



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Mevcut yapı cephelerinin ısı özelliklerinin nicel kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi ile yerinde incelenmesi

In-situ inspection of thermal properties of the existing building facades by quantitative infrared thermography

Yazar(lar) (Author(s)): Rukiye KOÇKAR-TUĞLA¹

ORCID¹: 0000-0001-9731-4206

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Koçkar-Tuğla R., “Mevcut yapı cephelerinin ısı özelliklerinin nicel kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi ile yerinde incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1633-1643, (2022).

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

DOI: 10.2339/politeknik.868410

Mevcut Yapı Cephelerinin Isıl Özelliklerinin Nicel Kızılötesi Isıl Görüntüleme Yöntemi ile Yerinde İncelenmesi

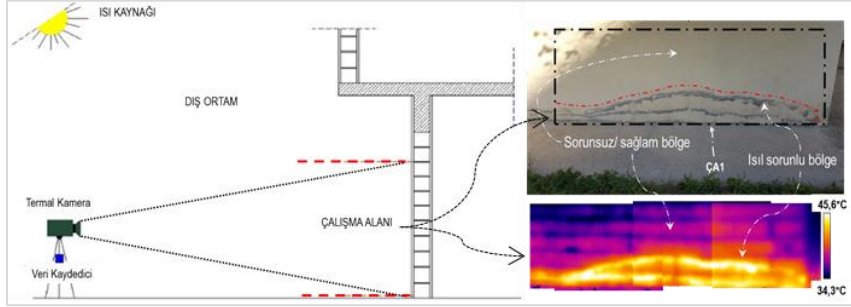
In-Situ Inspection of Thermal Properties of the Existing Building Facades by Quantitative Infrared Thermography

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Nicel Kızılötesi Isıl Görüntüleme (KÖİG) yöntemi ile mevcut yapı cephelerinin incelenmesi / Examination of existing building facades of quantitative infrared thermography (IRT) method
- ❖ Yapı cephesindeki ısıl sorunlu bölgelerin tespit edilmesi/ Identifying thermal defects areas on building facade
- ❖ Isıl parametreler ile yapı cephesindeki malzemelerin ısıl özelliklerinin değerlendirilmesi / Evaluation of thermal properties of building materials with thermal parameters

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kızılötesi ısıl görüntüleme yöntemi ile yapı cephelerini oluşturan ve farklı ısıl atalet özelliklerine sahip malzemelerin sağlam ve ısıl sorunlu bölgeleri tespit edilmektedir. / The sound and thermal defect areas of the building facades having different thermal inertia properties are detected by the infrared thermography method.



Şekil. Çalışmada kullanılan deney düzeneği / Figure. The experimental setup that has been used in the study

Amaç (Aim)

Mevut yapıların ısıl özelliklerinin ve ısıl sorunlarının tahribatsız deney yöntemleri ve nicel veriler ile belirlenmesi. / Determination of thermal properties and thermal defects of existing building with non-destructive testing method and quantitative data.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Nicel kızılötesi ısıl görüntüleme yöntemi ile doğal ortam koşullarındaki mevcut bir bina cephesinin ısınma davranışları incelenmiştir. / Thermal behaviours of the existing building facade which was under natural environment conditions were examined by quantitative infrared thermography.

Özgünlük (Originality)

Malzeme termofiziksel özelliklerine ihtiyaç duyulmadan yapı cephelerinin ısıl özellikleri incelenmiştir. / The thermal properties of building facades were examined without the need for material thermophysical properties.

Bulgular (Findings)

Isınma hızı verilerine göre yüksek ısıl ataletle sahip malzeme yüzeyleri daha yavaş ısınmaktadır. / The rate of warming up (R_w) of high thermal inertia material is slower than low thermal inertia material.

Sonuç (Conclusion)

Çalışma sonucunda en fazla ısınma duvar yüzeylerinin ısıl sorunlu bölgelerinde tespit edilmiştir. / As a result of this study, the most warming was been determined on the thermal problem area of existing wall surfaces.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

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

Mevcut Yapı Cephelerinin Isıl Özelliklerinin Nicel Kızılötesi Isıl Görüntüleme Yöntemi ile Yerinde İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Rukiye KOÇKAR TUĞLA*

Abana Sabahat Mesut Yılmaz MYO, İnşaat Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 26.01.2021 ; Kabul/Accepted : 12.07.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 06.08.2021)

ÖZ

Yapıların enerji performansı inşa edildikleri malzemelerin termofiziksel özellikleri ile ilişkilidir. Isıl atalet/termal efüsivite bir malzemenin ısı iletkenlik hesap değeri (λ , W/mK), özgül ısı değeri (c , J/kgK) ve yoğunluğuna (ρ , kg/m³) bağlı olan bir termofiziksel özelliktir. Termal atalet bir malzemenin ısıya karşı göstermiş olduğu ısı davranış hakkında bilgi verir. Sıcaklık değişimi olan bir ortam etkisinde düşük termal ataletli bir malzemenin yüzey sıcaklığı çok hızlı değişirken, yüksek termal ataletli malzemenin yüzey sıcaklığı daha yavaş değişir. Bu çalışmada mevcut bir bina cephesinin ısınma davranışları nicel Kızılötesi Isıl Görüntüleme Yöntemi (KÖİG) ile incelenmiştir. Çalışma alanı olarak binanın batı (ÇA1) ve kuzey (ÇA2) cepheleri seçilmiştir. Çalışma, temmuz ayında, güneşli bir günde ve 07:00-19:30 saatleri arasında yapılmıştır. ÇA1 ve ÇA2 olarak kodlanan çalışma bölgelerinden çalışma saatleri boyunca saat başı ısı görüntüleri alınmış; çalışma alanlarının ısı haritaları oluşturulmuştur. Alınan ısı görüntüleri yazılım programı sayesinde analiz edilmiş ve analiz sonucu elde edilen yüzey sıcaklık verileri ile sıcaklık farkı (ΔT), ısınma hızı (R_w) ve ısınma hızı oranları ($R_{wsorun}/R_{wkontrol}$) gibi bazı ısı parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler ile bina cephelerinde kullanılan malzemelerin ısınma davranışları incelenmiştir. Ayrıca çalışma alanlarında bulunan ısı sorunlu bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgeler de nicel verilerle değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ısı ataleti yüksek olan malzemelerin, düşük ısınma hızı verilerine sahip olduğu görülmüştür. Isınma hızı verileri ile aynı çalışma bölgesindeki (ÇA1) sorunlu alanın, sağlam/sorunsuz alana göre daha hızlı ısındığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi ısı görüntüleme, termal kamera, ısı atalet, ısınma hızı, ısı sorun.

In-Situ Inspection of Thermal Properties of the Existing Building Facades by Quantitative Infrared Thermography

ABSTRACT

The energy performance of the building is related to the thermophysical properties of the materials which they are constructed. Thermal effusivity is a thermophysical property of the materials that depends on the thermal conductivity value (λ , W/mK), specific heat (c , J/kgK) and density (ρ , kg/m³). Thermal inertia gives information about the thermal behaviour of the material at different heat conditions. While the surface temperature of a low thermal inertia material changes very rapidly under the effect of a temperature changing environment, the surface temperature of a high thermal inertia material changes more slowly. In this study, the thermal properties of an existing building facades were investigated by quantitative infrared thermography method. The west (ÇA1) and north (ÇA2) facades of the building have been chosen as the study area. The study was conducted between 07:00 am and 19:30 pm, on a sunny day in July. Thermal images were taken per hour of study areas coded as CA1 and CA2; thermal maps of the study areas were created with this thermal images. The thermal parameters such as temperature difference (ΔT), rate of warming up (R_w) and ratio of the rate of warming up between the defect area and sound area ($R_{wdefect}/R_{wsound}$) were obtained with the surface temperature on thermal maps. The thermal properties of the materials using in building facades were examined by these thermal parameters. In addition, the thermal defects areas in the study regions were determined and these defects areas were evaluated with quantitative data. The result of the study has shown that materials with high thermal inertia have lower rate of warming up data. It has been determined that the heating rate of the defect areas warming up faster than the reference areas.

