



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 27.05.2024
Kabul Tarihi : 17.09.2024

Received Date : 27.05.2024
Accepted Date : 17.09.2024

BİNA ENERJİ PERFORMANSI ARTIRMA UYGULAMALARININ ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISINA ETKİSİ

EFFECT OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE INCREASING APPLICATIONS ON THERMAL TRANSMITTANCE VALUE

Rukiye KOÇKAR TUĞLA¹ (ORCID: 0000-0001-9731-4206)

¹ Kastamonu Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Kastamonu, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Rukiye KOÇKAR TUĞLA, rkockar@kastamonu.edu.tr

ÖZET

Enerji korunumunun önemli olduğu günümüzde, yapıların enerji tüketim sınıfını belirlemek, enerji performansını artırmak, minimum enerji tüketimiyle yapılarda maksimum enerji verimliliği sağlamak amacıyla yalıtım uygulamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada; bir kamu binasına uygulanan yalıtım incelenmiş, yalıtımın binanın ısı performansına etkisi deneysel ve analitik metotlarla kıyaslanarak analiz edilmiştir. Çalışmada, termal kameraların kullanıldığı kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi kullanılmış ve bu yöntemle binanın farklı yalıtım özelliğine sahip üç cephesi incelenmiştir. İncelenen cephelerden termal kameralar vasıtasıyla ısı görüntüleri alınmış; bu ısı görüntülerinin analizi sonucu duvarların mevcut ısı geçirgenlik katsayısı ($U_{KIZILÖTESİ}$, W/m^2K) belirlenmiştir. Ayrıca bina cephesini oluşturan malzemelerin kalınlıkları ve TS 825'deki ısı iletkenlik hesap değerleri (λ_{TS825}) kullanılarak duvarların ısı geçirgenlik katsayısı (U_{TS825}) analitik olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; deneysel verilerle belirlenen $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri, analitik yöntemle belirlenen U_{TS825} değerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuca göre duvarların mevcut ısı performansı, analitik olarak belirlenen (bina enerji kimlik belgesinde de yazılan) ısı performansından daha düşüktür. Yalıtım uygulaması yapıldıktan sonra duvarların hem $U_{KIZILÖTESİ}$ hem de U_{TS825} değerinin azaldığı görülmüştür. Deneysel ve analitik verilere göre yalıtımın binanın ısı performansına etkisi olumlu olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji performansı, ısı geçirgenlik katsayısı, kızılötesi ısı görüntüleme, bina duvarları, yalıtım

ABSTRACT

Today, when energy conservation is important, insulation applications are made to determine the energy consumption class of buildings, to increase energy performance, and to provide maximum energy efficiency in buildings with minimum energy consumption. In this study, the insulation applied to a public building is investigated, and the effect of insulation on the thermal performance of the building is analysed by comparing experimental and analytical methods. The study used the infrared thermal imaging method using thermal cameras, and three facades of the building with different insulation properties were examined with this method. Thermal images were taken from the examined facades using thermal cameras; as a result of the analysis of these thermal images, the current thermal transmittance value of the walls ($U_{INFRARED}$, W/m^2K) was determined. In addition, the thermal transmittance value of the walls (U_{TS825}) was analytically calculated using the thicknesses of the building wall materials and the thermal conductivity in TS 825 (λ_{TS825}). As a result, the $U_{INFRARED}$ value determined by experimental data was higher than the U_{TS825} value determined by the analytical method. According to this result, the current thermal performance of the walls is lower than the analytically determined thermal performance (also written in the building energy identity certificate). After the insulation application, it was observed that both the $U_{INFRARED}$ and U_{TS825} values of the walls decreased. According to the experimental and analytical data, the effect of insulation on the thermal performance of the building was positive.

Keywords: Energy efficiency, thermal transmittance value, infrared thermography, building walls, insulation

ToCite: KOÇKAR TUĞLA, R., (2024). BİNA ENERJİ PERFORMANSI ARTIRMA UYGULAMALARININ ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISINA ETKİSİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 1490-1500.

GİRİŞ

Enerji birçok alanda olduğu gibi yapılarda da oldukça fazla kullanılmaktadır. Yapılarda enerji en fazla ısıtma/soğut sistemlerinde tüketilmektedir (DOE, 2012). Yapıların enerji tüketimini azaltmak ve enerji performansını artırmak amacıyla birçok uygulama yapılmaktadır. Bu uygulamalardan en yaygın olanı ise yapı cephesinin tamamını ısı yalıtım malzemesi ile kaplamaktır. Yapının yalıtımsız ve yalıtımlı haldeki enerji performansının belirlenmesinde kullanılan temel ısı parametresi ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri, W/m^2K)'dır (Park, vd. 2023; Ficco vd. 2015). Bir binanın gerçek ısı performansının belirlenmesi U değerinin doğruluğu ile yakından ilişkilidir (Park, vd. 2023). Bir yapı elemanının U değerini belirlemek için yapı elemanını oluşturan malzemelerin kalınlığının ve ısı iletkenlik hesap değerinin (λ , W/mK) bilinmesi gerekmektedir (TS 825, 2013).

Günümüzde mevcut yapı duvarlarının ısı geçirgenlik katsayısını (U -değeri) belirlemek için duvarlarda kullanılan malzeme bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Malzemelere ait bilgiler yapı projesinden alınmakta ve bu bilgiler doğrultusunda malzemeyi tanımladığı düşünülen ısı iletkenlik hesap değerleri (λ) standartlardan seçilmektedir. Seçilen λ değeri standartlarda verilen temel teorik denklemde kullanılarak analitik yöntemle yapıların U değeri hesaplanmaktadır (TS 825, 2013; TS EN ISO 6946, 2009; TS EN 1745, 2004). Projesine ulaşamayan mevcut yapıların malzeme özellikleri bilinmediği için U değerleri ise tamamen varsayım dayalı olarak belirlenmektedir (Park vd. 2023). Yapıyı oluşturan her bir malzemenin ısı iletkenlik hesap değerinin laboratuvar ortamında yapılacak testlerle belirlenmesi pahalı ve zaman alıcı bir uygulamadır. Ayrıca mevcut yapılar üzerinden alınacak numune örnekleri yapıya zarar veren tahripkar bir uygulamadır. Deneysel verilerin ekonomik olmayışı ve her zaman uygulanamayışı sebebiyle analitik yöntemle yapılan hesaplamalar yaygındır. Fakat bu analitik hesaplamalar sonucu elde edilen veriler ile yapıların gerçek U değeri verileri arasında bir uyumsuzluk/farklılık vardır (Desogus vd.2011; Mandilaras vd. 2014; Sayın & Tavukçuoğlu 2016; Park vd. 2023). Bu da analitik hesap sonucu elde edilen verilerin, yapı bünyesinde mevcut olan/olabilecek kusurlardan, imalat hatalarından, malzeme farkından kaynaklı ve ısı performansı olumsuz etkileyen ısı köprüsü, hava kaçağı, yoğunlaşma gibi ısı problemleri kapsamadığını, böylece yapının mevcut durumdaki gerçek enerji performansını tam anlamıyla yansıtmadığını göstermektedir. Kısaca, analitik yöntem ile yapılan hesaplamalar ile yapıya ait ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) sadece tahmin edilmektedir (Ficco vd. 2015). Özellikle duvarda kullanılan malzemeye ait yoğunluk ve ısı iletkenlik hesap değeri verileri kesin olarak bilinmediği durumlarda analitik hesaplamalar yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu durum analitik hesaplama yönteminin yapı duvarlarının mevcut ısı performansını belirlemedeki yetersizliği olarak görülmektedir. Bütün bu sebepler göz önüne alındığında yapı ısı performansının yerinde (sahada) belirlenmesini sağlayan, yapının mevcut durumunu üzerinden değerlendirme yapan ve daha gerçekçi sonuç veren yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Deneysel olarak yapıların ısı geçirgenlik katsayısını (U değerini, W/m^2K) belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemler ısı akış ölçer (Heat Flow Meter, HFM), mahfazalı sıcak kutu yöntemi (the Guard Hot Box method, GHB) ve kalibreli sıcak kutu (the Calibrated Hot Box method, CHB) yöntemidir. Bu yöntemlerden mahfazalı ve kalibreli sıcak kutu yöntemleri laboratuvar koşullarında yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır ve bu yöntemler ağır ekipmanlara sahip oldukları için yapı duvarlarının yerinde incelemeleri için uygun değildirler (Meng vd. 2015).

