

## DOĞAL TAŞ PLAKALARIN ISIL İLETKENLİK BAKIMINDAN TERMOGRAFIK GÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ

Gökhan DURMUŞ\*<sup>1</sup> Gökhan GÖRHAN\*\*

\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, 06500, Teknik okullar ANKARA

\*\*Afyonkocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Afyonkarahisar,

### ÖZET

Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen ve yapılarda çeşitli alanlarda kullanılan bej, traverten ve andezit doğal taşının termal kamera ile ısı etkisi incelenmiştir. Kullanılan bu doğal taşların arka yüzeylerinden üç farklı zamanda (45 sn, 145 sn ve 255 sn) verilen ısının ön yüzeyde meydana gelen ısı değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar faktör analiz yöntemiyle değerlendirilerek ısı iletkenlik değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçta literatürdeki ısı iletkenlik değerleriyle doğal taşların termografik görüntüleri kıyaslandığında, doğal taşların ısı iletkenlik katsayılarının birbirine yakın olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Termal Kamera, Termografi, Isı İletkenlik, Doğal Taş.

### INVESTIGATION OF TERMOGRAPHIC VIEWS OF ROCKS PLATES ON THERMAL CONDUCTIVITY

### ABSTRACT

In this study thermal effect of beige travertine and andesite rocks which were obtained from Afyonkarahisar region, was investigated with thermal camera heat changes of three different time intervals (45 , 145 and 225 sec) due to heat source applied at the back of the rock were investigated at the front of the rock relations between thermal conductivity values were investigated by performing two effect factor analysis. As a result it was determined that thermal conductivity values are equal to each other by considering thermographical views of rocks.

**Keywords:** Thermal Camera, Thermograph, Thermal Conductivity, Natural stone

### 1.Giriş

---

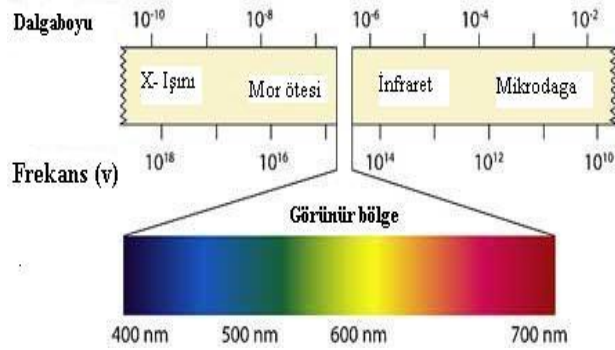
<sup>1</sup> E. Posta: [gduumus@gazi.edu.tr](mailto:gduumus@gazi.edu.tr)

Literatür bilgilerine göre termografi, tahribatsız test yöntemleri (Schmidt çekici ve Ultrases cihazı gibi) içerisinde bulunmaktadır. Yapı malzemelerin değerlendirilmesinde diğer tahribatsız muayene (pull off) yöntemlerinden daha avantajlı sonuçlar verdiği bilinmektedir. Termal görüntüleme yöntemi (TGY), elle yüzeye temas etmeden ve tahrip etmeden, durağan yada hareketli nesnelerin görünmez ışık enerjisinden yararlanılarak ısı görüntülerinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Nesnelerin yüzey sıcaklığını esas alan görüntünün genel yapısının ısıya göre oluşmuş renkler ve şekiller tarafından belirlendiği TGY'dir [1-5]. İnfrared ışınlarını kullanan termal kameralar bu sistemleri kullanmakta ve nesnelerin yüzeylerinde oluşan termal farklılıkları da saptayabilmektedir [6,7].

Termal kameralar genel kameralara benzer bir şekilde, görünür ışığı kullanarak infrared radyasyonuyla görüntü elde eden kamera türüdür (Şekil 1). Normal bir kameranın algıladığı dalga boyu 450–750 nanometre aralığındayken, infrared kameralar 7,5-13  $\mu\text{m}$  dalga boyunda çalışırlar [8] (Şekil 2).

