



**İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA TERMAL KAMERA KULLANIMI

SEVGİ ASLAN

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY
OCAK – 2016**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

[MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA TERMAL KAMERA KULLANIMI]

[Sevgi ASLAN]

[MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI]

[YÜKSEK LİSANSTEZİ]

[Yrd.Doç.Dr.Cuma KARAKUŞ] danışmanlığında hazırlanan bu tez **[20/01/2016]** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **[OYBİRLİĞİ]** ile kabul edilmiştir.

[Yrd. Doç.Dr. Cuma KARAKUŞ]
Başkan

[Prof.Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU]
Üye

[Doç.Dr.Yakup KAR]
Üye

Kod No: 06

Doç. Dr. Mustafa Demirci
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

20.01.2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Sevgi ASLAN

ÖZET

MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA TERMAL KAMERA KULLANIMI

Bilimsel gelişmeler neticesinde ileri teknolojiye dayalı yaşam biçimi ve dünya nüfusunun artması toplumların enerji ihtiyacını önemli ölçüde artırmıştır. Artan enerji tüketimi nedeniyle fosil kökenli enerji kaynaklarının giderek azalması, günümüzde toplumları yeni enerji kaynakları arayışlarına iterken, mevcut kaynakların verimli kullanılmasını da zorunlu hale getirmiştir. Konutlarda ısınma ve sıcak su amaçlı tüketilen enerjinin toplam tüketim içindeki payı göz önüne alındığında, bu alanda enerjinin verimli kullanılması sonucu önemli miktarlarda enerji tasarrufu elde edilebileceği görülmektedir.

Konutların veya yalıtımlı sistemlerin termal fotoğrafı çekilerek ısı kayıpları tespit edilebilmekte, ısı yalıtımının eksik yapıldığı yerler belirlenebilmekte, mekanik aksamalarda sürtünmeler gözlemlenebilmekte ve elektrik devrelerinde hasar tespiti yapılabilmekte, insan ve hayvan vücutlarındaki bazı sağlık sorunları belirlenebilmektedir. Bu çalışmada sanayi uygulamalarında ve konutlarda termal kameralarla sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Isı enerjisi kayıpları, kestirimci bakım, mekanik aşınma ve depoların doluluk oranları tespit edilmiştir. Elektrik devrelerinin, mekanik aksamaların, buhar ve ısıtma hatlarının, depoların, korozyonlu yüzeylerin ve konutların, insan vücudunun termal kamera görüntüleri alınarak analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilmiş ve gerekli çözüm önerileri sunulmuştur.

2016,61sayfa

Anahtar Kelimeler: Isı Yalıtımı, Termal Kamera, Enerji Tasarrufu, Arıza Tespiti, Kestirimci Bakım

ABSTRACT

USING THERMAL CAMERA IN ENGINEERING APPLICATIONS

The life style based on advanced technology as a result of scientific developments and the increase of world population has raised the energy requirements of societies considerably. The decrease in the amount of fossil fuels due to increased energy consumption, nowadays, not only have forced the societies to find new energy sources, but also have forced the existing sources to be used efficiently. When it is considered that the rate of energy consumption in buildings for heating and hotwater is high in the total consumption, it is clear that a large amount of energy can be saved by using energy efficiently in buildings.

By thermal photographing the buildings and isolated systems, heat losses can be detected, poor isolated areas can be found, friction on mechanical assembly can be observed, damage assessment in electric circuits can be made and also many health problems of the human and animal body can be specified. In this study, temperature measurements were made by using thermal camera on industry applications and buildings. Heat losses, predictive maintenance, mechanical erosion and occupancy of the storages were specified. Thermal camera images of the electric circuits, mechanical parts, steam and heating lines, storages, corroded surfaces and housing and human body were recorded and analyzed. The obtained data were evaluated from analyzes and required solutions were presented.

2016, 61 pages

Key Words: Heat Insulation, Thermal Camera, Energy Saving, Fault Detected, Predictive Maintenance

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazım aşamaları esnasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarımı yönlendirerek bana destek olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ' a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü yardımı esirgemeyen aile dostumuz Tevabil-Fatma GÜLER çiftine derin sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen eşim Ali ASLAN'a ve oğullarım Yusuf ve İbrahim'e çok teşekkür ederim.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazım aşamaları esnasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarımı yönlendirerek bana destek olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ' a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü yardımı esirgemeyen aile dostumuz Tevabil-Fatma GÜLER çiftine derin sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen eşim Ali ASLAN'a ve oğullarım Yusuf ve İbrahim'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖZET..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| TEŞEKKÜR..... | III |
| İÇİNDEKİLER..... | IV |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | V |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | VII |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | VIII |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 4 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 9 |
| 3.1. Termografi ve Tarihçesi..... | 9 |
| 3.2. Termografinin Avantaj ve Dezavantajları..... | 10 |
| 3.3. Termal Kameralar ve Çalışma Prensipleri..... | 11 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 13 |
| 4.1. Enerji Uygulamaları..... | 13 |
| 4.1.1. Binalardaki Isı Kaybının Denetlenmesi..... | 13 |
| 4.1.2. Tesisat Uygulamalarında Isı Kaybının Denetlenmesi..... | 22 |
| 4.1.3. Havalandırma Sistemi Arızaları..... | 24 |
| 4.2. Kestirimci/Koruyucu Bakım Uygulamaları..... | 25 |
| 4.2.1. Mekanik bozulma ve aşınmaların tespiti..... | 26 |
| 4.2.2. Enerji hatları, gerilim panolarında, elektrik devrelerinde hasar tespiti..... | 31 |
| 4.2.3. İş Makinelerinde termal kamera kullanımı..... | 41 |
| 4.2.4. Araçlarda Termal Kamera Kullanımı..... | 43 |
| 4.3. Sağlık Uygulamaları..... | 45 |
| 4.3.1. Tıp Uygulamaları..... | 46 |
| 4.3.2. Veterinerlik Uygulamaları..... | 51 |
| 4.4. Savunma Uygulamaları..... | 53 |
| 4.5. Diğer Uygulamalar..... | 55 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 56 |
| KAYNAKLAR..... | 58 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 61 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1. | Dünya Fosil Yakıt Rezervleri | 1 |
| Şekil 2.1. | Tipik buhar sistemi ısı kayıpları buhar borusu çatısının termal görüntüsü, ıslak zeminler, zemin sızıntısı, bir apartman yüzey üzerinde açık renkli | 4 |
| Şekil 2.2. | Elektrik dağıtım panosunun termografi görüntüsü | 5 |
| Şekil 2.3. | Çatı zarında meydana gelen nemin termal ve gerçek görüntüsü..... | 6 |
| Şekil 3.1. | Elektromanyetik ışınım spektrumunda dalga boyları..... | 10 |
| Şekil 3.2. | Termal Kamera | 12 |
| Şekil 4.1. | Bir binaya ait gerçek ve termal görüntü tespit edilen ısı kaçakları..... | 14 |
| Şekil 4.2. | Termal görüntü içerisindeki dörtgene ait sıcaklık dağılımı | 14 |
| Şekil 4.3. | Bir binanın dış cephesinden termal kamera görüntüleri..... | 15 |
| Şekil 4.4. | Bir çatının termografik görüntüsü..... | 16 |
| Şekil 4.5. | Bina güney cephesi ısı farklılıkları | 17 |
| Şekil 4.6. | Bir binanın kuzey yönünde giriş ve kubbe bölümü..... | 18 |
| Şekil 4.7. | Tamir edilmiş bir tuğla duvarı..... | 19 |
| Şekil 4.8. | Bir binanın çatı kenar sızıntısı görüntüsü | 20 |
| Şekil 4.9. | Bir mahalde termal kamera ile nem tespiti..... | 21 |
| Şekil 4.10. | Bir binanın tavanında nem kaynaklı yalıtım bozukluğu..... | 21 |
| Şekil 4.11. | Zemin altı borularındaki sıkıntılı durum | 22 |
| Şekil 4.12. | Su tesisatında termal görüntüleme..... | 23 |
| Şekil 4.13. | Su kaçağı olan duvara ait histogram diyagramı..... | 23 |
| Şekil 4.14. | Bir binaya ait havalandırma sistemi..... | 24 |
| Şekil 4.15. | Havalandırma sisteminin termal görüntüsünde işaretli alana ait histogram diyagramı..... | 24 |
| Şekil 4.16. | Bir fabrikada ısı yayan bir makinenin gerçek ve termal görüntüsü..... | 26 |
| Şekil 4.17. | Bir fabrikada ısı yayan bir makinenin gerçek ve termal görüntüsü..... | 28 |
| Şekil 4.18. | Aşırı ısınmış bir motor bloğu görünümü..... | 28 |
| Şekil 4.19. | Motor bloğuna ait termal görüntünün histogram diyagramı..... | 28 |
| Şekil 4.20. | Bir fabrikada çalışır durumdaki makineye ait termal görüntü..... | 29 |
| Şekil 4.21. | Bir fabrikada hidrolik pompaya ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri..... | 30 |
| Şekil 4.22. | Bir makine bloğunda aşırı ısınmış silindir parçasının gerçek, termal ve histogram görüntüsü..... | 31 |
| Şekil 4.23. | Elektrik Panosu gerçek ve termal görüntüsü..... | 32 |
| Şekil 4.24. | Arızalı bir elektrik panosuna ait termal görüntü ve gerçek görüntü..... | 33 |
| Şekil 4.25. | Arızalı bir doğru akım adaptörü gerçek, termal ve histogram görüntüsü..... | 34 |
| Şekil 4.26. | Elektrik devrelerinde aşırı ısınmanın termal kamera ile gözlenmesi..... | 35 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Şekil.4.27. | Sigorta lambasına ait sıcaklık profili | 35 |
| Şekil 4.28. | Bir fabrikada elektrik panosuna giden elektrik kabloları..... | 36 |
| Şekil 4.29. | Bir fabrikada aşırı ısınmış elektrik aksamalarına ait termal görüntüleme..... | 37 |
| Şekil 4.30. | Bir cihaza ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri..... | 38 |
| Şekil 4.31. | Arızalı bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntü | 39 |
| Şekil 4.32. | Arızası bulunmayan bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntü | 40 |
| Şekil 4.33. | Arızalı bir bilgisayar kasasına ait histogram diyagramı | 40 |
| Şekil 4.34. | Arızası bulunmayan bir bilgisayar kasasına ait histogram diyagramı..... | 40 |
| Şekil 4.35. | Çalışma anında çekilen bir iş makinesi..... | 41 |
| Şekil 4.36. | Çalışma anında çekilen bir iş makinesinin fazla ısınan kısımları | 42 |
| Şekil 4.37. | Çalışma anında çekilen bir iş makinesinin fazla ısınan kısımları..... | 42 |
| Şekil 4.38. | Geliştirilmiş gece görüş sistem..... | 43 |
| Şekil 4.39. | Bir aracın motorunun çalışma esnasındaki termal görüntüleri..... | 44 |
| Şekil 4.40. | Yerinde çalıştırılan bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü..... | 44 |
| Şekil 4.41. | Çalışır durumdaki bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü..... | 45 |
| Şekil 4.42. | Sağlıklı bir çocuğa ait termal görüntü..... | 46 |
| Şekil 4.43. | Vücutta termal kamera ile görüntü alınması | 48 |
| Şekil 4.44. | Beldeki incinme | 48 |
| Şekil 4.45. | Göğüs kanseri muayenesinde termografi kullanımı | 49 |
| Şekil 4.46 . | Kalabalık ortamda hastalıklı şahısların tespiti..... | 50 |
| Şekil 4.47. | Atlarda anatomik bölgelerin sıcaklık değerlerinin belirlenmesi..... | 52 |
| Şekil 4.48. | Mastitis şüpheli hayvanlarda erken tanı koymak için termografi uygulaması | 52 |
| Şekil 4.49. | Kanatlılarda ayak rahatsızlıkları ve diğer patolojik durumlarda termografik görüntüleme | 53 |
| Şekil 4.50. | Boru hattına yaklaşan insanlar | 54 |
| Şekil 4.51. | Savunma uygulamalarında termal kamera görüntüleri a) Sınırdan tespit edilen insanlar b)Bina önünde tespit edilen insan görüntüleri..... | 54 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | | |
|--------------|---|----|
| Çizelge 1.1. | Türkiye Genel Enerji Dengesi (1990–2013)..... | 2 |
| Çizelge 1.2. | Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli..... | 2 |
| Çizelge 3.1. | Ölçümlerde kullanılan termal kamera özellikleri..... | 12 |
| Çizelge 4.1. | Makine üzerindeki ölçüm noktaları ve bunlara ait sıcaklıklar.... | 29 |
| Çizelge 4.2. | Elektrik panosu üzerindeki ölçüm noktalarına ait sıcaklıklar... | 33 |
| Çizelge 4.3. | Panonun ışık devresine ait ölçüm noktaları ve sıcaklık değerleri | 36 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

μm : Mikrometre
 $^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece

KISALTMALAR

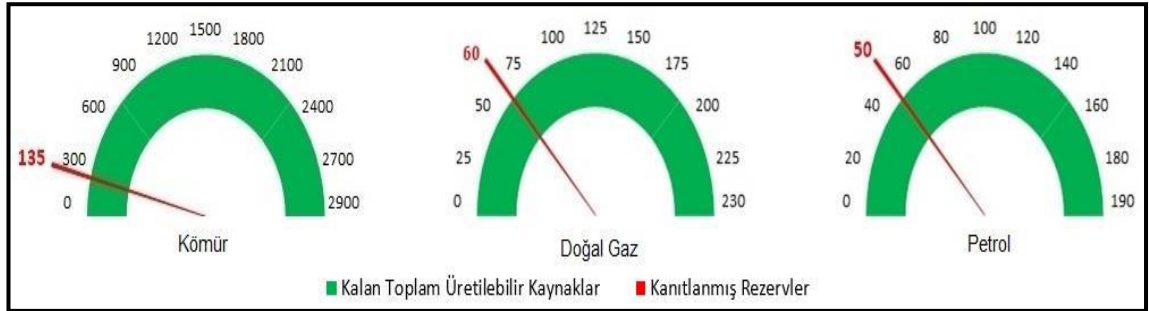
OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development
MTEP : Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
MW : Megawatt
TWh/yıl : Bir yıllık Terawatsaat



1. GİRİŞ

Enerji sanayileşmenin ve toplumların refah düzeyinin yükselmesindeki en önemli göstergedir. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların kullanım hızı sürekli olarak artmaktadır. Bununla birlikte mevcut fosil kaynaklı yakıtların çok uzun olmayan bir zaman diliminde tükeneceği öngörülmektedir (Güven ve ark, 2011). Fosil yakıtların kullanılmasının çeşitli çevre sorunlarına neden olması nedeniyle geleceği tehdit eder hale gelmiştir. Bu nedenle gelişmiş ülkeler, enerji tüketiminin çok yoğun olduğu alanlarda enerjinin verimli kullanılması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması konusunda çalışmalar yürütmektedirler.

Günümüzde bir ülkenin sürdürülebilir kalkınma hamlelerini gerçekleştirmesi sahip olduğu enerji kaynaklarının zenginliği ile mümkündür. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri Şekil 1.1'de görülmekte olup sürekli artış gösteren küresel enerji talebinin bir sonucu olarak fosil yakıt rezervleri hızla azalmakta, özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmaktadır. Dünyada toplam kanıtlanmış petrol rezervleri 1,7 trilyon varil civarında olup bu miktar, 50 yıllık tüketimi karşılamaktadır. 2012 yılı sonunda 187,3 trilyon m³ olarak belirlenmiş olan dünya kesinleşmiş doğal gaz rezervinin küresel üretimi 60 yıl, kömür rezervlerinin ise 135 yıl boyunca karşılamaya yeteceği düşünülmektedir (Anonim, 2015a).



Şekil 1.1. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (Anonim, 2015a)

Türkiye’de, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve küresel ısınma ile mücadele hedeflerinden yola çıkarak, ulusal enerji kaynaklarının kullanımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payını yükseltme ve enerji planlarına nükleer enerjiyi de ekleme hususunda çalışmalar sürdürülmektedir. Türkiye Genel Enerji Dengesi Çizelge 1.1’de görülmekte olup ülkemiz enerji tedarikinin %74’ünün ithal olması dışa bağımlılığı

zorunlu hale getirmiştir (Anonim, 2013). Üstelik 1993 ve 2013 yılları arasında toplam enerji talebinin, toplam yerli üretim ve toplam enerji ithalatı verileri ile karşılanmasının yıllara göre düştüğü görülmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye Genel Enerji Dengesi (1990–2013) ETKB, 2014

| Enerji Verileri (milyon tep) | 1990 | 2013 | Değişim |
|---------------------------------------|------|--------|----------|
| Toplam Enerji Talebi | 52,9 | 120,29 | % 127,39 |
| Toplam Enerji İthalatı | 30,9 | 96,29 | %211,62 |
| Yerli Üretimin Talebi Karşılama Oranı | %48 | %28,5 | -%40,62 |

Nükleer enerji konusunda 2023 yılına kadar iki nükleer güç santralini işletmeye almayı hedefleyen Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli Çizelge 1.2'de görülmektedir. Türkiye, Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi 500 TWh/yıl Güneş, 450TWh/yıl hidrolik, 400 TWh/yıl rüzgâr enerjisi potansiyeli ile yenilenebilir enerji kaynakları konusunda da kritik hamleler yapmaktadır.

Çizelge 1.2.Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (Gensed, 2010).

| Yenilenebilir enerji kaynağı | Potansiyel(TWh/yıl) |
|------------------------------|---------------------|
| Güneş | 500 |
| Hidrolik | 450 |
| Rüzgar | 400 |
| Jeotermal + Dalga + Biokütle | 27,58 |

Türkiye'de enerji tüketiminin yaklaşık %85'i ısıtma amaçlı olup mühendislik uygulamaları ile yüksek oranda enerji tasarruf potansiyeline sahiptir (Kavak, 2005). Enerji maddelerin sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Termal enerji gözümüzün göremediği kızılötesi (Infrared) aralıkta yayılır. İşte termal kameralar ise tam olarak bu temele göre çalışır. Yani bir termal kamera, elektromanyetik spektrumdaki kızılötesi dalga boylarını görünür bir resme çevirir.

Termografi (termal kamera ile sıcaklık ölçümü) edilgen, tahribatsız ve temassız ölçüm metodudur. Termal görüntü, ölçüm yapılan yüzeydeki sıcaklık dağılımını gösterir.

Termal kameralar enerji sarfiyatının yüksek olduğu mühendislik uygulamalarının yanı sıra konutlar ve iş merkezi gibi binaların enerji verimliliğinin

ölçülmesi, enerji sarfiyatının düzeltilmesi için sorunlu bölgelerin tespiti gibi alanlarda başarı ile kullanılmaktadır.

Bu çalışmada cisimlerin yaydığı ısıdan yararlanarak termal kamera vasıtasıyla ölçümler yapılmış ve bu ölçümler sonucunda, konutlarda ve sanayide mühendislik uygulamalarında mevcut sistemlerin enerji analizleri ile enerji kayıplarının olduğu bölgeler, kestirimci bakım, mekanik aşınma, depoların doluluk oranları gibi durum tespitleri yapılarak, çözüm önerileri sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyada termal kameralarla ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen ülkemizde çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

Haralambopoulos ve Paparsenos (1998) yapmış oldukları çalışmada, termal dayanıklılık ölçümleri ve düzlemsel kızıl ötesi termografisiyle eski binaların termal izolasyonunu ölçmek için yazılan bir metottan bahsetmişlerdir. Eski bir bina yenilenme nedeniyle denek olarak kullanılır ve binanın tam bir görüntüsünü elde etmek için iki metot birleştirilir. Binanın dışındaki termal sızıntıların varlığı belgelenir ve noktasal ölçümler ve kızıl ötesi termografi analizlerinin sonuçlarının aynı anda ve aynı hızda kullanılmasıyla ölçümler yapılır. Öne sürülen yöntemin güvenilir olduğunu kanıtlanır ve ayrıca yeni binaların ya da yenilenmeden sonra eski binaların da termal özelliklerinin tahribatsız testleri için de kullanılabilirliği gösterilir.

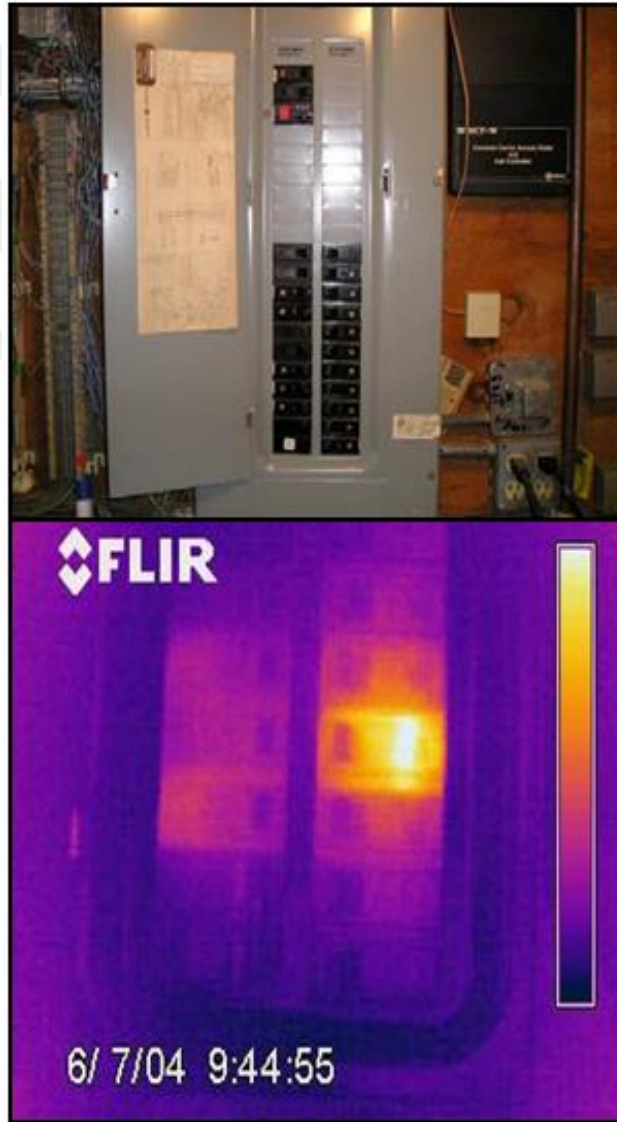
Stockton (2003) tarafından yapılan çalışmada termal kameralar ile haritacılık uygulamaları incelenmiş olup yeryüzü sıcaklık dağılımları çıkarılmış, sıcak akarsular ile ılık akarsuların kaynakları ve karışım noktaları tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Tipik buhar sistemi ısı kayıpları buhar borusu çatısının termal görüntüsü, ıslak zeminler, zemin sızıntısı, bir apartman yüzey üzerinde açık renkli (Stockton, 2003).