HFM yöntemi düzeneğinin basitliği sebebiyle yapılarda yerinde U değeri ölçümü için uygun olduğu bilinen tek yöntemdir (ISO 9869-1, 2014; Meng vd. 2015; O'Grady vd. 2017; Park vd. 2023). HFM yöntemi Fourier Isı İletim Kanunu prensibine göre çalışır. Yani kısaca çalışma prensibi, duvar kalınlığı üzerinde sabit bir sıcaklık gradyanı oluşturulup, duvarın bir tarafından diğer tarafına geçen ısı akışının kontrol edildiği, tek boyutlu ısı transferine dayanmaktadır (ISO 9869-1, 2014). HFM yöntemi kullanılarak yerinde ölçüm yapabilmek için ısı akış ölçer gereklidir (Park vd. 2023). Fakat ısı akış ölçer pahalıdır ve ortam koşullarından etkilenmektedir. Güvenilir veri elde etmek için zaman alıcı bir yöntem olduğu da bilinmektedir (Park vd. 2023). Standartta göre en az 72 saatlik bir deney sürecine ihtiyaç vardır (ISO 9869-1, 2014). Ayrıca HFM yöntemi için sıcak soğuk ortam arasında optimal sıcaklık farkının sağlanması gerekir ve bu sıcaklık farkı $10^{\circ}C$ az olmamalıdır (ISO9869-1, 2014). Yerinde yapılan HFM tekniği çalışmalarından doğru sonuç alabilmek için bu koşullara dikkat etmek gerekir. Dış ortam koşullarının her zaman kararlı olamayacağı gerçeği HFM tekniği ile yapılacak ölçümler için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca HFM tekniğinin bilinen önemli bir diğer dezavantajı ise duvar yüzeyinin sadece bir noktasından alınan ölçüm sonucuna göre değer vermesidir. Yani bu yöntemle elde edilen veriler duvarın ısı performansını etkileyen ısı köprüleri gibi sorunlu alanları kapsamaz (Kim vd. 2022). HFM cihazıyla yapılan incelemelerde aynı yapıda, çalışmanın yapıldığı yöne ve ölçüm problemlerinin yapılaşma konumuna bağlı olarak farklı sonuçlar elde edildiği de bilinmektedir (Meng vd. 2015). Bu yöntemle homojen olmayan yapı duvarlarının gerçek değerini belirlemek her zaman mümkün

olmayabilir (Danielski & Fröling, 2015). Bu sebeple her ne kadar HFM tekniği yerinde çalışmalarda kullanılsa da bu yöntem alternatif, daha pratik, daha kısa sürede sonuç alınabilen ve daha doğru sonuç verebilen farklı yöntemlerin araştırıldığı çalışmalar yapılmaktadır (Meng vd. 2015; Atsonios vd. 2017; Park vd. 2023).

Yapıların yerinde enerji performansını belirlemek için kullanılan en uygun yöntemlerden bir tanesi Kızılötesi Isıl Görüntüleme (KÖİG) (infrared termografi) yöntemidir (Nardi vd. 2016; Sayın & Tavukçuoğlu, 2016; Balaras & Argiriou, 2002; Fokaidis & Kalogirou, 2011). Kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi, savunma başta olmak üzere sanayi, tıp vb. birçok alanda yaygın olan; ısı görüntülere karşı duyarlı termal kameraların kullanıldığı nitel ve nicel analize olanak veren tahribatsız bir muayene yöntemidir (Titman, 2001). Bu yöntem yapıların mevcut durumlarını incelemek, varsa ısı problemlere sebep olan bozulmaları, sıkıntılı bölgeleri tespit etmek ve enerji performanslarını belirlemek için son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Tuğla vd 2013; Sayın & Tavukçuoğlu, 2016; François vd, 2021; Koçkar-Tuğla, 2022). Kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi malzemenin ısı yayıcılık değeri (termal emisivite değeri) (Çengel, 2011), rüzgar hızı, güneş etkisi, hava koşulları, ölçüm yapılan ortamın sıcaklığı, bağlı nemi, termal kamera ile ölçüm yapılacak yüzey arasındaki mesafe ve kameranın açısı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Balaras & Argiriou, 2002; Titman 2001) ve çalışmalardan doğru sonucu elde etmek için bu faktörlere dikkat edilmelidir (Lehmann vd. 2013; Tanner vd. 2011). Kızılötesi ısı görüntüleme yönteminin en önemli ve diğer ölçüm yöntemlerinden ayıran özelliği ise hem bütün bir bölgenin hem de belli bir bölgenin incelenmesine olanak vermesidir. Bu yöntemde termal kameralar aracılığıyla çalışılan yüzeyden ısı görüntüleri alınmakta; alınan ısı görüntüleri analiz programı yardımıyla incelenerek istenilen alanların sıcaklık verileri elde edilmektedir. Elde edilen bu sıcaklık verileri kullanılarak yapı duvarlarının araştırılan ısı özelliği nicel olarak belirlenmektedir. KÖİG yöntemi; yerinde yapılan ölçümlerle yapının mevcut ısı performansını değerlendirmeye yarayan yani yerinde yapılacak çalışmalara uygun, pratik, kolay, zaman tasarrufu sağlayan, en önemlisi yapıya/malzemeye zarar vermeyen tahribatsız bir muayene ve analiz yöntemidir.