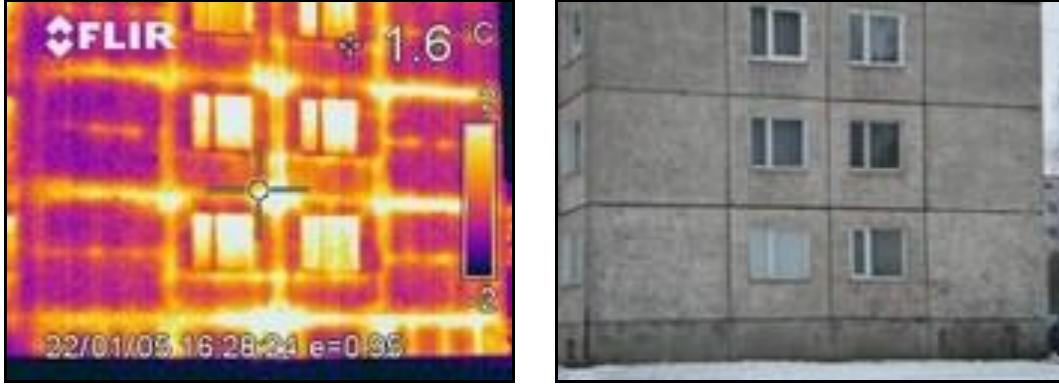


Şekil 1. Termal Kamera



Şekil 2. Işık dalga boyları

Termografik görüntülerin elde edilmesinde, kullanılan termal kamera Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2'de infrared dalga uzunluğu insan gözünün tespit edemeyeceği kadar uzun olduğu için görünmez ışık olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca mutlak sıfırın üzerinde (0 K veya -273 °C) sıcaklığa sahip her cisim ısı yaymaktadır. Hatta buz kütleleri gibi çok soğuk nesnelere bile infrared radyasyonu (IR) yayarlar. Bir nesnenin sıcaklığı ne kadar yüksekse yaydığı IR radyasyonu da o kadar büyük olmaktadır [9]. Bu açıdan termal kameralar enerji denetiminin bir parçası olmakta ve yapılarda; dış duvarlar, pencereler ve kapıların termal direncini ve ısı kaçaklarını bulmakta özellikle binaların dış yüzeylerindeki termal direnci belirlemek için kullanılmaktadır. Termal resimler sayesinde de ısı kaçışlarını görüntülenebilmektedir [10] (Şekil 3)



Şekil 3. Bir yapının termal ve normal görüntüsü [10].

Termal kameralar, betondan yapılmış köprü ve viyadüklerdeki yüzeysel sıcaklıkların ölçülmesinde, binaların; yalıtım ve mevcut yalıtım ortamlarının değerlendirilmesinde, yapının yalıtım gelişimindeki değişimlerin tespitinde ve ayrıca beton yüzeylerinin altında kalan boşlukların, yangın tehlikesinin tespitinde ve eski yapıların dış yüzey incelemesinde kullanılmaktadır [11-17].

Bu çalışmada, yapılarda çeşitli alanlarda kullanılan traverten, bej ve andezit gibi doğal taşlar seçilmiş ve bir yüzeyinden verilen ısı yardımıyla arka yüzeyinden termal görüntüleri çekilmiştir. Zamana bağlı olarak yüzey sıcaklıklarında meydana gelen değişimlerin termal kamera kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Malzemeler ve Yöntem

### 2.1. Malzemeler

Deneyisel çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen üç tür doğal taş kullanılmıştır. Taşlar 305 mm \* 305 mm \* 10 mm boyutlarında kesilerek her bir taş türünden 3'er adet olmak üzere toplamda 9 adet numune hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Plakaların doğal görüntüsü (Traverten-Bej-Andezit).

Termal kameralar, kızılötesi ışınlar ile yüzey sıcaklığının ölçülmesi, yüzeydeki hasarlı bölgelerin tespiti ve yüzey sıcaklıkları değişimiyle oluşan farklılıkları bulmak için kullanılmaktadır [18]. Binalarda kullanılan çeşitli yapı malzemelerine ait termo-fiziksel-optik özellikler Tablo 1’de verilmiştir[19-21].

