



ALÜMİNYUM DOĞRAMA SİSTEMİNDE ISI BARIYERİ VE YALITIM MALZEMESİ ÖZELLİKLERİNİN ISIL PERFORMANSA ETKİSİ

Damla YILDIRIM MUTLU^{1*}, Yiğit GÜLLER², Eren BOYACI³

^{1,2,3}: Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye.

Özet

Bu çalışmada, Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sisteminin ısı iletim performansını artırmaya yönelik en iyileme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yöntemsel çerçeve olarak sonlu elemanlar metodu kullanılarak bilgisayar tabanlı Flixo yazılımında TS EN ISO 10077-2 standardına göre analizler yapılmıştır. İlk analizde, alüminyum malzemede ısı iletimini azaltmak amacıyla kullanılan ısı bariyerleri arasındaki boşluklar; fenolik köpük, poliüretan köpük, polietilen köpük ve aerojel ile doldurulmuştur. Bu yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları incelenmiştir. İkinci analiz aşamasında ise, ısı bariyerlerinin genişlik ve malzeme değişikliklerinin ısı iletkenlik üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, analizlerden elde edilen veriler sayesinde en iyi performansı sağlayan ısı bariyeri genişliği, ısı bariyeri malzemesi ve ısı bariyerleri arasındaki boşluklara yerleştirilen yalıtım malzemesi kombinasyonunu belirleyerek profilin ısı geçirgenlik değerini iyileştirmek ve pasif ev standartlarına uygun hale getirmektir. Elde edilen sonuçlar, alüminyum profilin ısı geçirgenlik değerini iyileştirmek için birden fazla değişkenin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Analizler sonucunda, en iyi ısı geçirgenlik değeri 0.87 W/m².K olarak elde edilmiştir. Bu değeri sağlayan en uygun kombinasyon, 54 mm genişliğindeki “%25 cam elyafı ile güçlendirilen düşük ısı iletkenliğine sahip poliamid (LLPA66 GF25)” malzemeden üretilen ısı bariyerleri arasına yerleştirilmiş aerojel yalıtım malzemesi olmuştur. Bu değer DS90 alüminyum doğrama sisteminin pasif ev sertifikası standartlarına uyumlu olduğunu göstermektedir. Çalışmanın kapsamı DS90 doğrama sistemi olarak sınırlandırılarak ısı performans özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonraki çalışmalar için DS90 doğrama sisteminin, yapı düzeyinde ısı performans etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pencere doğraması, Isı iletkenliği, Isı bariyeri, Yalıtım malzemeleri, Pasif ev, Flixo.

EFFECT OF THERMAL BARRIER AND INSULATION MATERIAL PROPERTIES ON THERMAL PERFORMANCE IN ALUMINUM FENESTRATION

Abstract

In this study, optimization studies were carried out to increase the thermal conductivity performance of the DS90 aluminum fenestration system designed by Çuhadaroğlu Metal

Sanayi ve Pazarlama A.Ş. Using the finite element method as a methodological framework, analyses were performed in the computer-based Flixo software according to the TS EN ISO 10077-2 standard. In the first analysis, the gaps between the thermal barriers used to reduce thermal conduction in the aluminum material were filled with phenolic foam, polyurethane foam, polyethylene foam and aerogel. The thermal conduction coefficients of these insulation materials were examined. In the second analysis stage, the effects of the width and material changes of the thermal barriers on the thermal conductivity were analyzed. The aim of the study is to determine the combination of the thermal barrier width, thermal barrier material and insulation material placed in the gaps between the thermal barriers that provides the best performance thanks to the data obtained from the analyses, to improve the thermal conductivity value of the profile and to make it compatible with passive house standards. The results obtained showed that more than one variable should be taken into consideration to improve the thermal conductivity value of the aluminum profile. As a result of the analysis, the best thermal conductivity value was obtained as 0.87 W/m².K. The most suitable combination providing this value was the aerogel insulation material placed between the thermal barriers made of 54 mm wide “25% glass fiber reinforced low thermal conductivity polyamide (LLPA66 GF25)” material. This value shows that the DS90 aluminum fenestration system complies with the passive house certification standards. The scope of the study was limited to the DS90 fenestration system and the changes in the thermal performance properties were examined. For subsequent studies, it is recommended to examine the effects of the DS90 fenestration system on thermal performance at the building level.

Keywords: Window joinery, Thermal conductivity, Thermal barrier, Insulation materials, Passive house, Flixo.

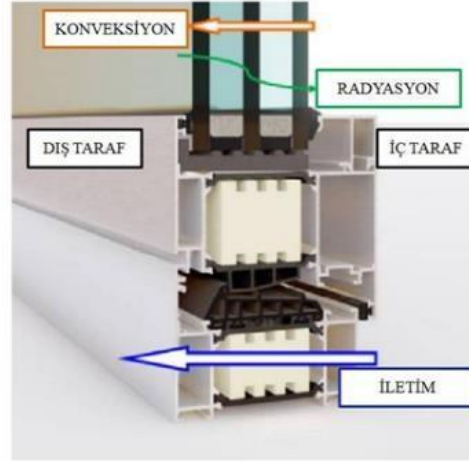
1. GİRİŞ

Enerji korunumunda yalıtım, etkin ve ekonomik önlemlerin başında gelmektedir. Isı yalıtım sistemlerinin performansları, yalıtımda kullanılan malzeme seçimi ve uygulama sistemi ile doğrudan ilgilidir (Bayer, 2006). Yapılarda kullanılan pencerelerin doğramaları ve camları kullanıldıkları binada %40’a varan ısı kayıplarına yol açmaktadır (Paulos ve Berardi, 2020). Camdan iletilen radyasyonun yanı sıra standart bir penceredeki enerji kaybı, cam boşluğu içinde ısının konveksiyon yoluyla iletilmesinden ve hava sızıntısından kaynaklanabilmektedir. Büyük cam boşlukları içerisinde bulunan hava, iç cam tarafından ısıtılır ve ısınan hava yükselerek soğuk hava ile değişir. Böylece ısıyı iç panelden dış panele aktaran bir konveksiyonel akım oluşur. Isı, pencere doğramasından iletilir ve iletim hızı, doğrama malzemesine bağlıdır. Doğrama kalınlığını ve doğramadaki boşlukları artırma, alüminyum doğramaların ısıl performansını artırmada uygulanan bazı yöntemlerden olmakla birlikte doğrama boşluklarının termal yalıtım malzemeleriyle doldurulması da ısı kaybını önlemenin yollarından biridir (Santos ve ark. 2019).