Bu çalışmanın ana hedefi yapıların enerji performansını iyileştirme çalışmalarını uygulamalı bir örnek üzerinden takip edip; bina duvarlarının mevcut ve yeni durumdaki ısı performansını gösteren U değerini analitik yöntem ve KÖİG yöntem ile belirleyip, elde edilen sonuçlara göre uygulanan yalıtım değerlendirmektir. Ana hedefle varılmak istenilen yer, günümüzde bina enerji performansını belirlemek ve bina enerji sınıfını tayin etmek için yaygın kullanılan analitik yöntem sonuçlarının doğruluğunu Türkiye’de de tartışmaya açmaktır. Bunun yanı sıra yapıların mevcut durumunu yansıtan gerçek enerji performansını belirlemek için yerinde/sahalarda kullanıma uygun, pratik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan kızılötesi ısı görüntüleme yöntemine (KÖİG) dikkat çekmek; yapı ısı özelliklerinin belirlenmesinde malzeme bilgilerine ihtiyaç duyulmayan sadece yüzey sıcaklık verileri kullanılan KÖİG yönteminin gelişimi, doğru kullanımı ve bu yöntemin standart bir denetleme yöntemi olması yönündeki çalışmalara katkı sağlamak hedeflenmektedir. Türkiye’de KÖİG yöntemi özellikle yapılarda genellikle nitel analizler için kullanılan ve sonuçların yorumlamaya dayalı olduğu bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle KÖİG yönteminin, özellikle enerji performansını belirleme ve enerji tüketimini denetleme çalışmalarında nicel analiz yöntemi olarak da kullanılabilmesini göstermek gereklidir. Çünkü analitik işlemler sonucu elde edilen tahmini değerler ile yapıların enerji tüketim sınıfı doğru belirlenemediğinde, enerji tüketimi devam etmekte ve enerji verimliliği yeterince sağlanamamaktadır. Bu durum ülke ekonomisine ciddi zarar vermekte ve enerji korunumunu sağlamak için yapılan çalışmaların ilerlemesini de engellemektedir. Bu sebeple yapıların gerçekte harcadığı enerjinin belirlenmesi ve gerçek enerji performansının tespit edilmesi önemlidir. Yapı enerji performansını artırma/iyileştirme çalışmalarının yerinde kontrol edilmesi ve denetlenmesi için kolay uygulanabilir doğru sonuç veren yöntemlerin sahaya kazandırılması, herhangi bir olumsuz durumda müdahale edip işin düzeltilmesini sağlamak bakımından gereklidir. Bu hedefler ve tespit edilen gereklilikler neticesinde çalışmada bir kamu binasına uygulanan yalıtım yerinde incelenmiş, yalıtımın binanın ısı performansına etkisi KÖİG yöntemi ve analitik yöntem sonucu belirlenen U-değerleri ile kıyaslanarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada önemli olan mevcut bir binaya yalıtım uygulaması yapılırken farklı yalıtım özelliğine sahip cephelerinin ısı performansının analitik yöntem ve KÖİG yöntem ile incelenmesidir. Literatürde analitik yöntem sonuçlarının birer tahmin olduğu ve gerçek sonucu yansıtmadığı görüşü vardır (Desogus vd.2011; Ficco vd. 2015; Park vd 2023). Bu çalışmada yalıtım uygulamasında kullanılan malzemelerin ısı özelliklerinin bilinmesi ve bu malzemeleri tanımlayan doğru ısı iletkenlik hesap değerlerinin (λ , W/mK) hesaplamada kullanılması analitik hesap sonucu elde edilen U değerinin güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca bu çalışma, yalıtım uygulaması yapılırken yerinde KÖİG yönteminin, yapıların mevcut ısı performansını belirleme ve denetleme çalışmalarında kullanılabilmesinin; bu yöntem kullanılırken iş ve işleyişin hiçbir şekilde etkilenmeyeceğinin göstergesi niteliğindedir. Bu yönleriyle özgün olan bu çalışmanın yapı enerji denetimi sahalarında yapılacak çalışmalara fikir vereceği ve özellikle Türkçe literatüre önemli katkıları olacağı düşünülmektedir.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, mevcut bir kamu binası ele alınmış, bu binanın yalıtımsız ve yalıtımlı haldeki duvarlarının ısı performansındaki değişim incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen binanın duvarları 13,5 cm delikli tuğla ile çift katlı sandviç duvar şeklinde örülmüştür. İki tuğla duvar arasında yaklaşık 3 cm kalınlığında olduğu tahmin edilen XPS (ekstrüde polistiren levha) yalıtım levhası olduğu bilinmektedir. Binanın kış aylarındaki ısı performansının yeterli olmadığı kanaatiyle binaya dıştan 3 cm EPS (genleştirilmiş polistiren levha) malzemeyle yalıtım yapılmasına karar verilmiştir. Çalışmada binanın ön, arka ve sağ yan olmak üzere üç farklı cephesi incelenmiştir. Bu çalışmada binanın yalıtım yapılmadan önceki mevcut hali “yalıtımsız cephe (ön)”; yalıtım yapıldıktan sonraki hali ise sıvalı olma durumuna göre “yalıtımlı + sıvasız (arka)” ve yalıtımlı+sıvalı (sağ yan)” cephe olarak ifade edilmiştir. Bu cephelerde yer alan örnek duvarlar ise sırasıyla “ÖD1, ÖD2 ve ÖD3” olarak kodlanmıştır (Tablo 1). Bu bina, yalıtımsız ve yalıtımlı cephelerdeki duvarların aynı ortam koşullarında ve aynı hava şartlarında kızılötesi ısı görüntüleme yöntemiyle aynı anda incelenmesine imkan verdiği için tercih edilmiştir. Ayrıca yalıtım uygulama aşamalarının takip edilebilir ve yalıtımda kullanılan malzeme bilgilerine ulaşılabilir olması da bu binanın tercih edilme sebeplerindedir. Çalışma kapsamında incelenen binaya ait fotoğraflar Şekil 1’de, incelenen örnek duvarlara ait malzeme özellikleri ve kesitleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada İncelenen Binaya Ait Örnek Duvarların Bileşenleri, Kalınlıkları ve Duvar Kesitleri

Duvar Kodu	Örnek Duvarların Bileşenleri			Kalınlık (cm)	Duvar Kesitleri
	Duvar Türü	Duvar Katmanı	Malzeme		
ÖD1	Yalıtımsız (ön) cephedeki dış duvar	İç boya	Beyaz renkli plastik boya	-	
		İç sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Sandviç duvar	13,5 cm delikli tuğla +3 cm XPS+13,5 cm delikli tuğla	30	
		Dış sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Dış boya	Dış cephe plastik boya	-	
ÖD2	Yalıtımlı+Sıvasız (arka) cephedeki dış duvar	İç boya	Beyaz renkli plastik boya	-	
		İç sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Sandviç duvar	13,5 cm delikli tuğla+3 cm XPS+13,5 cm delikli tuğla	30	
		Dış sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Dış boya	Dış cephe plastik boya	-	
ÖD3	Yalıtımlı + Sıvalı (sağ yan) cephedeki dış duvar	İç boya	Beyaz renkli plastik boya	-	
		İç sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Sandviç duvar	13,5 cm delikli tuğla+3 cm XPS+13,5 cm delikli tuğla	30	
		Dış sıva	Kireç- çimento katkılı sıva	1,5	
		Dış boya	Dış cephe plastik boya	-	
		Yalıtım levhası	EPS	3	
Mineral sıva	Isı yalıtım sıvası	0,5			



Şekil 1. İncelenen Kamu Binasının a. Yalıtımsız Ön Cephesi, b. Yalıtım Uygulaması Yapılan Sağ Yan Cephesi

Bu çalışma Kastamonu ili, TS 825'e göre 2. derece gün bölgesinde yer alan Abana ilçesinde, Ekim ayında, güneşin etkisinin olmadığı akşam saat diliminde ve hava koşullarının kararlı olduğu bir günde yapılmıştır. Uygun ortam koşullarının olduğu günde termal kamera hem binanın yalıtımsız cephesini hem de yalıtımlı cephesini görebilecek açı ve mesafede konumlandırılmıştır. İncelenen bina içeriden merkezi sistem kalorifer marifetiyle ısıtılmış ve binanın dış tarafından yapıya müdahale etmeden, tahribatsız bir şekilde, termal kamera yardımıyla aynı anda binanın her iki cephesini de içeren tekil ısıl görüntüler alınmıştır. Çalışma yapılırken binanın kullanımı engellenmemiş, bina içerisindeki iş ve işleyişler rutin şekilde devam etmiştir.