Keywords: Infrared thermography, thermal camera, thermal inertia, rate of warming up, thermal problem.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların enerji sınıflarının belirlenmesi günümüzde öncelikli çalışma konularındandır. Yeni ve eski bütün yapıların enerji performansını artırmak ve enerji

tüketimini azaltmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması ve enerji sınıfının tespiti için hem Avrupa'da (Neredeyse Sıfır Atıklı Binalar) [1] hem de Türkiye'de bir takım yasal uygulamalar (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği) [2] da yapılmaktadır. Yapıların enerji verimliliğinin yüksek ya da düşük olması yapı elemanlarını oluşturan

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : rkoçkar@kastamonu.edu.tr

malzemelerin termofiziksel özellikleri ile ilgilidir. Termofiziksel özellikler bir malzemenin farklı iklim koşulları altında günlük ya da mevsimsel olarak, kesitlerinde ya da yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık değişimlerini gösteren özelliklerdir. Isıl atalet/eylemsizlik (termal efusivite) de bu termofiziksel özelliklerden biridir. Isıl atalet, bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ , W/mK) ve hacimsel ısı kapasitesine (yoğunluk(ρ) x özgül ısı (c)) bağlı olan bir özelliktir [3]. Sıcaklık değişimi olan bir ortam etkisinde düşük termal ataletli bir malzemenin yüzey sıcaklığı çok hızlı değişirken, yüksek termal ataletli bir malzemenin yüzey sıcaklığı hızla değişmez [3-5].

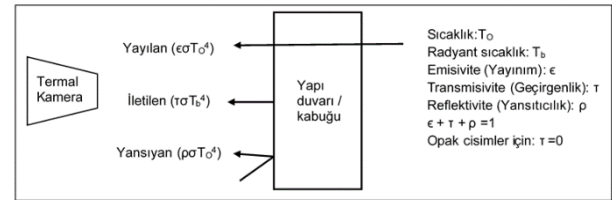
Yapı duvarlarının enerji performansları da duvarları oluşturan yapı malzemelerinin termal kütleleri ile alakalıdır. Yapı cephelerinde genellikle duvarlar ve betonarme elemanlar bulunmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan duvar dolgu malzemelerinden birisi tuğladır. Hem beton hem de tuğla malzeme bir ahşap malzemeye göre yüksek termal kütleyle sahiptir. Termal kütle özelliği; bir malzemenin ısı enerjisini emme, depolama ve tekrar serbest bırakma yeteneğidir [6]. Termal kütlesi yüksek malzemelerin sıcaklığını değiştirmek için çok daha fazla ısı enerjisi gereklidir. Bu nedenle termal kütleli malzemenin uygun kullanımı, konfor ve ısıtma/soğutma performansında büyük fark yaratmaktadır [7].

Bir yapı elemanın termal kütleli malzemenin ısı iletkenlik hesap değeri (λ , W/mK), yoğunluk (ρ , kg/m³) ve özgül ısı (c, J/kgK) değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu termofiziksel özellikler bilindiği takdirde bir malzemenin ısıl ataleti, $I = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$, W/s^{1/2}m²K gibi basit bir denklemle hesaplanmaktadır [5]. Ancak bu termofiziksel özellikleri belirlemek her zaman kolay değildir. Özellikle yapı elemanlarının ısı iletkenlik hesap değerini ölçmek için TS 8990 [8] standardında verilen sıcak kutu ölçüm cihazı gibi, pahalı ve büyük deney ekipmanları gereklidir. Ayrıca bu deneyler zaman alıcıdır ve deneylerin yapılmasında malzeme örneğinin kullanılması gereklidir. Mevcut yapıların termofiziksel özelliklerinin incelenmesi için alınması gereken malzeme örneği yapıya zarar veren, tahrip edici bir uygulamadır. TS 825 [9] standardında verilen malzeme termofiziksel özellikleri kullanılarak yapılan hesaplamalar da mevcut yapıda kullanılan malzeme bilinmediğinden kesin sonucu verememektedir. Bu sebeple yapı cephelerinin ısıl özelliklerini incelemek için tahrip edici uygulamalar ve tahmini hesaplamalar yerine tahribatsız muayene ve kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi (KÖİG) yöntemi ASTM STP 1320 [10] standartında tariflenen Infrared Termografi (IRT) yöntemi olarak da bilinen ve ısıya karşı duyarlı termal kameraların kullanıldığı tahribatsız bir muayene yöntemidir [11]. IRT tekniği, ölçüm yapılacak ortamın sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı gibi hava koşulları; ölçüm yapılacak nesne ile kamera arasındaki mesafe, açı değerleri ve incelenecek yüzeyin ısı yayılımı/termal emisivite değerinden etkilenmektedir

[11,12]. Çevremizde gördüğümüz mutlak sıfır değerinin üstündeki bütün malzemeler etrafına ışınım yayarlar [15]. İnsanlar ise sadece belli bir dalga boyuna sahip ışınımı çıplak gözle görebilirler. Termal kameralar elektromanyetik spektrumda 0,75-10 μ m olan mikro dalga boyuna sahip insan gözünün göremediği ışınım kümelerini gözle görünür hale getirirler [13,14].

Termal kameralar cisimler tarafından yayılan, iletilen ve yansıtılan ışınımın toplamını görüntüler (Şekil 1) ve bu görüntüleri bir renk göstergesi yardımıyla ısı haritaları şeklinde sunar. Yani termal kameralar sadece sıcaklık ölçümü değil, yüzey sıcaklık ve ısı yayılımı faktörünü (emisivite değerine) bağlı olarak ısı ışınım ölçümü yapar [13]. Termal ölçümler için yüzeylerin emisivite değeri (yayınım faktörü) önemlidir ve her cisim bir emisivite değerine sahiptir. Bütün cisimlerin yayınım faktörü 0-1 arasında değişmektedir; maksimum (1) yayınım değerine sahip yüzeye karacisim denilmektedir [13,15]. Aynı sıcaklıkta gerçek yüzeylerden yayılan ışınım, karacisim tarafından yayılan ışınım değerinden azdır [5,13,15]. Yapı malzemeleri için literatürde verilen emisivite değeri 0,90-0,95 arasındadır [15,16,17].



Şekil 1. Termal kameranın görüntüleme prensibi / Imaging principle of the thermal camera [13]

KÖİG yöntemi günümüzde savunma sanayi başta olmak üzere, sağlık sektörü, mühendislik-mimarlık uygulamaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi yapı cephelerinin enerji performansının değerlendirmek [18, 19]; yapı duvarlarındaki nem, hava kaçağı, ısı köprüsü, çatlak vb gibi sorunların tespit etmek [7,20-24]; malzeme termofiziksel özelliklerini belirlemek [25, 26]; malzemelerin yüzey sıcaklık verileri ile ısıl davranışlarını inceleyerek, malzemeleri tanımlanmak ve malzemelerin ısıl özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [12, 27].

Bu çalışma, Türkiye'de yapı cephelerinin yerinde incelenmesinde ve ısıl özelliklerinin araştırılmasında nicel kızılötesi ısı görüntüleme yönteminin kullanımını (KÖİG) yaygın hale getirmek ve etkili kullanımı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Çalışmada mevcut bir yapının iki farklı cephesinden KÖİG yöntemi ile ısı görüntüleri alınmış, yapı cephelerinde belirlenen çalışma alanlarının ısı haritaları oluşturulmuştur. KÖİG yöntemi ile elde edilen ısı görüntüleri ile yapılan analizler sonucunda çalışma bölgelerindeki farklı yapı elemanları ve bu elemanlardaki sağlam ve sorunlu bölgeler için ısınma hızı grafikleri oluşturulmuş ve bu veriler malzemelerin ısıl atalet özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada mevcut yapı cephesini

oluşturan yapı elemanlarının ve sorunlu bölgenin ısı davranışlarını incelemek için sadece yüzey sıcaklık verileri kullanılmış; cepheleri oluşturan elemanların malzeme termofiziksel (ısı iletkenlik hesap değeri, yoğunluk ve özgül ısı vb.) özelliklerine ihtiyaç duyulmamıştır. Ayrıca çalışmada yapı cephesinin sadece dış tarafı kullanılmış, yapı içine hiçbir şekilde temas edilmemiş, iç taraf ve iç yüzey iklimatik bilgilerine ihtiyaç duyulmamıştır. Bu yönleri ile yapı cephesinin tahribatsız bir şekilde muayenesini sağlayan KÖİG yöntemi, yapı kabuğu ısı davranışlarının nicel veriler ile değerlendirmesine imkan vererek çalışma sonuçlarına objektiflik kazandırmıştır. Yapılan bu çalışmanın, Türkiye’de KÖİG yöntemini aktif ve doğru kullanan kişilerin yetişmesine ve yapılan çalışmalarda sonuçların nicel ısı parametrelerle değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Nicel KÖİG yönteminin Türkiye’de yaygın kullanımının artırılması amacıyla bu tarz çalışmaların devam ettirilmesi ve yayınların Türkçe dilinde yazılması önerilmektedir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma, Kastamonu ili Bozkurt ilçesinde yer alan, yaklaşık on yaşında olduğu düşünülen, zemin+beş kattan oluşan mevcut bir bina üzerinde yapılmıştır (Şekil 2). Mevcut yapının zemin katı depo ve/veya garaj olarak kullanılırken diğer katları aktif yaşam alanı olarak kullanılmaktadır. Çalışmada incelenen yapı doğal ortamında bulunmaktadır. Dış cephesi güneş ışınlarının etkisinde olan çalışma binasının iç tarafında herhangi bir ısı kaynağı kullanılmamıştır. Her ne kadar çalışma yaz mevsiminde ısıtma sistemi/kaloriferlerin çalışmadığı bir dönemde yapılsada; aktif yaşam alanı olan katlarda klima kullanımı ihtimali vardır. Bu sebeple iç tarafta ısı kaynağı olmadığından emin olunan zemin kat cepheleri çalışmada inceleme alanı olarak belirlenmiştir. İncelenen bina cepheleri tuğla duvar ve betonarme elemanlardan (kiriş-kolon) oluşmaktadır. Bina dış duvarlarının inşasında 29x19x13,5 cm (uzunluk x genişlik x yükseklik) boyutlarında yatay delikli tuğla kullanıldığı, duvar üzerinin çimento-kireç katkılı harç ile sıvandığı ve açık renk bir boya ile kaplandığı bilinmektedir. Çalışmada