Isı geçişi, sıcaklık farkı nedeniyle bir bölgeden diğerine enerji aktarımı olarak tanımlanır. Bu aktarım süreci, üç temel mekanizma ile gerçekleşir: iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon). İletim, bir malzemenin daha sıcak bölgesinden daha soğuk bölgesine enerji aktarımıdır. Bu süreç, moleküller ve atomlar arasındaki enerji transferine dayanır ve genellikle katı maddelerde görülür. İletim, malzemenin termal iletkenliğine bağlıdır ve enerjinin doğrudan aktarımı ile gerçekleşir. Taşınım, akışkanların

(sıvı veya gaz) hareketiyle enerji aktarımını ifade eder. Bu mekanizma, hem doğal taşınım (yoğunluk farkları nedeniyle oluşan akış) hem de zorlanmış taşınım (dış bir kuvvet, örneğin bir pompa veya fan ile sağlanan akış) şeklinde gerçekleşebilir. Işınım, elektromanyetik dalgalar aracılığıyla enerji aktarımıdır ve bir ortam gerektirmez. Tüm yüzeyler, sıcaklıkları mutlak sıfırın üzerinde olduğunda termal radyasyon yayar (Çengel ve Ghajar, 2014).

DS90 alüminyum doğrama sistemi üzerine yapılan bu çalışmada, özellikle sistemin enerji performansını etkileyen iletim ve taşınım süreçleri detaylı olarak analiz edilmiş ve sistemin ısı kayıplarını minimize ederek enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir bina sistemleri için daha etkin çözümler geliştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. DS90 Alüminyum Doğrama Sistemi ile Isı Transferi.

Dünyada en çok kullanılan enerji kaynakları fosil yakıtlardır. Binaların iç ortamında istenilen iç sıcaklığı sağlamak için, gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan enerji ise iç ortama ısıtma sistemleri tarafından verilir. Bu durum, ek enerji tüketiminin artmasına neden olabilir (Gökçen, 2019). Kaynak rezervlerinin tükenmesi sebebiyle inşaat sektörü başta olmak üzere birçok farklı sektörde enerji korunumu üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Enerji kayıplarının en fazla yaşandığı sistemlerden biri binaların dış cephe kaplama sistemleridir. Literatürde, pencerelerin neden olduğu ısı kayıpları, cam ünitelerin kapladığı alanın genişliği ve toplam ısıl iletkenlik katsayısının yüksekliği ile ilişkilendirilmiştir. Dış cephe sektöründe doğrama malzemesi olarak alüminyum sıklıkla tercih edilmektedir. Alüminyumun yüksek ısı geçirgenliği nedeniyle, bu malzemenin enerji tasarrufu üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Lechowska, 2016; Cuce, 2018). Alüminyum doğrama malzemelerinin yüksek ısı geçirgenliği, binalarda enerji kaybına neden olan temel etkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir enerji kullanımına yönelik hedeflerle uyumlu olmayan bir sorun yaratmakta ve enerji verimliliği açısından dezavantajlar oluşturmaktadır. Bu bağlamda, alüminyumun ısı geçirgenliğini azaltmaya yönelik iyileştirme çalışmaları hem enerji tasarrufu sağlama hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada ele alınan problem, alüminyum doğrama sistemlerinde meydana gelen yüksek ısı kayıplarından dolayı enerji verimliliğine yönelik iyileştirme ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sisteminin ısıl geçirgenliğini düşürmek hedeflenmiştir.

Isı yalıtımı sağlanabilmesi için farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak amacıyla ısıl köprü oluşumunun engellenmesi gereklidir. Kışın iç ortamları sıcak hale getirmek, yazın da serin hale getirmek için harcanan enerjiyi ve maliyeti azaltmak

hedeflenir. 1997 yılında küresel ısınma ve iklim değişikliğine meydan okumak amacıyla tüm dünyada Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Kyoto Protokolü 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Burada amaç, atmosfere karbondioksit salınımını ve enerji tüketimini azaltmaktır. 2002 yılında, Kyoto Protokolü'nden esinlenerek binaların enerji performansına ilişkin Avrupa Birliği (AB) direktifi “Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği’ni (EPBD)” yayınlanmış ve 2010 yılında yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca yayınlanan direktifte “Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB)” projesinin önemi vurgulanmıştır. NSEB, sıfır veya çok düşük enerji tüketen binalar olarak tanımlanmaktadır. Buna göre AB üyesi ülkelerde yapılacak tüm binaların 31 Aralık 2020 tarihinden itibaren “Sıfır Enerji” olarak inşa edilmesi öngörülmüştür (Breidenich ve ark., 2017).

1988 yılında Almanya’daki bilim insanları tarafından pasif ev standardı hazırlanmıştır. Pasif ev, sadece bir enerji standardı değil, en üst düzey konfor sağlayan entegre bir enerji performansı konseptidir. Normal yapılara göre bu konsept ile birlikte %90 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Pasif evlerde, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji metrekarede en çok 15(kWh) kilowatt saattir. 2019 yılından itibaren AB ülkeleri, tüm binaların pasif ev standardına uygun olması için gerekli kanun, yönetmelik ve standartların üzerinde çalışmaktadır (Lombard ve ark. 2007). Pasif ev kriterlerini sağlayabilmek için yapı bileşeni ısı iletkenlik katsayısı (U-değerleri) Tablo 1’de gösterilmiştir. Belirtilen kriterler yapının bulunduğu iklim bölgesine göre farklılıklar göstermektedir (Aşıkoğlu, 2022).

Tablo 1. Pasif ev standardına göre pencerelere ait U-değerleri (Aşıkoğlu, 2022).

