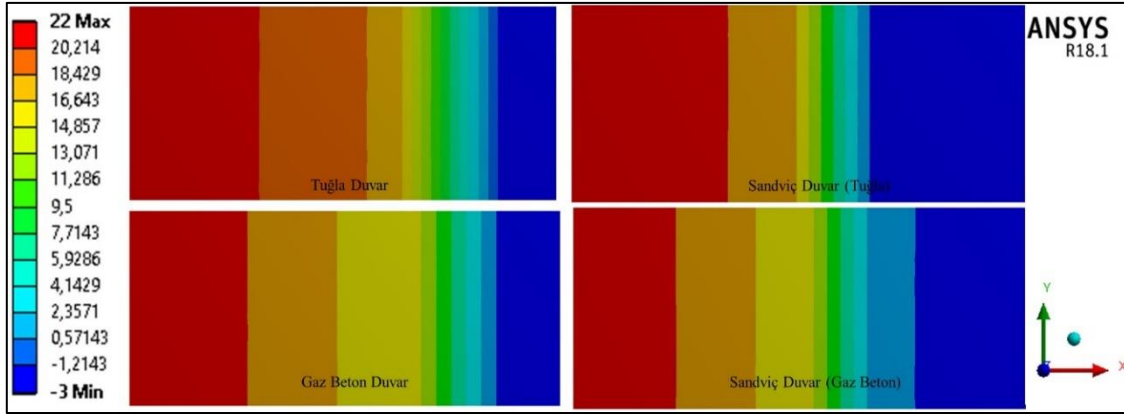
Şekil 3. Farklı duvar modelleri için elde edilen yakıt, yalıtım ve yıllık maliyetleri

Duvar modelleri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'e göre yalıtım kalınlığının en düşük sandviç duvar (gaz beton) duvar modelinde elde edildiği ve en yüksek değer ise tuğla duvar modelinde olduğu; geri ödeme süreleri bakımından tuğla duvar modelinde en düşük olduğu, sandviç duvar (gaz beton) duvar modelinde yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Duvar modelleri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi

Duvar modeli	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Tuğla duvar modeli	0.64	2.1
Gaz beton duvar modeli	0.52	3.7
Sandviç duvar (Tuğla) modeli	0.57	4.8
Sandviç duvar (Gaz beton) modeli	0.46	5.4

Optimum yalıtım kalınlıkları belirlendikten sonra bu yalıtım malzemesi ve duvar modelleri için termal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Ankara iline ait ocak ayı verilerine göre iç ve dış ortam sıcaklıkları sırasıyla 22 °C ve -3°C olduğu belirlenmiştir [27]. Şekil 4'te duvar modelleri için sıcaklık dağılım konturlarının değişimleri verilmiştir.