Tablo 1. Çeşitli yapı malzemelerin termo-fiziksel-optik özellikleri

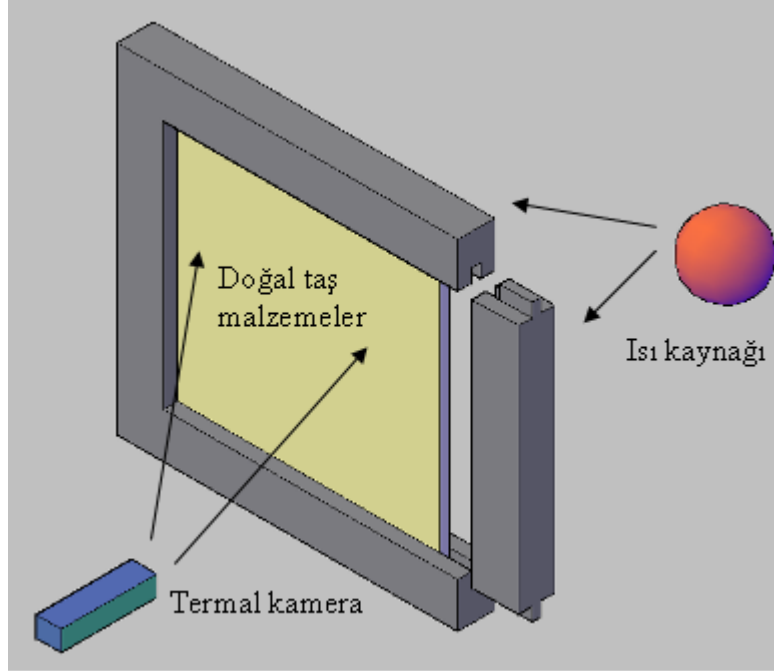
Malzeme	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isı değeri (J/kg/K)	Termal iletgenlik (W/m/K)	Termal yayıma (x10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Termal yayma gücü (Ws <sup>1/2</sup> m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Emisyon (X=8-12 µm)
Kireç taşı	2600	920	2,1	877,92	2241,25	0,93
Alçı taşı	1140	800	0,5	434,03	758,95	0,91
Beyaz mermer	2695	870	3,14	1339,22	2713,33	0,95
Kül rengi mermer	2650	870	6,7	2906,09	3930,25	0,94
Çimentolu harç	3100	840	0,85	326,42	1487,75	0,86
Beton	2400	1008	1,65	682,04	1997,92	0,94
Tuğla	2025	800	0,6	370,37	985,90	0,90
Hava	1,16	1007	0,026	22257,98	5,51	-
Su	1000	4193	0,586	139,76	1567,51	0,96

DeneySEL çalışmada; 7,5-13 µm spektral aralığa sahip, odak düzlem düzeni, soğutulmamış mikro bolometre olan 160x120 piksel çözünürlüğe sahip dedektörü bulunan ve sıcaklık hassasiyeti ± 2 °C / ± 3,6 °F, yarı iletken AlGaInP diyotlu, 1 Mw/635 nm (kırmızı) lazer tipine sahip FLIR Therma CAM E 45 kullanılmıştır [14].

## 2.2. Metot

Doğal taşların arka yüzeyinden yaklaşık 5 cm uzaklığa elektrikle çalışan çift tel rezistanslı bir ısıtıcı yerleştirilir (Şekil 5). Diğer yüzeyinden 45 s, 145 s ve 255 s olmak üç

farklı zamanda üzere altı adet termografik resimleri çekilmiştir. Bu resimler üzerinden özel infrared programlar kullanılarak toplam 54 sıcaklık değeri elde edilmiştir.