Pasif Ev Planlama Paketine Göre İklim Bölgesi	Pencereler (Tüm Sistem) Maksimum ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) W/m ² .K
Arktik	0.45
Soğuk	0.65
Soğuk - ılıman	0.85
Sıcak - ılıman	1.05
İlman	1.25
Sıcak	1.25
Çok sıcak	1.05

Pasif Ev kriterlerine uygun olarak Pasif Ev sertifikası olan farklı bölgelerde bulunan bazı yapılara ait pencere U-değerleri Tablo 2’de listelenmiştir. Pasif Ev sertifikası için öncelikle, yapının bulunduğu iklim bölgesi verisi dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, her ülkenin kendi iklim bölgesine uygun kriterler doğrultusunda mimari çözüm üretmesi beklenmektedir (Aşıkoğlu, 2022).

Tablo 2. Pasif ev sertifikası almış bazı yapılar (Aşıkoğlu, 2022).

Yapının Konumu	Kullanım Türü	Pencere U değeri W/m ² .K
Frankfurt, Almanya	Apartman	0.87
Westport, ABD	Müstakil Konut	0.89
Branderburg, Almanya	Apartman	0.914
Alsace, Fransa	Ofis	0.94
Londra, İngiltere	Müstakil Konut	1.06

Türkiye’de, ısı yalıtımı konusunda çalışmalarla ilgili ilk yönetmelik 1970 yılında TSE tarafından “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” olarak çıkarılmıştır (Sezer, 2005). Türkiye’de, binalarda enerji performansı yönetmeliğinde bazı değişiklikler yapılarak güncel yönetmelik 19 Şubat 2022 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Güncellenen yönetmeliğe “Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) yüksek enerji performansına ve aynı zamanda belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip olan bina” tanımı eklenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Pencere, kapı ve panjurların ısı iletim hesapları için TS EN ISO 10077-2 (URL1) standardı esas alınmaktadır (Özüpak, 2008).

Bu çalışmanın temel amacı, Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sistemine ait en iyi ısı performansını sağlayan ısı bariyeri genişliği, ısı bariyeri malzemesi ve ısı bariyerleri arasındaki boşluklara yerleştirilen yalıtım malzemesi kombinasyonunu belirlemektir. Bu doğrultuda, binaların dış cephelerinde, pencerelerinde, camlarında, doğramalarında, çatılarında, döşemelerinde ve iletim tesisatlarında meydana gelen ısı geçişini azaltarak konforlu yaşam koşullarının sağlanması ve pasif ev standartlarına uygun hale gelmesi hedeflenmiştir. Performans analizleri, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar tabanlı Flixo yazılımında TS EN ISO 10077-2 standardına göre yapılmıştır. İlk analizde, alüminyum malzemede ısı iletimini azaltmak amacıyla kullanılan ısı bariyerleri arasındaki boşluklar; fenolik köpük, poliüretan köpük, polietilen köpük ve arojel ile doldurulmuştur. Bu yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlikleri incelenmiştir. İkinci analiz aşamasında ise, ısı bariyerlerinin malzemeleri ve genişlikleri değiştirilerek ısı iletim katsayıları incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen veriler sayesinde en yüksek verimi sunan malzemeler ve genişlik değeri ile yeni simülasyon yapılarak en verimli ısı iletkenlik değeri elde edilmiştir. Simülasyonlardaki ısı bariyerleri arasındaki boşluklar ve ısı bariyerleri değişkenlerinin DS90 alüminyum doğrama sistemi üzerinde gösterimi Tablo 3’te gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında simülasyonlarda kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları ise Tablo 4’te listelenmiştir. Değerler, üretici teknik belgelerinden ve TS EN ISO 10077-2 standardında belirtilen girdilere göre elde edilmiştir (Paulos ve Berardi, 2020).

Tablo 3. Simülasyonlardaki değişkenlerin DS90 alüminyum doğrama sistemi üzerinde gösterimi

Çuhadaroğlu Metal San. DS90 Alüminyum Doğrama Sistemi	Değişkenler		
	No:1	No:2	No:3
	Isı Bariyerleri Arasındaki Boşluk	Isı Bariyeri Malzemesi	Isı Bariyeri Genişlik
	Poliüretan Köpük	Poliamid (PA66 GF25)	34 mm
	Polietilen Köpük	Düşük ısı iletkenliğine sahip poliamid (LLPA66 25)	44 mm
	Fenol Köpük Aerojel		54 mm

Tablo 4. Simülasyonlarda kullanılan malzemelerin oda sıcaklığındaki ısı iletim katsayıları (Paulos ve Berardi, 2020; Arslan ve Aktaş, 2018; Coşkun, 2019).

Grup	Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/m.K)
Çerçeve	Alüminyum	160
	Poliamid	0.170 - 0.250
Sızdırmazlık	EPDM	0.250
	EPDM Köpük (Elastomerik)	0.030
Yalıtım	Poliüretan Köpük	0.020 - 0.029
	Aerojel	0.012 - 0.020
	Fenolik Köpük	0.018 - 0.032
	Polietilen Köpük	0.035 - 0.040

Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sistemi için farklı genişlik ve malzemelerden oluşan ısı bariyerlerinin, çeşitli yalıtım malzemeleri ile yapılan analizlerle karşılaştırılması, elde edilen veriler sayesinde en yüksek performansı sağlayan ısı bariyeri genişliği, malzemesi ve yalıtım malzemesi kombinasyonunun belirlenmesi; simülasyon çalışmalarının dijital ortamda sonlu elemanlar metodu ile Flixo yazılımında yapılması bu çalışmanın özgünlüğünü ve literatüre katkısını vurgulamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mimari sistemlerin planlama ve tasarım aşamasında, ısı geçirgenlik açısından zayıf noktaların önceden tespit edilebilmesi için sonlu eleman analiz programları kullanılmaktadır. Böylelikle, tasarım aşamasında ısı performansı iyileştirebilmek mümkündür. Hesaplama ve uygulama süreçlerinde TS EN ISO 10077-2 standardına uygunluk sağlamak için, öncelikle hesaplama sürecinde sınır koşulları doğru tanımlanmalı, malzeme özellikleri ve geometrik ölçüler dikkatle belirlenmelidir. Isıl iletim katsayısı (U) ve ısı iletkenlik değerlerinin (λ) doğru bir şekilde hesaplanması, analizlerde kullanılan yalıtım malzemelerinin termal iletkenlik değerlerinin standartlara uygun olması gereklidir. Uygulama sürecinde ise, bileşenlerin iki boyutlu kesitleri, Flixo gibi sonlu elemanlar yöntemi kullanan yazılımlarla analiz edilerek ısı köprülerinin tespiti yapılmalı ve ısı köprülerinin önlenmesine yönelik tasarım değişiklikleri uygulanmalıdır. Ayrıca, yalıtım bariyerlerinin genişliklerinin artırılması, düşük termal iletkenliğe sahip malzemelerin kullanılması ve bariyer boşluklarının uygun yalıtım malzemeleri ile doldurulması enerji kayıplarını azaltmak açısından kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar analizlerinde Flixo yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, bileşen ve cephe kesitlerinin termal-nem analizini üretir. Ayrıca, doğramaların ısı iletim katsayısı (U) ve ısı iletkenlik değerlerini (λ) hesaplar. Flixo programı, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak sınır limitleri temelinde iki boyutlu bileşen düğümlerini analiz eder (Vicedo, 2013). Tablo 5, Flixo yazılımında ısı köprüleri hesaplamak için kabul edilen sınır limitlerini göstermektedir.

Tablo 5. Sınır limitleri (Vicedo, 2013).

Tip	Sıcaklık °C	İç/Dış yüzey Isıl Direnç	Standart
Dış, normal	0	0.04	ISO 6947
Dış, havalandırmalı	0	0.13	ISO 6946
İç, normal, yatay	20	0.13	ISO 6947
İç mekan, ısı akışı, yukarı doğru	20	0.1	ISO 6946
İç mekan, ısı akışı, aşağı doğru	20	0.17	ISO 6946
Isıtılmamış oda	0	0.13	Flaman EPB
Adyabatik	—	—	—

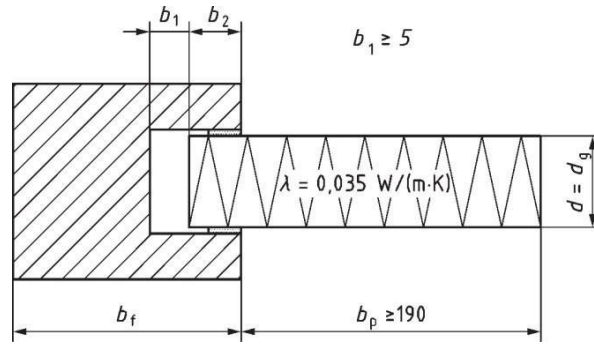
Flixo yazılımı sayesinde ısı köprüleri, planlama aşamasında tespit edilebilir ve tasarımda değişiklikler yapılarak ısı köprüleri ortadan kaldırılabilir (URL2). Böylece, hem yapısal hasarların önüne geçilebilir hem de ısınma enerjisinden tasarruf sağlanabilir. Flixo analiz programında, alüminyum pencere doğramaları için TS EN ISO 10077-2 standardına göre hava boşluklarının ısı iletkenliği otomatik olarak hesaplanmaktadır (Altınışık, 2006).

Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği, ısı iletim katsayısının değeridir. ISO (Uluslararası Standartlar Örgütü) ve CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi)'ne göre ısı iletim katsayısı 0.06 W/m.K değerinden küçük olan malzemeler, ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Isı iletim katsayısı sembolü lambda (λ), birimi W/m.K'dir. Bu birim, bir malzemenin birbirine dik ve bir metre mesafedeki bir m²'lik iki yüzeyi arasında

sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim zamanda geçen ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır (Altınışık, 2006).

Mimari sistemin ısı hesabında dikkat edilmesi gereken ölçüler, TS EN ISO 10077-2 standartlarına göre Şekil 2’de gösterilmiştir. Çerçeve genişliği b_f , panel genişliği b_p , cam kalınlığı d_g olarak ifade edilmiştir. Doğrama bölümünün ısıl geçirgenliğini hesaplamak için;

0.035 W/m.K ısıl iletkenliğe sahip bir yalıtım paneli, mevcut cam ile aynı panel genişliğindeki opak panelin yerini almalıdır. Bu panelin boşluğu en az 5 mm olmalıdır. Yalıtımlı panelin uzunluğu, çerçevenin en fazla çıkıntı yapan kısmından en az 190 mm fazla olmalıdır. Panelin yüzeyi adyabatik bir sınır olarak kabul edilmelidir (TSE, 2017).



Şekil 2. Isı hesabında dikkat edilmesi gereken ölçüler (TSE, 2017).

Isı iletim katsayısının düşürülmesi için doğrama iyileştirmesi ile elde edilen üç strateji bulunmaktadır. Birinci strateji, alüminyum doğrama malzemesinin plan/kesit detayının tasarımı sırasında, doğrama malzemesinin genişliğinin artırılmasıdır. İkinci strateji, alüminyumun ısı iletim katsayısının yüksek olması sebebiyle, ısı iletimini engellemek için kullanılan yalıtım bariyer malzemesinin düşük ısı iletim katsayısına sahip olarak tercih edilmesi ve bariyerin genişliğinin mümkün olduğu kadar fazla tutulmasıdır. Üçüncü strateji ise, havanın pencere içerisinden taşınım etkisini azaltmak için, bariyerlerin arasında yer alan boşlukların düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtım malzemeleri ile doldurulmasıdır (Cengel, 2004; Bossche ve ark. 2015).