Çalışmada dış ortam sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı bilgileri Kestrel 4500 NW anemometre kullanılarak kayıt edilmiştir. Isıl görüntüler Flir marka E45 model termal kamera ile toplanmıştır. Isıl görüntülerin analizde ThermaCam Researcher Pro 2.10 paket programı kullanılmıştır. Isıl görüntüler bu program aracılığıyla analiz edilmiş, uygun bölgelerden sıcaklık verileri alınmış ve bu sıcaklık verileri Eş.1'de verilen denklemde (Albatici vd. 2015) kullanılarak bina cephelerinde bulunan ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan duvarlara ait ısıl geçirgenlik katsayısı belirlenmiştir. KÖİG yöntemiyle belirlenen U değeri bu makalede “ $U_{KIZILÖTESİ}$ ” olarak ifade edilmiştir.

$$U_{KIZILÖTESİ} = [5,67\varepsilon[(T_i/100)^4 - (T_{out}/100)^4] + 3,8054 v (T_i - T_{out})] / [T_{int} - T_{out}] \quad (1)$$

Burada; ε , yüzeyin ısıl yayıcılık katsayısını (birimsiz); T_i , dış duvar yüzey sıcaklığını (°C); T_{out} , dış ortam sıcaklığını (°C); T_{int} , iç ortam sıcaklığını (°C); v , cepheye yakın havanın hızını (m/s) göstermektedir.

Bina cephelerinin duvarlarında kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin kalınlık bilgileri bina projesinden elde edilmiştir. Aynı malzemeye ait ısıl iletkenlik hesap değeri (λ) ise TS 825 (2013) standardında verilen Ek-E'den alınmıştır (Tablo 1). Kullanılan malzemelerin yoğunluk bilgileri projede yer alamadığı için malzemelere ait ısıl iletkenlik hesap değeri olarak minimum ve maksimum değerler aralığı seçilmiştir (Tablo 1). Duvarları oluşturan malzemelerin kalınlıkları ve ısıl iletkenlik hesap değerleri, TS 825 standardında anlatılan ve Eş. 2'de verilen teorik denklemde kullanılarak duvarlara ait ısıl geçirgenlik katsayısı analitik olarak hesaplanmıştır. TS 825 standardı referans alınarak analitik yöntemle hesaplanan U değeri bu makalede “ U_{TS825} ” olarak ifade edilmiştir.

$$U_{TS825} = 1 / (R_{si} + (d_1/\lambda_1 + \dots + d_n/\lambda_n) + R_{so}) \quad (2)$$

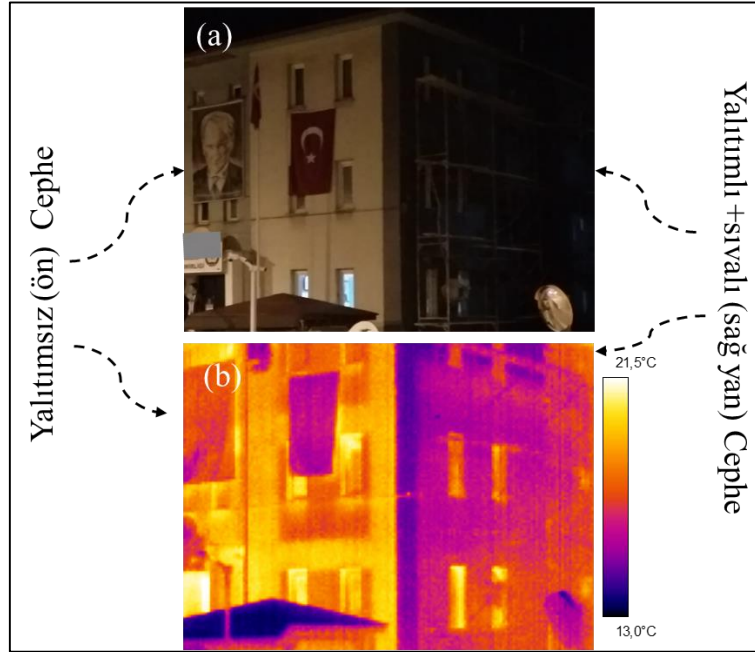
Burada; R_{si} , iç yüzeyin yüzeysel ısıl direnç değerini (m^2K/W); d , duvarı oluşturan her bir katmanın kalınlığını (m); λ , her katmanın ısıl iletkenlik hesap değerini (W/mK); R_{so} , dış yüzeyin yüzeysel ısıl direnç değerini (m^2K/W) göstermektedir.

İncelenen kamu binasında bulunan farklı yalıtım özelliğine sahip ön, arka ve sağ yan cephesinin U değeri hem KÖİG yöntemle hem de analitik yöntemle ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen $U_{KIZILÖTESİ}$ ve U_{TS825} verilerine göre farklı cephelerde bulunan duvarların ısıl performansı değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kapsamında incelenen kamu binasının “yalıtımsız” (ön), “yalıtımlı+sıvasız” (arka) ve “yalıtımlı+sıvalı” (sağ yan) cepheleri kızılötesi ısıl görüntüleme yöntemiyle incelenmiştir. İncelenen bu cephelerden termal kamera ile

tekil ısı görüntüleri alınmıştır. Alınan bu ısı görüntüleri analiz edilerek cephelerde yer alan farklı ısı karakteristiğine sahip elemanların (kiriş/kolon-duvar gibi) sıcaklık verileri alınmıştır. Sıcaklık farkı verilerine göre hangi yüzeylerin daha fazla sıcak olduğu belirlenmiş ve bu bölgelerin ısı köprüsü olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Çalışmada ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan örnek duvarlara ait yüzey sıcaklık verileri kullanılarak duvarların $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri belirlenmiştir. Ayrıca aynı duvarların analitik olarak U_{TS825} değeri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler aşağıda detaylıca açıklanmış ve çalışma bulguları kıyaslanarak tartışılmıştır.