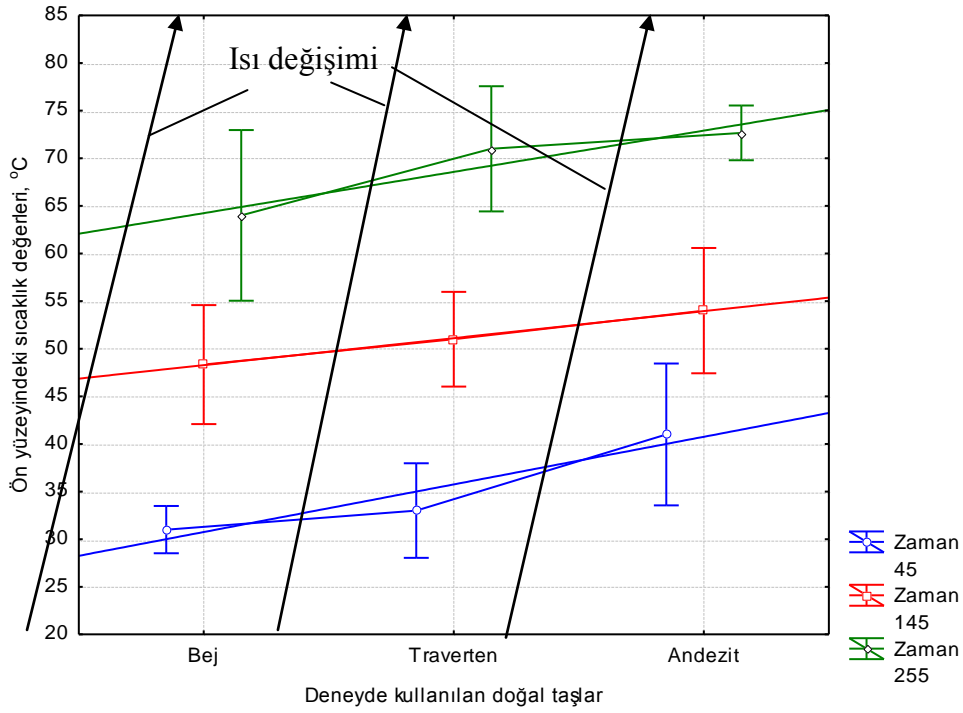


Şekil 5. Deneysel çalışma modeli

Elde edilen sonuçlar iki faktörlü tekrarlanan ölçümlü varyans analiz tekniği (Factorial ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen faktör analizinde zaman faktörünün (45, 145 ve 255 s) ve malzeme faktörünün üç seviyesi (bej, traverten ve andezit) bulunmaktadır. Malzeme ve zaman değerlendirilmesi arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan testi kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Deneysel çalışmada kullanılan doğal taşlardan sedimanter kökenli olan ve traverten ve bej magmatik kökenli andezit doğal taşının yüzey sıcaklığından daha düşük sonuçlar vermiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi doğal taşlar ısı ve zaman artışına göre doğru orantılı olarak artışı görülmektedir.



şekil 6. Doğal taşlara göre zaman\*sıcaklık değişimi

Zamana bağlı olarak yapılan deney sonuçlarına ait istatistikler Tablo1’de verilmiştir. Sıcaklık uygulanmış doğal taş rneklelerinin, utaş (bej, traverten ve andezit ) türü ve u zaman farkı (45, 145 ve 255 s) ile elde edilen değerlerde tekrarlanan ölçümlü faktör analiz sonucuna göre, sıcaklığa bağlı olarak  $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu grlmştir. Deney sırasında yapılan ölçümlere göre açıklayıcı istatistikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Doğal taş plakların zaman\*sıcaklık verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Doğal Tas	Zaman	N	Ortalama deęerler, °C	Std. Hata	En küçük	En yüksek
Bej	45	6	31,0	0,58	30	32
Bej	45	6	48,3	1,45	46	51
Bej	45	6	64,0	2,08	61	68
Traverten	145	6	33,0	1,15	31	35

Traverten	145	6	51,0	1,15	49	53
Traverten	145	6	71,0	1,53	69	74
Andezit	255	6	41,0	1,73	38	44
Andezit	255	6	54,0	1,53	52	57
Andezit	255	6	72,7	0,67	72	74

Zaman\*sıcaklık faktörleri arasındaki geliştirilen Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çoklu karşılaştırma sonuçları

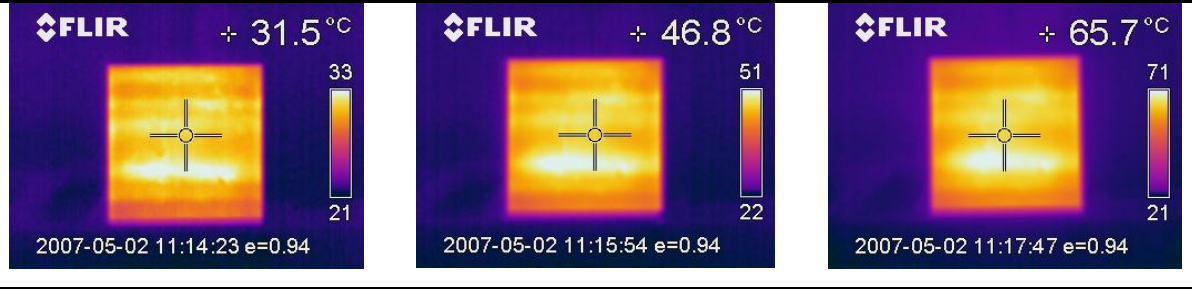
Doğal Tas	Zaman	Farklı olan gruplar					
		1	2	3	4	5	6
Bej	45	31,0					
Traverten	45	33,0					
Andezit	45					41,0	
Bej	145		48,3				
Traverten	145		51,0	51,0			
Andezit	145			54,0			
Bej	255						64,0
Traverten	255				71,0		
Andezit	255				72,7		