kullanılan tuğla duvar ve betonarme elemanların termofiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bir yüzeye güneş ışınları iki farklı şekilde etki ettiği bilinmektedir. Bunlardan biri doğrudan ikincisi dolaylı olarak düşen güneş ışınlarıdır. Bu sebeple çalışmada mevcut yapının güneş ışınlarından doğrudan etkilenen batı cephesi ve dolaylı olarak etkilenen kuzey cephesi çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2). Seçilen çalışma alanlarından ilki “Çalışma Alanı-1 (ÇA1)”, ikincisi “Çalışma Alanı-2 (ÇA2)” diye adlandırılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 4).



Şekil 2. Çalışmada incelenen mevcut binanın: (a) konumu (Kaynak: Google earth, 2020), (b) mevcut durumdaki fotoğrafı ve (c) zemin kat planı / The existing building examined in the study; (a) its location (Source: Google earth, 2020), (b) current photo and (c) ground floor plan

“ÇA1” diye kodlanan ilk çalışma alanı mevcut binanın batı cephesinde ve günün belli saatlerinde güneş ışınlarından doğrudan etkilenen bir bölgede yer almaktadır (Şekil 3). Bu bölgede yer alan yapı cephesi delikli tuğla duvar ve betonarme elemandan (kolon) oluşmaktadır. Tuğla duvar yüzeyinin belli bir kısmında problemlili/sorunlu alanlar görülmektedir (Şekil 3). Duvar yüzeyinin zemine yakın bölgelerinde rastlanan bu problemlili alanlar “ısı sorunlu alan/bölge” olarak

Çizelge 1. Malzemelerin termofiziksel özellikleri / Thermophysical properties of materials

Malzeme	Tanım	d cm	$\rho^{(*)}$ kg/m ³	$\lambda^{(*)}$ W/mK	$c^{(**)}$ J/kgK	I J/m ² K s ^{1/2}
Tuğla duvar	Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	19	600	0,33	840	407,824
Betonarme elemanlar	Normal beton (TS 500’e uygun), doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı	25	2400	2,50	880	2297,825

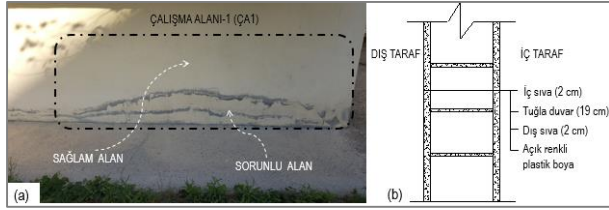
$$I = (\rho \cdot \lambda \cdot c)^{1/2}$$

d:kalınlık, ρ :yoğunluğu, λ :ısı iletkenlik hesap değeri, c:özgül ısı, I:ısı atalet/eylemsizlik

*: TS 825 (2013) standartından alınmıştır.

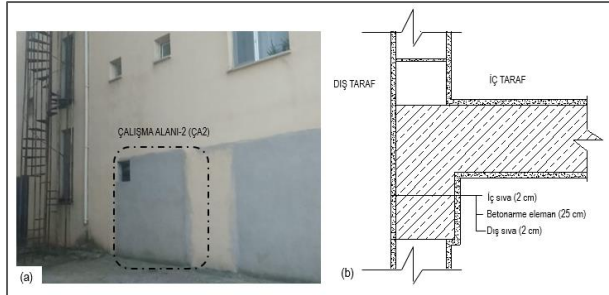
**:https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html

tanımlanmıştır (Şekil 3). Bu bölgede yer alan sağlam ve ıslıl sorunlu duvar yüzeyleri “Çalışma Alanı-1 (ÇA1)” kapsamında incelenmiştir.



Şekil 3. ÇA1 kodlu çalışma alanı için belirlenen duvarın; (a) dış görünüşü ve (b) kesiti / The existing building wall for the Study Area-1; (a) its view and (b) its section

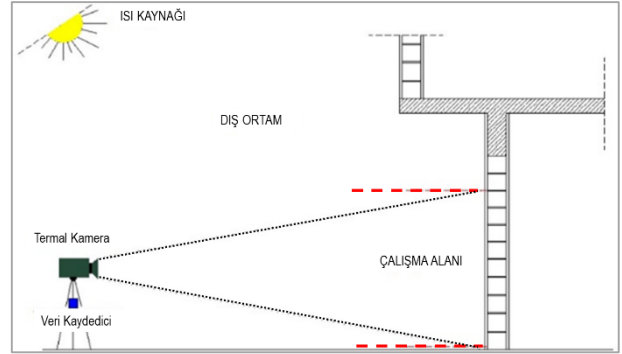
“ÇA2” diye kodlanan ikinci çalışma alanı mevcut binanın kuzey cephesinde ve güneş ışınlarından doğrudan etkilenmeyen bir bölgede yer almaktadır. (Şekil 4). Çalışma alanı delikli tuğla duvar ve betonarme elemanlardan (kolon-kiriş) oluşmaktadır. Mevcut binanın kuzey cephesinde yer alan bu elemanlar “Çalışma Alanı-2 (ÇA2)” kapsamında incelenmiştir.



Şekil 4. ÇA2 kodlu çalışma alanı için belirlenen duvarın; (a) dış görünüşü ve (b) kesiti / The existing building wall for the Study Area-2; (a) its view and (b) its section

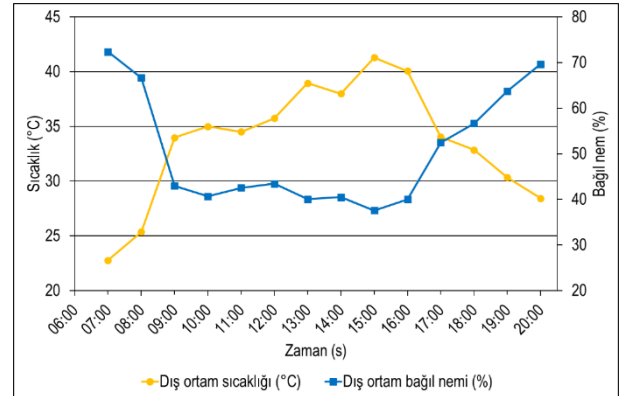
Bu çalışmada yapı cephelerini oluşturan elemanların ıslıl davranışlarının belirlenmesi ve yapı duvarlarının sağlam/sorunlu bölgelerinin tespiti için ardışık nicel kızılötesi ıslıl görüntüleme (KÖİG) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan deney düzeneğine ait şematik çizim Şekil 5’de verilmiştir. Bu deney düzeneği; doğal ortamında, güneş ışınlarının etkisinde olan mevcut yapı cephesini ve bu yapı cephesi ile aynı ortamda, incelenecek alanın tam karşısına konumlandırılmış bir termal kamerayı kapsamaktadır. Çalışmada ısı kaynağı olarak sadece güneş kullanılmıştır. Duvarların arka tarafında başka bir ısı kaynağı (radyatör, ısıtıcı/soğutucu, klima vb) bulunmamaktadır. Çalışma alanlarına ön taraftan nüfus eden güneş ışınları duvar tarafından emilir, depolanır ve geri yansıtılır. Bu deney düzeneğinde yer alan termal kamera ile duvar yüzeyinden yansıyan ıslıl ışınlar takip edilmektedir. Çalışma sabah saat 07:00’de alınan ilk ıslıl görüntü ile başlamış ve akşam saat 19:30’da alınan son ıslıl görüntü ile sonlandırılmıştır. ÇA1 ve ÇA2 diye kodlanan her bir çalışma alanından saat başı (saatte bir) ayrı ayrı ıslıl görüntüler alınmıştır. Elde edilen bu ıslıl görüntüler Flir Thermocam Researcher adlı termal kamera yazılım programı ile analiz edilmiştir. Analiz

sonucunda elde edilen sıcaklık verileri ile ısınma hızı (R_w) ve sıcaklık farkı (ΔT) gibi bazı sayısal/nicel ıslıl parametreler hesaplanmış ve yapı cephelerinin ıslıl davranışları bu parametreler yardımıyla irdelenmiştir. Çalışma alanları için referans kabul edilen kontrol verileri oluşturulmuş ve her bir çalışma alanı (ÇA1 ve ÇA2) kendi içinde değerlendirilmiştir. Çalışmada Flir E45 model manuel ölçüm özelliğine sahip bir termal kamera kullanılmıştır. İncelenen yapı duvarları için yayılım faktörü (emisivite değeri) 0,94 olarak alınmıştır [15-17].