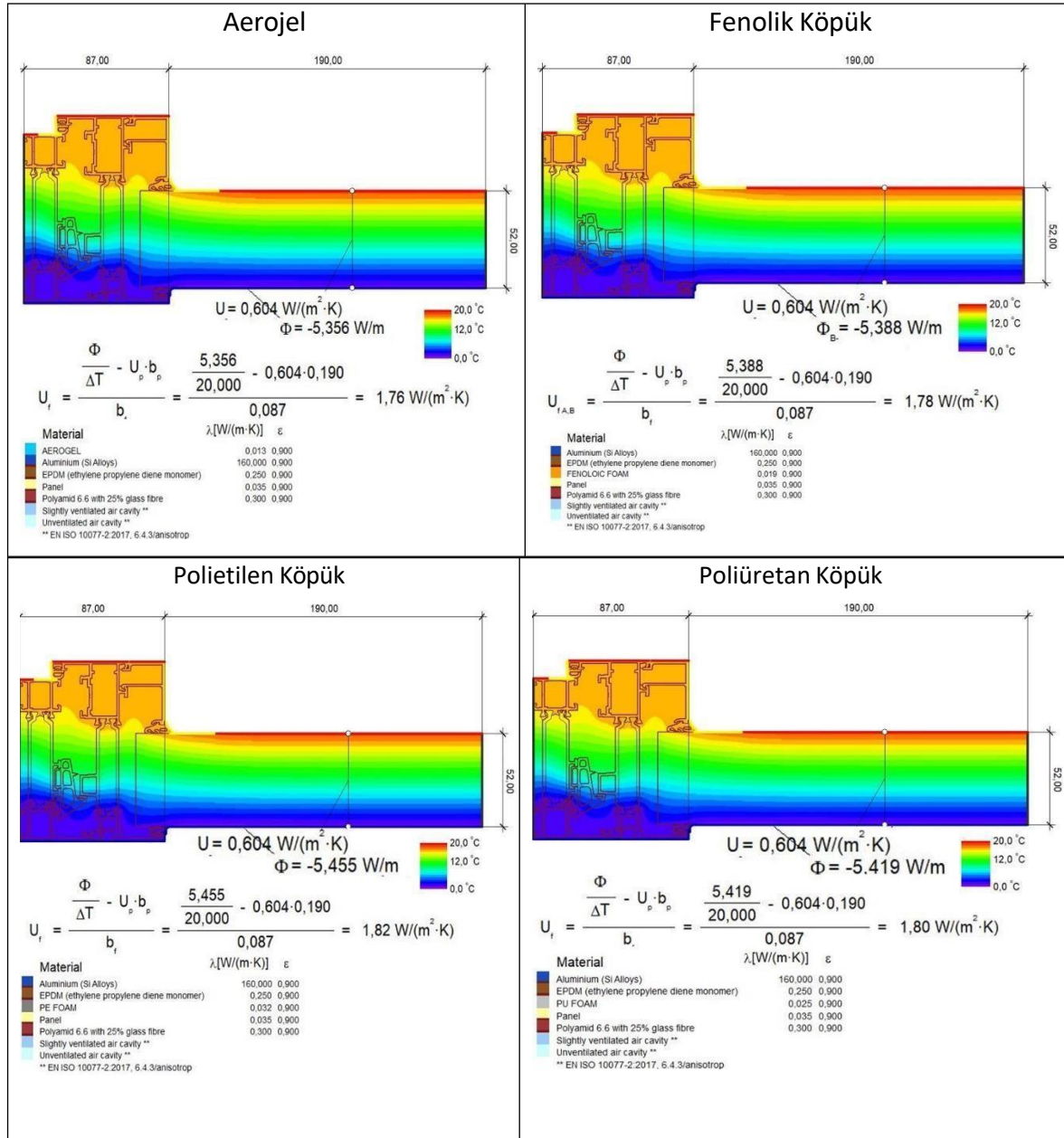
Bu çalışmada, üçüncü strateji temel alınarak yalıtım malzemelerinin ısıl geçirgenlik değerine etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Isı kayıplarındaki en önemli parametre, ısı geçiş katsayısı (U-değeri) değeridir. U değeri, bir yapı bileşeninin birim alan başına (m^2), birim sıcaklık farkı başına (K), birim zamanda (saat), iletilen ısı miktarını (W) ifade eder. U- değerinin büyük olması ısı yalıtım değerinin düşük; U-değerinin küçük olması ise ısı yalıtım değerinin yüksek olması anlamına gelmektedir (Tamer, 2003).

Bu çalışmanın ilk analiz çalışmasında, DS90 alüminyum doğrama sisteminin ısı bariyerleri arasındaki boşluklar; poliüretan köpük, polietilen köpük, fenolik köpük ve arojel yalıtım malzemeleri ile doldurularak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Çalışma kapsamında, yalıtım malzemelerinin etkisini inceleyebilmek için bazı parametreler sabit tutulmuştur. Sabit tutulan parametreler, belirli gerekçeler doğrultusunda seçilmiştir. Isı bariyeri genişliği, Technoform firması tarafından üretilen

standart ürünler arasından belirlenmiştir (URL3). DS90 alüminyum doğrama sisteminde, mimari görünüm açısından en dar genişliğe sahip kasa ve kanat profilleri tercih edilmiştir. Ayrıca, dar kasa ve kanat profilleri içine yerleştirilecek yalıtım panelinin genişliği en büyük boyutta seçilmiştir.

Sabit tutulan parametreler; ısı bariyerinin genişliği (54 mm), yalıtım panelinin genişliği (52 mm), dar kasa ve kanat alüminyum profildir (DS90 sistemi).



Şekil 3. Simülasyon için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi yazılımı olan Flixo'da DS90 sistem kesiti üzerinde farklı yalıtım malzemeleri için yapılan analizler

Sonlu elemanlar metodu prensibiyle Flixo yazılımı kullanılarak dijital ortamda testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Seçilen DS90 alüminyum profilin ısı geçirgenlik değeri olan U_f , Denklem(1)'e göre hesaplanmıştır. Sistem kesitinin ısı geçirgenliğini TS EN ISO 10077-2

standardına göre hesaplamak için, çerçeve kesitinin $W/m^2.K$ cinsinden ısıl geçirgenliği (U_f) Denklem (1)'e göre hazırlanmalıdır (Cannavale ve ark. 2020).

$$U_{f=} = \frac{L_f^{2d} - U_p b_p}{b_f} \quad (1)$$

- U_f : Alüminyum çerçevenin ısıl geçirgenliği ($W/m^2.K$)
- L_f : Çerçevenin ısıl iletkenliği ($W/m.K$)
- U_p : Panelin merkezi alanının ısıl geçirgenliği ($W/m^2.K$)
- b_p : Panel genişliği (m)
- b_f : Çerçeve genişliği (m)