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

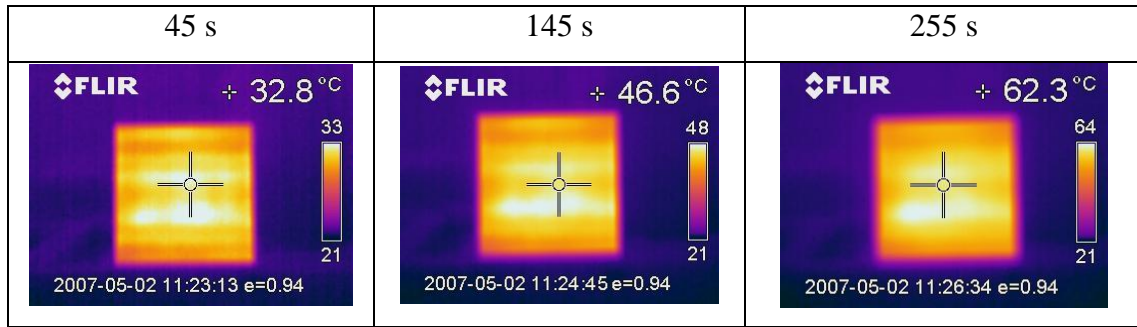
- 45s’de bej ile traverten arasında fark olmadığı ama andezit bunlardan farklı olduğu,
- 145s’de her üçtaş plakların birbirinden farklı olduğu,
- 255s’de traverten ve andezit arasında farkın olmadığı ama bej bunlardan farklı ve daha düşük olduğu bulunmuştur.

Deneysel çalışmada kullanılan doğal taşlardan; traverten, bej ve andezit taşlarının termografik resimleri sırasıyla verilmiştir (Şekil 7-9)

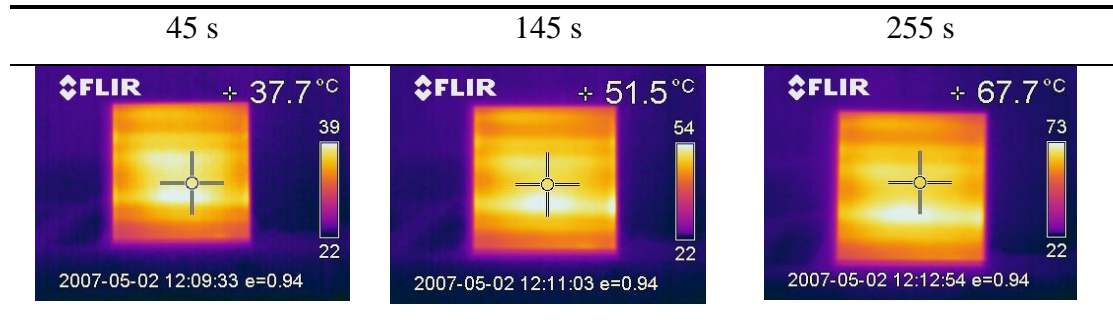
45 s	145 s	255 s
------	-------	-------



Şekil 7. Traverten örneğine ait resimler.



Şekil 8. Bej örneğine ait resimler.



Şekil 9. Andezit örneğine ait resimler.

Termal görüntüler incelendiğinde, aynı miktarda ısı verilen doğal taşlardan aynı zamanda en yüksek yüzey ısısına andezit ulaşırken, en düşük yüzey ısısına ise bej ulaşmıştır. Bunun sebebi ise andezit ısı iletkenlik katsayısının (1,8-2,30 W/m<sup>2</sup>K) Traverten ve Bej'e göre (2,30 W/m<sup>2</sup>K) daha düşük olmasıdır.

Termograf görüntüler cihazla birlikte gelen özel yazılımlar sayesinde incelenmiştir. Bu görüntülere göre termal iletkenlik bakımından, ısı iletkenlik değerlerinde küçükten büyüğe doğru bir sıralama yapıldığında; bu doğal taşlar içerisindeki en düşük ısı iletkenlik



katsayısının bej’de, sonra travertende ve en yüksek ısı iletkenlik katsayısının ise andezit doğal taşının sahip olduğu düşünülebilir.