Şekil 5. Çalışmada kullanılan deney düzeneği / The experimental setup that has been used in this study

Çalışma, 2020 yılı temmuz ayında; kararsız ortam koşullarında, yağmurun ve rüzgârın olmadığı güneşli bir zaman diliminde yapılmıştır. Dış ortam sıcaklık ve bağıl nem bilgileri HOBOWare Pro veri toplayıcılar ile çalışma saatlerini kapsayacak şekilde saat başı otomatik olarak kayıt edilmiştir. Elde edilen dış ortam sıcaklık ve bağıl nem bilgileri Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Çalışma saatleri süresince alınan dış ortam sıcaklık ve bağıl nem verileri. / Outside ambient temperature and relative humidity have been taken during study time.

ÇA1 diye kodlanan çalışma alanındaki sağlam duvar yüzeyi (kontrol) ile ıslıl sorunlu duvar yüzeyi sıcaklıkları çalışma süresi boyunca (saat başı) takip edilmiştir. Sağlam ve sorunlu yüzey arasındaki sıcaklık farklılıkları “ ΔT ” ile ifade edilmiştir. ΔT (°C) verileri Denklem 1’de verilen eşitlik kullanılarak belirlenmiştir [20].

$$\Delta T = T_{\text{SORUN}} - T_{\text{SAĞLAM}} \quad (1)$$

Burada, ısıl sorunlu bölgenin yüzey sıcaklığı T_{SORUN} , (°C) ve sağlam bölgenin yüzey sıcaklığı $T_{SAĞLAM}$, (°C) ile ifade edilmiştir.

Yapı cephelerinin doğal ortamlarındaki zamana karşı sıcaklık değişimleri incelenmiş ve yapı cephelerini oluşturan, farklı ısıl atalet özelliğine sahip yapı elemanları (tuğla duvar ve betonarme elemanlar) ile bu bölgelerde bulunan ısıl sorunların ısınma hızını gösteren grafikler oluşturulmuştur. Bu grafiklerdeki doğrusal regresyonun eğimi, tuğla duvardaki her hedef alan için ısınma hızını (R_W , °C s^{-1/2}) vermektedir. İlk sıcaklık ile son sıcaklık arasındaki yüzey sıcaklıklarının zamanın kareköküne oranı şeklinde bir fonksiyonla oluşturulmuş ısınma hızları Denklem 2’de verilmiştir [22-24].

$$R_W = \frac{T_n - T_i}{t^{1/2}} \quad (2)$$

Burada, incelenen bölgenin ilk yüzey sıcaklığı T_i , (°C); incelenen bölgenin belirli bir ısıtma süresinden sonraki yüzey sıcaklığı T_n , (°C), ve ısınma işleminin süresi $t^{1/2}$, (s^{1/2}) ile ifade edilmiştir.

Sorunlu bölgenin ısınma hızının (R_{WSORUN}), referans alınan sağlam bölgenin (kontrol) ısınma hızına ($R_{WKONTROL}$) oranı da ($R_{WSORUN}/R_{WKONTROL}$) belirlenmiştir [22-24]. Bu oranla sorunlu bölgenin sağlam bölgeye göre kaç kat daha fazla ısındığı/soğuduğu nicel olarak tespit edilmektedir. Çalışmada elde edilen veriler bulgular ve tartışma kısmında anlatılmıştır.

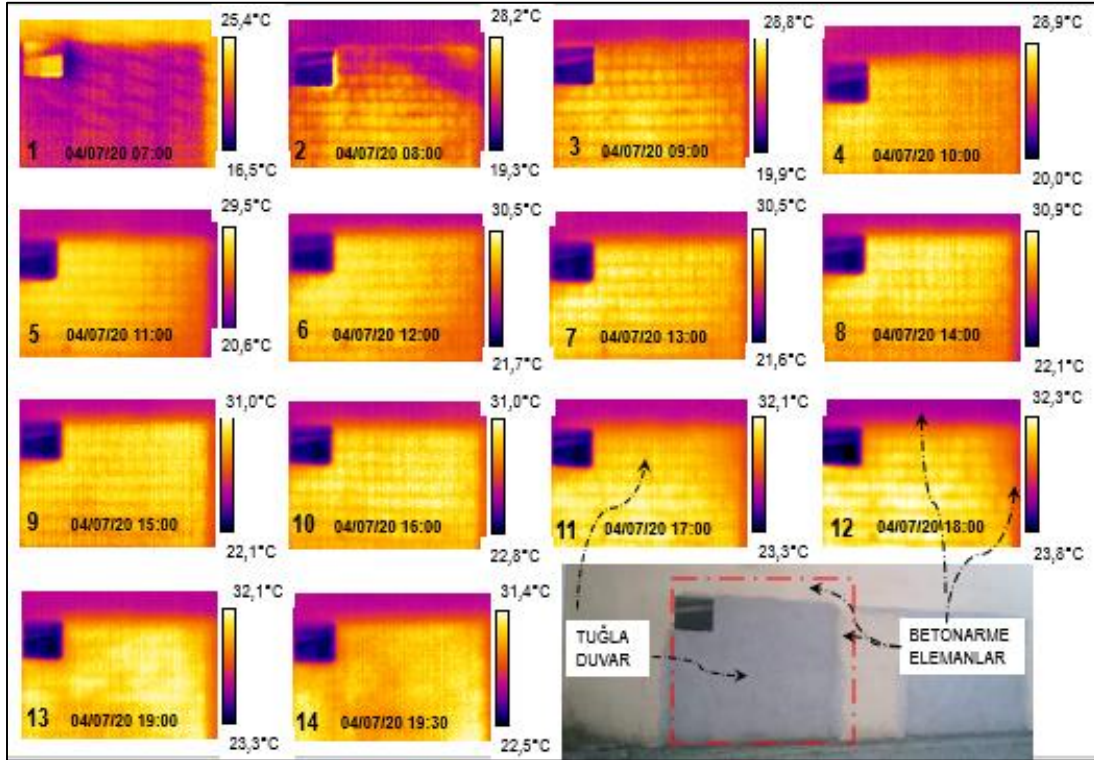
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

Mevcut yapı cephelerinin ısıl özellikleri nicel kızılötesi ısıl görüntüleme yöntemi ile yerinde incelenmiş; bu inceleme sonucunda elde edilen veriler bulgular ve tartışma kısmında detaylıca anlatılmıştır.

3.1. Çalışma alanlarının ısıl görüntülerle nitel değerlendirilmesi (Qualitative evaluation of study areas with thermal images)

“Çalışma Alanı-1 (ÇA1)” ve “Çalışma Alanı-2 (ÇA2)” diye adlandırılan bölgeler için aynı zaman dilimlerinde kızılötesi ısıl görüntüler alınmış ve alınan bu ısıl görüntüler ile oluşturulan ısıl haritalar yardımıyla nitel değerlendirme yapılmıştır.