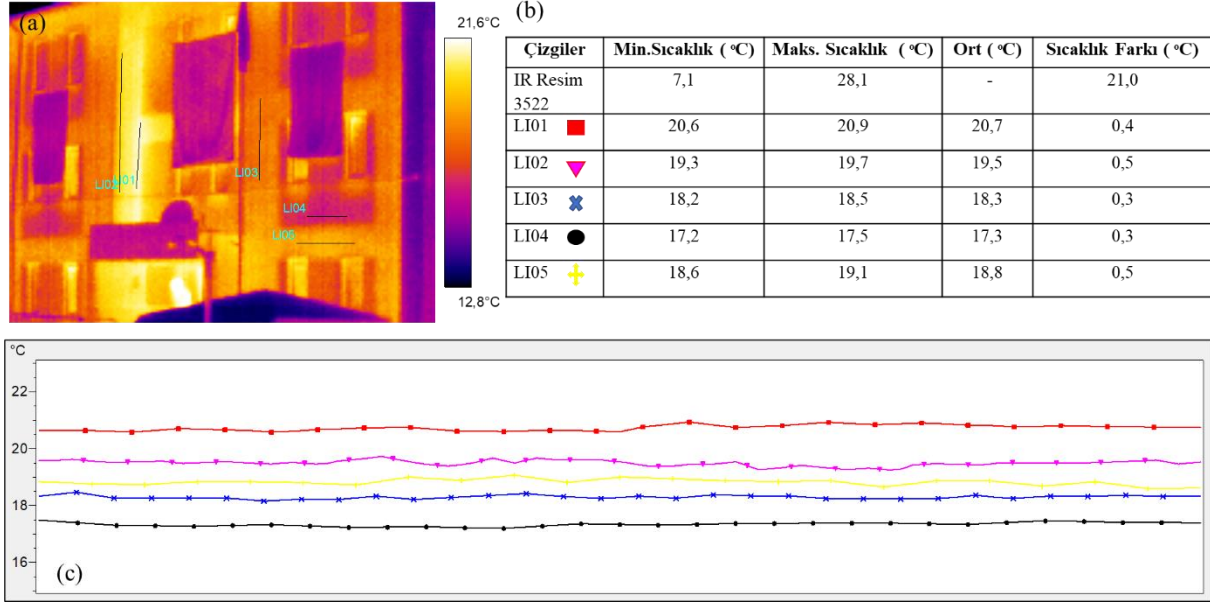
Şekil 2. İncelenen Binanın Yalıtımsız (Ön) ve Yalıtımlı+Sıvalı (Sağ Yan) Cephelerine Ait **a.** Fotoğraflar, **b.** Isıl Görüntüleri

Binanın dıştan yalıtımsız (ön) cephesine ait ısı görüntü Şekil 3a'da verilmiştir. Bu ısı görüntüde sıcaklık farkının olduğu bölgeler incelenmiş, cephe yüzeyinden beş farklı bölge seçilmiş, bu bölgelerin sıcaklık verileri alınmıştır. Cephe yüzeyindeki toplam sıcaklık farkı 21°C olarak görülmüştür. Bu farkın yüksek olması ısı görüntüde bina cephesine ait olmayan farklı elemanların yer almasından kaynaklanmaktadır. Ön cepheden alınan ısı görüntülerde bayrak, resim, gibi yabancı malzemelerin olduğu görülmektedir. Bu yabancı cisimler dahil edilerek yapılacak analizlerin sonuçları etkileyeceği ve duvarın ısı performansını doğru yansıtmayacağı bilinmektedir. Bu sebeple yapılan analizlerde yabancı cisimler hariç tutularak sadece duvarı ve taşıyıcı elemanları kapsayan örnek çalışma alanlarının sıcaklık verisi alınmıştır. Her bir cephe yüzeyinde beş farklı çalışma alanı belirlenmiş; bu alanlar her bir cephe için sırasıyla Şekil 3a, Şekil 4a ve Şekil 5a'da LI01-LI05 olarak gösterilmiştir.

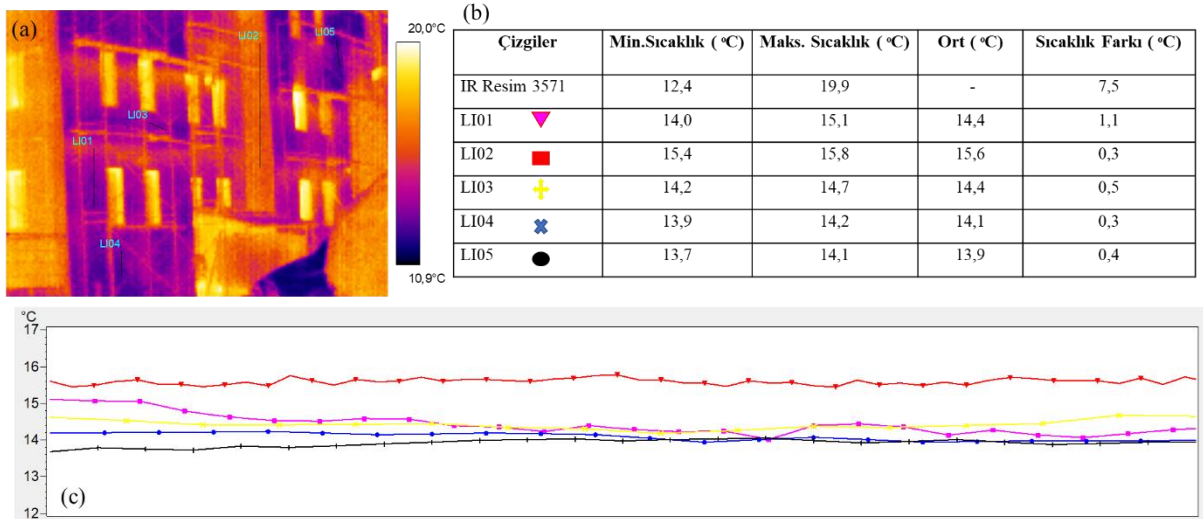
Yalıtımsız cephede bulunan ve ÖD1 diye kodlanan duvar yüzeyindeki sıcaklık ortalaması $17,3^{\circ}\text{C}$ – $18,8^{\circ}\text{C}$ arasındadır (Şekil 3b). Yalıtımsız cephe yüzeyinin farklı alanlarından seçilen çalışma alanlarına ait sıcaklık verileri Şekil 3c'de yer alan grafikte verilmiştir. Sandviç duvar içindeki yalıtımın betonarme kolon ve giriş elemanları kapsamadığı bilinmekte; bu durum ısı görüntülere de yansımakta ve cephenin tamamının aynı ısı özelliklerde olmadığı ısı haritada görülmektedir (Şekil 3a). Cephe yüzeyindeki yalıtımsız kolon ve girişler ısı köprüsü olarak kolaylıkla tespit edilmektedir. Isı köprüsü olarak belirlenen yüzeylerin analizlerinde Li01 ve Li02 diye verilen çizgilere ait ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla $20,7^{\circ}\text{C}$ ve $19,5^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Binanın dıştan yalıtımlı iki farklı cephesine (arka ve sağ yan) ait ısı görüntüleri Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 4a'da verilen ısı görüntü, binanın arka cephesinde (kuzey tarafta) bulunan ve sadece ısı yalıtımı malzemesi ile kaplanmış yalıtımlı+sıvasız cepheye aittir. Bu cephede yer alan ÖD2 kodlu duvar yüzeyinin ortalama sıcaklık değerleri $13,9^{\circ}\text{C}$ - $14,4^{\circ}\text{C}$ aralığında bulunmuştur (Şekil 4b ve Şekil 4c). Şekil 5a'da verilen ısı görüntü, binanın sağ yan cephesinde (doğu tarafta) bulunan, cephe yüzeyi ısı yalıtımı levhası ve mineral ısı yalıtım sıvası ile kaplanmış yalıtımlı+sıvalı cepheye aittir. Bu cephede yer alan ÖD3

kodlu duvar yüzeyinin ortalama sıcaklık değerleri $16,7^{\circ}\text{C}$ - $18,5^{\circ}\text{C}$ aralığında bulunmuştur (Şekil 5b ve Şekil 5c).