Ölçülen sıcaklık değerleri ile yapılan varyans çözümlemesinde; 3 farklı doğal taşta ait 9 adet 54 adet sıcaklık ölçümü değerlendirilmiş ve bu değerlerin neticesinde  $\alpha=0,95$  güven aralığında olduğu ve taş plaklardaki ısı iletkenlik değerlerinin istatistiki olarak farklı olmadığı belirlenmiştir.

#### **4. Sonuç**

Literatürdeki ısı iletkenlik değerleri doğal taşların ısı uygulanmadan ve ısı uygulandıktan sonraki termografik görüntüleri kıyaslandığında elde edilen görüntülerin yüzeydeki sıcaklık farklılığının belirlenmesi ve zarar görüş bölgelerin tespitinde kullanılmasına olanak verdiği ve bu çalışma sonunda; andezit, bej ve travertenin taşların yüzeylerinde okunan sıcaklık değerlerinin istatistiki olarak değerlendirildiğinde yaklaşık ısı iletkenlik katsayılarına sahip olduğu kanısına varılmıştır.

#### **Kaynaklar**

1. Tr.wikipedia.org/wiki/Termal\_kamera, 2007.
2. Gianninetta M., Giussani A., Roncoroni F., Scaioni M.,”Integration of Multi-Source Close-Range Data”, XX International Symposium, Italy, 2005.
3. Swiderski W., “Military Applications of Infrared Thermography Nondestructive Yesting In Poland”, 16th World Conference on Nondestructive Testing, Montreal-Canada, 2004.
4. Luong M. P.,”Mechanical Performance of Wood Construction Materials”, 16th World Conference on Nondestructive Testing, Montreal-Canada, 2004.
5. Seshagiri S.,”Identifying Moisture using Thermal Imaging”, Bulletin, November/December, Boma San Francisco, www.bomasf.org, 2004.
6. Shannon H. R., Sigda J. M., Van Dam R. L.,”Thermal Camera Imaging of Rock Piles at the Queta Molybdenum Mine, Questa, New Mexico, [http://geoinfo.nmt.edu/staff%20/mclemore/documents/1015-Shannon-NM\\_000.pdf](http://geoinfo.nmt.edu/staff%20/mclemore/documents/1015-Shannon-NM_000.pdf)., 2007.
7. Peterson J. E., P.E., Innocenzi, M. J., EIT,”Use of Infrared Thermography as a Standard in the Quality Assurance and Quality Control of Grouted Masonry Construction”, Inframation 2002, ITC 035 A, 2002.
8. www.brainyencyclopedia.com/ encyclopedia/t/th/thermal\_camera.html, 2007.

9. Turler D., Griffith B. T., Arasteh D. K., “Laboratory Procedures for Using Infrared Thermography to Validate Heat Transfer Models”, *Insulation Materials: Testing and Applications, Third Volume, ASTM STP 1320, 1997*
10. Navvab, M., Varodompun, J.,”The University of Michigan Lead in LEED and Sustainable Design” *Universty of Michigan.*
11. Wood, S.,”Non-Invasive Roof Leak Detection Using Infrared Thermography”,*Inframation 2004 Proceedings, ITC 104 A.*
12. Tanaka, H.,”Detection of Concrete Exfoliation by Active Infrared Thermography”, *Railway Tehnology Avalanche, No:10, p.59,2005.*
13. Snell, J.,”Using Infrared Thermography for Building Inspections”, *Snell Infrared.*
14. [www.sentezmuhendislik.com](http://www.sentezmuhendislik.com), 2007
15. Booth, D.,”Seeing things in a different light”, *NewsLINK, Issue: 13, p.:6, www.scmshq.org, 2005.*
16. Uomoto,T., Misra,S.,”Maintenance of Concrete Infrastructure”, *Icus/Incede Newaletter, Vol:1, No:4,2002.*
17. Anonym, “Existing Building Conditions”.
18. Aksöz F., “Yığma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti”, *YDGA 2005, ODTÜ, Ankara, 2005.*
19. N.P.Avdelidis, A. Moropoulou, “Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures”, *Journal of Cultural Heritage 5 (2004) 119–127*
20. D.P. Almont., P. Mpatel, “ *Photothermal science and technicques chapman&hall, London 1996*
21. TS 825, “Binalarda ısı yalıtım Kuralları”,*TSE, 1998, Ankara.*