Erbil ve Akıntürk'ün (2003) yapmış olduğu çalışmada ise tünel kalıp sistemiyle üretilen bir toplu konut örneğinin ısı konfor koşulları açısından termal kamera ile incelenmiştir. Bu yöntemle inşa edilen binalarda dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılması ile yapı kabuğunda meydana gelen olası yoğuşma problemlerinin önüne geçileceği ve yapının ömrünün artacağı belirtilmiştir.

Tibbs (2004) yapmış olduğu çalışmada, Kızılötesi görüntüler üzerindeki termal farklılıklar sayesinde duvar içindeki gizli nemi, çatılardaki sızıntıları, elektrik devrelerindeki aşırı ısınmaların tespit edebildiklerini belirtmiştir. Tibbs'e göre, kızılötesi termografi kullanımı aynı zamanda küf gelişimi oluşma olasılığı olan binalarda gizli nem alanlarını bulmayı mümkün kılmıştır.



Şekil 2.2. Elektrik dağıtım panosunun termografi görüntüsü (Tibs, 2004)

Kominsky ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada bina yüzeylerindeki nemin varlığının belirlenmesinin, en iyi heterojenik bir ortamda bile yakalanmasının zor bir olgu olduğunu belirtmiştir. Kızılötesi termal görüntüleme ile yerinde nem belirlemenin, yüzeyi hızlıca tarayarak aşırı nem durumunu gösteren düzensiz termal örneklerin, termal kameralar ile sistemde oluşan termal aykırılıkların sayesinde kolayca tespit edilebildiği vurgulanmıştır. Termal taramaların görsel yorumlamasına göre, temassız incelemeleri için duvar yüzeyleri seçilerek nem ölçer sonuçlarıyla bağlantılar kurulmuştur. Bu araştırmalar neticesinde nemölçerler kullanılarak, görsel kontrol ve sayısal ispatların da yardımıyla gerçekleştirilen görsel kızılötesi termografinin, bina yüzeylerini ve nem aykırılıklarını belirlemede etkili bir metot olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.3.Çatı zarında meydana gelen nemin termal ve gerçek görüntüsü
(Kominsky, 2005)

Çatı zarında meydana gelen nemin termal ve gerçek görüntüsü Şekil 2.3'te verilmektedir. Bu termografik görüntü çatının bir bölümünden alınmıştır. Çatı zarındaki bir sızıntı hava işleme ünitesinden taşan nemin çatı sistemine girmesine neden olmuştur. Islak olduğu düşünülen alanlar, bu termogramda beyaz ve sarı alanlar olarak nispeten sıcak ve açıkça görülebilmektedir. Kuru ve daha soğuk alanlar pembe, mor ve siyahtır. Renk skalası 53.3- 66.8°F aralığında ölçülmüş sıcaklığı göstermektedir.

Xu ve Wang (2006) yapmış oldukları çalışmada, Çin'deki binalarda enerjinin tasarrufu aşamasında neler yapılabileceği konusunda bir takım çalışmalar ve araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde, termal ölçümleme ile tahribatsız

ve temassız yüzey sıcaklığı ölçümü yapmanın inşaat sektörü için çok büyük avantajlar oluşturduğu tespitinde bulunmuşlardır.

Karaca (2007) tarafından yapılan çalışmada; yapılarda, duvar yalıtımında ısı kayıplarının ölçülmesi kapsamında termal kamera ile çekim yapılmış, mevcut ısı kaçakları tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Öneriler arasında betonarme kısımlarda mantolama yapılmasına rağmen ısı köprüleri oluştuğunu ve bunların giderilmesi için yalıtımı daha iyi olan malzemelerin kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Robert ve ark. (2007) yapmış olduğu çalışmada titreşim termografi yöntemi ile muayene yapılacak malzemedeki çatlaklar tespit edilmiştir. Çalışmada mikro titreşimler sayesinde malzemedeki çatlaklarda sürtünme fazla olmakta, yüzeydeki ve yüzeye yakın bölgelerdeki çatlaklar sürtünmenin neden olduğu ısı artışı ile termal kamera ile tespit edilmiştir.

Buyruk ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada Sivas bölgesinde bulunan bir yapı termal kamera ile incelenmiştir. Binadaki ısı enerjisi kaçağının daha çok kiriş ve kolonlarda oluştuğu tespit edilmiş ve bu kısımlara uygun yalıtımların yapılması konusunda çözüm önerileri sunulmuştur.

Snell (2008) yapmış olduğu çalışmada, kızılötesi termografinin var olan evlerin ve binaların güçlendirilmesi için kullanımının potansiyel getirilerinin muazzam olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, geçmişte ve günümüzde kullanım sıklığıyla ilgili tespitlere ve sebeplere değinmiştir. Snell ayrıca kızılötesi termografi teknolojisinin kullanan termografların iyi bir eğitimden geçmeleri gerektiğini belirtmiştir.

Snell ve Spring (2008) tarafından yapılan çalışma, günümüzde bina denetiminde kullanılmakta olan birçok termal görsel teknoloji uygulamaları hakkındadır. Burada yapısal detayların geçerliliği, enerji performansı doğrulaması (taşımaya ve hava sızması), nem fazlasının tespiti, çatılar ve cephelerdeki yapısal ve sistem bozulmaları tanımlanmıştır.

Düzgün ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada termal kameraların tıp alanında uygulamaları inceleyerek, hastalara zarar verici etkisi olmadığı, gebeliğin son döneminde %90–95 duyarlılıkla tanı koyma olanağı sağladığı, karpal tünel sendromu tanısında ve radyasyon kullanılmadığından dolayı gebelerde ideal bir tanı yöntemi olduğu tespitine varılmışlardır.

Durmuş ve ark. (2009) doğal taş plakaların ısı iletkenlik bakımından termal kamera görüntüleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen ve yapılarda çeşitli alanlarda kullanılan bej, traverten ve andezit doğal taşının termal kamera ile ısı etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda çeşitli binalarda kullanılan bu doğal taşların ısı iletkenlik katsayılarının birbirine yakın olduğu tespiti yapılmıştır.

Çalışan ve Türkoğlu (2011) yaptıkları çalışmada termal kameraların uygulama alanları değerlendirilerek bir tesisin faaliyetleri ile ilgili bakım maliyetleri ve planlanmamış aksama süresine bağlı maliyetler, önleyici bakım görevlerini gerçekleştirmek için termal görüntüleyiciler kullanıldığında büyük ölçüde bu sürelerin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Karakuş ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada birinci derece-gün sıcaklık bölgesi olan İskenderun'da farklı tipteki konutların ve binaların termal kamera ile görüntüleri alınıp, yapılardaki nemli bölgelerde, kolon, kiriş ve lentolarda ısı kayıplarının yüksek olduğu ve balkonlara yerleştirilen kombilerin de bir miktar ısı kaybına neden olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Termografi ve Tarihçesi

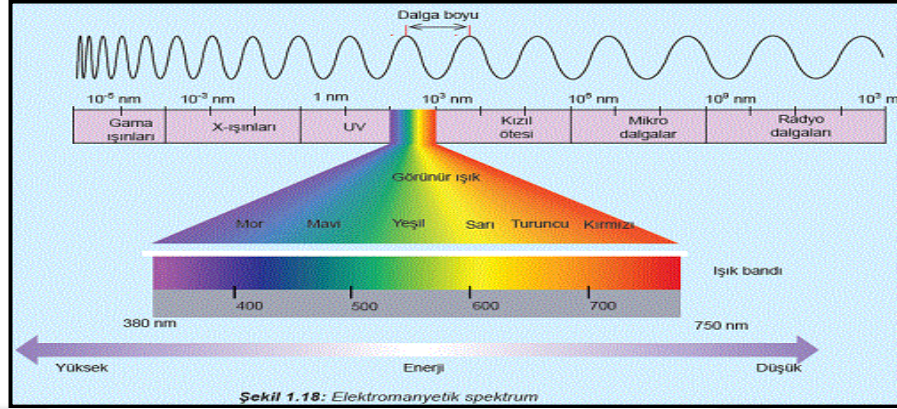
Termografi, 19. yüzyıl başlarında bir astronom olan Sir William Herschel tarafından bir prizma, kâğıt tablo ve farklı renklerin ısını ölçebilen siyahlaştırılmış hazneli bir termometre kullanılarak yaptığı ilk deneyler ile başlamıştır. Herschel, prizmadan gün ışını geçirerek gökkuşağı renklerini elde etmiş ve bu renkleri bir termometreye yansıtıp termometreyi bu renkler arasında hareket ettirmiş ve ısıda değişimler olduğunu keşfetmiştir. Mordan kırmızıya kadar değişen renkler içerisinde en yüksek sıcaklığın ise kırmızı ışığın altında elde edilebildiğini belirlemiştir. Radyasyona yol açan bu ısı görülememektedir. Herschel bu görülemeyen radyasyonu kalorifik ışın olarak tanımlamıştır. Günümüzde ise bu ışın kızılötesi olarak bilinmektedir. Herschel'in 1940 yılında ölümünden sonra oğlu John Herschel Evaporograph tekniği kullanıp güneş ışığından ilk termal görüntüyü elde etmiştir. Bu görüntüyü tanımlamak için termogram ismini kullanmıştır ve bu tanımlama günümüzde de halen yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk kızılötesi görüntüleme sistemleri 1940'lı yıllarda ve sonrasında geliştirilerek endüstri ve tıp alanında kullanılmaya başlanmıştır. 1960 ve 70'li yıllar boyunca da Avrupa, Amerika ve Japonya termal görüntüleme sistemlerini daha da geliştirmiş ve yaygın şekilde kullanmaya başlamışlardır (Ring, 2004).

Mutlak sıfırın ($0\text{ K} = -273^\circ\text{C}$) üstünde sıcaklığa sahip her cisim bir kızılötesi ışına yapar. Fotonlardan oluşan bu ısı geniş bir frekans aralığını kapsar. Bir cisimden yayılan enerji, cismin sıcaklığına, yayma özelliğine ve dışarı yayılan enerjinin dalga boyuna bağlıdır. Herhangi bir dalga boyunda yayınlanan enerji miktarı, o cismin sıcaklığı arttıkça artar.

Bir cismin yaydığı termal ışın miktarı cismin sıcaklığına, yayımına, yüzey alanına bağlı olup, ışın miktarı sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılı olduğundan sıcaklık değerindeki küçük bir değişim ışın miktarını önemli ölçüde etkilemektedir (Düzgün ve Or, 2009).

Elektromanyetik ışınım spektrumunda dalga boyları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi normal bir kameranın algıladığı dalga boyu yaklaşık 450–750 (görünür bölge) nanometre aralığındayken, kızılötesi kameralar 7,5–13 μm dalga boyunda çalışmaktadır (Durmuş ve Görhan, 2009). 5–7 μm arası

dalgalar atmosferdeki su buharı nedeniyle soğurulduğu için termal kameralar bu aralıkta tespit yapamamaktadır (Anonim, 2015b).



Şekil 3.1. Elektromanyetik ışınım spektrumunda dalga boyları (Anonim, 201bc)

Termografi, termal görüntüleme veya termal video, kızılötesi görüntülemenin bir çeşididir. Termografik kameralar elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölümündeki (yaklaşık 900-14000 nanometre) elektromanyetik ışınımı tespit ederler ve bu ışınımdan resimler oluştururlar. Kızılötesi ışınım sıcaklıklarına göre tüm cisimlerden salınır. Kara cisim ışıması kanununa göre, termografi görünür aydınlatma olmadan cisimlerin görünebilmesini sağlar. Bir cisim tarafından salınan ışınımın miktarı sıcaklık arttıkça artar, bu yüzden termografi sıcaklıktaki farkları görmemizi sağlar. Termografik bir kamera tarafından görüntülendiklerinde, sıcak cisimler daha soğuk arka planların yanında oldukça göze çarparlar. Böylece insanlar ve diğer sıcakkanlı hayvanlar gündüz veya gece rahatlıkla görülebilir hale gelir.

3.2. Termografinin Avantaj ve Dezavantajları

Termografi yöntemi ile büyük bir alanın sıcaklığını karşılaştırmak için görünür bir resim elde edilirken eş zamanlı hareket eden hedeflerde görüntülenebilir. Bu yöntem ile görüntüsü alınan alanlar, nesnelere ya da cisimler bozulmanın ilk aşamasındaki bileşenler bulunabilir. Ayrıca, diğer yöntemler için ulaşılamaz veya tehlikeli alanlar ölçülebilir (Anonim, 2015c).

Termografik kameralar kaliteli fakat pahalıdır ve kolayca hasar görürler. Elde edilen resimleri doğru şekilde yorumlamak tecrübeli kişiler için bile zor olduğu için

kızılötesi görüntüleme eğitim almak ve yeterli tecrübe kazanmak zaman alır. Bu tür kameraların salınım güçleri dolayısıyla, doğru sıcaklık ölçümleri çok zordur ve de çoğu kamera $\pm 2\%$ veya daha kötü doğruluğa sahiptirler (Anonim, 2015c).

3.3.Termal Kameralar ve Çalışma Prensipleri

-273°C'nin üstünde ısıya sahip olan tüm nesnelere kızıl ötesi termal radyasyon yayarlar ki bu termal radyasyon insan gözü tarafından görülemez. Işınım termal kamera tarafından kaydedilir ve oluşan yansımış, yayılmış, iletilmiş uzun dalgalı kızılötesi ışınım termal kameranın görüntüsündeki nesne üzerinden görülür. Buradan ölçülecek nesnenin sıcaklığı hesaplanır. Termal kameralar kızılötesi radyasyonu elektrik sinyallerine çevirir ve onları görünür yapar. Termografi (termal kamera ile sıcaklık ölçümü) edilgen, tahribatsız ve temassız ölçüm metodudur. Termal görüntü, ölçüm yapılan yüzeydeki sıcaklık dağılımını gösterir.

Termal kamera, çeşitli sektörlerde kullanılan, alanların, bölümlerin ya da parçaların normalin üzerindeki sıcaklıklarını ya da soğukluklarını ölçerek sorunları tespit etmekte son yıllarda sıklıkla kullanılan pahalı ve hassas tanı cihazlarıdır.

Normal kameralar görüntüyü ışık sayesinde oluştururken termal kameralar görüntüyü ısı sayesinde oluştururlar. Benzer şekilde insan beyni ve gözü görüntüyü oluşturmada renkleri ve ışığı kullanırken renk farklılıkları önemlidir. Beyaz bir duvar önünde bulunan beyaz bir objenin fark edilmesi son derece zor olduğu gibi ortam sıcaklığına eşit bir sıcaklıktaki bir objenin termal kamera ile görüntülenmesi de son derece zordur. Bu tür kameralarda kullanılan objektifler çok küçük sıcaklık farklarını yakalayabilen (0.01°C gibi) ve bu farklılıktan görüntü oluşturabilen özelliklerdedir. Ayrıca görüntü oluşturabildikleri belli bir sıcaklık aralığına sahiptirler. Her sıcaklık değerinde farklı kızılötesi yayılımlar olduğu ve her kızılötesi yayılımın farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu objektifler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler. Askeri amaçlı olanlar genellikle doğada bulunan cisimlerin ortak kızılötesi yayılımlarının olduğu 8 ile 14 µm dalga boyuna duyarlı oldukları gibi endüstriyel tipte olanlar daha düşük dalga boylarında hassas üretilirler ve daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklarda da görüntü oluşturabilme özelliklerine sahip olabilmektedirler (Günyel, 2007).



Şekil 3.2.Termal kamera

Çalışmalar esnasında kullanılan termal kameranın görüntüsü Şekil 3.2’de verilmektedir. Bu termal kamera ile normal şartlarda -20°C ile 100°C arası ölçüm yapılabilmekte olup istenildiğinde optiği değiştirilerek ölçüm sıcaklığı 350°C kadar yükseltilebilmektedir. Testo 881 markalı bu termal kameranın ölçme hassasiyeti $\pm \%2$ olup çekimlerin yapıldığı termal kameranın teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan termal kamera özellikleri (Testo 881).

| Termal Kamera Özellikleri | |
|---------------------------|--|
| Ekran | 3,5 “ LCD, 320 x 240 piksel |
| Saklama Sıcaklığı | $-30 / +60^{\circ}\text{C}$ |
| Çalışma Sıcaklığı | $-15 / +40^{\circ}\text{C}$ |
| Batarya tipi | Hızlı şarj olan, Li – iyon pil |
| Ömür | 5 Saat |
| Ağırlık | 901 g |
| Boyut | 152x108x262 mm |
| Gövde Malzemesi | ABS |
| Tipi Prop | Kızılötesi |
| Ölçüm Aralığı | $-20^{\circ}\text{C} / +350^{\circ}\text{C}$ |
| Doğruluk | 2% ölçüde |

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Termal kamera kullanımı ile gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında binalarda ısı yalıtımında, nem ölçümlerinde, kestirimci bakım uygulamalarında, sağlık uygulamaları, savunma uygulamaları ve diğer uygulamalar ana başlıkları adı altında irdelenecektir.

4.1.Enerji Uygulamaları

Mühendisliğin çeşitli alanlarında termal kamera uygulamaları ile konutların ve binaların, ısıtma sistemi, boru hatlarının termal kamera görüntüleri alınıp termal enerji analizleri, mekanik arıza tespitleri yapılabilmekte ve gerekli olan sistemler için çözüm önerileri sunulabilmektedir. Her türlü deponun doluluk oranları tespit edilebilmekte, elektrik devrelerindeki hasar tespitleri yapılabilmekte, termo-akışkan dinamiği, tahribatsız malzeme muayenesi, çevresel uygulamalar, tıp uygulamaları ve savunma sanayi gibi alanlarda da yaygın olarak kullanılabilir.

Sanayiden sonra en fazla enerji tüketimi gerçekleşen konutlarda yalıtımsız binaların yanı sıra hatalı yalıtılmış binaların termal analizleri pratik bir şekilde yapılabilmektedir. Konut uygulamalarında binaların en fazla ısı kaybına neden olan bölgelerin; ısı köprüleri olarak nitelendirilen kolon ve kirişler, dış cephe duvarlar birleşim bölgeleri, radyatör arkaları vb. gibi bölgeler olduğu ve çözüm noktasında daha çok bunların üzerine durulması gerektiği belirlenmiştir.

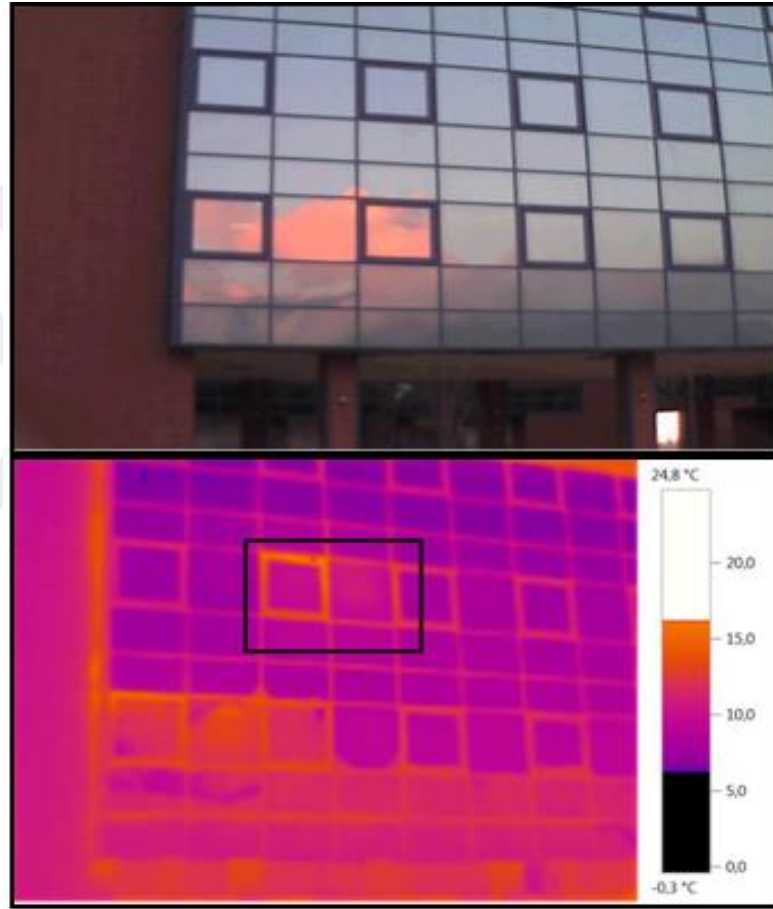
4.1.1. Binalarda Isı Kaybının Denetlenmesi

Doğru kullanıldığında, termal görüntüleme bina sahiplerine, mimarlara, müteahhitlere ve denetim firmalarına bina performansını, olası problemleri ve çözümleri doğrulayabilir. İnsanlar bu bilgileri kullandıklarında, büyük ölçüde kazanım sağlarlar. Bütün yüzeyler görünmeyen ısı enerjisi yayarlar. Bunu güneşin altında ya da soba yakınında hissetmişsinizdir. Kızılötesi kameralar, termal radyasyonu algılayan özel tasarlanmış elektronik cihazlardır. Bu enerjiyi termal görüntüye dönüştürürler, ya da termogramlar, 0,05 C derece farklılıkla termal değişimi gösterir.