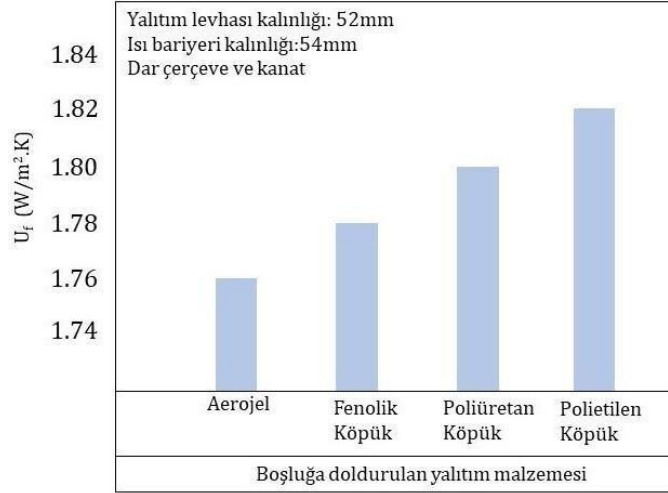
TS EN ISO 10077-2'ye göre, $U_p=0,0035 W/m^2.K$ termal iletkenliğe sahip olduğu varsayılan yedek panelin $W/m^2.K$ cinsinden termal geçirgenliğidir; b_f çerçeve bölümünün metre cinsinden genişliğidir; b_p panelin metre cinsinden görünür genişliğidir. L_f^{2d} kesitin $W/m.K$ cinsinden termal iletkenliğidir ve kesit boyunca birim uzunluk başına toplam ısı akış hızının, her iki komşu ortam arasındaki sıcaklık farkına bölünmesiyle hesaplanır (Cannavale ve ark. 2020). Şekil 3'te elde edilen U_f değerleri, mevcut standartlara uygun olarak, yapıların CAD tabanlı verilerinin girişine, DXF dosyalarının ve yalıtım malzemelerine ait bilgilerin içe aktarılmasına olanak sağlayan Flixo yazılımı kullanılarak, çerçevenin iki boyutlu sonlu elemanlar analizi ile elde edilmiştir.

3. BULGULAR

Alüminyum pencerelerde ısı yalıtımının değerlendirilmesinde, fiziksel deney yöntemlerinin yanı sıra bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi de kullanılabilir. Bu alandaki teknolojik ilerlemeler ve yazılım çözümleri, bilgisayar ortamında kapsamlı analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Flixo yazılımı kullanılarak standartlara uygun şekilde gerçekleştirilen simülasyonlar ile analiz sonuçları elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan ilk analize göre ısı bariyerleri arasındaki boşluklarda kullanılan yalıtım malzemelerinin alüminyum doğramanın ısıl geçirgenlik değerine etkisi Şekil 4'te gösterilmiştir. İlk analiz sonuçları, dört farklı yalıtım malzemesinin ısıl geçirgenlik değerlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Elde edilen verilere göre arojel yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen sonuç $1.76 W/m^2.K$ değeri ile en düşük ısıl geçirgenlik değerine sahiptir. Bu durum analizleri yapılan yalıtım malzemeleri arasından arojelin yalıtım performansının en yüksek olduğunu gösterir. Fenolik köpük, yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen sonuç $1.78 W/m^2.K$ 'dir. Fenolik köpük, arojel yalıtım malzemesine göre %1.14 daha yüksek bir ısıl geçirgenlik değerine sahiptir. Poliüretan köpük, yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen sonuç $1.80 W/m^2.K$ 'dir. Poliüretan köpük, arojel yalıtım malzemesine göre %2.27 daha yüksek bir ısıl geçirgenlik değerine sahiptir. Polietilen köpük, yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen sonuç $1.82 W/m^2.K$ 'dir. Polietilen köpük, arojel yalıtım malzemesine göre %3.41 daha yüksek bir ısıl geçirgenlik değerine sahiptir. Bu sonuçlar, arojel yalıtım malzemesinin diğer malzemelere kıyasla ısıl performans açısından

daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Fenolik köpük, poliüretan köpük ve polietilen köpükler arasında ise ısı iletkenlik farkları düşük olmakla birlikte, her bir malzemenin farklı uygulama alanlarına uygun olduğu değerlendirilebilir. Özellikle aerojelin, düşük ısı iletim katsayısı ile ısı yalıtım gerektiren uygulamalarda öne çıktığı gözlemlenmiştir. Aerojelin düşük ısı iletkenliği, aerojeli ileri düzey enerji verimliliği uygulamaları için ideal kılıkmaktadır.



Şekil 4. Boşluğa doldurulan yalıtım malzemesinin U_f (W/m².K) değerine etkisi

Alüminyum doğramalı pencerelerde ısı geçirgenliği etkileyen önemli parametrelerden diğeri de, alüminyum profilde yalıtım köprüsü olarak kullanılan ısı bariyerleridir. Isı bariyerlerinde en yaygın kullanılan malzeme, %25 cam fiber takviyeli poliamiddir (PA66 GF). Bu malzemenin ısı iletim katsayısı 0.3 W/m.K'dir (Fokaides ve Soteris, 2011). Isı bariyerlerinin üretildikleri malzeme türü ve genişlikleri, ısı geçirgenlik performansını doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. İkinci analiz çalışmasında, ısı bariyerlerinin üretiminde en sık tercih edilen poliamid malzemeler ve ısı bariyerlerinin genişlikleri, ısı iletkenlik değerleri incelenmek üzere seçilmiştir. Seçilen poliamid malzemeler ve genişlikleri Technoform firması tarafından üretilen ısı yalıtım bariyerleridir (URL3). Cam elyafı ile güçlendirilmiş poliamid (PA66 GF25) ve cam elyafı ile güçlendirilmiş düşük ısı iletkenliğine sahip poliamid (LLPA66 GF25) kullanılmıştır. Yalıtım levhasının kalınlığı 52 mm olarak sabit tutulmuş, dar kasa ve kanat kullanılarak analiz boyunca bu parametreler değiştirilmemiştir. Bu sayede, ısı bariyerinin genişlik ve malzeme değişkeninin ısı performans üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. 34mm, 44mm ve 54 mm genişliğe sahip 3 farklı genişlikte ısı bariyerinin kullanıldığı analizde 34 ve 44 mm genişliğindeki ısı bariyerlerinin üretiminde PA66 GF25 malzeme kullanılırken, 54 mm genişliğindeki ısı bariyerleri için sırasıyla PA66 GF25 ve LLPA66 GF25 olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Şekil 5'te ısı bariyerlerinin genişlikleri ve ısı bariyeri üretiminde kullanılan malzemelerin U_f (W/m².K) değerine etkileri gösterilmiştir. Genişlik ve malzeme türünün ısı geçirgenlik performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır.