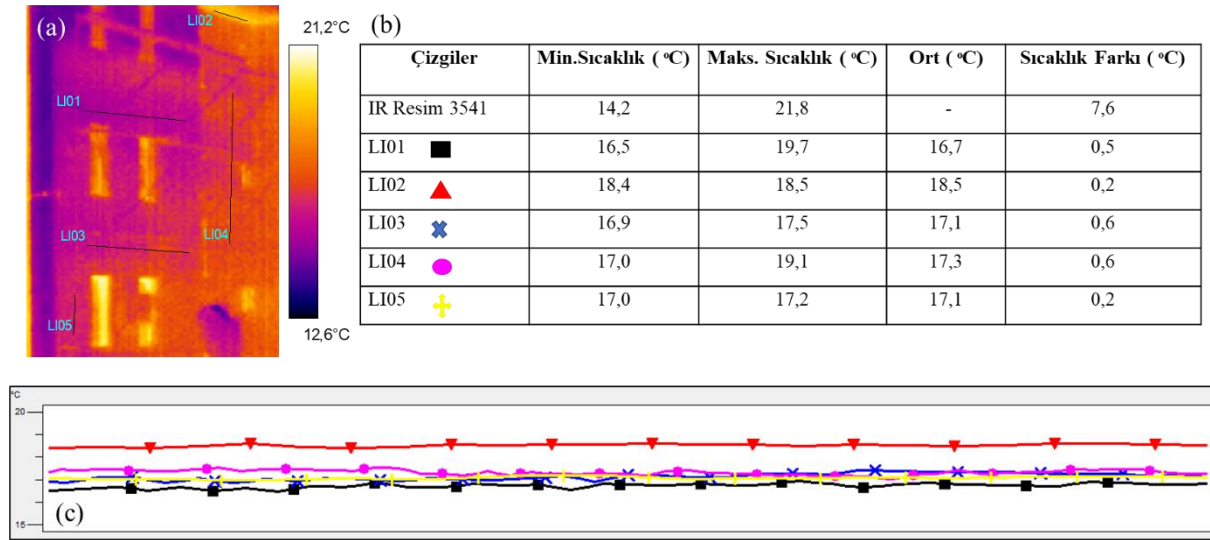
Şekil 3. Yalıtımsız (Ön) Cephenin a. Isıl Haritası, b. Analiz Sonucu Elde Edilen Sıcaklık Verileri ve c. Sıcaklık Ortalamalarının Grafiği



Şekil 4. Yalıtımlı+Sıvasız Cephenin a. Isıl Haritası, b. Analiz Sonucu Elde Edilen Sıcaklık Verileri ve c. Sıcaklık Ortalamalarının Grafiği

Çalışmada incelenen kamu binasının farklı cephelerinde bulunan; ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan duvar örneklerinin ısı geçirenlik değerleri (U_{TS825} ve $U_{KIZILÖTESİ}$) iki farklı yöntemle belirlenmiştir. $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri belirlenirken; duvar katmanlarında hangi malzemenin kullanıldığı bilgisine ihtiyaç duyulmamıştır. Doğrudan yapı dış cephesinden, yapıya müdahale edilmeden alınan ısı görüntüleri analiz edilmiş; analiz sonucunda elde edilen dış yüzey sıcaklık verileri; çalışma esnasında kayıt edilen dış ve iç ortam sıcaklık verileri, dış ortam rüzgar hızı verileri Eş.1’de kullanılarak ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan duvarların mevcut ısı geçirenlik katsayısı ($U_{KIZILÖTESİ}$) belirlenmiştir. Hesaplamalarda dış yüzey sıcaklık verisi olarak duvarın genel durumunu temsil eden sıcaklık değerleri kullanılmıştır. ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan duvarların sırasıyla $U_{KIZILÖTESİ}$ ortalama değerleri $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$; $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak belirlenmiştir (Tablo 2). $U_{KIZILÖTESİ}$ verilerine göre en yüksek ısı geçirenlik katsayısına yani en düşük ısı direnç değerine sahip duvar örneği ÖD1 kodlu dıştan yalıtımı bulunmayan duvar örneğidir. Hem ısı yalıtım levhası hem de mineral sıva kaplı olan ÖD3 kodlu duvar örneğinin

ise ısı geçirgenlik katsayısı, ÖD2 kodlu duvar örneğinin ısı geçirgenlik katsayısına göre yüksek bulunmuştur. Cephelelerin bulunduğu yönlerin (kuzey ve doğu) farklı olması malzeme yüzeylerinin gün boyu güneşe maruz kalma koşullarını değiştirmektedir. Farklı iklim geçmişine ve farklı ısı performansına sahip yapıların ısı performansını doğru şekilde yorumlamak için Lehman ve arkadaşları tarafından 2013 yılında geniş kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışma sonucunda kızılötesi ısı görüntüleme yöntemiyle yapılan çalışma sonuçlarının dış ortam koşullarından, binanın yönünden ve malzeme ısı özelliklerindeki farklılıklardan etkilendiği belirtilmiştir (Lehmann vd. 2013; Tanner vd. 2011). Literatür bilgileri ışığında; bu çalışmada incelenen ÖD2 ve ÖD3 kodlu duvarların farklı yönlerde bulunmasının ve ayrıca dış yüzeylerindeki malzemenin ısınma/soğuma hızının (termal atalet) farklı olmasının sonuçları etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 5. Yalıtımlı+Sıvalı Cephenin a. Isıl Haritası, b. Analiz Sonucu Elde Edilen Sıcaklık Verileri ve c. Sıcaklık Ortalamalarının Grafiği

U_{TS825} değeri belirlenirken; yalıtım uygulaması yapılmadan önceki mevcut duvar katmanlarını oluşturan malzemelere ait bilgiler ve bu malzemelerin kalınlık verileri bina projesinden elde edilmiştir. Malzemelere ait ısı iletkenlik hesap değerleri TS 825 standardından alınmıştır. Kalınlık ve ısı iletkenlik hesap değeri verileri Eş.2’de verilen denklemde kullanılarak ÖD1 ÖD2 ve ÖD3 diye kodlanan duvarların ısı geçirgenlik katsayısı (U_{TS825}) analitik olarak hesaplanmıştır. Duvarlarda kullanılan kagir malzemelerin yoğunluk bilgisi projede bulunmadığı için ısı iletkenlik hesap değerleri net olarak seçilememiş, standartta verilen ve aynı malzemeyi temsil eden yoğunluk ve ısı iletkenlik hesap değerlerinin minimum ve maksimum değer aralığı kullanılmıştır. Her iki uç değerler kullanılarak hesaplanan U_{TS825} değeri ÖD1 kodlu duvar için $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$; ÖD2 kodlu duvar için $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve ÖD3 kodlu duvar için $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ aralığında bulunmuştur (Tablo 2). U_{TS825} verilerine göre en düşük ısı geçirgenlik katsayısına, ÖD3 kodlu hem yalıtım levhası hem de mineral sıva kaplı duvar örneği sahiptir. ÖD1 kodlu dıştan yalıtımsız duvar örneği ise en yüksek ısı geçirgenlik katsayısı yani en düşük ısı direnç değerine sahiptir.