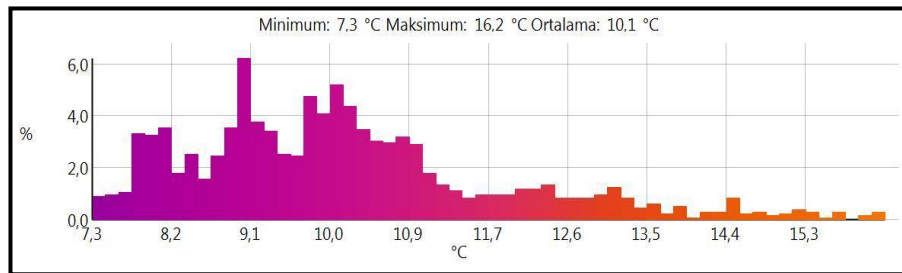
Binalarda Bulunan Temel Problemler:

- Eğimli çatılara buzun verdiği zarar
- Yetersiz HVAC dağıtım veya performansı

- Yapısal performans veya inşaat ayrıntılarının yeteri kadar sorgulanmaması
- Cephe malzemelerinin bozulması
- Termal çevredeki aşırı hava sızıntısı ya da eksik ve tahrip olmuş yalıtım nedeniyle aşırı enerji harcanması
- Yoğunlaşma ya da sızıntılar yüzünden ortaya çıkan nem hasarı
- “Hasta Bina Sendromu” yapısının gelişmesi ve diğer konular (Snell, 2008).

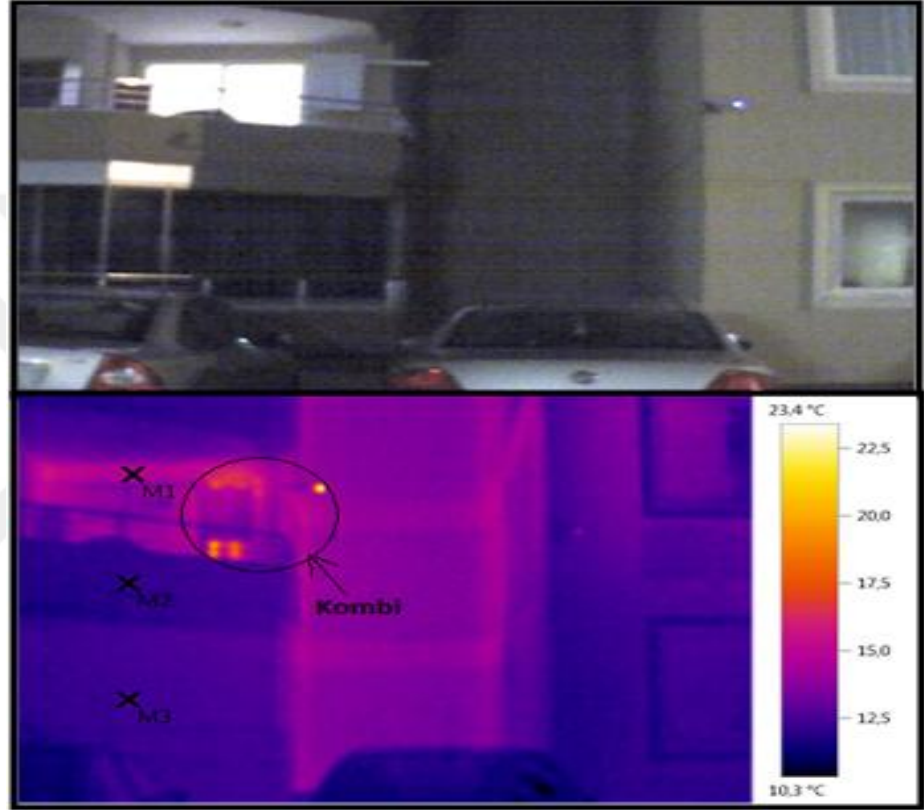


Şekil 4.1. Bir binaya ait gerçek ve termal görüntüde tespit edilen ısı kaçakları



Şekil 4.2. Termal görüntü içerisindeki dörtgene ait sıcaklık dağılımı

İskenderun'da bir binanın görüntüsü Şekil 4.1'de yer almaktadır. İzolasyon sistemi kötü tasarlanmış binanın yalıtım sorunu vardır, kış aylarında meydana gelen bu ısı kaybı termografik görüntülerde çok net görülebiliyor. Şekilde görüldüğü üzere bu binada en fazla ısı kayıpları yalıtımın yetersiz olduğu pencere kenarlarındadır. Isı kayıplarının yüksek olduğu bölgelerdeki ısı yalıtımının daha iyi yapılması veya güçlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

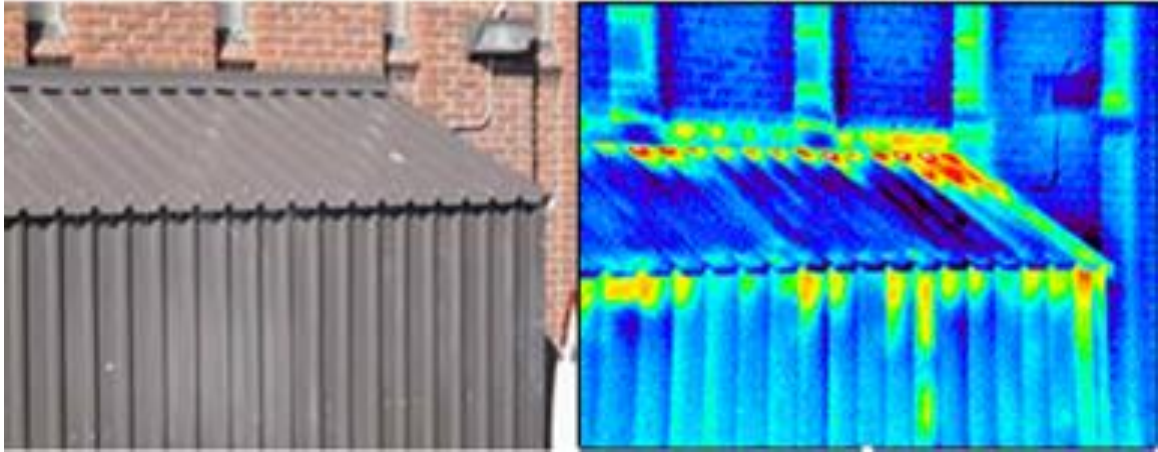


Şekil 4.3. Bir Binanın Dış Cephesinden Termal Kamera Görüntüleri

Bir binaya ait termal kamera ve normal görüntü Şekil 4.3'de verilmiştir. Binanın kolon (M1), kat arası (M3), banyo penceresi ve duvarından (M2, M4) alınan sıcaklık değerleri sırasıyla 14,1°C, 14,0 °C, 14,8 °C ve 13,2 °C'dir. Yapı elemanları olan kolon ve kirişlerin oluşturduğu ısı köprüleri net olarak şekil üzerinde görülebilmektedir. Isı köprülerinin oluşturduğu bölgelerin yalıtım uygulamaları binanın diğer yapı elemanlarından farklı değerlendirilmeli ve daha uygun yalıtım yapılmalıdır. Isı yalıtımı ile ısı kayıplarının önüne geçildiği gibi yapılar; nem, rutubet ve korozyona karşı da korunur. Böylece, binada ısı yalıtımı, binanın ömrüne olumlu yönde etki ederek bina

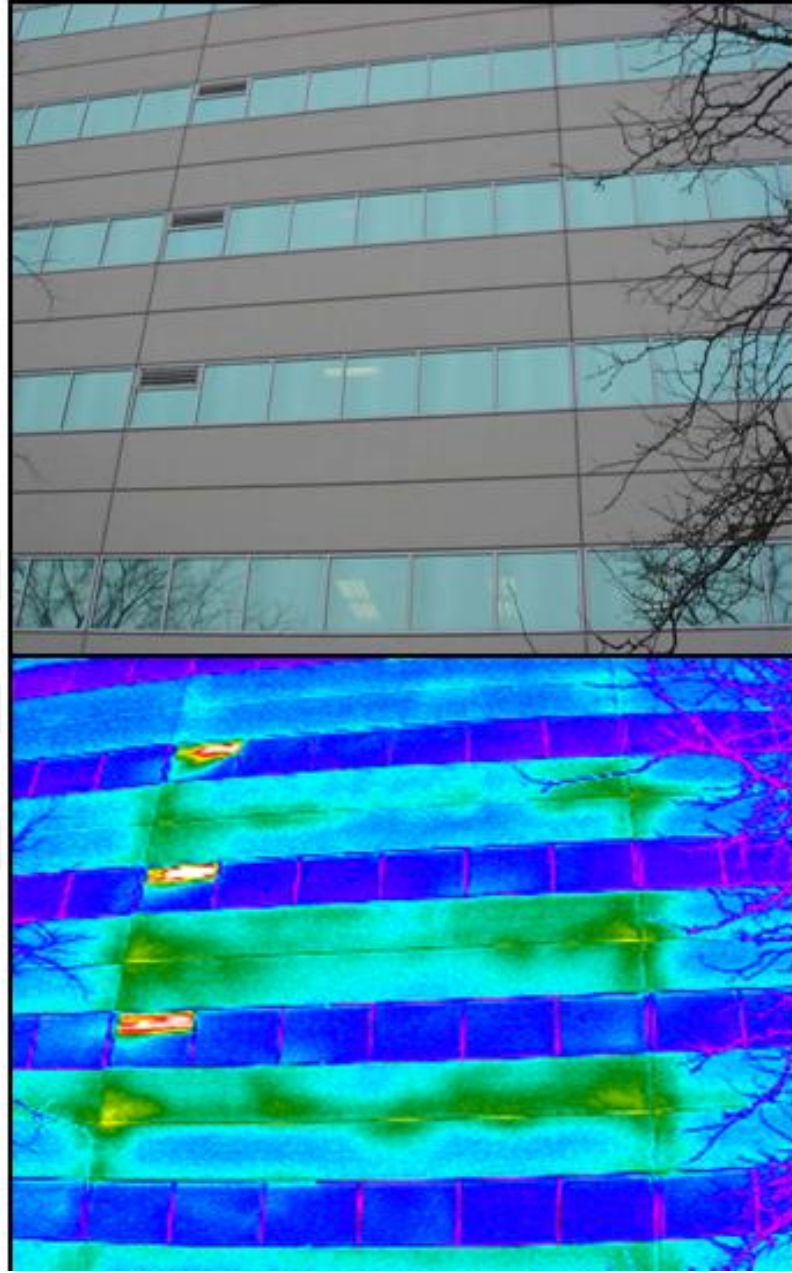
ömrünü arttırır. Isı yalıtımı ile binalarda taşıma ve destek görevi gören elemanların iç ve dış yüzeylerinde meydana gelebilecek ısı farklılıklarına bağlı olan termal gerilmelerin önüne geçilir. Bu sayede bu elemanlarda termal gerilmeye bağlı oluşabilecek olası çatlakların oluşması önlenir. Bu durum; ülkemizin deprem kuşağında olduğu gerçeği göz önüne alındığında dikkat ve hassasiyet gösterilmesi gereken bir konu olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra ısı yalıtımı, ekonomik avantajlar sunmaktadır. Binaya zarar veren etmenlerin etkileri uzun dönemde de olsa görülür. Ancak, ısı yalıtımının tasarruf etkisini kısa dönemde açıkça görmek mümkündür. Isı yalıtımı için harcanan maliyetler, az yakıt kullanımı sayesinde yapılan tasarruf ile 3-4 yıl gibi zaman içerisinde amorti etmektedir (Karaca, 2007)

Buz kütleleri gibi çok soğuk nesnelere bile kızılötesi radyasyonu yayarlar. Bir nesnenin sıcaklığı ne kadar yüksekse yaydığı kızılötesi radyasyonu da o kadar büyük olmaktadır. 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 kaçışları görüntülenebilmektedir.



Şekil 4.4. Bir çatının termografik görüntüsü (Snell, 2008)

Bir çatının termografik görüntüsü Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Şekilde zayıf yalıtımdan kaynaklanan ısı kaçakları çok net görülmektedir. Bu şekle göre ısı kaçaklarının daha çok çatının bağlantı bölgelerinde meydana geldiği görülmektedir. Bu sebeple yalıtım sorunlarının çözümünde daha çok bu bölgelere önem verilmesi gerekmektedir.

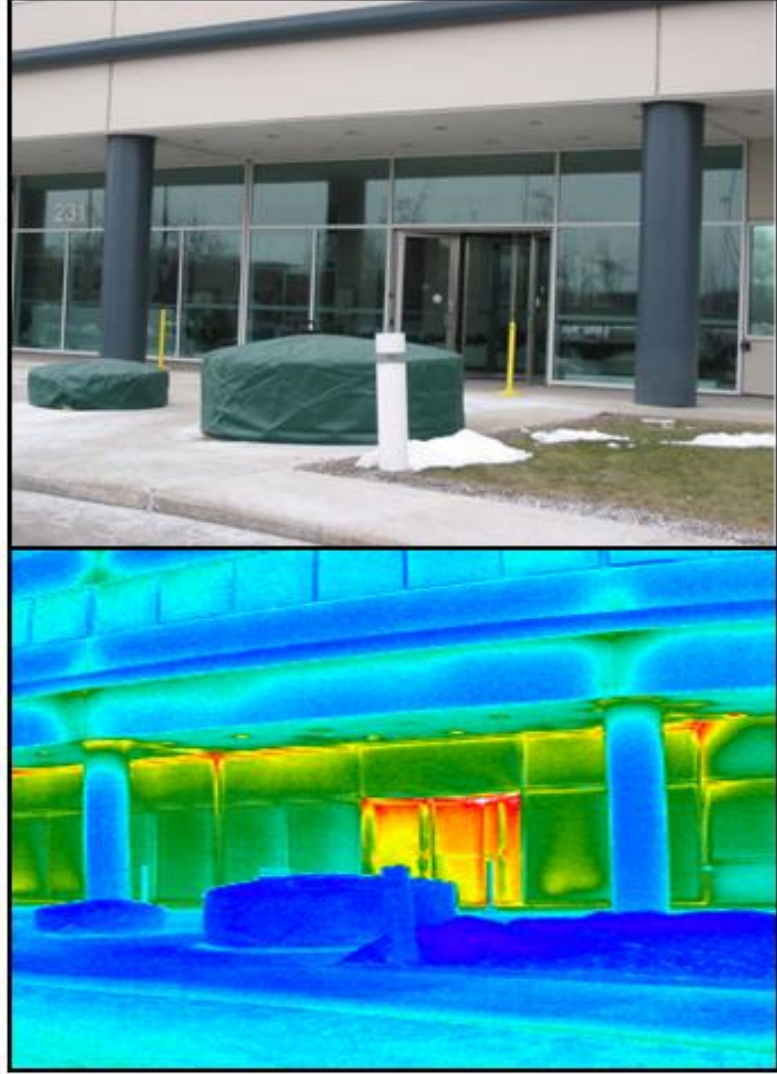


Şekil 4.5. Bina güney cephesi ısı farklılıkları (The Any Company Inc., 2012)

Bir binanın güney cephesi ısı farklılıkları Şekil4.5’de görülmektedir. Açık bırakılan havalandırma pencerelerinden kaçan ısı kolaylıkla görülmektedir. Bu ısı kaçaklarına çözüm bulunması sırasında bu termal görüntüler kullanıcılarına yol gösterebilmektedir.

Bir binanın kuzey yönünde giriş ve kubbe bölümü Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde gece çekilen kızılötesi termal görüntüde termal yüzey farklılıkları

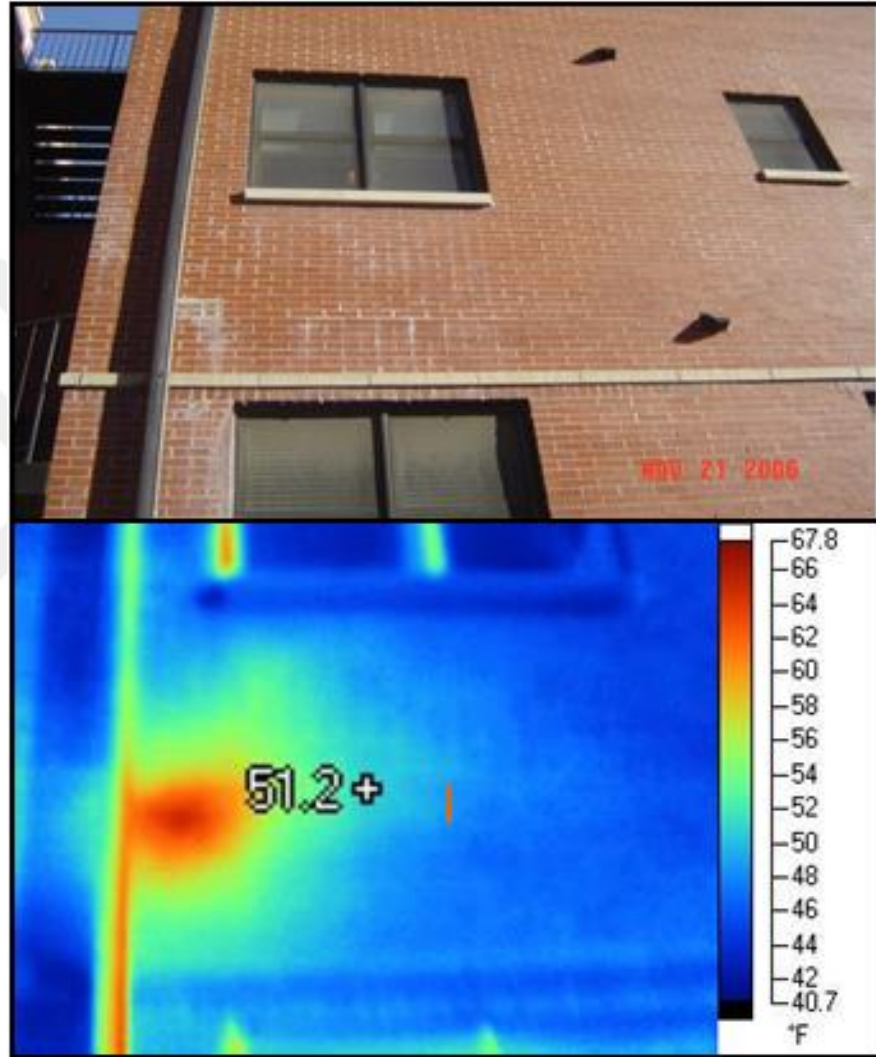
açık bir şekilde görülmektedir. Şekilde parlak ve açık renklerde yüzey daha sıcak iken renklerin koyulaştığı yerler daha soğuk olduğu anlaşılmaktadır. Kötü donatılmış ve eksik izolasyondan, doldurma eksikliklerinden veya inşaat tasarımından dolayı termal farklılıkların mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Bir binanın kuzey yönünde giriş ve kubbe bölümü
(The Any Company Inc., 2012)

Binanın tavan duvar birleşim yerlerinin ısı kaybı yönünden kritik bölgeler olduğu görülmektedir. Özellikle kirişlerin kesişim bölgelerinde büyük miktarlarda ısı kayıpları olmaktadır. Binaların yapım aşamasında ısı kaybı yönünden kritik olan bu bölgeler için gerekli yalıtım önlemlerinin alınması gerekmektedir.

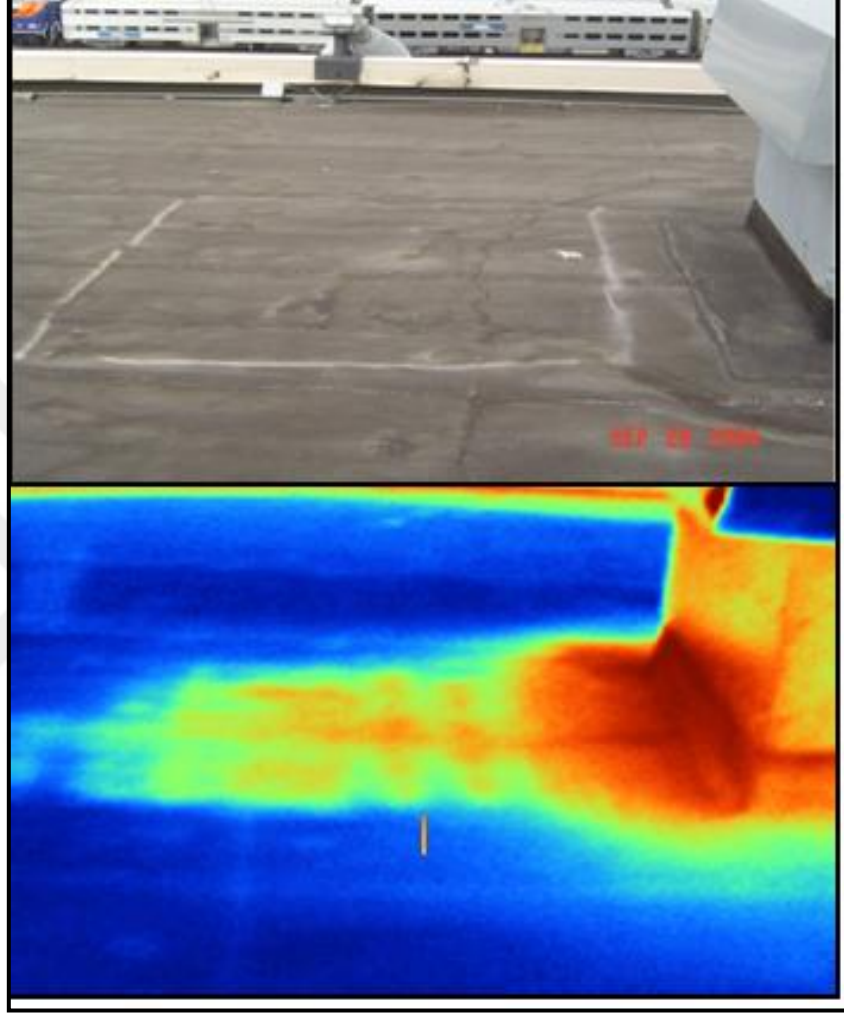
Tamir edilmiş bir tuğla duvarına ait termal görüntü Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Bu ilginç termal görüntüde, tamir edilmiş bir tuğla duvarındaki bir ısı kaynağı saptanmıştır. Mahalde ısının kaynağının tuğlayla örülmüş olan duvara monte edilmiş bir giysi kurutma makinesinin varlığı ve bu makinenin havalandırma borusu ile bağlantı yaptığı bölge olduğu tespit edilmiştir (The Any Company Inc.-2012).