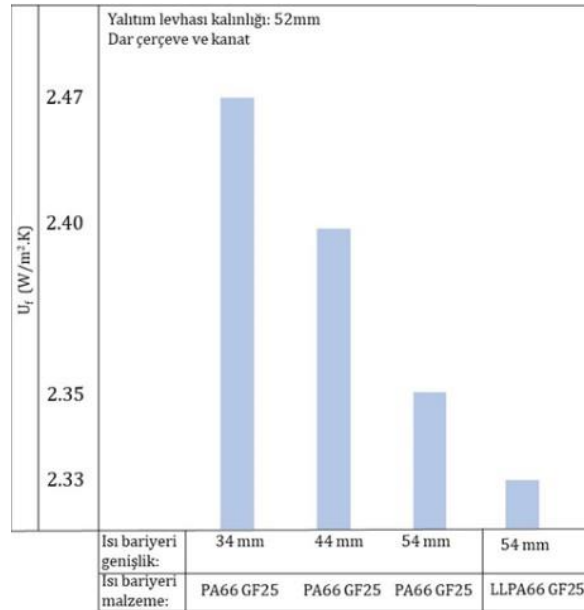
34 mm genişliğindeki ısı bariyeri ve PA66 GF25 malzemesi kullanıldığında ısı iletkenlik değeri 2.47 W/m².K'dir. Genişlik 44 mm olduğunda, ısı iletkenlik değeri %2.83 azalarak 2.40 W/m².K seviyesine düşmüştür. Genişlik 54 mm olduğunda, ısı iletkenlik değeri %4.86 oranında azalarak bu değeri 2.35 W/m².K'dir. Genişlik arttıkça ısı iletkenlik

değerinin düşmesi, malzemenin ısı geçişine karşı daha dirençli hale geldiğini ve daha iyi bir yalıtım sağladığını göstermektedir.

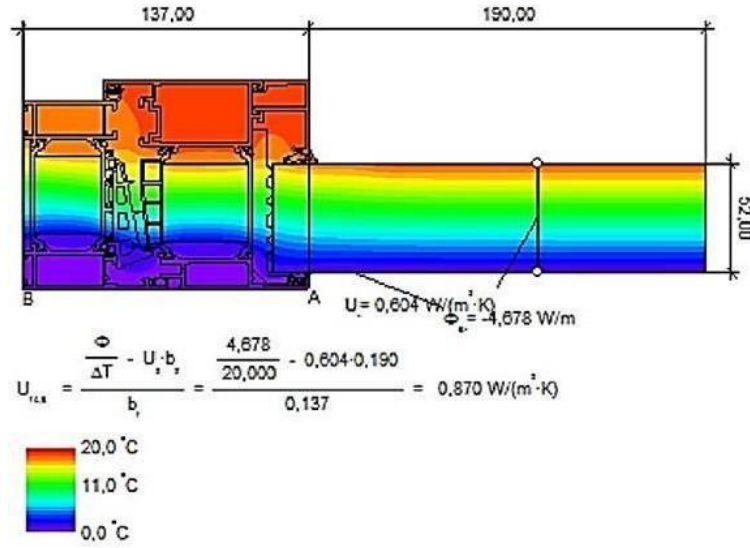
Buna ek olarak, 54 mm genişliğinde ısı bariyeri ve LLPA66 GF25 malzemesi kullanıldığında, ısı iletkenlik değeri $2.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olarak ölçülmüştür. LLPA66 GF25 malzemesinin, aynı genişlikteki PA66 GF25 malzemesine göre ısı iletkenlik değerinde %0.85 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Bu durum, LLPA66 GF25 malzemesinin PA66 GF25 malzemesine göre daha iyi bir ısı yalıtım performansı sunduğunu göstermektedir.

Veriler sonucunda, ısı bariyerlerinin genişlikleri arttıkça ısı yalıtımı konusuna daha verimli oldukları sonucu elde edilirken, LLPA66 GF25 malzemesinin ısı performans açısından PA66 GF25 malzemesine göre daha verimli ısı yalıtımı sağladığı elde edilmiştir. Bu sonuçlar, doğrama sistemlerinde ısı bariyeri malzeme seçimi ve ısı bariyeri genişliklerinin ısı performans açısından önemli olduğunu göstermiştir.

Bu analizlerden elde edilen ısı iletkenlik değerlerine göre en iyi sonuçlar kullanılarak; ısı bariyerleri arasındaki boşlukları doldurmak için arojel yalıtım malzemesi, LLPA66 GF25 malzemeden üretilen 54 mm genişliğinde ısı bariyeri eşliğinde DS90 alüminyum doğrama sisteminde yapılan simülasyon çalışması sonucunda sistemin alüminyum doğramasının ısı geçirgenlik katsayısı $U_f=0,87 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olarak elde edilmiştir (Şekil 6). Bu değer, DS90 alüminyum doğrama sisteminin Tablo 1'e göre pasif ev konsepti standartlarına uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Isı bariyer malzemesi ve bariyer genişliğinin U_f değerine etkisi.



Şekil 6. Pasif ev sertifikasına uyumlu Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sisteminin Flixo analizinin görseli

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak DS90 alüminyum doğrama sisteminde ısı bariyerleri arasındaki boşluklarda 4 farklı yalıtım malzemesi kullanılarak U_f değerlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. İlk analiz sonuçlarına göre arojel yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen sonuç $1.76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ değeri ile en yüksek yalıtım performansına sahiptir.