Şekil 4. Farklı yalıtım kalınlığına sahip duvar modellerinin sıcaklık konturları

Sıcaklık konturları incelendiğinde dış ve iç sıva tarafındaki sıcaklık farkı olduğu görülmüştür. İç ortam sıcaklık değişimi bakımından incelendiğinde en iyi sonucun sandviç duvar (gaz beton) modelinde yaklaşık $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken, iç ortam sıcaklık değişimi en kötü yaklaşık $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile tuğla duvar modelinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ile analizlerden elde edilen sıcaklık dağılımları birbiriyle örtüşmektedir. Sandviç duvar (gaz beton) modelinde diğer duvar modellerine göre ısı kaybı daha az olduğu gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda ısı kayıpları incelendiğinde en düşük ısı kaybının sandviç duvar (gaz beton) modelinde en yüksek ısı kaybının tuğla duvar modelinde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda tuğla, gaz beton, sandviç duvar (tuğla) ve sandviç duvar (gaz beton) duvar modellerinde birim alan için ısı kaybı değerleri sırasıyla 7190 W/m^2 , 4800 W/m^2 , 4660 W/m^2 ve 3300 W/m^2 olarak bulunmuştur.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir binanın dış duvar modelleri için 3D tasarımlar yapılarak, hesaplamalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 4 farklı duvar modelleri için termal davranışları irdelenmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen sıcaklık ve ısı kaybı verileri ve hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi optimum yalıtım kalınlığı sandviç duvar (gaz beton) modelinde 0.46 m olurken, optimum yalıtım kalınlığı en kötü 0.64 m ile tuğla duvar modelinde gözlemlenmiştir. Ayrıca birim alan için ısı kaybı değerleri bakımından en iyi ve en kötü sonucun sırasıyla sandviç duvar (gaz beton) ve tuğla duvar modellerinde 7190 W/m^2 ve 3300 W/m^2 olarak bulunmuştur. İç ortam sıcaklık değişimi bakımından incelendiğinde en iyi sonucun sandviç duvar (gaz beton) modelinde yaklaşık $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken, iç ortam sıcaklık değişimi en kötü yaklaşık $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile tuğla duvar modelinde olduğu gözlemlenmiştir. Analizler ve yapılan hesaplamalar sonucunda sandviç duvar modelinde daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile hesaplamaların yanında duvar modellerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapılarak literatüre katkı sağlamaktadır. Binalarda yalıtım yapılmasının yalıtım ve yakıt maliyetleri toplam ısıtma maliyetini etkileyen en önemli faktörlerdir. Yalıtım kalınlığının artması ile ısı kaybı azalır. Fakat gereksiz ve fazla yalıtım kalınlığı yalıtım maliyetini artırır. Bu yüzden yalıtım maliyeti artarsa toplam maliyet artar. Yalıtım kalınlığı belirlenirken optimum yalıtım kalınlığının önemi ve maliyet üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Karadayı, T. T. ve Yüksek, İ. (2016). Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma. *Tesisat Dergisi*, 242, 90-102.
- [2] Kaynaklı, A. G. Ö. ve Yamankaradeniz, R. (2007). Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VII. *Ulusal Tesisat Müh. Kongresi*, 187-195.
- [3] Ogulata R.G. (2002). Sectoral energy consumption in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 471-480.
- [4] Kaygusuz, K. ve Kaygusuz, A. (2004). Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use. *Energy Sources* 26, 1071-1082.
- [5] Demirbaş, A. (2001). Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey. *Energy Conversion and Management* 42, 1239-1258.
- [6] Bektaş, V. Çerçevik, A. E. Kandemir, S. Y. (2017). Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 36-42.

- [7] Soğukoğlu, M. ve Vatan, M. (2014). Mevcut betonarme konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması için mimari çözüm önerileri. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 21, 13-22.
- [8] Kibici, İ. (2006). Bina yöneticileri. *İzodergi*, 118, 60-62.
- [9] Kozak, M. ve Kozak, Ş. (2005). Su ve Isı yalıtımının Yapılarda Emniyet ve Ekonomi Açısından Önemi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 5(1), 38-47.
- [10] Topçuoğlu, K. (2017). Yalıtım Teknolojisi, 2. basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- [11] Özel, M. ve Şengür, S. (2012). Farklı yalıtım türü ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 132, 5-11.
- [12] Özer, N. Özgünler, S. A. (2019). Yapılarda Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Duvar Kesitleri Üzerinde Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 25-48.
- [13] Gürel, A. E., Cingiz, Z. (2011). Farklı dış duvar yapıları için optimum ısı yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 15(1), 75-81.
- [14] Kandemir, Y. Bektaş, S. Açıkkalp, E. (2019). Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 275-288.
- [15] Öztuna, S. Dereli, E. (2009). Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 139-147.
- [16] Kürekci, N. Bayrakçı, A. T. Çubuk, M. Emanet, Ö. (2012). Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı. *Tesisat mühendisliği*, 131, 5-21.
- [17] Ertürk, M. (2016). Bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kullanımının, birim alandaki enerji tasarrufu ve kişi başı emisyon hesaplamalarında yeni bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 395-406.
- [18] Yu, J. Yang, C. Tian, L. Liao, D. (2009). A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, *Applied Energy*, 86, 2520-2529.
- [19] Gölcü, M. Dombaycı, A. Ö. Abalı, S. (2006). Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 639-644.
- [20] Yavuz Ç. Yetkin S. El E. (2017). Dıştan Farklı Yalıtım Malzemeleriyle Kaplı Bir Duvar Modelinin Isıl Analizi. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis)*.
- [21] Uçar, A. ve Balo, F. (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*, 35(1), 88-94.
- [22] Liu, X. Chen, Y. Ge, H. Fazio, P. Chen, G. (2015). Determination of optimum insulation thickness of exterior wall with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. *Procedia Engineering*, 121, 1008-1015.
- [23] Aktemur, C. ve Atikol, U. (2017). Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials, Energy Sources and Climate Regions, *International Journal of Engineering Technologies*, 3(2) 72-82.
- [24] TS 825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [25] Sezer, F. Ş. (2005). Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10, 2-8.
- [26] Hasan A. (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy*, 63, 115-124.
- [27] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *Ankara ili için Isıtma derece-gün değeri ve soğutma derece-gün değeri*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=merkez&m=06-00&y=2023&a=01>