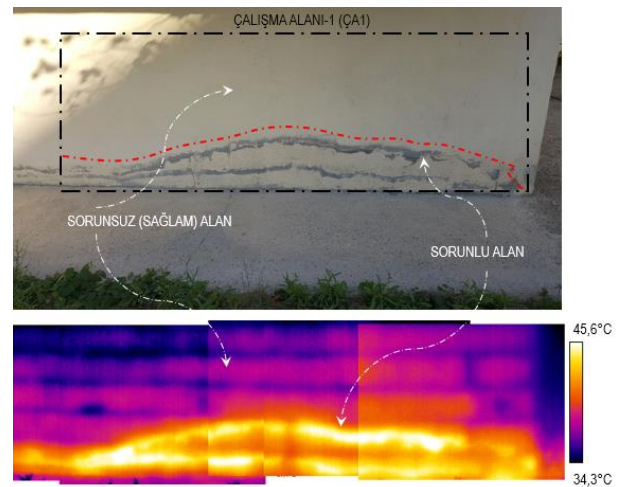
ÇA1 ve ÇA2 diye kodlanan her iki çalışma bölgesinde de çalışma sabah saat 07.00’de alınan ilk ısıl görüntü ile başlatılmış, akşam saat 19:30’da alınan son ısıl görüntü ile sona erdirilmiştir. Çalışma süresi boyunca ÇA2 diye kodlanan çalışma bölgesinden alınan ısıl görüntüler Şekil 7’de verilmiştir. Buna göre sabah saat 7:00’de alınan ilk ısıl görüntüde yüzeye henüz güneş ışınının etkisi yoktur. Gece boyunca herhangi bir ısı etkisine maruz kalmayan duvar yüzey sıcaklığı ortam ile dengededir. Bu sebeple Şekil 7’de verilen 1 numaralı görüntüde (ilk ısıl görüntü) betonarme eleman (kiriş) yüzey sıcaklığının, tuğla duvarın yüzey sıcaklığına göre daha sıcak olduğu görülmektedir (Şekil 7). Deneyin başlatıldığı sabah saatlerinde ortam dengede olduğu için malzeme ısıl geçirimsizlik özelliği gereği bu beklenen bir durumdur. Saatin ilerlemesi ile güneş ışınları çalışma alanlarını etkilemeye başlamış ve yüzeyde oluşan ısı dağılımları değişim göstermiştir. Bu durum ısıl görüntülerde farklı renk skalaları yardımıyla kolaylıkla görülmektedir (Şekil 7). Bu renk skalalarındaki farklılık ölçüm yapılan yüzeyin farklı sıcaklık verilerine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Güneş ışınlarının duvar yüzeyini etkilemeye başladığı zaman dilimlerinde çalışma bölgesinden alınan ısıl görüntüler Şekilde 7’de 2-14 numara arasında verilen görüntülerde mevcuttur. Bu görüntülere bakıldığı zaman ilk ısıl görüntünün (1 nolu görüntü) aksine giriş yüzeyi, tuğla duvar yüzeyine göre daha soğuk görülmektedir (Şekil 7. 3-14 nolu görüntü). Ortam ve yüzey arasındaki başlangıçtaki dengeli ortam koşulları bozulmuştur. Isınma etkisi altında kalan malzemeler, termofiziksel özelliklerine (ısıl iletkenlik katsayısı, özgül ısı değeri ve yoğunluk) bağlı olarak bu güneş ışınlarından belli oranda etkileneceklerdir. Yani güneş ışınlarından kimi malzeme yüzeyi daha hızlı etkilenirken kimi malzeme yüzeyi daha yavaş etkilenmektedir. Bu durum malzemelerin ısıl atalet/ısıl eylemsizliği ile alakalıdır. Isıl atalet özelliği yüksek olan malzemelerin daha geç ısınıp daha geç soğuduğu bilinmektedir [3-6]. Betonarme elemanın ısıl ataleti tuğla elemana göre daha yüksek olduğundan (bkz. Çizelge 1) ısınması da tuğla elemana göre daha yavaş olacaktır. Bu sebeple giriş yüzey daha soğuk görünmektedir (Şekil 7. 3-14 nolu görüntü). Bu durum ÇA1 diye kodlanan bölgede bulunan tuğla ve betonarme eleman içinde benzerdir. ÇA1 diye kodlanan bölge kapsamında incelenen tuğla duvar yüzey, betonarme yüzeye göre daha sıcak görünmektedir (Şekil 8).



Şekil 7. ÇA2 kodlu çalışma alanından 07:00 -19:30 saatleri arasında alınan ısı görüntüleri / The thermal images have taken from the study area-2 (CA2) between 07:00 a.m and 19:30 p.m

ÇA1 diye kodlanan çalışma alanının zemine yakın bölgesinde kusurlu/problemleri bir alan bulunmaktadır. Bu kusurlu alan Şekil 8’de “sorunlu alan” olarak gösterilmiştir. KÖİG ısı görüntüleme ile incelemeye başlamadan önce yapı duvarındaki bu sorunlu bölgenin patolojik durumu incelenmiş, kusurlu bölgenin oluşmasına sebebiyet veren durum araştırılmıştır. Yüzeylerde nem olup olmadığını kontrol etmek için DT 125G model yapı malzemesi nem ölçer (protimetre) cihazı kullanılmıştır. Çalışma bölgelerindeki sağlam ve sorunlu yüzeylerin farklı noktalarından protimetre ile ölçümler yapılmış ve nemlilik tespit edilmemiştir. Çalışma bölgeleri kurudur. Yapı fiziği kuralı gereği, problemleri bölgenin ıslanma-kuruma etkisine maruz kaldığı ve bu etkiyle yüzeyde pullanma şeklinde dökülmeler, sıva kabarcıkları oluştuğu düşünülmektedir. Bu ısı sorunlu alanın ısınma davranışını değerlendirmek için KÖİG yönteminden yararlanılmıştır. ÇA1 diye kodlanan çalışma bölgesindeki tuğla duvarın sağlam ve ısı sorunlu yüzeyinden alınan ısı görüntüleri kullanılarak oluşturulan ısı haritası Şekil 8’de verilmiştir. Bu ısı haritada kullanılan renk göstergesine bakıldığı zaman koyu renkten açık renge doğru gidildikçe sıcaklık verilerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuca göre en fazla ısınmanın ısı sorunlu alanda olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8). Aynı çalışma bölgesindeki (ÇA1) duvar yüzeyinde yer alan sağlam tuğla duvar yüzeyin ise sorunlu alana göre daha az ısındığı anlaşılmaktadır. Ayrıca ısı haritada sağlam bölgedeki tuğla malzemeler ile derz birleşimlerinin de farklı ısınma özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle yatay derzlerin,

tuğla yüzeye göre daha soğuk olduğu tespit edilmiştir. ısı harita incelendiğinde sorunlu çalışma alanında nemlilik durumunun olmadığı görülmektedir. Bir yüzeyde nemlilik durumu varsa güneş ışınlarının etkisiyle sorunlu bölgelerde buharlaşma başlayacak ve bu alanda yüzey sıcaklığı dengeye gelinceye kadar ısı haritada koyu renk (soğuk) olarak kendini gösterecektir. Bu değerlendirmeyi literatürde verilen çalışmalar da desteklemektedir [20, 22, 24].

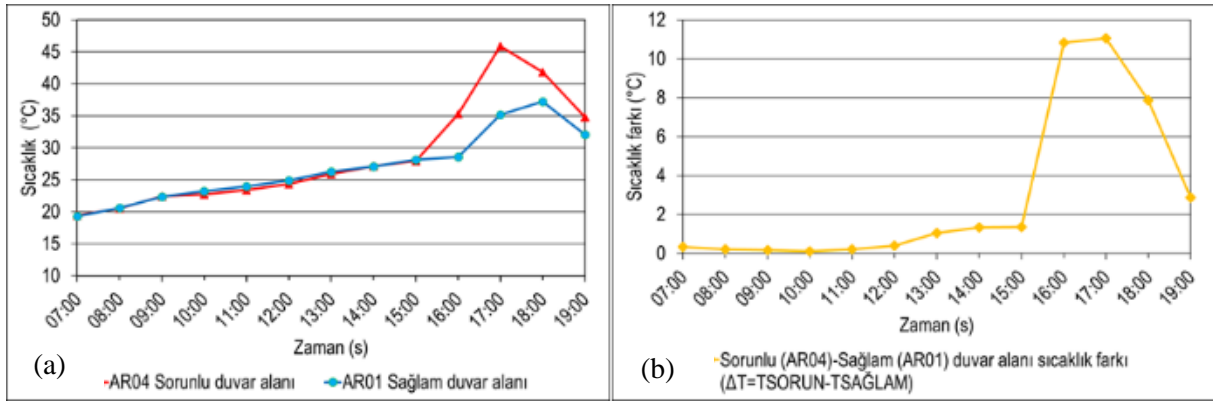


Şekil 8. ÇA1 kodlu çalışma bölgesinden saat 18:00’de alınan ısı görüntüleri: dış ortam sıcaklığı 28,4 °C ve bağıl nemi % 70 / Thermal images of the study area that was coded as CA1 at 18:00 p.m: outside ambient temperature 28,4 °C and relative humidity 70%

Her iki çalışma alanının da aynı türdeki yapı elemanları için benzer ısı görüntülerin elde edilmesi KÖİG yönteminin farklı ısı özelliklere sahip malzemelerin tespitinde ve ayrıca malzeme bünyesinde yer alan/alabilecek ısı sorunlarının tespit edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak bu ısı görüntüler ile yapılan nitel değerlendirmeler bazen yanıltıcı yorumlara sebep olabilmektedir. Objektif sonuçların elde edilmesi için KÖİG ile elde edilen ısı görüntülerin detaylı analizlerinin yapılması ve sonuçların nicel veriler ile değerlendirilmesi gereklidir.