Şekil 4.7.Tamir edilmiş bir tuğla duvarı (The Any Company Inc., 2012)

Bir binanın çatı kenar sızıntısı görüntüsünün gerçek ve termal görüntüsü Şekil 4.8’de verilmektedir. Çatı sızıntılarının onarımı mesken sahiplerine çok büyük maliyetlere sebep olabilmektedir. Fakat onarım öncesi termal görüntüleme almak yapılacak masrafların kayda değer bir şekilde aşağıya çekildiğini göstermektedir.

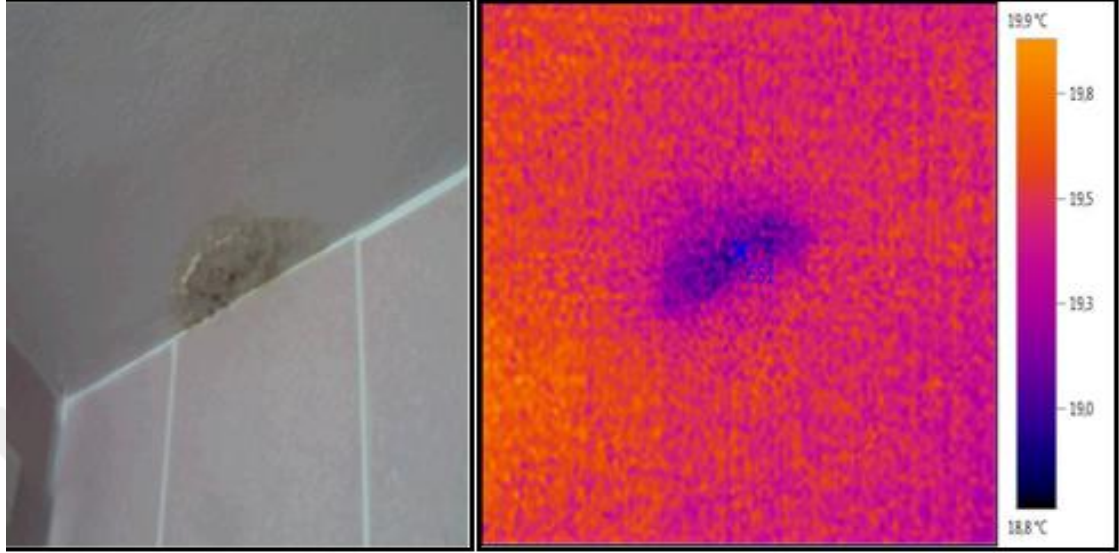
Şekil 4.8 incelediğinde mavi ve tonları soğuk bölgeleri, sarı ve turuncu yerler daha sıcak yerleri göstermektedir. Termal görüntüde turuncuyla gösterilen yerler bacaya yakın ve en sıcak bölgelerdir.



Şekil 4.8. Bir binanın çatı kenar sızıntısı görüntüsü (Tibbs, 2004)

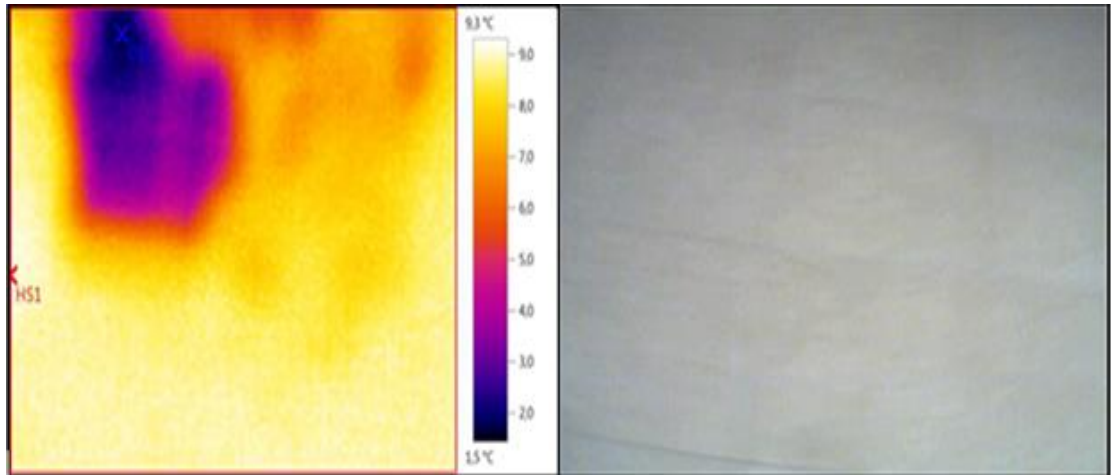
Bir mahalde termal kamera ile nem tespiti Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Suyun hem yüksek termal iletkenliği hem de yüksek sıcaklık kapasitesi olduğundan dolayı bir mahaldeki nemi termografi ile tespit etmek oldukça kolay olmaktadır. Fakat nemin kaynağını bulmak zor olabilmektedir. Bunun nedeni suyun sızıntısından çok belli bir bölgede yoğunlaşmadır. Bu yüzden de sızıntının kaynağını ve yoğunlaşmadan oluşan soğuk yerleri bulmak önemli olmaktadır. Yoğunlaşmaya bağlı bina hasarlarına

küflenmeler, tuğlada kepeklenmeler, çatıda aşınmalar ve izolasyon değerlerinde düşmeler örnek olarak verilebilmektedir.



Şekil 4.9. Bir mahalde termal kamera ile nem tespiti

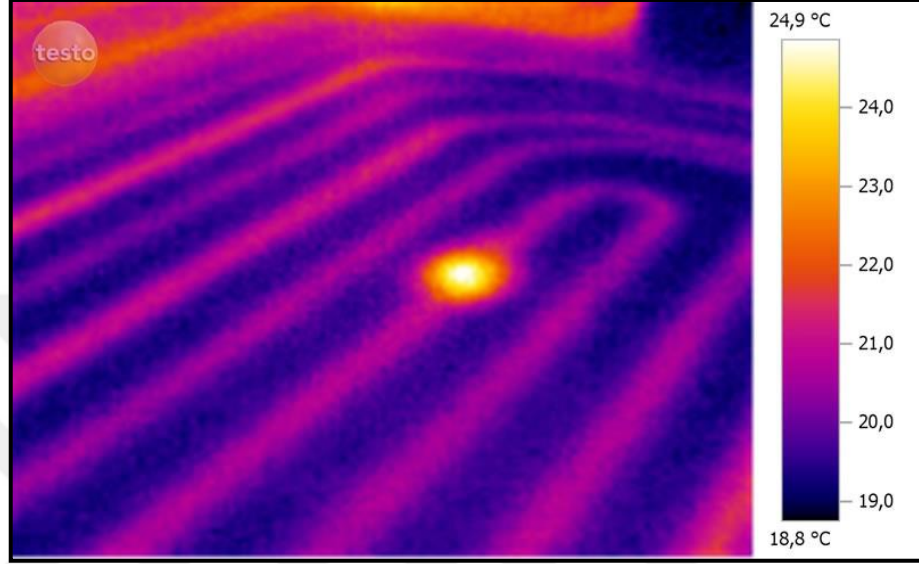
Bir binanın tavanında nem kaynaklı yalıtım bozukluğu Şekil 4.10'da verilmektedir. Şekil incelendiğinde tavana ait termal görüntüde en soğuk noktanın daha koyu şekilde görüldüğü tespit edilmiştir ve bu görüntü sayesinde sorunun tam olarak nerede olduğu tespit edilerek çözüm için sorunlu bölgenin tadilat esnasında fazla hasara uğramadan tamir edilmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 4.10. Bir binanın tavanında nem kaynaklı yalıtım bozukluğu

4.1.2. Tesisat Uygulamalarında Isı Kaybının Denetlenmesi

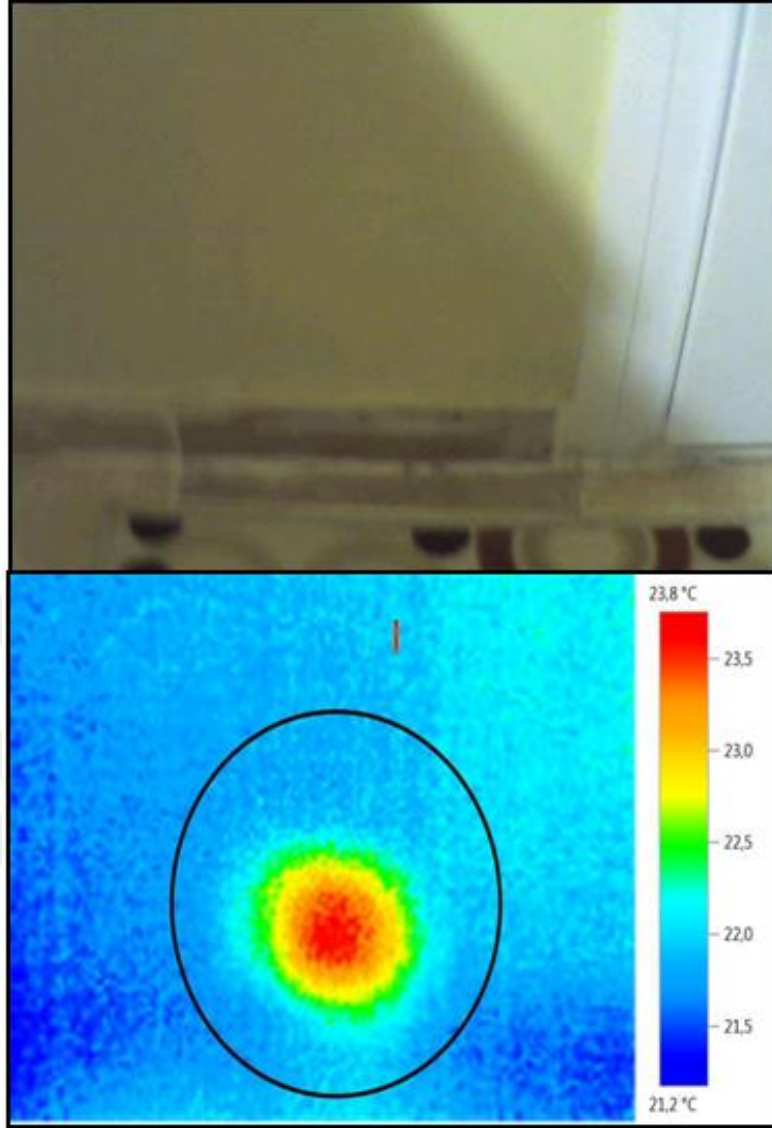
Tesisatın olduğu bölgelerin termal kamerayla tespiti ile duvar üzerinde yapılması öngörülen tadilatlarda tesisatın çok büyük hasarlar alması önlenmektedir. Bu sayede yapılan işlemler esnasında gereksiz maliyetler ve zaman kayıpları önlenmektedir.



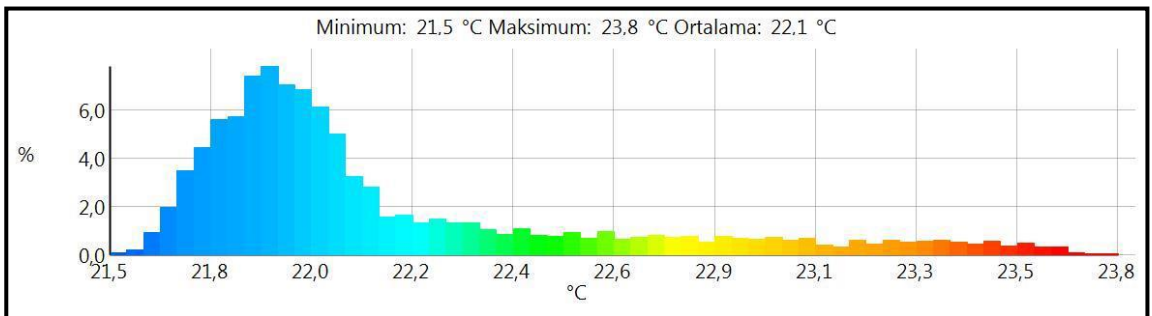
Şekil 4.11. Zemin altı borularındaki sızıntılı durum (Anonymous, 2015)

Yer altı borularındaki sızıntılı durum Şekil 4.11’de verilmektedir. Termografik görüntüler yer altı borularındaki alanları ve eksiklikleri kolayca belirleyebilmektedir. Burada termografik görüntüler bir sızıntının kesin yeri teknisyenin kırık bir boruyu bulmak için büyük bölmeler şeklinde bir hasar oluşturması yerine küçük bir alana odaklanmasına yardım etmektedir.

Su tesisatında termal görüntüleme Şekil 4.12’de, bu görüntüye ait histogram diyagramı ise Şekil 4.13.’de gösterilmektedir. Şekilde termal görüntü su kaçağı olan tesisat borusunun tespiti konusunda yol göstermektedir. Su kaçağı olan duvarın normal görüntüsünde kaçak ve de neme ait herhangi bir belirti görünmez iken termal görüntüde kaçak oluşan bölge açık bir şekilde görülmektedir.

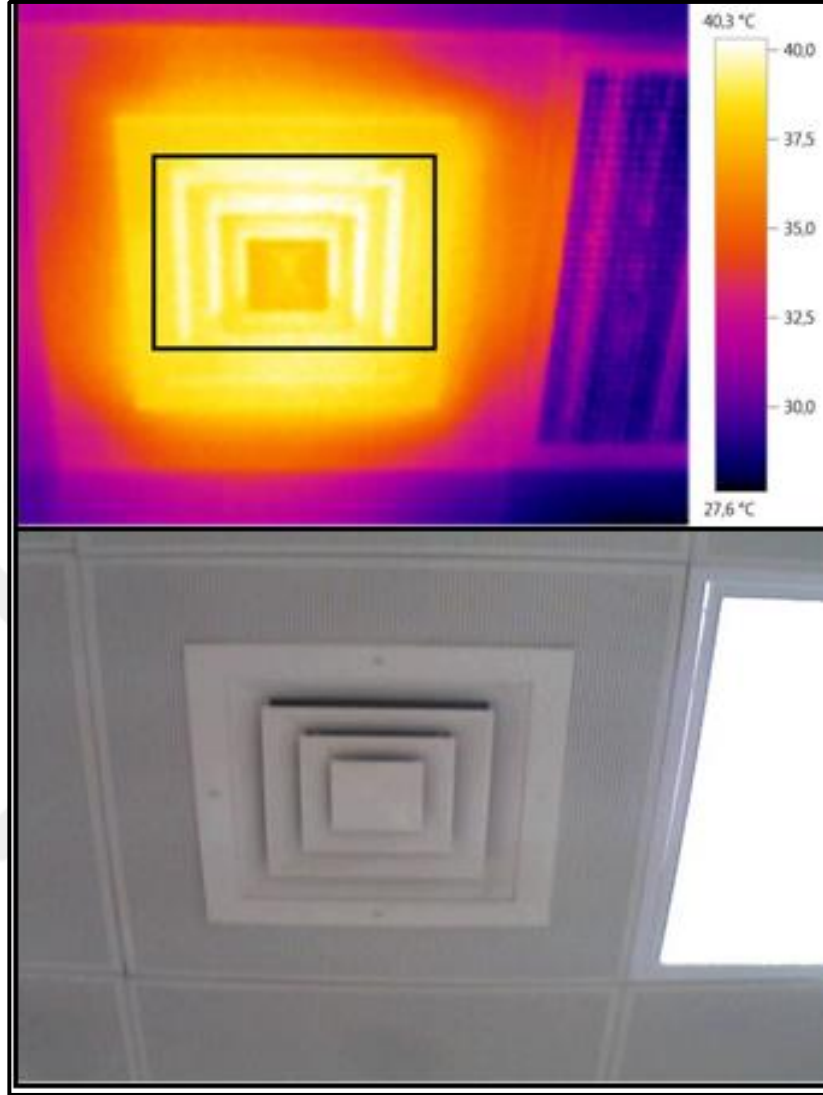


Şekil 4.12.Su Tesisatında Termal görüntüleme

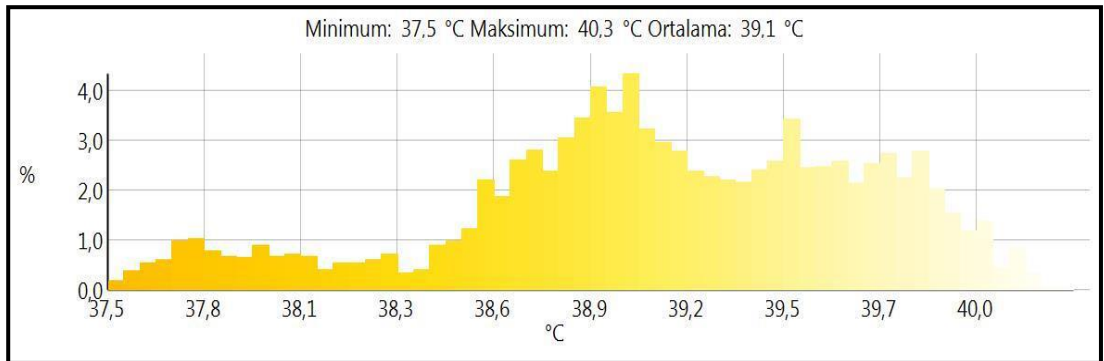


Şekil 4.13 Su kaçağı olan duvara ait histogram diyagramı

4.1.3.Havalandırma Sistemi Arızaları



Şekil 4.14. Bir binaya ait havalandırma sistemi



Şekil 4.15. Havalandırma sisteminin termal görüntüsünde işaretli alana ait histogram diyagramı

Şekil 4.14’te bir binaya ait havalandırma sisteminin gerçek ve termal görüntüsü, Şekil 4.15’te bu havalandırma sistemindeki işaretli alana ait histogram diyagramı verilmektedir. Havalandırma sistemine ait gerçek ve termal görüntüde sıcak hava akımının çok yüksek olduğu ve homojen olarak yayılmadığı görülmektedir. Termal görüntü sayesinde, HVAC sistemleri tasarımından, yapımından kaynaklanan aşırı enerji kullanımı ya da uyumsuz binalara ait sorunlar için çözüm oluşturulabilmektedir. Termografi bina uzmanlarına aşırı sıcak ve soğuk alanlarda kötü performanstan kaynaklanan görünmeyen etkiyi göstermektedir. Bu alanlar belirlendiğinde, sorun teşkil eden diğer durumlar, tersine hava akışı ya da yanlış yerleştirilmiş oluklar, kısa devreye neden olan yerleştirmeler tespit edilebilmektedir. Ne yazık ki bu sorunların çoğu kötü tasarımın bir sonucu olup; bir termograf bunları tanımladığı zaman, düzeltmek için çok geç olabilmekte, diğer yandan, bazı sorunları düzeltmek ise çok kolay olmaktadır.

4.2. Kestirimci / Koruyucu Bakım Uygulamaları

Termal kamera ölçümleri tesislerin elektrik ve mekanik sistemlerinde yapılmakta olup ölçüm esnasında sistemlere herhangi bir müdahale söz konusu olmamakta ve ölçümün tamamı sistemin normal çalışmasına devam ederken yapılmaktadır. Endüstriyel tesislerde termal kameranın bakım amacıyla kullanılması düşük maliyetli son derece etkin bir kestirimci/koruyucu bakım sağlamanın yanı sıra söz konusu işletmelerdeki potansiyel tehlikeleri belirleyerek yangın ve diğer riskleri azaltmakta böylece emniyetin artmasını sağlamaktadır.

Termal kamera ile denetleme yeni veya modifiye edilmiş sistemlerin kabul testlerinin daha güvenli yapılmasını da sağlamaktadır. Sistemin yeni olması "problemsizdir" anlamına gelmemektedir. Sistemin sorunsuz kabulü için yapılacak ölçümler önceden zayıf bağlantı yerlerinin, izolasyon kaçaklarının, aşınmış noktaların, çatlakların, yağlama sorunlarının veya daha sonra problem çıkarabilecek yerlerin tespitini sağlamaktadır. Termal kamera ölçümü ile tesisteki enerji kayıplarının fazla olduğu noktalar da tespit edilerek onarılmakta ve enerji tasarrufu sağlanarak maliyetler azaltılmaktadır.