Elde edilen verilere göre ÖD1 kodlu dıştan yalıtımsız duvarın ısı performansı hem U_{TS825} hem de $U_{KIZILÖTESİ}$ değerine göre ÖD2 ve ÖD3 kodlu dıştan yalıtım uygulaması yapılan duvarların ısı performansından düşük bulunmuştur. Bu sonuç kamu binasına ısı performansını iyileştirilmesi için yapılan yalıtım uygulamasının her iki yönüne göre de işe yaradığını göstermektedir. Fakat bu çalışma kapsamında incelenen ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 kodlu duvar örnekleri için belirlenen ve Tablo 2’de verilen U_{TS825} değeri ile $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri farklı bulunmuştur. Literatür verilerine göre bu farklılık beklenendir (Desogus vd. 2011; Mandilaras vd. 2014; Sayın & Tavukçuoğlu 2016; Park vd. 2023). ÖD1 ve ÖD3 kodlu duvarların mevcut ısı geçirgenlik katsayısı gösteren $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri, U_{TS825} değerine göre daha yüksek bulunmuştur. Yani bu verilere göre aslında duvarların hem yalıtımsız hem de yalıtımlı halde iken KÖİG yöntemiyle hesaplanan mevcut ısı performansı, analitik olarak hesaplanan ısı performansına göre daha düşüktür. Elde edilen bu sonuç literatür verileriyle uyumludur. Literatürde farklı malzemelerden oluşan yalıtımlı duvar örnekleri üzerine KÖİG yöntemiyle yapılan araştırma da mevcut U değeri ile projeden alınan veriler göre hesaplanan U değeri arasında az %13, en fazla %95 fark olduğu ve KÖİG yöntemiyle elde edilen U değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Sayın & Tavukçuoğlu, 2016).

Tablo 2. Binanın İncelenen Cephelerinde Yer Alan ÖD1, ÖD2 ve ÖD3 Kodlu Duvar Örneklerinin Termofiziksel Özellikleri ve Belirlenen Isıl Geçirimsizlik Değerleri: $U_{TS\ 825}$ ve $U_{KIZILÖTESİ}$

Duvar Türü	Duvar Kodu	Duvar Katmanları	TS 825 Ek-E Sıra No	Kalınlık (d, cm)	Birim Hacim Kütle* (kg/m ³)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri* (λ , w/mK)	$U_{TS\ 825}$ (W/m ² K)	$U_{KIZILÖTESİ}$ (W/m ² K)
Yalıtımsız dış duvar	ÖD1	Beyaz renkli plastik boya	-	-	-	-		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
		Sandviç duvar	7.1	27	550-1000	0,22-0,29	0,41-0,53	0,65-0,75
		XPS	10.3.2	3	≥ 25	0,030-0,040		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
Dış cephe plastik boya	-	-	-	-	-			
Yalıtımlı levhalı + sıvasız dış duvar	ÖD2	Beyaz renkli plastik boya	-	-	-	-		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
		Sandviç duvar	7.1	27	550-1000	0,22-0,29	0,31-0,38	0,19-0,25
		XPS	10.3.2	3	≥ 25	0,030-0,040		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
Dış cephe plastik boya	-	-	-	-	-			
EPS	10.3.1	3	$\geq 15-30$	0,035-0,040				
Yalıtım levhalı + mineral sıvalı dış duvar	ÖD3	Beyaz renkli plastik boya	-	-	-	-		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
		Sandviç duvar	7.1	27	550-1000	0,22-0,29	0,30-0,37	0,38-0,42
		XPS	10.3.2	3	≥ 25	0,030-0,040		
		Kireç- çimento katkılı sıva	4.1	1,5	1800	1,0		
		Dış cephe plastik boya	-	-	-	-	-	
EPS	10.3.1	3	$\geq 15-30$	0,035-0,040				
Dekoratif/mineral sıva	4.10	0,5	≥ 200	0,070-0,100				

* TS 825 (2013) standardından alınmıştır.

KÖİG yöntemi bina cephesini oluşturan yapı elemanlarının mevcut durumu üzerinden alınan ısı görüntülerinin analizi sonucu U değerinin belirlenmesine imkan vermektedir. Yani KÖİG, mevcut koşullarda duvarların yüzeyinde bir ısı problem var mı, bir nem sorunu var mı ya da hiçbir problem yok mu işte bütün bu olasılıkları ve muhtemel ya da var olan etkenleri içine alan bir analizin yapılmasını sağlamaktadır. Duvar yüzeyinin herhangi bir bölgesinde gözle görülmeyen, örneğin duvar dolgu elemanlarının birleşim yerlerinden kaynaklı ya da malzeme bozulmalarından vb. kaynaklı ısı köprüsü, hava kaçağı gibi bir durum varsa bu KÖİG yöntemle alınan ısı görüntülere yansımakta ve yapılan çalışma sonuçlarına bu problemler dahil edilmektedir. Ayrıca KÖİG yöntem sonuçlarında analitik yöntemlerde göz ardı edilen yüzeylerin emisyonu ve radyatif sıcaklıkları da KÖİG yönteminde hesaplara dahil edilmektedir (Fokaides ve Kalogirou, 2011). Fakat analitik yöntem sonuçlarında duvarların/yapı elemanlarının tamamen sağlıklı olduğu varsayılır, herhangi bir ısı probleminin varlığı analitik işlem sonuçlarına yansımaz. Bu da analitik işlem sonuçlarının her zaman duvarların/cephelerin ısı performansının daha yüksek yani U değerlerinin daha düşük görünmesine sebep olur. Sonuç olarak, bu sebeplerle literatürde analitik yöntem sonuçlarına hep bir şüpheli yaklaşım hakimdir (Ficco vd. 2015). KÖİG yöntem sonuçlarının daha doğru sonuç verdiğine inanılmaktadır (Fokaides & Kalogirou, 2011)