3.2. Çalışma alanlarının nicel ısı parametrelerle değerlendirilmesi (Evaluation of study areas with quantitative thermal parameters)

ÇA1 ve ÇA2 diye kodlanan çalışma alanlarından alınan ısı görüntüler termal kamera yazılım programı ile analiz edilmiş; bu analiz sonucunda elde edilen yüzey sıcaklık verileri kullanılarak çalışma alanlarının ısınma davranışları; sıcaklık farkı (ΔT), ısınma hızı (R_w) ve ısınma hızı oranı ($R_{wsorun}/R_{wkontrol}$) gibi bazı nicel ısı parametrelerle değerlendirilmiştir.

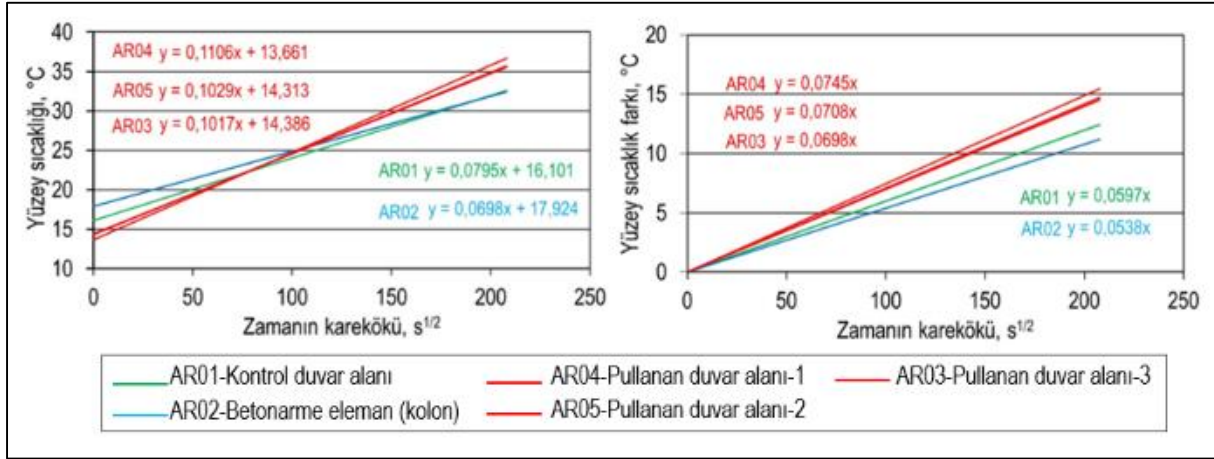


Şekil 9. ÇA1 diye kodlanan bölgede; (a) tuğla duvardaki sağlam ve sorunlu alanın zaman karşı sıcaklık değişimleri, (b) sorunlu (T_{SORUN}) ve sağlam ($T_{SAĞLAM}$) bölge arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) / The study area has coded as CA1; (a) temperature changes of the sound and defect areas in the brick wall by time, (b) temperature difference (ΔT) between the sound (T_{SOUND}) and defect area (T_{DEFECT}).

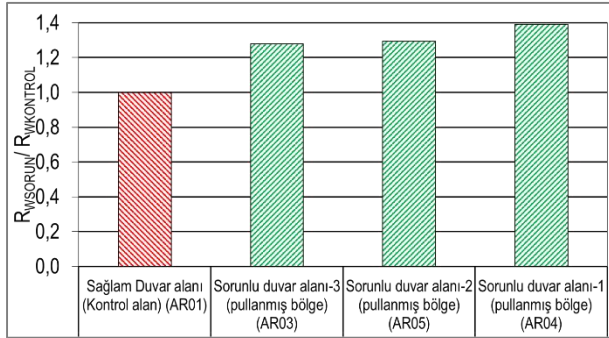
ÇA1 kodlu çalışma bölgesinde yer alan tuğla duvar ve betonarme eleman (kolon) yüzeyleri için ısınma hızı (R_w) grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 10). Yüzeylerdeki sıcaklık artışını gösteren ısınma hızı eğrileri tuğla duvar (sağlam ve sorunlu bölgesi) ve betonarme kolon üzerindeki yüzey sıcaklık artışlarını vermektedir (Şekil 10). Sağlam/sorunsuz tuğla duvar yüzeyin ısınma hızı ($R_{wsağlam}$) $0,0795 \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir. Aynı özelliklere sahip duvar yüzeyindeki pullanmış yani sorunlu alanın farklı bölgelerinde ısınma hızları (R_{wsorun}) $0,1106-0,1017 \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1/2}$ aralığında

duvarın sağlam ve sorunlu alanının zamana karşı sıcaklık değişimini gösteren bir grafik oluşturulmuştur (Şekil 9). Çalışma süresince sağlam ve sorunlu alanlardan elde edilen saatlik yüzey sıcaklık verileri Şekil 9a'da gösterilmiştir. Bu verilere bakıldığı zaman başlangıçta sağlam ve sorunlu alan yüzey sıcaklıkları nerdeyse aynı değerlerde ilerlerken; güneş ışınlarının yoğun olarak yansıdığı saat dilimleri (16:00-19:00) arasında sorunlu duvar yüzey sıcaklığı sağlam duvar yüzey sıcaklığına geçmiştir (Şekil 9a). Sağlam ve sorunlu alanlar arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) her bir çalışma saati için ayrı ayrı hesaplanmış ve bu veriler Şekil 9b'deki grafikte gösterilmiştir. Bu grafiğe göre saat 07:00 ile 11:00 arasında yüzeylerdeki sıcaklık benzerdir. Saat 12:00 de yüzeylere güneş ışınlarının etkisi artmaya başlamış ve bu durum grafikte sıcaklık farkı artışı olarak görülmüştür. 12:00 ile 15:00 saatleri arasında sıcaklık farkında artış devam etmiş, bu artış 16:00-17:00 saatleri arasında yaklaşık $9 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak maksimum noktaya ulaşmıştır. Daha sonra yüzeyde güneş ışınlarının etkisinin azalması ile birlikte yüzey sıcaklık farkında düşüş görülmüştür. (Şekil 9).

bulunmuştur. Kolon yüzeyine ait ısınma hızı ise $0,0698 \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1/2}$ olarak elde edilmiştir. Bu verilere göre en hızlı ısınan yüzey sorunlu bölgedir. Aynı bölgede yer alan tuğla duvarın sağlam alanı kontrol alan olarak belirlenmiştir. Sorunlu duvar yüzeyinin ısınma hızının, kontrol duvar yüzeyinin ısınma hızına oranı ($R_{wsorun} / R_{wkontrol}$) Şekil 11'de verilmiştir. Bu grafikte verilen değerlere bakıldığı zaman tuğla duvar yüzeyindeki ısı sorunlu alanın, aynı bölgedeki sağlam yüzey alanına göre yaklaşık 1,4 kat daha fazla ısındığı anlaşılmaktadır.



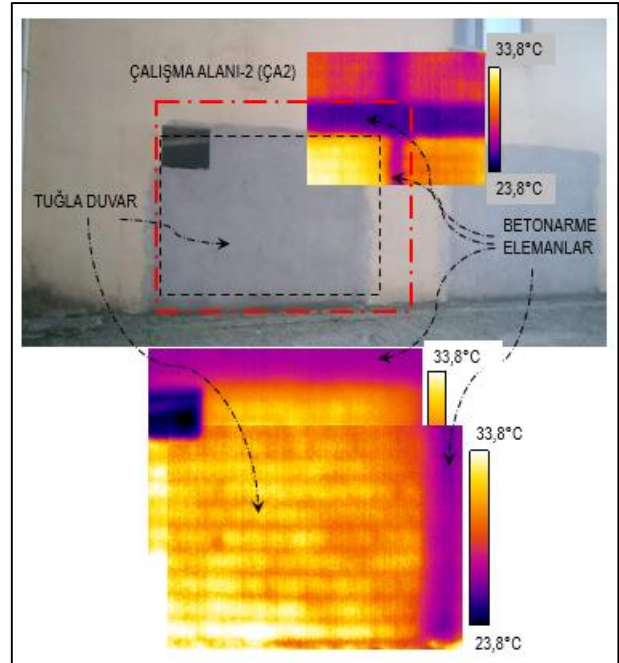
Şekil 10. Güneş ışınlarından doğrudan etkilenen, ÇA1 kodlu bölgede yer alan sağlam-sorunlu tuğla duvar ve betonarme eleman yüzey sıcaklığının zamana karşı artışını gösteren ısınma hızı grafikleri / The graphs of the rate of warming up of the brick wall surface both sound and defect area and column surface on the study area as coded CA1 which has affected by sun radiation directly.