İşletmelerde termal kamera ölçümünün yapıldığı başlıca noktalar;

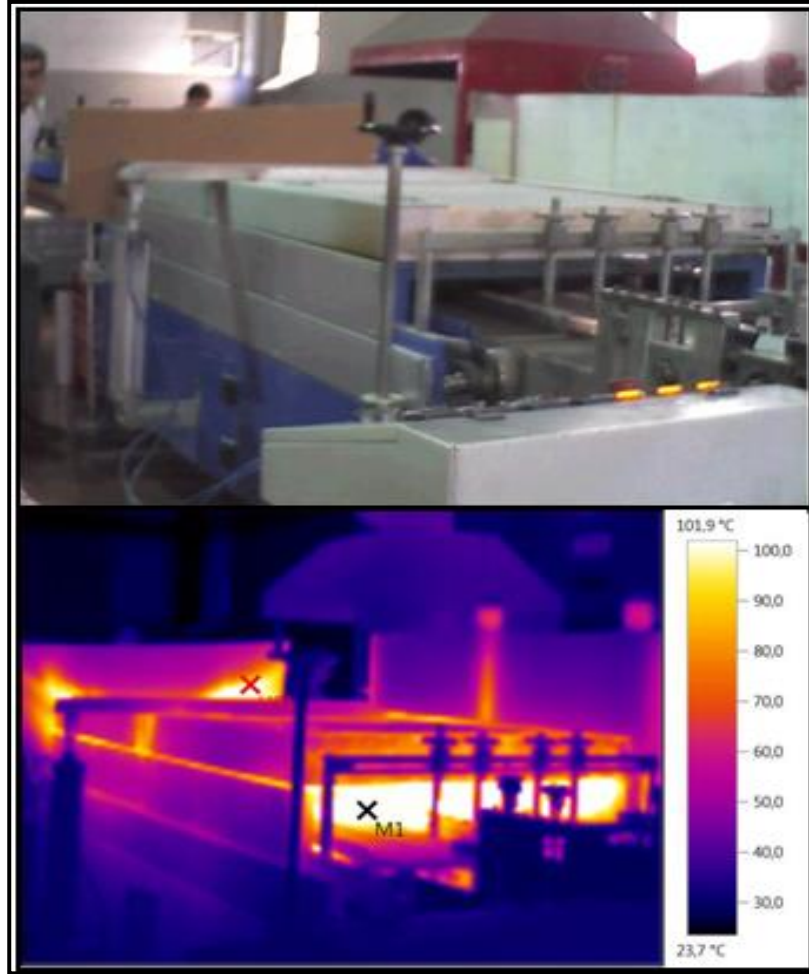
Mekanik Sistemler

- Buhar hatları ve vanalarda

- HVAC Sistemlerinde
- Motor yataklarında
- Bina, çatı ve yalıtımı yapılmış sistemlerin izolasyon kontrollerinde
- Fırın yüzeylerindeki aşırı sıcak noktaların tespitinde
- İş makinelerinin arızalarının en kısa sürede tespit edilmesi ve bu arızalarının giderilmesinde v.b. kullanılmaktadır.

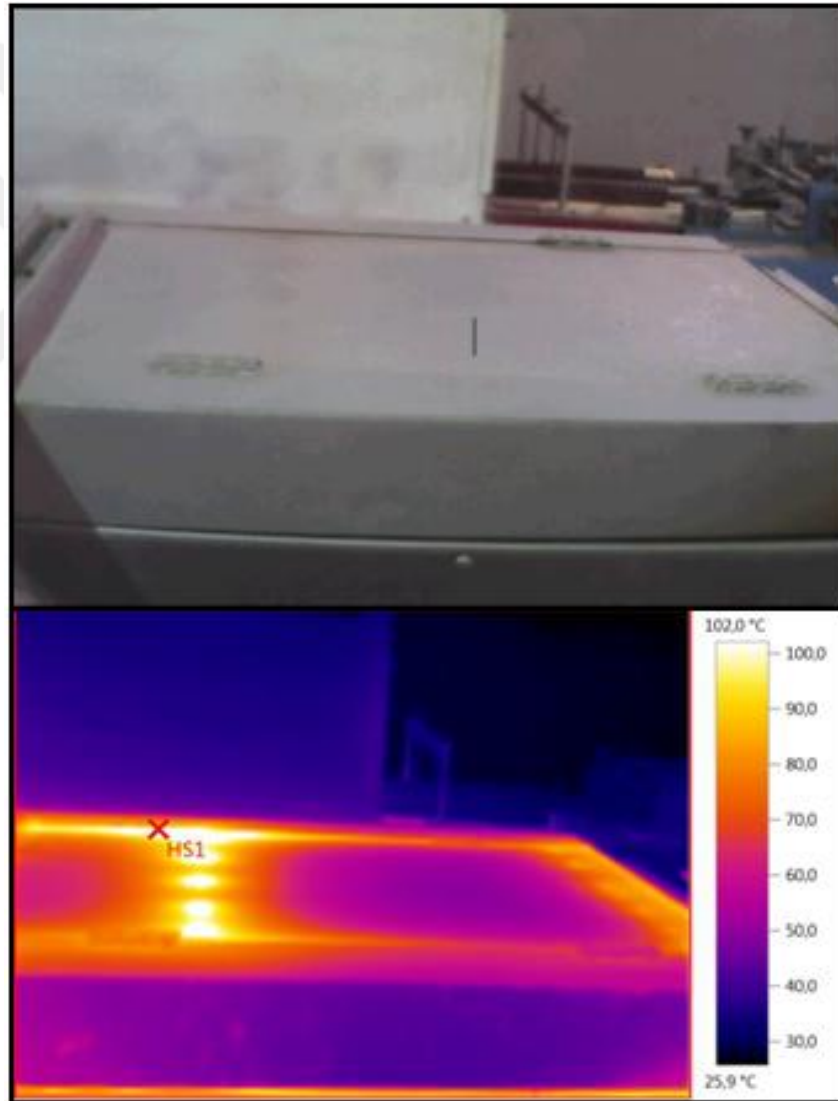
4.2.1. Mekanik Bozulma ve Aşınma Tespiti

Kestirimci bakım uygulamalarından mekanik aşınmalar incelenmiş olup, sürtünmenin neden olduğu aksamlarda sıcaklık değerlerinin normalden yüksek olduğu belirlenmiş, bundan yola çıkılarak mekanik arıza tespitlerinin kolaylıkla bulunabileceği saptanmıştır.



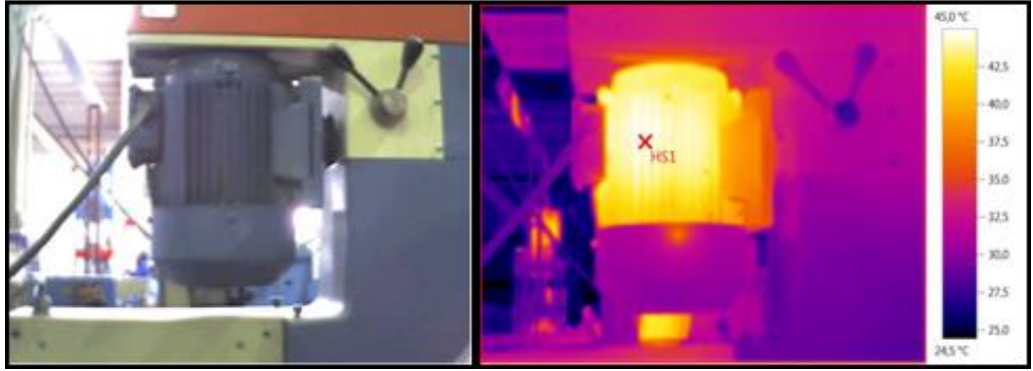
Şekil 4.16. Bir fabrikada ısı yayan bir makinenin gerçek ve termal görüntüsü

Bir fabrikada ısı yayan bir makinenin gerçek ve termal görüntüsü Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmektedir. Şekiller incelendiğinde makinelerin çalıştığı esnada sıcaklıkların dolayısıyla ısı kayıplarının yüksek olduğu bölgeler açık bir şekilde görülmektedir. Her ne kadar ısı kayıplarının yüksek olduğu bölgeler izolasyonlu bölgeler olsa dahi; bu bölgelerde yüksek sıcaklıkların oluştuğu dolayısıyla ya izolasyon malzemesinin yetersiz olduğu ya da izolasyon malzemelerinin fiziksel özelliklerini kaybettiği düşünülmektedir. Çözüm olarak da incelenen makine için ısı kayıplarının yüksek olduğu bölgeler için ısı yalıtımının yeniden değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

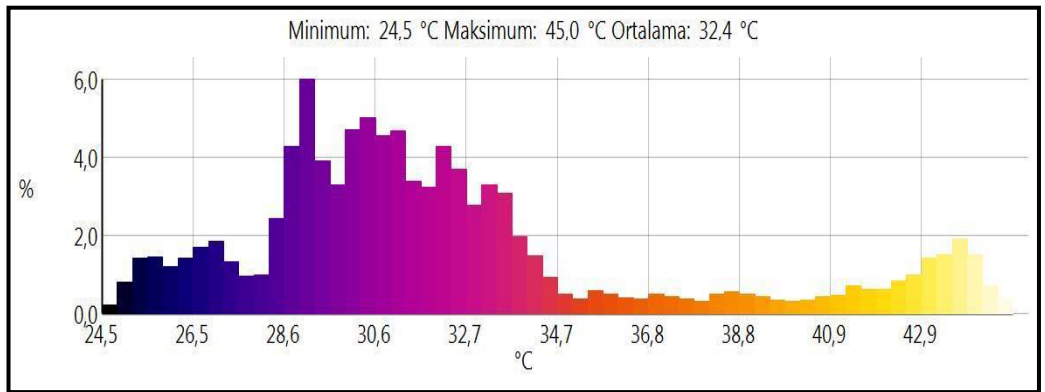


Şekil 4.17. Bir fabrikada ısı yayan bir makinenin gerçek ve termal görüntüsü

Termal görüntülemenin motorlar, döner takımlar ve buhar ayırıcılar gibi mekanik aksamı denetlemeye yönelik çalışmalarda çok verimli olduğu kanıtlanmıştır. Bu uygulamalarda mevcut termal görüntü tipik olarak referans bir görüntüyle kıyaslanmalıdır. Ortaya çıkan farklı durumlar dikkate alınmalıdır. Örneğin, ısıyla ilişkili arızalara çok elverişli olan motorlar termal olarak incelenebilirler. Yanlış motor ayarı veya motor dengesizliği tipik olarak aşırı ısınma şeklinde sonuçlanmaktadır. Motor muhafazasının yüzey sıcaklığına bakmak yararlı olmakla birlikte bir motorun iç sıcaklıklarındaki değişimler her zaman çok kısa bir süre içinde anlaşılammaktadır. Ya zaman içinde ya da benzer motorlarla kıyaslamalı olarak motorun termal görüntülerini almak fayda sağlayabilmektedir. Örneğin, tozla tıkanmış veya tek fazlı ve aşırı derecede ısınan bir motorun sorunlarını açığa çıkarma konusunda yardımcı olabilmektedir.

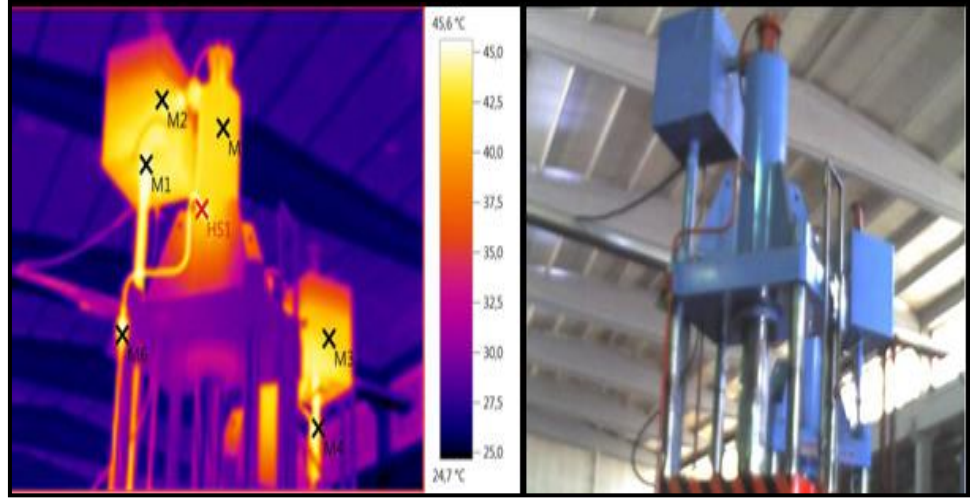


Şekil 4.18. Aşırı ısınmış bir motor bloğu görünümü



Şekil 4.19. Motor bloğuna ait termal görüntünün histogram diyagramı

Aşırı ısınmış bir motor bloğuna ait gerçek ve termal görüntü Şekil 4.18'de, bu termal görüntüye ait histogram diyagramı da Şekil 4.19'da verilmektedir.

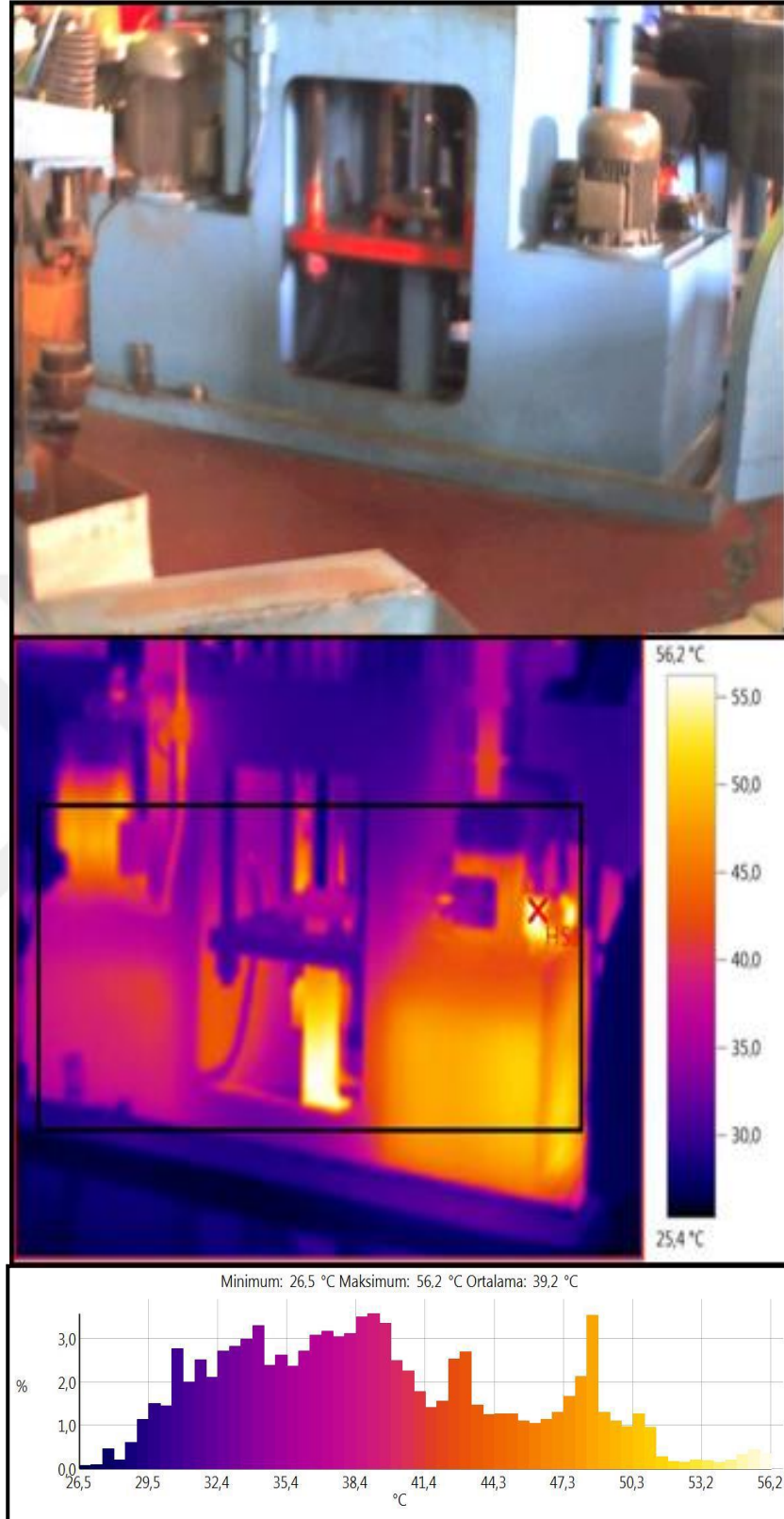


Şekil 4.20. Bir fabrikada çalışır durumdaki makineye ait termal görüntü

Çizelge 4.1. Makine üzerindeki ölçüm noktaları ve bunlara ait sıcaklıklar

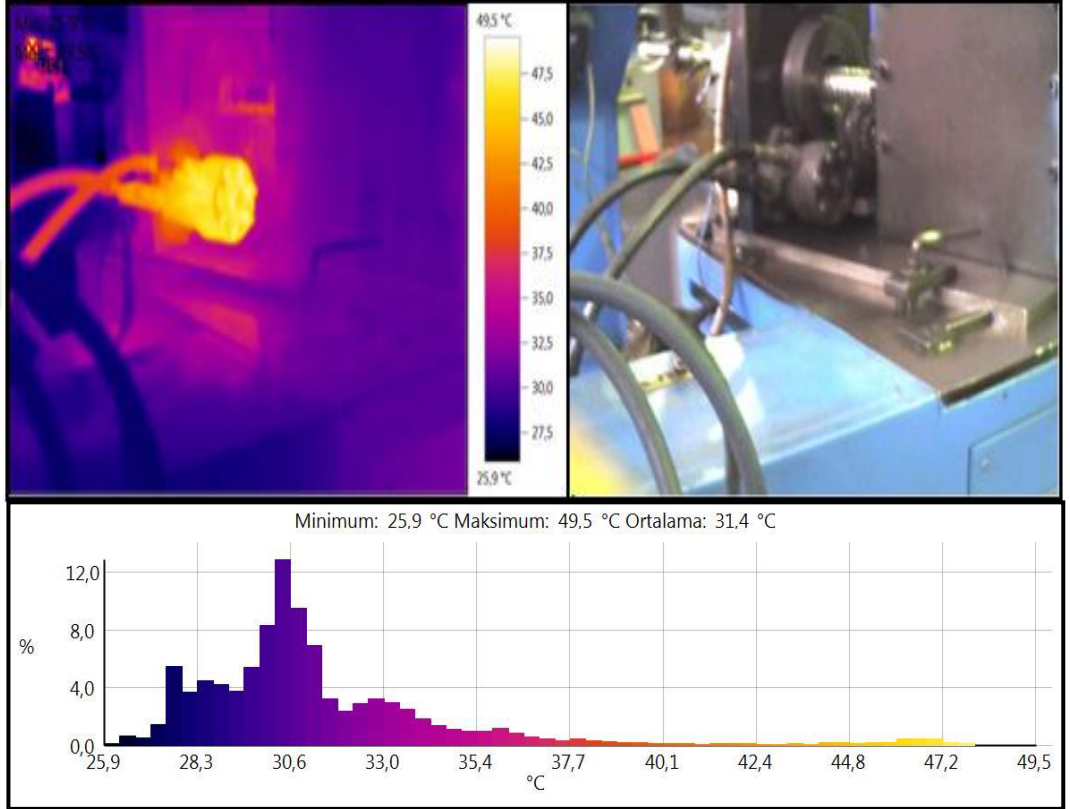
| ÖLÇÜM NOKTALARI (M) | SICAKLIK (°C) |
|-----------------------|---------------|
| 1. Ölçüm Noktası (M1) | 44,7 |
| 2. Ölçüm Noktası (M2) | 43,0 |
| 3. Ölçüm Noktası (M3) | 42,1 |
| 4. Ölçüm Noktası (M4) | 42,9 |
| 5. Ölçüm Noktası (M5) | 42,5 |
| 6. Ölçüm Noktası (M6) | 44,4 |
| 7. Ölçüm Noktası(HS1) | 45,6 |

Bir fabrikada çalışır durumdaki makineye ait termal görüntü Şekil 4.20’de, makine üzerindeki ölçüm noktaları ve bunlara ait sıcaklıklar Çizelge 4.1’de verilmektedir. Termal görüntüde açık sarı renk görülen 7. Ölçüm noktası HS1 45.6°C ile makine bloğunun en sıcak noktasıdır.



Şekil 4.21. Bir fabrikada hidrolik pompaya ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri

Bir fabrikada hidrolik pompaya ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri Şekil 4.21'de verilmektedir. Termal görüntüde işaretli bölge içerisindeki alanda en sıcak nokta HS1 56,2°C'dir. Bir makine bloğunda aşırı ısınmış silindir parçasına ait gerçek ve termal görüntü Şekil 4.23'te, bu görüntüye ait histogram diyagramı Şekil 4.24'te verilmektedir.



Şekil 4.22. Bir makine bloğunda aşırı ısınmış silindir parçasının gerçek, termal ve histogram görüntüsü

4.2.2. Enerji Hatları, Gerilim Panolarında, Elektrik Devrelerinde Hasar Tespiti

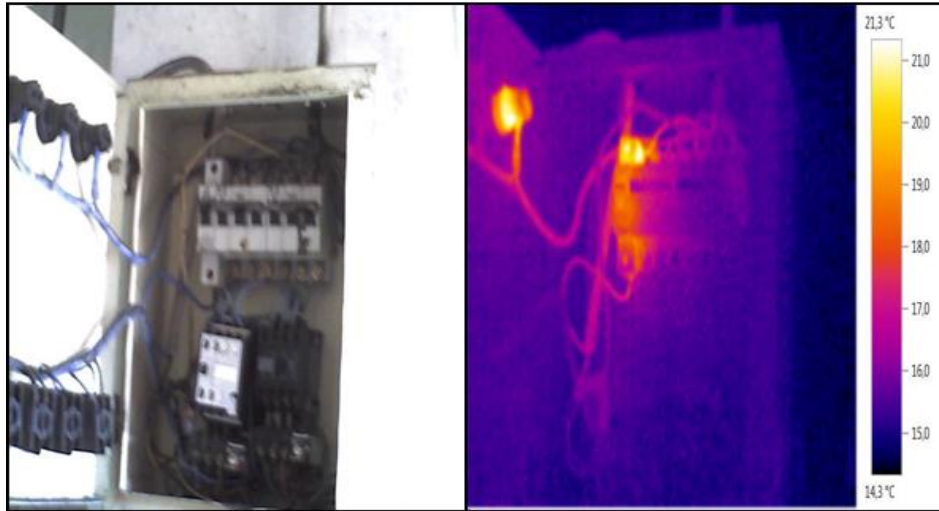
Test prosedürlerinin temassızlığı ve çabucak uygulanabilir olması nedeniyle termal kameralar yaygın olarak elektrikli sistemlerin sağlamlığını incelemek için kullanılır. Tesislerin elektrik ve mekanik sistemlerinde uygulanan termal kamera ölçüm çalışmaları, çıplak gözle görülmesi mümkün olmayan problemleri kolaylıkla ve anında tespit edilmesini sağlayarak beklenmedik duruşları önlemektedir. Bu durum, işletmenin hem bakım planlarının daha iyi yapılmasını hem de üretim kayıplarının azalmasını sağlamaktadır.