İkinci analiz çalışmasında, ısı bariyerlerinin üretiminde en sık tercih edilen poliamid malzemeler ve ısı bariyerlerinin genişlikleri, ısı iletkenlik değerleri incelenmek üzere seçilmiştir. İkinci analiz sonuçlarına göre 54 mm genişliğinde ısı bariyeri ve LLPA66 GF25 malzemesi kullanıldığında, ısı iletkenlik değeri $2.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ değeri ile analizdeki en yüksek yalıtım performansına sahiptir.

Yapılan analizlerde en iyi sonuç, ısı bariyerleri arasındaki boşlukları doldurmak için arojel yalıtım malzemesi ve LLPA66 GF25 malzemeden üretilen 54 mm genişliğinde ısı bariyeri kullanılarak elde edilmiştir. Bu bağlamda, DS90 alüminyum doğrama sistemindeki optimizasyon çalışması sonucunda sistemin alüminyum doğramasının ısı iletkenlik katsayısı $U_f = 0,87 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ olarak elde edilmiştir.

Bu değer, Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. tarafından tasarlanan DS90 alüminyum doğrama sisteminin pasif ev sertifikası standartlarına uyumlu olduğunu göstermektedir (Tablo 1). Aynı zamanda T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar” (NSEB) için yapılan ulusal çalışmada belirtilen iklim senaryolarına da uyumlu olduğunu göstermektedir. İklim bölgeleri için temsili şehirler; İzmir, İstanbul, Ankara ve Erzurum olarak seçilmiştir. Senaryolarda iklim bölgesi için belirlenen pencere U değerleri; $U_{\text{pencere}} = 0.90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ve $U_{\text{pencere}} = 2.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ arasındadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Bu sonuçlar, çalışma kapsamında kullanılan analiz yöntemleri (Şekil 6) ve Denklem (1) ile desteklenmiş olup, gelecekte yapılacak benzer çalışmalarda ısı performansını iyileştirmek amacıyla kullanılacak önemli bir referans oluşturmaktadır. Özellikle bina enerji verimliliği alanında yapılacak optimizasyon çalışmalarına ışık tutacak bu bulgular,

sürdürülebilir yapı tasarımına önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın kapsamı, DS90 alüminyum doğrama sistemi ile sınırlandırılmış ve bu sistemin ısı performans özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonraki çalışmalar için DS90 alüminyum doğrama sisteminin, yapı düzeyinde ısı performans etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altınışık, K. (2006). Isı Yalıtımı. Nobel Yayınevi. Basım 1, Yayın no: 954.
- Arslan, M.A., & Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2): 299-320s.
- Aşıkoğlu, A. (2022). Pasif Ev Standartları Doğrultusunda Mevcut Binaların İyileştirilmesi Amaçlı Bir İstatistiksel Yaklaşım Önerisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 40s.
- Bayer, G. (2006). Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 90s.
- Breidenichet, C. (2015). The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change Published by: American Society of International Law. American Society of International Law, vol. 92, no. 2, pp. 315–331.
- Bossche, N., Buffel, L., & Janssens, A. (2015). Thermal optimization of window frames. *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2500–2505 DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.251.
- Cannavale, A., Martellotta, F., Berardi, U., Rubino, C., Liuzzi, S., Carlo, V., & Ayr, U. (2020). Modeling of an Aerogel-Based “Thermal Break” for Super-Insulated Window Frames. *Buildings*.
- Coşkun, M. (2019). Örnek Bir Alüminyum Ekstrüzyon İmalat Tesisinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 89s.
- Cuce, E. (2018). Accurate and Reliable U-Value Assessment of Argon-Filled Double Glazed Windows: A Numerical and Experimental Investigation. *Energy and Buildings*, vol. 171, pp. 100–106. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.04.036.
- Çengel, Y.A. (2004). Heat Transference a Practical Approach. Mac Graw-Hill, vol. 4, no. 9, 874s. Erişim: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). Ankara. Erişim: https://webdosya.csb.gov.tr/db/mesleki hizmetler/icerikler/nseb_rehber--20201117075919.pdf, Erişim Tarihi: 27.08.2024.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Sayı: 31755, Resmi Gazete. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220219-2.htm>, Erişim Tarihi: 27.08.2024.

- Fokaides, P.A., & Soteris A.K. (2011). Application of Infrared Thermography for the Determination of the Overall Heat Transfer Coefficient (U-Value) In Building Envelopes. *Applied Energy* 88.12, 4358-4365.
- Gökçen, G. (2019). Improvement of the Thermal Performance of an Aluminium Window. İzmir Institute of Technology, Master Thesis, İzmir, 70s.
- Lechowska, A. (2016). A CFD study and measurements of double glazing thermal transmittance under downward heat flow conditions, *Energy and Buildings*, vol. 122, pp. 107–119. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.04.023.
- Özüpak, Ö.Ş. (2008). Ticari Binalarda Enerji Performans Kriterlerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 86s.
- Paulos, J., Berardi, U. (2020). Optimizing the thermal performance of window frames through aerogel-enhancements. *Applied Energy* 266, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114776>.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2007). A review on buildings energy consumption in formation, *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398. DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- Santos, Paulo., Gonçalves, M., Martins, Claudio., Soare, Nelson., & Costa, J.J. (2019). Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches. *Journal of Building Engineering* 25: 100776, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100776>
- Sezer, F.Ş. (2005). Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- Tamer, O.M. (2003). Pencere imalatı, Aka Ofset A.Ş., İstanbul.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2017). TS EN ISO 10077-2. Kapılar, pencereler ve panjurların ısı performansları - Isıl iletimin hesaplanması, Ankara.
- Vicedo, J.B. (2013). Analysis of Thermal Bridges. Universitat Politècnica De Valencia, Master Thesis, 93s, Valencia.
- URL1: <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073086109067122089072048089113053047>
- URL2: <https://www.flixo.com/products/flixo-energy/> (Erişim Tarihi: 21.08.2024).
- URL3: https://www.yapikatalogu.com/kapi-ve-kapi-donanimi/isi-yalitim-bariyeri/technoform-bio-polyamid-isi-yalitim-bariyeri_24395 (Erişim Tarihi: 21.08.2024).