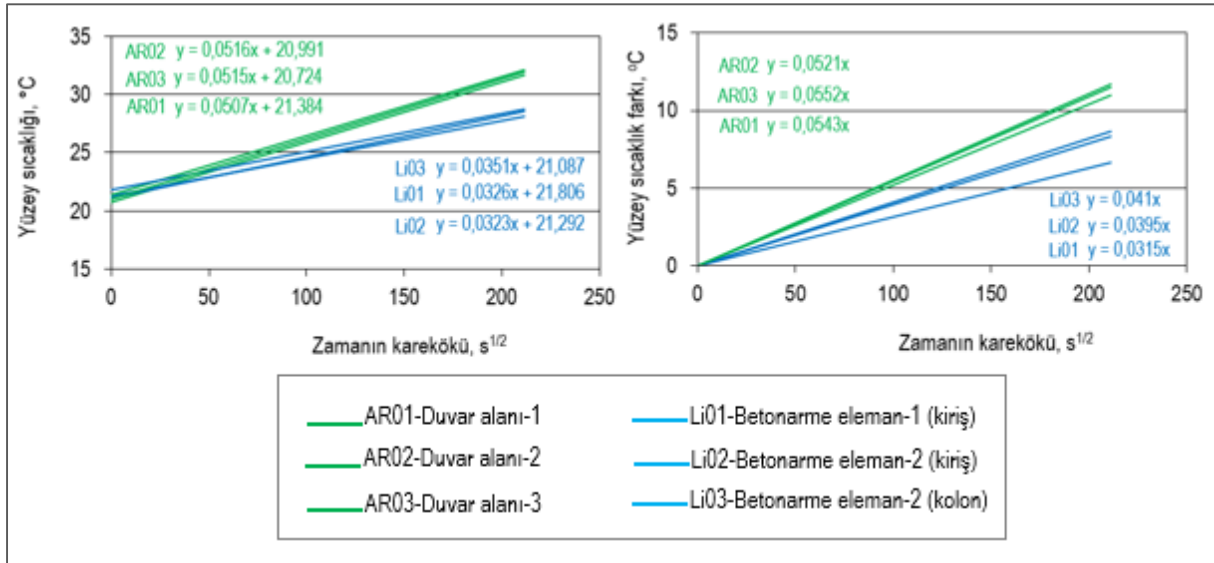
Şekil 11. ÇA1 kodlu bölgede bulunan sorunlu duvar yüzeyi ısınma hızının (R_{wsorun}), kontrol/sağlam duvar yüzeyi ısınma hızına ($R_{wkontrol}$) oranı ($R_{wsorun}/R_{wkontrol}$) / The ratio ($R_{wdefect}/R_{wreference}$) of the rate of warming up of the wall surface defect area ($R_{wdefect}$) to reference area ($R_{wreference}$) in the study area-1 namely CA1.

ÇA2 kodlu çalışma bölgesine ait oluşturulan ısı harita Şekil 12'de verilmiştir. Bu ısı harita incelendiğinde tuğla duvar yüzeyinin betonarme (kiriş-kolon) yüzeylere göre daha sıcak olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 12). Bu değerlendirmeyi nicel ısı parametrelerle de doğrulamak için ÇA2 kodlu bölgede yer alan tuğla duvar ve betonarme elemanlar (kiriş-kolon) yüzey sıcaklık verileri ile yüzey sıcaklık farkı verilerinin zamana karşı ısınma hızı grafikleri oluşturulmuştur. Isınma hızı grafikleri Şekil 13'de verilmiştir. Bu grafiklere göre ÇA2 kodlu çalışma bölgesinde yer alan tuğla duvar yüzeyin ısınma hızları (RW) 0,0516-0,0507 °C s^{-1/2} aralığında; aynı bölgedeki betonarme elemanlara ait ısınma hızları ise 0,0351-0,0323 °C s^{-1/2} aralığında belirlenmiştir. Bu verilere göre en hızlı ısınan yüzey tuğla duvar bölgeleridir. Betonarme elemanların ısınma hızları tuğla duvarlara göre daha düşüktür (Şekil 13). Bu sonuç, yüksek termal kütleyle sahip betonarme elemanın, kendisinden daha düşük termal kütleyle sahip tuğla

elemandan daha yavaş ısınıp soğuyacağı bilgisi ile uyumludur.



Şekil 12. ÇA2 kodlu bölgeden saat 18:00'de alınan ısı görüntüleri: dış ortam sıcaklığı 28,4 °C ve dış ortam bağıl nemi %70 / The thermal images have taken in the study area-2 namely CA2 at 18:00 p.m: outside ambient temperature 28,4 °C and relative humidity 70%



Şekil 13. Güneş ışınlarından doğrudan etkilenmeyen, ÇA2 kodlu bölgede yer alan tuğla duvar ve betonarme elemanların yüzey sıcaklığının zamana karşı artışını gösteren ısınma hızı grafikleri (The graphs of the rate of warming up of the brick wall and reinforced concrete materials surface on the study area which hasn't affected sun radiation directly as coded CA2).

Her iki çalışma bölgesi (ÇA1 ve ÇA2) için elde edilen ısınma hızı verileri, yapı elemanlarının ısıl atalet özellikleri ile uyumlu bulunmuştur. Isıl ataleti tuğlaya göre daha yüksek olan betonarme elemanın (bkz Çizelge 1) ısınma hızı verileri de tuğlaya göre daha düşük bulunmuştur (Şekil 13 ve Şekil 10). Çalışma bölgeleri aynı binanın farklı iki cephesinde olduğu için ÇA1 kodlu çalışma bölgesi güneş ışınlarına direkt (doğrudan) etkilenip daha çok ısıya maruz kalırken, ÇA2 kodlu çalışma bölgesi güneş ışınlarının doğrudan etkisi altında olmayıp, dış ortam sıcaklığı etkisi altındadır. Mevcut çalışma binasının incelenen iki cephesi (ÇA1 ve ÇA2) de aynı özelliklerdeki malzemelerden oluşmuş elemanlara sahip olsa da; bu elemanların ısınma hızı değerlerinde farklılıklara rastlanmıştır. Bu farklılığın sebebi incelenen elemanların yapının farklı cephelerinde yer alması ve bu cephelerin güneş ışınlarından farklı oranda etkilenmesidir. Bu sonuç beklenen bir durumdur. Güneş ışınlarının doğrudan temas ettiği ve bu sebeple yüzeyi daha fazla ısınan yapı cephesindeki (ÇA1) elemanların ısınma hızı değerleri, güneş ışınlarından daha az etkilenen bölgede (ÇA2) yer alan elemanların ısınma hızı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Isınma koşullarındaki bu farklılık, ısıl özellikleri farklı olan yapı elemanlarının KÖİG yöntemiyle tespit edilmesini engellemektedir. Çünkü her iki çalışma bölgesinde de betonarme elemanın ısınma hızı, tuğla duvarın ısınma hızından düşük bulunmuştur. Bu sonuç; KÖİG yöntemiyle elde edilen nicel verilerin yapı elemanlarını ısıl özellikleri bakımından değerlendirmede işe yarar olduğunun göstergesidir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, değişen ortam koşullarında ve güneş ışınlarının etkisinde olan mevcut bir yapının iki farklı

cephesi nicel KÖİG yöntemi ile incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde güneş ışınlarından doğrudan ve dolaylı olarak etkilenen cephelerdeki tuğla duvar ve betonarme kolon/kiriş gibi yapı elemanlarının ve bu elemanlarda oluşan bozulmaların/problemlerin sıcaklık değişimi karşısında göstermiş oldukları ısıl davranışları irdelenmiştir.

Çalışma sonuçları kısaca şöyle özetlenebilir;

- Mevcut bir yapının güneş ışınlarından doğrudan ve dolaylı etkilenen iki farklı cephesinde ÇA1 ve ÇA2 diye kodlanan iki ayrı çalışma alanı belirlenmiştir.
- Bu çalışma alanlarının patolojik incelenmesi yapılmış ve yüzeydeki sorunlu alan tanımlanmıştır.
- Çalışma alanlarından 07:00-19:30 saatleri arasında saat başı ısıl görüntüler alınmış ve bu ısıl görüntüler ile her bir çalışma alanı için ısıl haritalar oluşturulmuştur.
- Bu ısıl haritalar ile yapı cephesinde bulunan ve farklı termofiziksel özelliklere sahip yapı elemanları (tuğla duvar ve betonarme kolon/kiriş) tespit edilmiş bu elemanlar için nitel değerlendirme yapılmıştır.
- Termal kütlesi farklı olan tuğla duvar ve betonarme (kolon/kiriş) yapı elemanlarının ısıl davranışı; sıcaklık farkı (ΔT), ısınma hızı (R_w), kontrol alanının ısınma hızının-sorunlu alanın ısınma hızına oranı ($R_{wsorun}/R_{wkontrol}$) gibi nicel ısıl parametrelerle değerlendirilmiştir.
- Isıl ataleti tuğlaya göre daha yüksek olan betonarme elemanların ısınma hızı (R_w) verileri tuğla duvarın ısınma hızına göre daha düşük bulunmuştur.
- Benzer yapı elemanının ısınma hızı değeri dış ortam koşullarına (güneşten etkilenme durumuna) bağlı olarak değişmektedir. Güneşten doğrudan etkilenen