İşletmelerde termal görüntüleme ile arıza ve durum tespiti aşağıdaki noktalarda yapılabilir;

- Elektrik Panolarında
- Transformatör, Motor ve Pompalarda
- Şalt Sahasında
- Şalter, kontaktör, kesici ve sigortalarda
- Enerji kablolarında

Elektrik devreleri üzerinde gerçekleştirilen termal görüntüleme, üzerinden akım geçen kısımlar sıcak, herhangi bir arızadan dolayı akımın kesildiği kısımlar ve sonrası ise soğuk görüneceğinden kesintinin nerede meydana geldiği hiçbir temas olmadan tespit edilebilir.

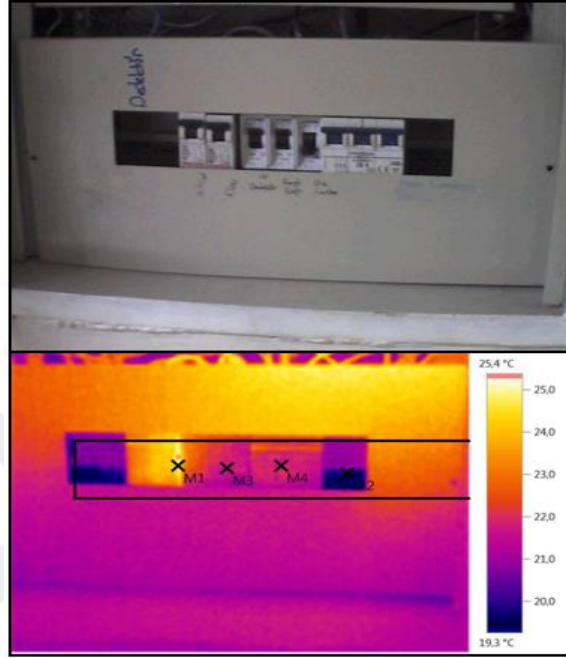
Bir elektrik panosuna ait gerçek ve termal görüntü Şekil 4.23'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde elektrik panosunda elektrik akımından dolayı aşırı ısınan sigorta devresi çok belirgin olarak görünmektedir. Muhtemel bir arızanın önüne geçilebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması noktasında, bu termal görüntü kullanıcılara büyük yarar sağlayacaktır.



Şekil 4.23. Elektrik Panosu gerçek ve termal görüntüsü

Arızalı bir elektrik panosuna ait termal görüntü ve gerçek görüntü Şekil 4.24'da verilmektedir. Bu termal görüntü üzerinde işaretli noktalara ait sıcaklıklar ise Çizelge

4.2' verilmektedir. Şekil ve çizelge incelendiğinde sigorta devresinde aşırı ısınmış bölgelerden M1 noktasının bulunduğu sigortanın aşırı ısındığı ve arızalı olduğu tespit edilmiştir.



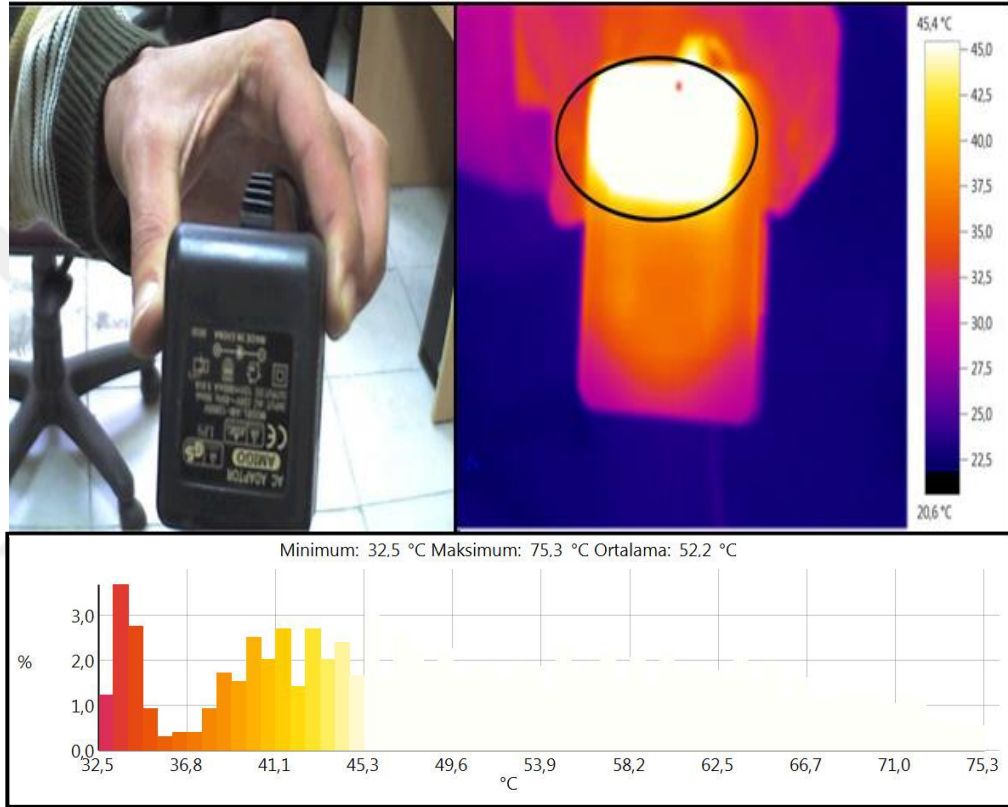
Şekil 4.24. Arızalı bir elektrik panosuna ait termal görüntü ve gerçek görüntü

Çizelge 4.2. Elektrik panosu üzerindeki ölçüm noktalarına ait sıcaklıklar

| ÖLÇÜM NOKTALARI (M) | SICAKLIK (°C) |
|-----------------------|---------------|
| 1. Ölçüm Noktası (M1) | 24,9 |
| 2. Ölçüm Noktası (M2) | 19,6 |
| 3. Ölçüm Noktası (M3) | 21,7 |
| 4. Ölçüm Noktası (M4) | 21,9 |

Elektriğin iletimi sırasında akım geçişi ile direnç üzerinde enerji ısı olarak harcanır. Bu durumda elektrik iletim hatlarında özellikle kontak noktalarındaki ısı artışları o noktalar için birer direnç olduğunun göstergesidir. Kabloların birleşme noktalarında, kontak noktalarında, baraların vidalarında, sigorta yuvalarında termik şalterlerin vidalarında bu korozyonlar ısınmalara sebep olurlar. Elektriğin iletimi esnasında devre üzerinde gevşeyen vida ile yuvası arasında çok küçük boyutta boşluk

oluşur. Havadaki nem kapılar kuvvet etkisiyle bu boşluğa girer ve aralık korozyonuna neden olur. Elektriğin iletimi esnasında vidanın korozyona uğramış kısımları direnç görevi görür ve ısınmaya başlar. Bu ısınmalar termal kamera ile gözlemlenebilir ve oluşan potansiyel problemlere karşı erken önlem alınabilir. Bunun neticesinde hayati öneme sahip elektrik sistemleri periyodik olarak kontrol edilerek oluşabilecek kazaların önüne geçilebilir. Ve yapılan bu kestirimci bakım sonrası planlı zamanlarda probleme sebep olan olumsuz durum ortadan kaldırılabilir.

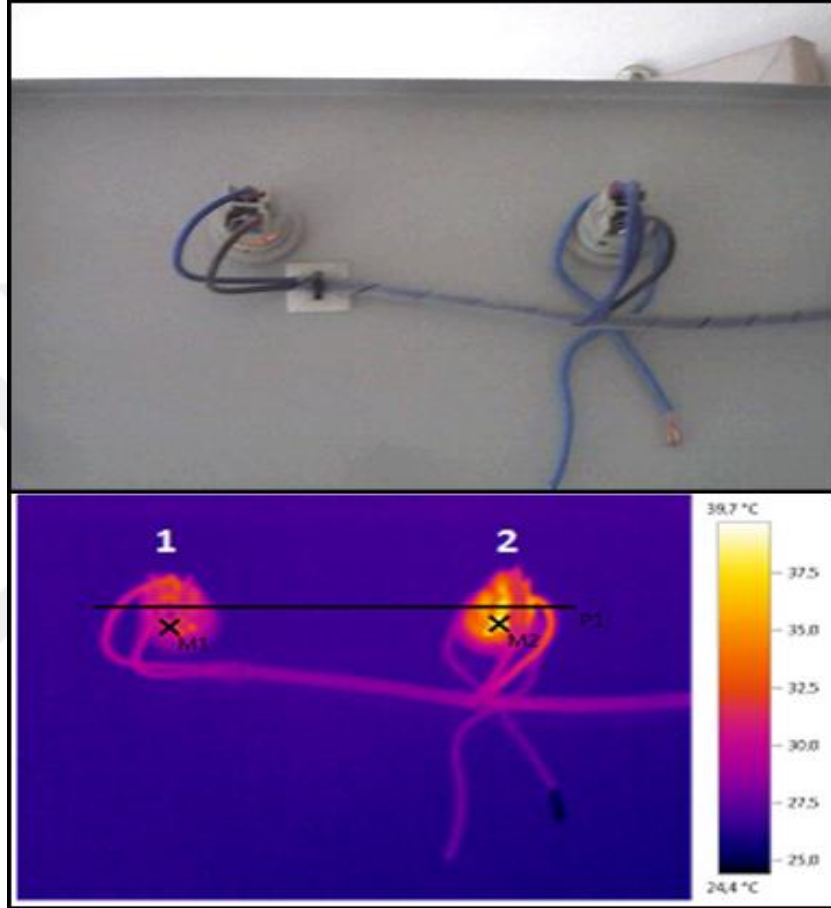


Şekil 4.25. Arızalı bir doğru akım adaptörü gerçek, termal ve histogram görüntüsü

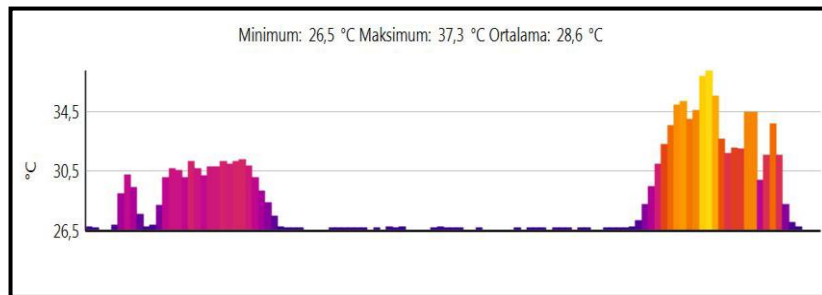
Arızalı bir doğru akım adaptörü gerçek, termal ve histogram görüntüsü Şekil 4.25'de verilmektedir. Termal görüntüde açık sarı renkle gösterilen alanda sıcaklık değeri 75.3°C'ye kadar yükselmiştir. Bu değer bize adaptör üzerinde arızalı bölgeyi tespit etmemiz konusunda yardımcı olmaktadır. Bir panoya ait çalışmakta olan iki adet ışık devresinin termal ve gerçek görüntüleri aşağıdaki Şekil 4.26'da ve bu panonun ışık devresine ait ölçüm noktaları ve sıcaklık değerleri Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Termal görüntü incelendiğinde birinci lamba üzerindeki M1 noktası sıcaklık değeri 30,6 °C, ikinci lamba üzerindeki M2 noktası sıcaklık değeri 39,7 °C'dir. İkinci

lambanın sıcaklık değerinin yüksek olması bu lambada oluşabilecek muhtemel bir arızanın belirtisidir ve bağlantının kesilme riski oldukça yüksektir. Yapılan analiz sonucunda ışık devresinde mevcut potansiyel bir problem tespit edilmiş ve gerekli önlemler alınmıştır. Sigorta lambasına ait sıcaklık profili Şekil 4.27’de verilmiştir.



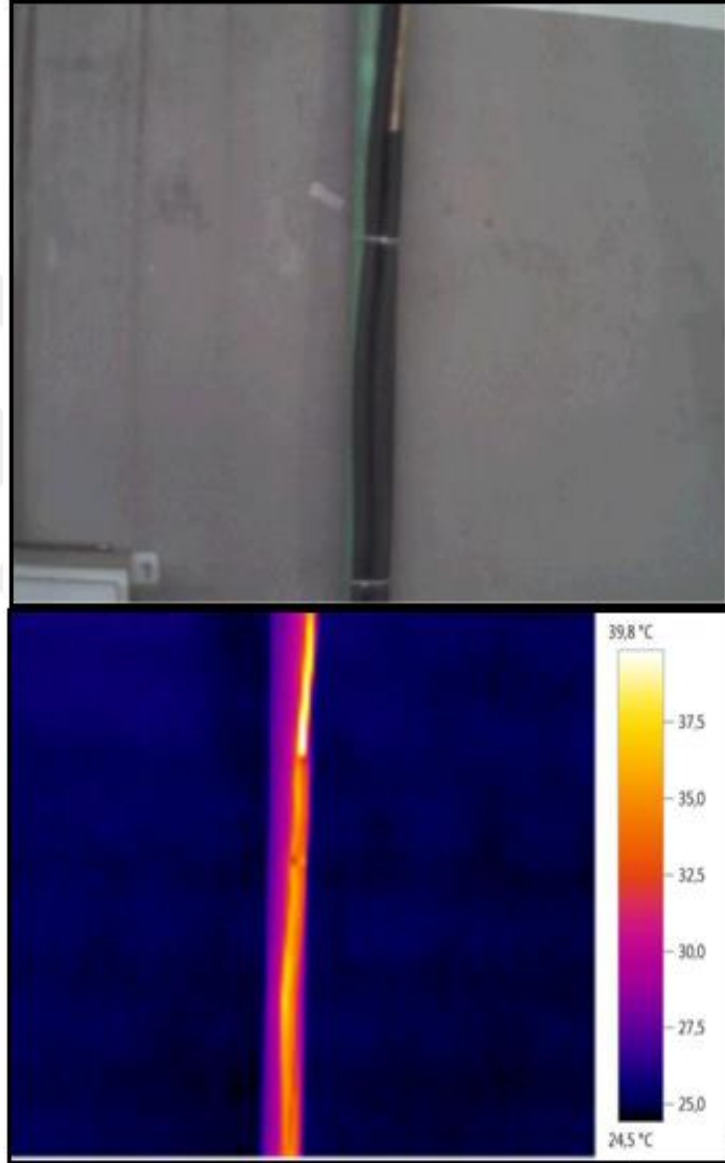
Şekil 4.26. Elektrik devrelerinde aşırı ısınmanın termal kamera ile gözlenmesi



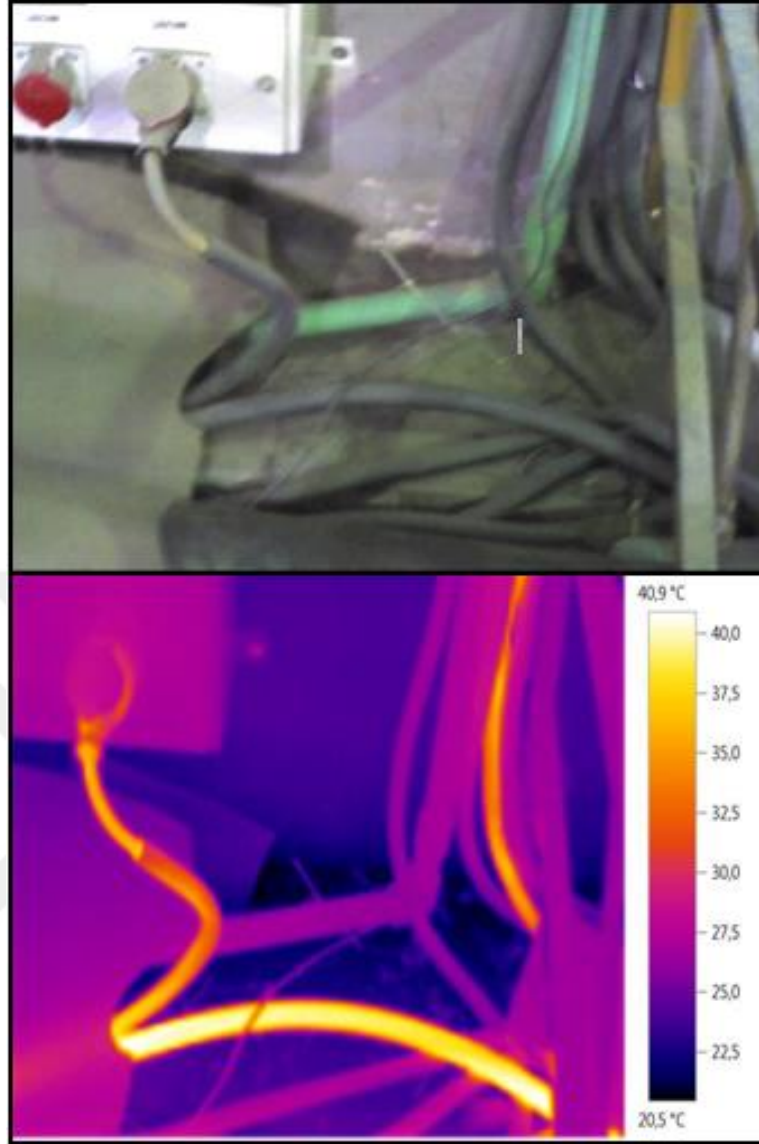
Şekil 4.27. Sigorta lambasına ait sıcaklık profili

Çizelge 4.3. Panonun ışık devresine ait ölçüm noktaları ve sıcaklık değerleri

| ÖLÇÜM NOKTALARI (M) | SICAKLIK (°C) |
|-----------------------|---------------|
| 1. Ölçüm Noktası (M1) | 30,6 |
| 2. Ölçüm Noktası (M2) | 39,7 |

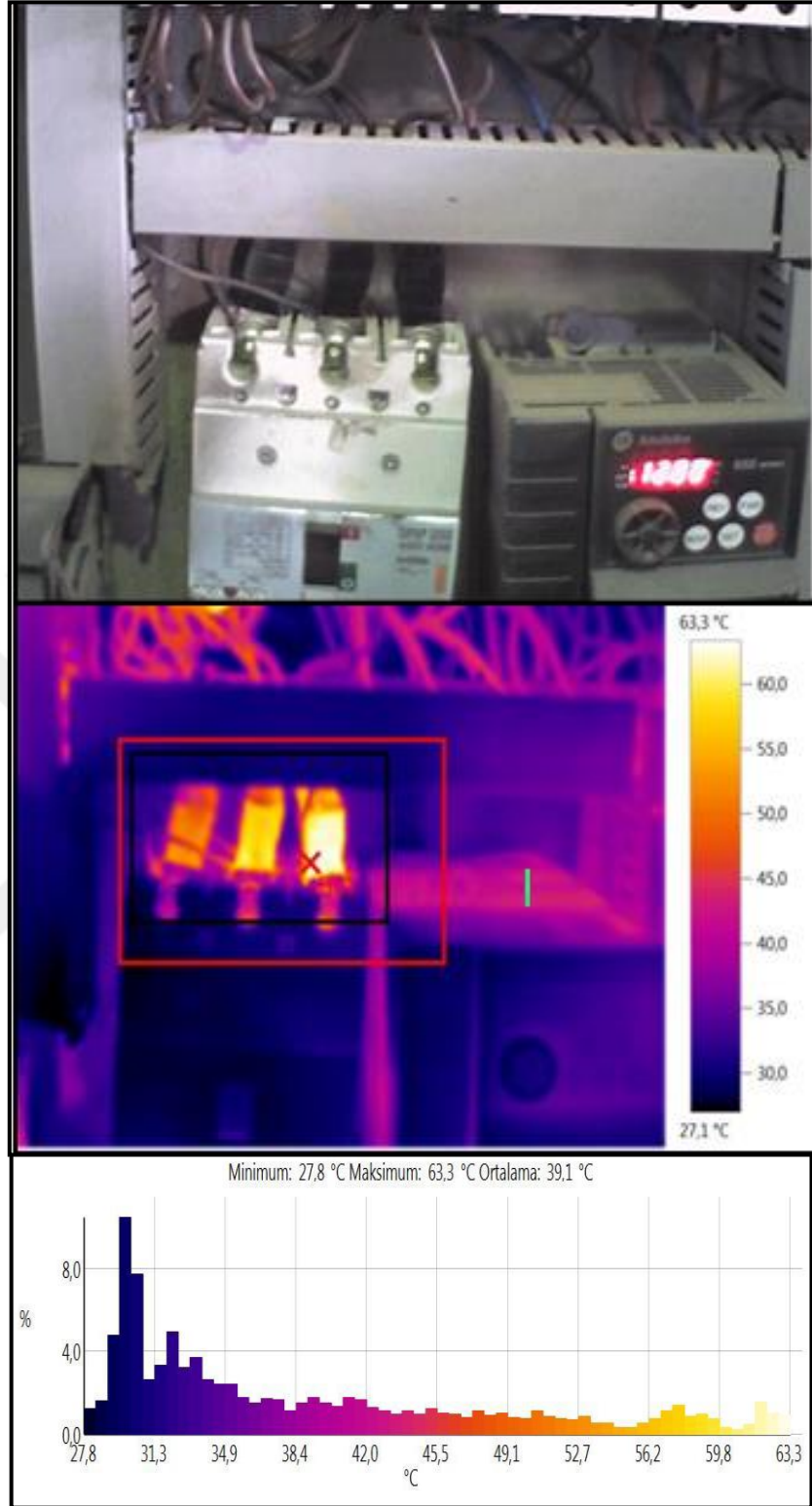


Şekil 4.28. Bir fabrikada elektrik panosuna giden elektrik kabloları



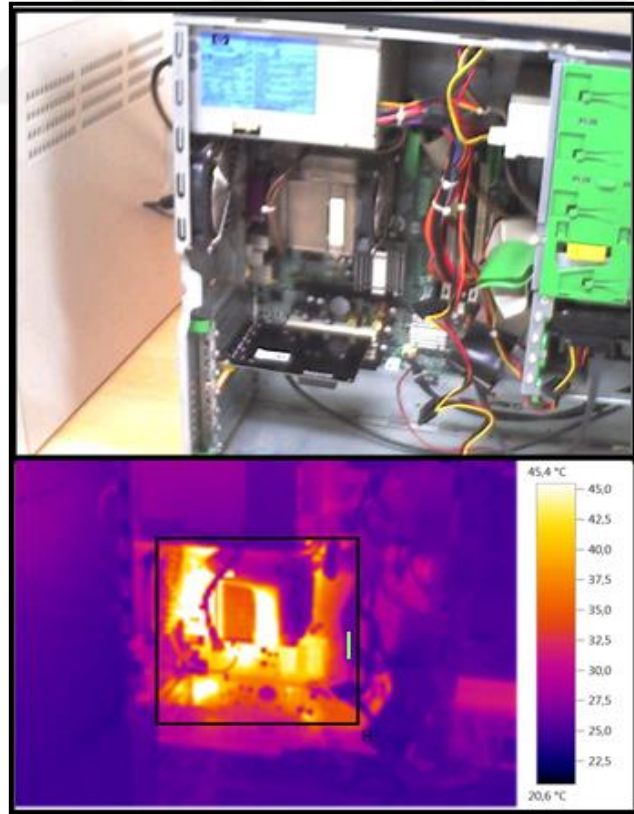
Şekil 4.29. Bir fabrikada aşırı ısınmış elektrik aksamlarına ait termal görüntüleme