SONUÇLAR

Bu çalışmada, mevcut bir kamu binasının enerji performansını artırmak amacıyla uygulanan yalıtım işlemleri incelenmiş, yalıtım uygulamasının bina duvarlarının ısı geçirgenlik katsayısına (U-değeri) etkisi analitik ve deneysel olmak üzere iki farklı yöntem ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre incelenen cephelerin $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri U_{TS825} değerine göre yüksek bulunmuştur. Bu sonuca göre duvarların gerçek/mevcut halleri ve gerçek ortam koşullarını yansıtan, malzeme özelliklerine ihtiyaç duyulmadan, sadece yüzey sıcaklık verileri kullanılarak hesaplama yapılan KÖİG yöntemiyle belirlenen duvarın mevcut ısı performansının, analitik verilerle

hesaplanan ısı performansına göre daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Yalıtımsız cephede bulunan duvar yüzeyinin hem $U_{KIZILÖTESİ}$ değeri hem de U_{TS825} değeri yalıtım uygulaması yapılan diğer cephelere göre yüksek bulunmuştur. Her iki yöntem sonucu da yalıtım uygulamasının binanın ısı performansını olumlu olarak etkilediğini göstermiştir. Bu sonuç bina enerji performansı iyileştirme çalışmalarında dıştan yalıtım uygulamasının başarılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak; KÖİG yönteminin mevcut yapıların ısı performansının belirlenmesinde oldukça kullanışlı, pratik ve doğru sonuç veren bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Özellikle enerji kimlik belgesi düzenleyen kurum ve kuruluşlarca bu yöntemin yaygın ve aktif olarak kullanılması; binaların mevcut enerji performanslarının tespit edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu sebeple KÖİG yönteminin standart bir yöntem haline dönüşmesi ve kullanım alanlarının genişletilmesi gereklidir. Dünya genelinde oldukça yaygınlaşan KÖİG yönteminin Türkiye’de de yaygınlaşması amacıyla farklı malzemelerle inşa edilmiş yapıların ısı özelliklerinin tespiti ve ısı performanslarının değerlendirilmesi çalışmalarında kullanımı önerilmektedir. Enerji verimliliğinin ve enerji korunumunun önemli olduğu günümüzde, tespit ve denetleme noktasında ihtiyaç duyulan pratik yöntemlerin yaygınlaştırılması ile enerji korunumunun tam anlamıyla sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Albatici, R. Tonelli, A. M. & Chiogna M. (2015). A Comprehensive Experimental Approach for the Validation of Quantitative Infrared Thermography in the Evaluation of Building Thermal Transmittance. *Applied Energy*, 141, 218–228. <https://doi.org/10.2339/politeknik.868410>
- Atsonios, I.A., Mandilaras, I. D. Kontogeorgos, D. A. & Founti, M.A. (2017). A comparative assessment of the standardized methods for the in-situ measurement of the thermal resistance of building walls. *Energy and Buildings* 154, 198–206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.064>
- Balaras, C. A. & Argiriou, A. A. (2002). Infrared Thermography for Building Diagnostics. *Energy and Buildings*, 34(2), 171-183.
- ISO 9869-1 (2014). Thermal Insulation—Building Elements—In-Situ Measurement of Thermal Resistance and Thermal Transmittance—Part 1: Heat Flow Meter Method. International Standard.
- Çengel, Y. (2011). Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım. (3. ed.). İzmir: Güven Kitabevi.
- Department of Energy (DOE), (2012), 2011 Buildings energy databook. 5th edn, Energy Efficiency & Renewable Energy Department. 5th edn. Maryland: D&R International, Ltd. Available : 01.09.2024 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2012/03/DOE-2011-Buildings-Energy-DataBook-BEDB.pdf
- Ficco, G. Iannetta, F. Ianniello, E. Alfano, F. R. A. & Dell’Isola, M. (2015). U-Value in Situ Measurement for Energy Diagnosis of Existing Buildings. *Energy and Buildings*, 104, 108-121. <dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.071>
- Fokaides, P. A. & Kalogirou, S. A. (2011). Application of Infrared Thermography for the Determination of the Overall Heat Transfer Coefficient (U-Value) in Building Envelopes. *Applied Energy*, 88, 4358–4365. doi:10.1016/j.apenergy.2011.05.014
- François, A. Ibos, L. Feuillet, V. & Meulemans, J. (2021). In Situ Measurement Method for the Quantification of the Thermal Transmittance of a Non-Homogeneous Wall or a Thermal Bridge Using an Inverse Technique and Active Infrared Thermography. *Energy & Buildings*, 233, 110633. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110633>
- Danielski, I. & Froling, M. (2015). Diagnosis of Buildings' Thermal Performance-a Quantitative Method Using Thermography Under Non-Steady State Heat Flow. *Energy Procedia*, 83.
- Desogus, G. Mura, S. & Ricciu, R. (2011). Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance, *Energy Build.* 43 (10), 2613–2620.
- Kim, S. Seo, J. Jeong, H. & Kim, J. (2022). In Situ Measurement of the Heat Loss Coefficient of Thermal Bridges in a Building Envelope. *Energy & Buildings*. 256, 111627. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111627>
- Koçkar Tuğla, R. (2022). Mevcut Yapı Cephelerinin Isıl Özelliklerinin Nicel Kızılötesi Isıl Görüntüleme Yöntemi ile Yerinde İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25 (4), 1633–1643. <https://doi.org/10.2339/politeknik.868410>

- Lehmann, B. Ghazi Wakili, K., Frank, T. Vera Collado, B. & Tanner, C. (2013). Effects of Individual Climatic Parameters on the Infrared Thermography of Buildings,” *Applied. Energy*, 110, 29–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066>
- Meng, X. Yan, B. Gao, Y. Wang, J. Zhang, W. & Long, E. (2015). Factors Affecting the In-Situ Measurement Accuracy of the Wall Heat Transfer Coefficient Using the Heat Flow Meter Method. *Energy and Buildings*, 86, 754–765. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.005>
- Mandilaras, I. Atsonios, I. Zannis, G. & Founti, M. (2014) Thermal Performance of a Building Envelope Incorporating ETICS with Vacuum Insulation Panels and EPS, *Energy Build.* 85 654–665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.053>
- Nardi, I. Paoletti, D. Ambrosini, D. Rubeis, T. & Sfarra, S. (2016). U-Value Assessment by Infrared Thermography: A Comparison of Different Calculation Methods in A Guarded Hot Box. *Energy and Buildings*, 122, 211-221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.017>
- O’Grady, M. Lechowska, A. A. and Harte, A. M. (2017). Infrared Thermography Technique As an in-situ Method of Assessing Heat Loss Through Thermal Bridging. *Energy and Buildings*, 135, 20–32.
- Park, S. Shim, J. & Song, D. (2023) A Comparative Assessment of In-Situ Measurement Methods for Thermal Resistance of Building Walls Under Mild Climate Condition. *Journal of Building Engineering*, 77, 107417. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107417>
- Sayın, M. & Tavukçuoğlu, A. (2016). Cephelerin Isı Yalıtımlılık Durumlarının Isıl Görüntüleme ile Değerlendirilmesi”, *Yalıtım Dergisi*, 152, 46-54.
- Tanner, C. Lehmann, B. Frank, T. & Ghazi Wakili, K. (2011). A Proposal for Standardized Thermal Images (in German). *Bauphysik*, 33, 345–56. Doi: 10.1002/bapi.20111080
- Titman, D. J. (2001). Applications of Thermography in Non-Destructive Testing of Structures. *NDT & E International*, 34, 149-154.
- Tuğla, R. Tavukçuoğlu, A. & Arslan, M. (2013). Examination of Thermal Properties and Failures of Brick Walls by the Use of Infrared Thermography and Hot Box Method. *International conference & exhibition on “Application of efficient & renewable energy technologies in low-cost buildings and construction*, Ankara, Turkey, 180-199.
- TS 825, (2013). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1745, (2004). Kâgir ve kâgir mamulleri- tasarım ısıl değerlerinin tayini metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 6946, (2009). Yapı Bileşenleri ve Yapı Elemanları, Isıl Direnç ve Isıl Geçirgenlik Hesaplama Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.