çalışma bölgesindeki (ÇA1) yapı elemanlarının ısınma hızları, diğer çalışma bölgesine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sebeple her çalışma bölgesi kendi dış ortam koşullarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- Her iki ortam koşulunda da betonarme elemanların, tuğla duvara göre daha yavaş ısındığı tespit edilmiştir.
- KÖİG yönteminde yapı cephelerinde bulunan ısı sorunlu bölgeler, sağlam bölgelerden kolayca ayırt edilecek bir ısı görüntü sunmaktadır. Bu ısı görüntüleri ile yapılan nicel analizler sonucunda pullanmış ısı sorunlu bölgenin sağlam bölgeye göre yaklaşık 1,4 kat daha fazla hızlı ısındığı belirlenmiştir.
- Aynı malzeme yüzeyindeki sağlam ve sorunlu bölge arasındaki zamana karşı sıcaklık farkı grafikleri (ΔT) oluşturulmuş. Güneş ışınlarının etkisini artırdığı saatlerde ΔT değerinde 9°C sıcaklık artışı görülmüştür.
- KÖİG yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada yapı duvarlarının sadece dış cephesi/trafi incelenmiş, yapının iç tarafına müdahale edilmemiştir. Böylece deney esnasında yapının kullanılabilirliği kısıtlanmamıştır.
- Ayrıca bu çalışmada yapı kesitine ve duvarlarda kullanılan malzeme bilgisine ihtiyaç duyulmadan ısı özellikleri analiz edilmiş; farklı malzemelerin ısı davranışları sayısal parametrelerle belirlenmiştir.

Bu sonuçlar, nicel kızılötesi ısı görüntüleme yöntemi (KÖİG) kullanılarak belirlenen ısı parametrelerin malzeme ısı özelliklerinin ve malzeme bozulmalarının/sorunlarının tespitinde kullanılabileceğini göstermiştir. Nicel KÖİG yönteminin yapıların ısı performanslarını tespit etmek, malzeme ısı özelliklerini belirlemek, yapı cephesi/malzemesi yüzeyindeki bozulan kusurlu alanları tanımlamak için standart bir analiz yöntemi haline getirilmesi önemsenmektedir. Dünya genelinde bu kapsamda infrared termografinin kullanıldığı çalışmalar ivme kazanmıştır. Türkiye’de de bu tarz çalışmaların yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu yöntemin anlaşılabilirliğinin artırılması, kullanım alanlarının genişletilmesi için yapılan çalışmaların da Türkçe dilinde yazılması/açıklanması önerilmektedir. Türkçe yayınların, Türkiye’de KÖİG yönteminin doğru kullanımına vesile olacağı; yapı enerji performansı belirleme çalışmaları başta olmak üzere, yapı denetimi, yapı kontrolü ve yapı hasar tespiti çalışmalarının yanı sıra farklı birçok alanda nicel KÖİG yönteminin aktif kullanımına büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Kızılötesi Isıl Görüntüleme Yöntemini öğrenmem konusunda yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarına katkı sağlayan Doç. Dr. Ayşe Tavukçuoğlu’na teşekkür ederim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI

(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

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

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Rukiye KOÇKAR TUĞLA: Deneyle ilgili yapılmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makaleyi yazmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] NZEB, “Nearly zero-energy buildings”, European Commission, (2010).
- [2] Bayındırlık İskan Bakanlığı, “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” *Resmî Gazete*, 27075, 45, (2008).
- [3] Wikipedia, “thermal effusivity” [wikipedia.org https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_effusivity](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_effusivity) (erişim: 23 Ocak, 2021).
- [4] Maldague, X.P.V., “*Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing.*”, John Wiley & Sons, New York, (2001).
- [5] Goulart, S.V.G., “Thermal Inertia and Natural Ventilation – Optimisation of Thermal Storage as a Cooling Technique for Residential Buildings in Southern Brazil”. Phd. Thesis, *Architectural Association School of Architecture*, Graduate School, (2004).
- [6] Yasin, E., “Betonun termal kütleli ve enerji verimliliğine etkisi.” [Betonvecimento.com https://www.betonvecimento.com/beton-2/betonun-termal-kutlesi-ve-enerji-verimliliğine-etkisi](https://www.betonvecimento.com/beton-2/betonun-termal-kutlesi-ve-enerji-verimliliğine-etkisi) (erişim: 23 Ocak, 2021).
- [7] Akevren, S., “Non-destructive examination of stone masonry historic structures – quantitative IR thermography and ultrasonic testing.” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 7-10, (2010).
- [8] TS EN ISO 8990 “Isı yalıtımı- kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini- kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2002).
- [9] TS 825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2013).
- [10] ASTM STP 1320 “Laboratory procedures for using infrared thermography to validate heat transfer models, insulation materials: testing and applications”, *American Society for Testing and Materials*, (1997).
- [11] Titman, D., J., “Applications of Thermography in Non-Destructive Testing of Structures” *NDT&E International*, 34, 149-154, (2001).
- [12] Avdelidis, N.P. and Moropoulou A., “Emissivity Considerations in building thermography”, *Energy and Buildings*, 35, 663-667, (2003).

- [13] Ocana, S.M., Guerrero, I.C., and Requena, I.G., “Thermographic survey of two rural buildings in Spain”, *Energy and Buildings* 36, 515-523 (2004).
- [14] Wikipedia, “Elektromanyetik Spektrum” wikipedia.org https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_spektrum (erişim: 26 Nisan, 2021).
- [15] Çengel, Y. “*Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım*” 3 Baskı, Güven Kitapevi, İzmir, (2011).
- [16] Flir, “ThermaCAM PM695 operator’s manual, emissivity table” Flir Systems AB1, 454-557. (2001).
- [17] Engineering Tool Box, “Emissivity Coefficient Materials”https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html (erişim: 26 Nisan, 2021).
- [18] Sayın, M., ve Tavukçuoğlu, A. “Cephelerin ısı yalıtımlılık durumlarının ısı görüntüleme ile değerlendirilmesi”, *Yalıtım Dergisi*, İstanbul: B2B Medya, 152, 46-54, (2016).
- [19] Meng, X., Luo, T., Gao, Y., Zhang, L., Shen, Q., and Long, E., “A new simple method to measure wall thermal transmittance in situ and its adaptability analysis”, *Applied Thermal Engineering*, 122, 747–757, (2017).
- [20] Rocha, J.H.A, Santos C.F, Povoas, Y.V., “Evaluation of the infrared thermography technique for capillarity moisture detection in buildings”, *Procedia Structural Integrity*, 11, 107-113, (2018).
- [21] Fox, M., Coley, D., Goodhewa, S., Wild, P.,” Time-lapse thermography for building defect detection”, *Energy and Buildings*, 92, 95-106, (2015).
- [22] Koçkar, R., “Tuğla duvarlardaki ısı özelliklerinin ve ısı sorunlarının kızılötesi ısı görüntüleme ve sıcak kutu yöntemleriyle incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1-117, (2012).
- [23] Tavukçuoğlu, A., Akevren, S., Grinzato, E., “In-situ examination of structural cracks at historic masonry structures by quantitative infrared thermography and ultrasonic testing”, *Journal of Modern Optics*, 57(18): 1779-1789, (2010).
- [24] Tuğla, R., ve Tavukçuoğlu A., “Tuğla duvarlarda ısı sorunlarının kızıl ötesi ısı görüntüleme ile belirlenmesi” 3. *Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişilebilirlik*, Ankara, (2016).
- [25] Grinzato, E., Bison, P.G., and Marinetti, S., “Monitoring of the ancient buildings by the thermal method”, *Journal of Cultural Heritage*, 3, 21–29, (2002).
- [26] Koçkar Tuğla, R., “Yapı duvarlarının ısı yayınlılık değerinin nicel kızılötesi ısı görüntüleme ile belirlenmesi” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1-147, (2019).
- [27] Balaras, C.A., and Argiriou, A.A., “Infrared thermography for building diagnostics”, *Energy and Buildings*, 34, 171-183, (2002).
- [1] Mahanty S., Hao M., Sugahara T., Fareed Q., Morishima Y., Naoi Y., Wang T., Sakai S., “V-shaped defects in InGaN/GaN multiquantum wells”, *Materials Letters* 41, 67–71, (1999).
- Kapolnek D., Wu X., Heying B., Keller S., Mishra U., DenBaars S., Speck J., “ Structural evolution in epitaxial metalorganic chemical vapor deposition grown GaN films on sapphire”, *Appl. Phys. Lett.* 67:1541-1543, (1995)