Bir fabrikada elektrik panosuna giden elektrik kablolarının gerçek ve termal görüntüsü Şekil 4.28’de, aşırı ısınmış elektrik aksamlarına ait gerçek ve termal görüntüde Şekil 4.29’da verilmektedir. Bir cihaza ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri Şekil 4.30’da verilmektedir. Termal görüntü üzerinde en sıcak nokta HS1 olarak gösterilen bölge 63,3°C olarak ölçülmüştür. Cihaza giden bu kablonun sıcaklığı yanındaki diğer iki kablonun sıcaklığına göre yaklaşık 10°C daha fazladır. Bu sıcaklık farkı muhtemel bir arızanın habercisi olabilir. Bu sebeple gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

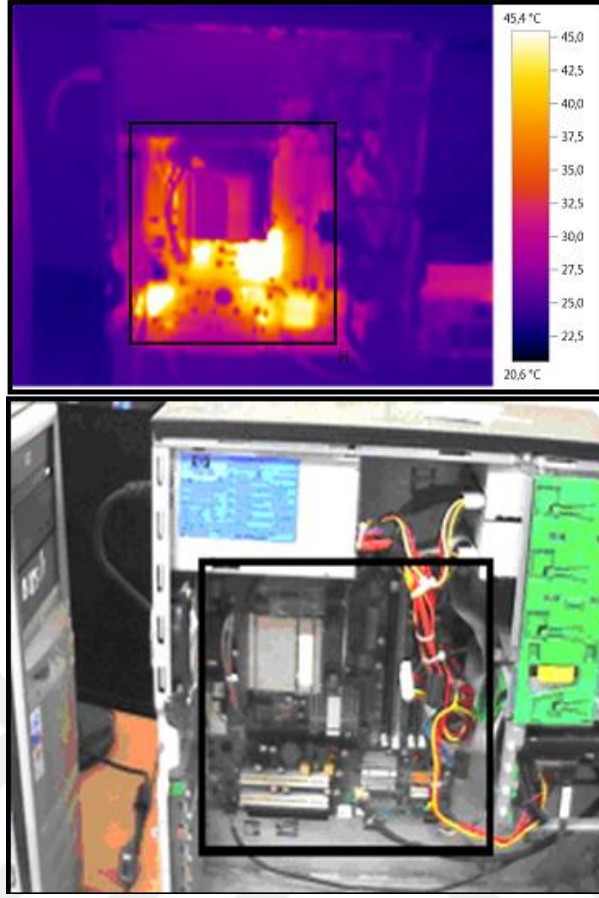


Şekil 4.30. Bir cihaza ait gerçek, termal ve histogram görüntüleri

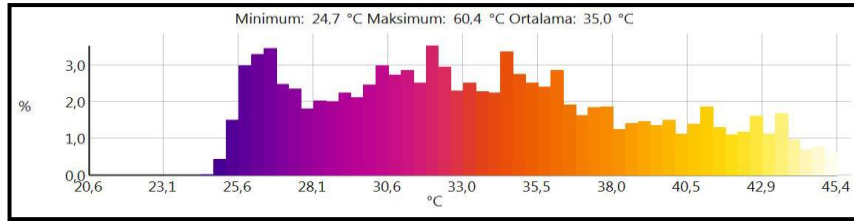
Arızalı bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntü Şekil 4.31’de, arızası bulunmayan bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntüsü ise Şekil 4.32’de verilmektedir. Biri arızalı diğeri sağlam olan iki bilgisayar kasasının karşılaştırılmasıyla yapılan deneyde bilgisayarlar kasaları aynı anda çalıştırılmaya başlanmış olup 10 dakika beklendikten sonra termal kamera görüntüleri çekilerek aralarındaki ısıl fark ile analiz yapılmıştır. Yapılan analizde termal görüntülerin histogram diyagramları çıkarılmış ve ortalama sıcaklık değerleri kıyaslanmıştır. Arızalı bilgisayara ait histogram diyagramı Şekil 4-33’de verilmiş olup, ortalama sıcaklık değerinin 35,0°C olduğu tespit edilmiştir. Herhangi bir arızası bulunmayan bilgisayar kasasına ait histogram diyagramı Şekil 4-34’de verilmiş olup inceleme neticesinde ortalama sıcaklık değerinin 33,0 °C olduğu tespit edilmiş ve bu değer arızalı bilgisayar kasasının sıcaklık değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, termal görüntüde arızalı bilgisayar kasasının yaydığı ısının bilgisayarın ana kartı üzerindeki bütün bölgelerine yayıldığı görülmekte olup ana kart üzerindeki diğerelemanların da ısıdan etkilenerek bozulmasına neden olabileceği tespit edilmiştir.



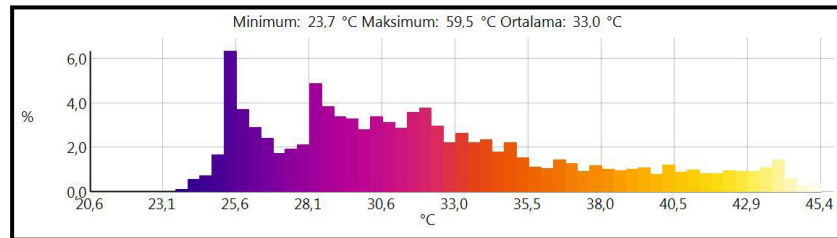
Şekil 4.31. Arızalı bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntü



Şekil 4.32. Arızası bulunmayan bir bilgisayar kasasına ait termal ve gerçek görüntü



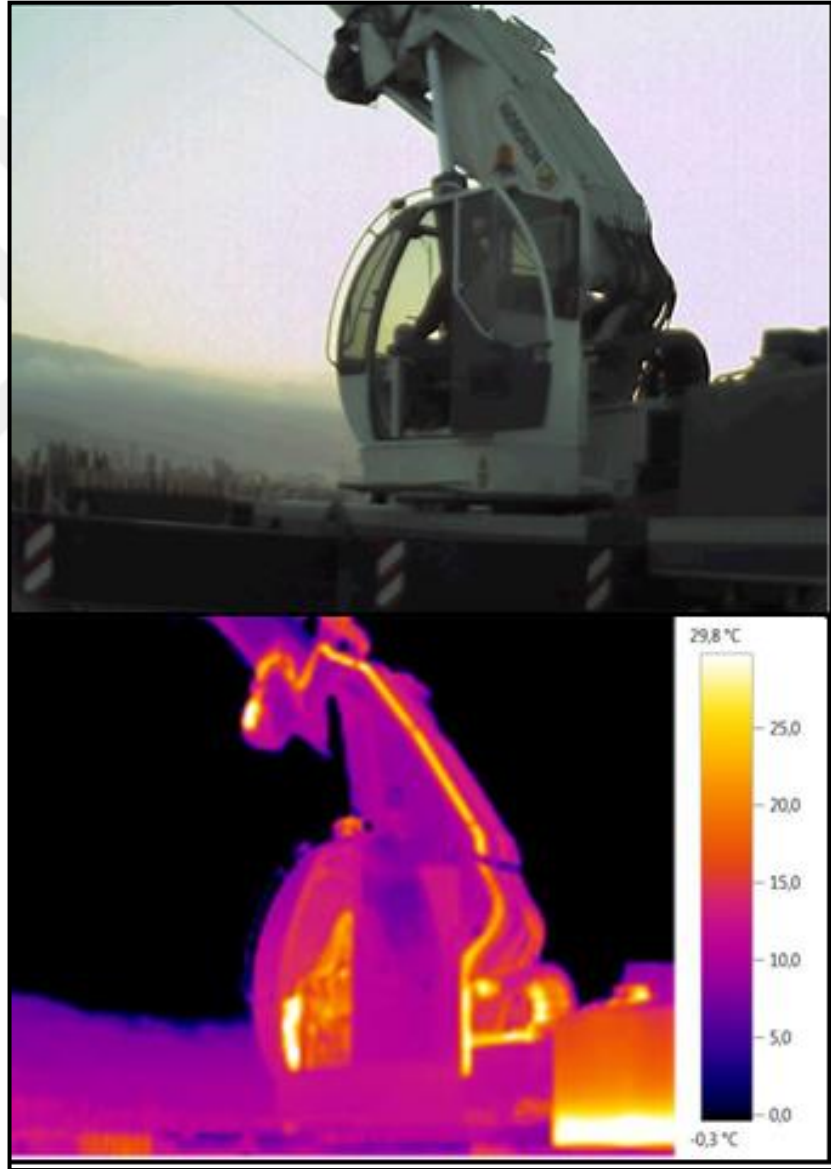
Şekil 4.33. Arızalı bir bilgisayar kasasına ait histogram diyagramı



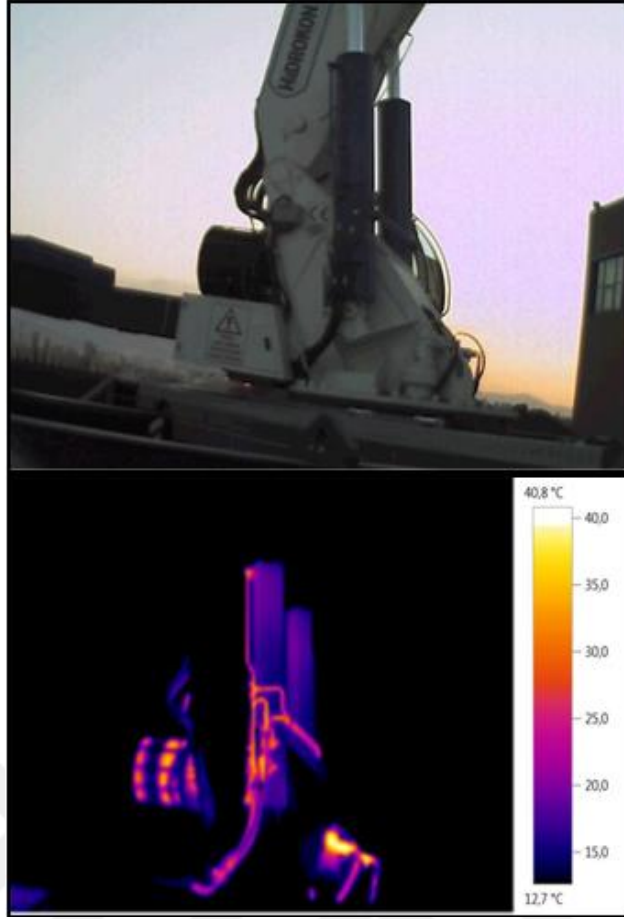
Şekil 4.34. Arızası bulunmayan bir bilgisayar kasasına ait histogram diyagramı

4.2.3. İş Makinelerinde Termal Kamera Kullanımı

İş makinelerinin kullanım alanında da zaman, diğer mekanik sistemlerde olduğu gibi, çok önemlidir. İş makinelerinde meydana gelecek arızaların tamir ücretleri çok yüksek ve tamir süreleri ise bazen çok uzundur. Bu durumla ilgili olarak iş makineleri periyodik olarak bazı kontrollerden geçirilmelidir. Bu kontroller sırasında çekilen termografik görüntüler, bizlere arızanın nerde olacağı, neden meydana geldiği gibi soruları cevaplayabilir.



Şekil 4.35. Çalışma anında çekilen bir iş makinesi



Şekil 4.36. Çalışma anında çekilen bir iş makinesinin fazla ısınan kısımları



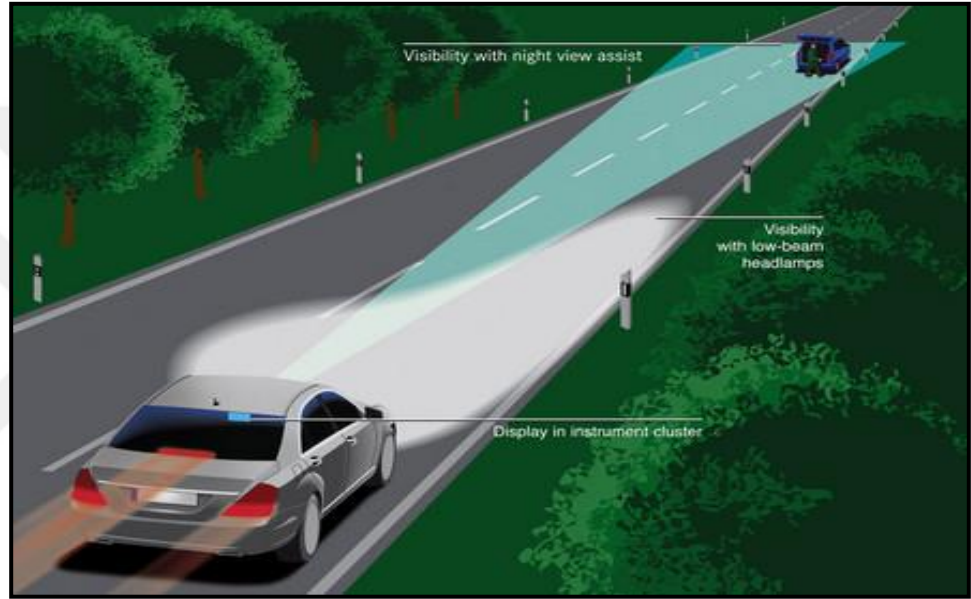
Şekil 4.37. Çalışma anında çekilen bir iş makinesinin fazla ısınan kısımları

Çalışma esnasında iş makinelerine ait gerçek ve termal görüntüler Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de verilmektedir. İş makinelerinde arızanın derhal tespit edilmesi, arızalara çok kısa sürede çözüm sunulması ve arızalar oluşmadan önleyici

tedbirler alınması çok önemlidir. Bu noktada termal görüntüleme kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir.

4.2.4.Araçlarda Termal Kamera Kullanımı

Araçlarda kullanılan gece görüş sistemi hava karanlıkken tüm alanı izleyen bir kızıl ötesi kamera ile çalışmakta ve bunu aracın ön göğsündeki merkezi ekranda göstermektedir. Ekranda yayalar da görüntülenebilmektedir. İnsanlar, hayvanlar ve diğer nesnelere de görüşün yetersiz olduğu durumlarda kolayca tanımlanabilir



Şekil 4.38. Geliştirilmiş gece görüş sistemi (Anonim, 2014)

Geliştirilmiş gece görüş sisteminin şematik gösterimi Şekil 4.38'de verilmektedir. Geliştirilmiş sistem daha önceleri şoförü sadece, direksiyonun arkasındaki gece görüş ekranında yayayı göstererek ve ses çıkararak uyarıyordu. Ama geliştirilen bu sistem artık, 80 metreden itibaren yol kenarındaki yayayı, canlıyı veya olası tehlikeli bir durumu tespit ettiğinde özel bir ışıklandırma ile aydınlatıyor. Bu sayede yayalar veya da canlılar uyarılmış oluyor.

Bir aracın motorunun çalışma esnasındaki gerçek ve termal görüntüleri Şekil 4.39'da verilmektedir. Aşırı ısınan motor kısımlarının muhtemel bir arızanın göstergesi olabileceği düşünülerek gerekli tedbirler alınmalıdır. Herhangi bir arıza durumunda aracın motorunda aşırı ısınan kısımlar tespit edilerek arızanın tespiti konusunda çözümler üretilebiliriz.

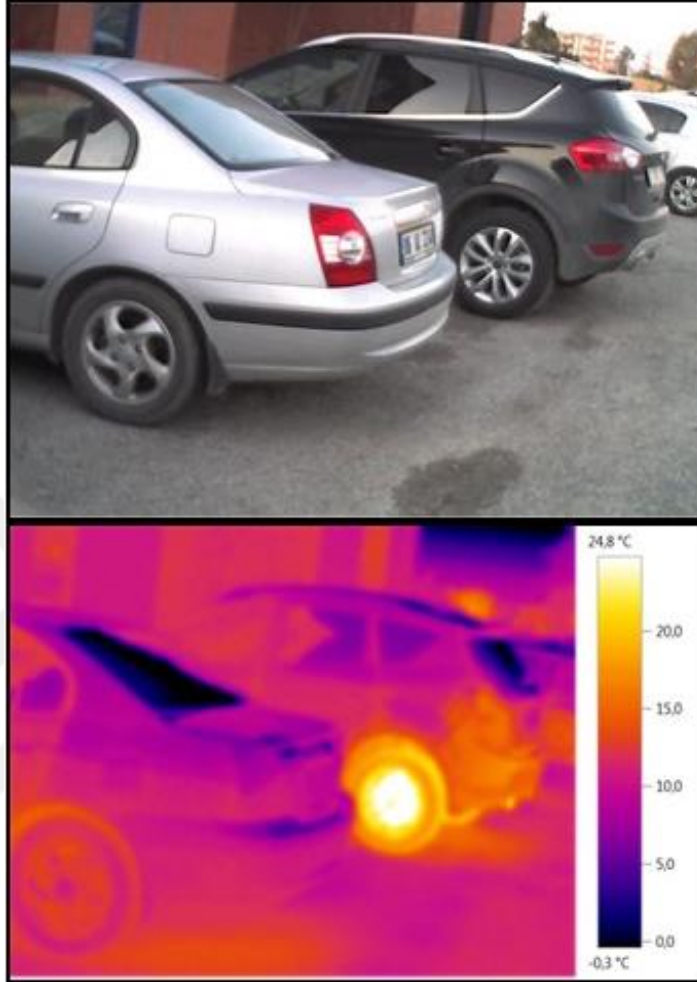


Şekil 4.39. Bir aracın motorunun çalışma esnasındaki termal görüntüleri



Şekil 4.40. Yerinde çalıştırılan bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü

Yerinde çalıştırılan bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü Şekil 4.40'da verilmektedir. Aracın egzoz ve fren balatalarındaki ısınma görülmektedir.



Şekil 4.41. Çalışır durumdaki bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü

Çalışır durumdaki bir otomobile ait termal ve gerçek görüntü şekil 4.41'te verilmektedir. Bu termal görüntüde çalışır konumdaki bir araç ile yanında bulunan park halindeki otomobildeki ısı farklılıkları gözlemlenmiştir.

4.3. Sağlık Uygulamaları

Termografinin sağlık alanındaki tanımı, canlıların deri yüzeyindeki ısı örüntülerini araştıran, kaydeden ve termogram adı verilen görüntüsünü oluşturan tanısıl bir görüntüleme yöntemi olarak yapılabilir. Canlıların vücudu, dolaşım sistemi, hücrelerin yaktığı oksijen hastalık esnasında savunma sisteminin devreye girmesi, stres

vb. gibi sebeplerden dolayı yayılan ısı termal kameralar ile tespit edilerek vücudun hangi bölgelerinde sıcaklık değişimi olduğu ve rahatsızlıkları tanımlanabilir. Şekil 4.42’de sağlıklı bir çocuğa ait termal görüntü verilmektedir.



Şekil 4.42. Sağlıklı bir çocuğa ait termal görüntü

4.3.1.Tıp Uygulamaları

Sağlık alanında kızılötesi görüntülerin kullanımı ilk olarak 1959 yılında başlamıştır (Ring, 2004). Termal görüntüleme yöntemi uygulayıcının, hastanın cilt yüzeyi sıcaklığındaki değişiklikleri hastaya ekstra bir kateter uygulanması, kontrast madde verilmesi ve iyonize edici radyasyon uygulanmasını gerektirmemektedir. Bu sebeple bu yöntem invazif olmayan yani dokuyla temas etmeden çalışan tanısal bir tekniktir.

Vücut yüzey sıcaklığı yaş, cinsiyet, kilo, metabolizma, topografya ve damarlardan akan kanın miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Kızılötesi kameralar yardımı ile; cilt yüzeyinden yaklaşık 6mm derinliğe kadar ısı emisyonu algılanarak termografik görüntüler elde edilebilir (Mike, 2009). Normalde vücutta termal olarak simetri olduğundan, asimetric sıcaklık kolaylıkla fark edilir. Vücuttaki simetrik bölgeler arasında sıcaklık farkı (anlamlı bir değişim için en az 10°C fark oluşmalı) söz konusu ise bu yöntem ile belirlenerek, ağrının fizyolojik ve fonksiyonel bozukluğun asıl yeri tespit edilebilir (Palmon, 1997).

Termal Görüntüleme Yönteminin Klinik Uygulamaları

8µm-1mm arasındaki deri düzeyinden yayılan radyasyonun saptanıp kaydedilmesi esasına dayanan termografi klinik olarak pek çok uygulama alanına sahiptir.

Bunlar:

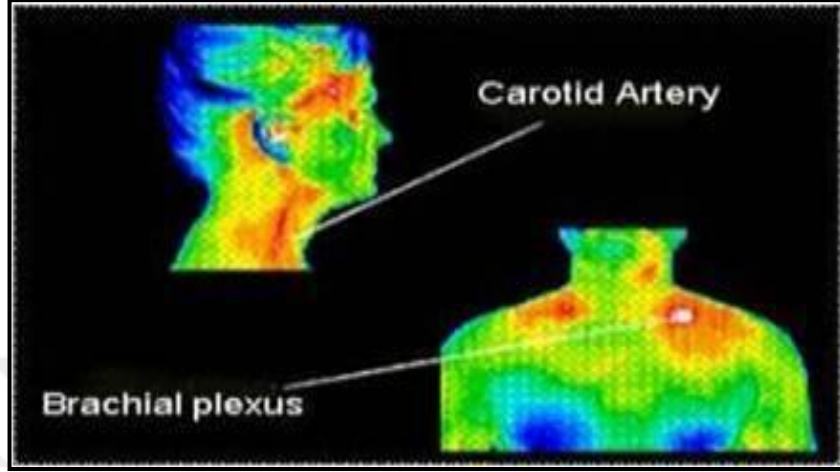
- 1) Meme kanseri ve hastalıkları,
- 2) Dolaşım sistemi ve hastalıkları; periferik hastalıkların teşhisi,
- 3) Nöromuskuler sistem ve hastalıkları; akut ve kronik sırt ağrıları, disk hernileri,
- 4) Santral ve periferik sinir sistemi hastalıkları; otonom sinir sistemi hastalıkları, migren, yüz felci, spinal sinir yaralanmaları, karpal tünel sendromu,
- 5) Kas, eklem ve iskelet sistemi hastalıkları,
- 6) Romatizma, eklem iltihapları, tendinit, gut hastalığı, kas yaralanmalarıdır (Çolak, 2008).

Görüldüğü gibi termal görüntüleme tıpta birçok dalda tanı, tedavi takibi ve rehabilitasyon monitorizasyonu için kullanılmaktadır.

Termal görüntüleme sisteminin, genel olarak diğer metotlara göre avantajları:

- Kızılötesi görüntülemenin insan vücuduna hiçbir zararı yoktur.
- Vücudun uzaktan fotoğrafının çekildiği bir inceleme olup non-invazifdir.
- İnceleme sırasında vücuda hiçbir ışın veya sinyal verilmez. Pasif bir cihazdır ve sadece vücuttan yayılan kızılötesi ışınlarını tespit eder.
- İnceleme vücutta herhangi bir sızı, sancı veya ağrıya sebep olmaz.
- Yöntem vücudun fizyolojik ve fonksiyonel bozukluklarının saptanmasında, saptanan bir hastalığın tedavi öncesi ve sonrasında değişimin takibinde kullanılır.
- 0,1°C gibi çok düşük ısı farklılıklarını saptayabileceğinden, çeşitli hastalıkların erken teşhisinde kullanılır.
- Sübjektif bir bilgi olan ağrının yeri ve yoğunluğunu gösteren tek tanı yöntemidir (Şirel, 2001).

Vücutta termal kamera ile görüntü alınması Şekil 4.43’de gösterilmektedir. Termografi ile elde edilen renkler yardımıyla ağrı bölgelerinin belirlenmesi mümkündür.



Şekil 4.43. Vücutta termal kamera ile görüntü alınması (Anonymous, 2009a)

Termografi son yıllarda sağlık sektöründe özellikle domuz gribi gibi yüksek ateşe sebep olan hastalıkların tespiti için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca tıpta iç yaralanma, iltihap ve damar tıkanıklarının tespitinde de kullanılırlar. Şekil 4.44’te beldeki incinme gösterilmektedir.

Karpal tünel sendromu, el bileği ile ilgili bir hastalıktır. Bilekteki karpal tünelden geçen median sinirin sıkışması sonucu ortaya çıkar. Oluşan endokrin değişikliği ile relaksin hormonundaki artış konnektif doku sıvısını yükseltir, termografi ile ağrılı bölge kolaylıkla tespit edilebilir (Bilir, 1996).



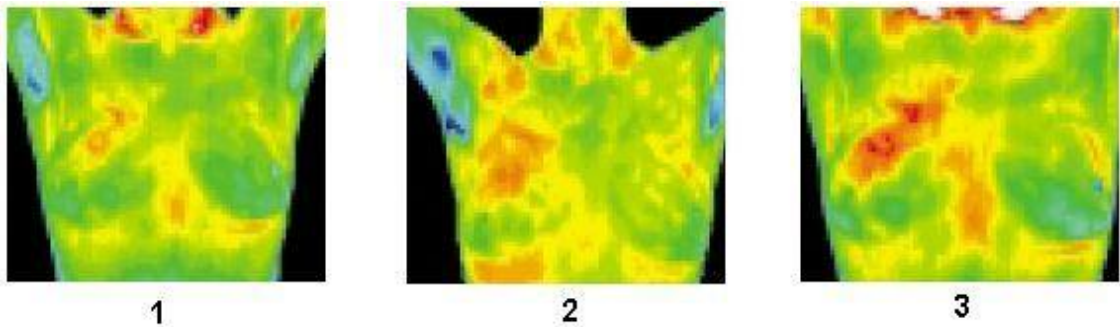
Şekil 4.44. Beldeki incinme (Anonymous, 2009b)

Kulak burun boğaz hastalıklarında akut erken tanıda; zatürece, astım, bronjit gibi solunum yolu hastalıklarında; nefrolojide idrar yolu enfeksiyonu tanısında, deri tümörü teşhisinde, boyun travmaları gibi çeşitli hastalıklarda kızıl ötesi ışınla müdahale edilmektedir (Anonymous, 2009b).

Diğer bir uygulama; özürü çocuklara uygulanan terapatik ata binme yöntemidir. Mekanik eğer ile yapılan at yürüyüşünün serabralpalsili çocukların ayaklarında ısı artışına sebep olduğu gözlenmektedir. 14-16 yaş arası 16 çocuk için yapılan çalışmada, deri yüzey ısıları 20 dakikalık egzersiz sonucunda termal kamera ile saptanarak, bu terapi ile paralize uzuvlarda gözle görülebilir ısı değışiklerine neden olduğu görülmektedir. Deri ısı azalması egzersizin deride kan akışını azaltan akut vazokonstriktif etkisinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Fakat henüz yapılan çalışmalara bu yöntemin serabralpalsili çocuklarda kullanılrlığı tam olarak gösterilememektedir, sadece kan akımını arttırıcı etkisi üzerine çalışmalar devam etmektedir (Şirel, 2001))

Tümörlü dokular etraflarındaki dokuya göre daha fazla ısı yayarlar. Tümör oluşumu, gelişimi gibi risk faktörleri termografi ile rahatlıkla belirlenebildiğinden, meme kanseri teşhisinde sıklıkla tercih edilmektedir. Memede meydana gelen fiziksel kitle veya tümörün fizyolojik değışiklikleri belirlenebilir. Memedeki bir kanserin 0,2 cm'den küçük boyutlarda tespit edilebilmesi, termografi dışında başka bir tanı yöntemiyle mümkün değildir (Tulgar, 1999).

Göğüs kanseri muayenesinde termografi kullanımı Şekil 4. 45'de verilmektedir. Aynı hasta üzerinde değışik zamanlarda elde edilmiş termografi görüntüleri görölmektedir

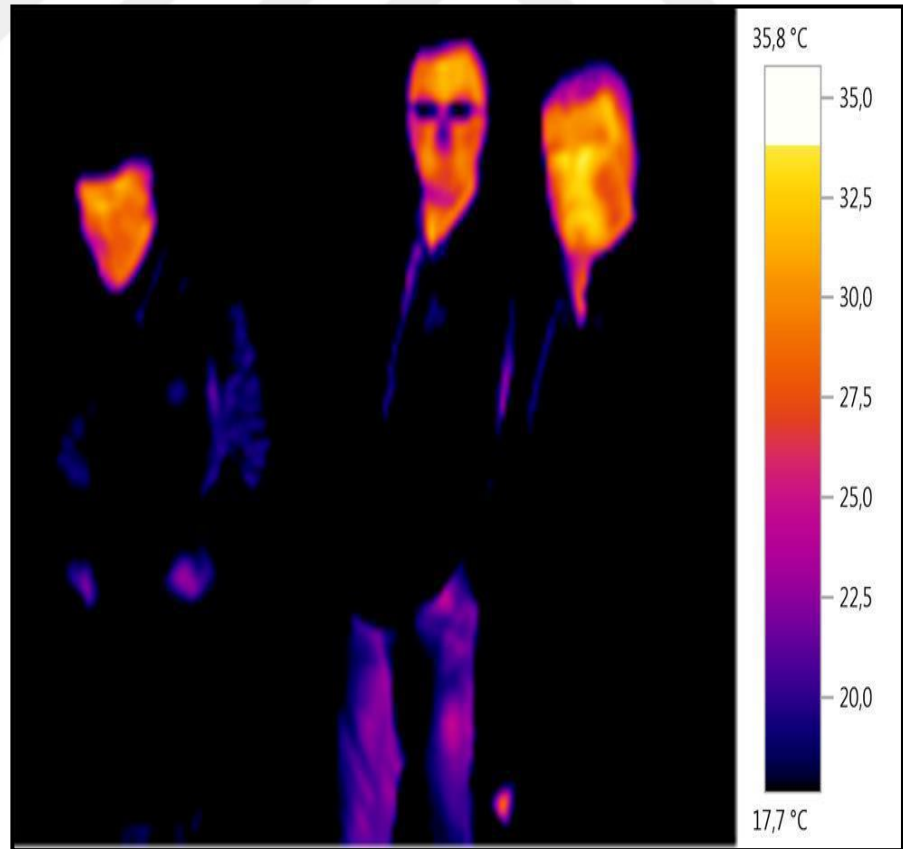


Şekil 4.45.Göğüs Kanseri Muayenesinde Termografi Kullanımı (Tulgar, 1999)

İlk çekim: Sağ göğüste (resimde solda) bir bölgede sola göre hafif bir termik ısı farkı görülmektedir. İki üç ay sonraki ölçümlerde: Fark daha belirgin, mamografi ile henüz tam teşhis edilemeyecek düzeyde olduğu görülmektedir. Bir yıl sonraki çekimlerde ise artan değişim, paralelinde mamografi ile yapılan ölçümde saat ibresinin 1 konumuna denk gelen yerde 1 mm'lik bir nodül ölçülmüştür.

Kızılötesi termografi tiroid bezi hastalıklarının teşhisi ve taraması için çok iyi bir yöntemdir. Tiroid bezinin sıcaklığı fonksiyonel durumun göstergesi şeklinde olmaktadır. İdrar yolu enfeksiyonu tanısı, öncesi ve son aşamasında klinik uygulamalarda tercih edilir.

Termal kamera görüntüleme yöntemi, dünyada ve ülkemizde görülen Domuz Gribi vakalarını gözle görülmeyen kızılötesi enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını kızılötesi enerjiye göre oluşturmuş renkler ve şekillerin belirlendiği bir sistem ile tespit edebilmektedir. Şekil 4.46'da kalabalık ortamda hastalıklı şahısların tespiti gösterilmektedir.



Şekil 4.46. Kalabalık ortamda hastalıklı şahısların tespiti

Kalabalık ortamda hastalıklı şahısların tespiti Domuz gripinin etkisiyle Termal Kamera teknolojilerinde bir takım değişiklikler meydana gelmiştir. Genellikle madde ısısını ölçmek için geniş aralıklara sahip olması istenen cihazlar biranda insan ısısını ölçmek için talep edilmeye başlanmıştır. Termal Kamera üreticileri bu değişime cevap olarak termal kamera görüntüleme alan aralığını kısararak 20 °C – 50 °C aralığında ± 1 derece hassasiyeti yakalamıştır. Dolayısıyla termal kameralar özellikle toplu halde geçiş yapan veya toplu bir ortamda insanları tek tek derece ile ölçmek yerine çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Hızlı bir şekilde insan ısısını ± 1 derece hassasiyetle ölçmek aşağıdaki olaylar için büyük önem arz etmektedir.

Termal Kameralar ile tespit edilebilecek ateşli hastalık durumlarında tespiti yapılan kişinin ateşinin normal dereceler ile ölçülmesi gerekir. Bu kameralar tespit ve kontrol amaçlı olduğundan koruma amacı sadece hastalıklı ateşli insanların tespitine yöneliktir. Salgın hastalıklarından korunmak için gerekli temizlik ve koruma önlemlerinin alınması ve Sağlık Bakanlığının talimatlarına uyulması gereklidir.

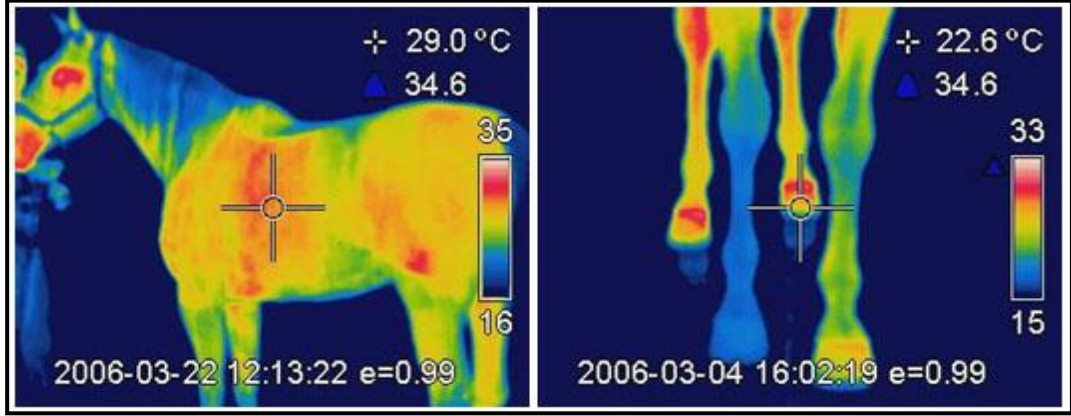
4.3.2. Veterinerlik Uygulamaları

Keşfedildiğinden günümüze kadar veteriner hekimliği alanında tanıya yardımcı bir araç olarak kullanılan kızılötesi termografi, invazif olmayan bir yöntemdir. Termografinin veteriner hekimlikte kullanımındaki en büyük avantajı hayvana direk olarak temas etmeden uzaktan görüntünün alınarak kullanılabilmesidir (Speakmen, 1998).

Veterinerlikte, pratikte termografik bulgular ilk olarak at hekimliği alanında tanısı konulan ortopedik rahatsızlıkların termografik görüntüler ile karşılaştırılması şeklinde kullanılmıştır. Kızılötesi termal görüntüleme ile atlarda sırt ağrılarının teşhisi, tümörlerin erken tanısı, yumuşak doku hastalıkları ve damar lezyonlarının belirlenmesinin yanı sıra topallıkların, stres kırıkları ve omurga yaralanmalarının tanısında, sinir hasarlarında tanıya yardımcı olması için kullanılmaktadır (Purohit, 1980).

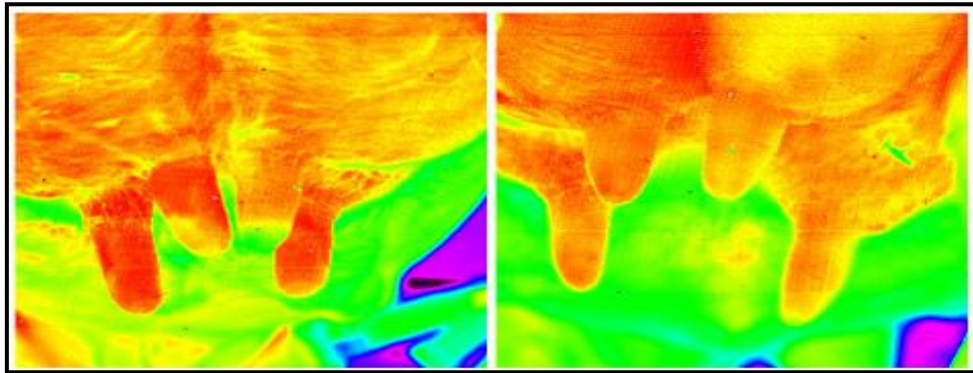
Atlarda anatomik bölgelerin sıcaklık değerlerinin belirlenmesi Şekil 4.47’de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, atlarda bacaklardaki dolaşım sistemi bozuklukları, termografik görüntülerde bacaklar arasında ısasal olarak simetrisinin bozulması ile kendini gösterir. Anatomik çalışmalarda da termografik olarak alınan

görüntüler kullanılarak vücut yüzeylerinin ısısal haritalanması ve simetriden uzaklaşan kısımların belirlenmesi amaçlanarak incelemeler yapılmıştır (Alan, 2006).



Şekil 4.47. Atlarda anatomik bölgelerin sıcaklık değerlerinin belirlenmesi (Düzler, 2008)

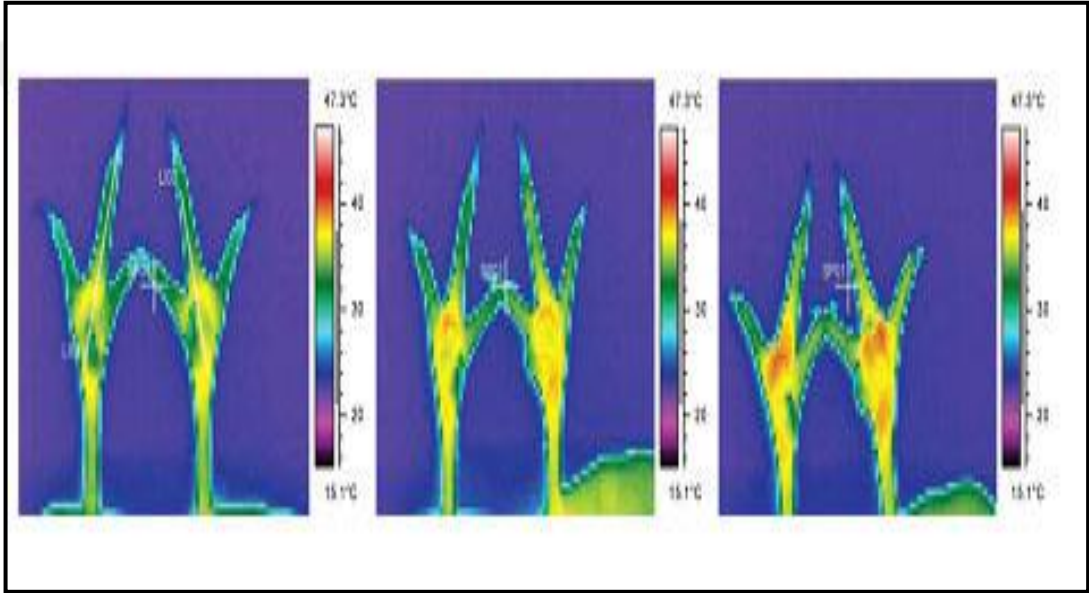
Termografik görüntüleme yöntemleri veteriner hekimlikte sığır hastalıklarının teşhisinde ve tanısında da yer bulmuş ve her geçen gün daha fazla kullanım alanı da bulmaktadır. Sütçü sığırlarda önemli bir meme hastalığı olan mastitis'in erken dönemde tanısında (Şekil 4.48) termografi kullanımı faydalı bir seçenek olmuştur (Çolak, 2008). Yine ineklerde toynaklarda termal görüntüleme ile ayak hastalıklarında, koroner bant sıcaklıkları ölçülerek ayak sağlığı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Nikkah, 2005). İneklerde ovulasyon ve öncesindeki üç gün içinde vulva ve pudental sıcaklıkların önemli derecede artmasından dolayı, normal ya da belirlenemeyen östrus'ların tespitinde termal kamera kullanımı, sıcaklıktaki en ufak oynamaları çok daha hassas olarak ölçüp tohumlama zamanını belirleyebilmektedir (Osawa, 2004).



Şekil 4.48. Mastitis şüpheli hayvanlarda erken tanı koymak için termografi uygulaması (Paulrud, 2005)

Termografi veteriner hekimlikte deneysel olarak tavşanlarda stresin neden olduğu ısı farklılıklarının değerlendirilmesinde, kanatlı hayvanlarda (Şekil 4.49) hastalıklarda erken teşhiste, geyiklerde şap hastalığının erken teşhis, rakunlarda kuduz hastalığı teşhisi gibi alanlarda da kullanım imkânı bulmuştur.

Hayvan refahı konusunda yapılan çalışmalarda da termografiden yararlanılmıştır. Hayvanlara uygulanan sıcak demir ile dağlayarak damgalama üzerinde uzun süre yangısal cevaba neden olup huzursuzluğa yol açarken, aynı uygulamanın soğuk demir ile yapıldığında bunun daha az olduğu belirlenmiştir (Schwartzkopfgenswein, 1997).



Şekil 4.49.Kanatlılarda ayak rahatsızlıkları ve diğer patolojik durumlarda termografik görüntüleme (Wilcox, 2009)

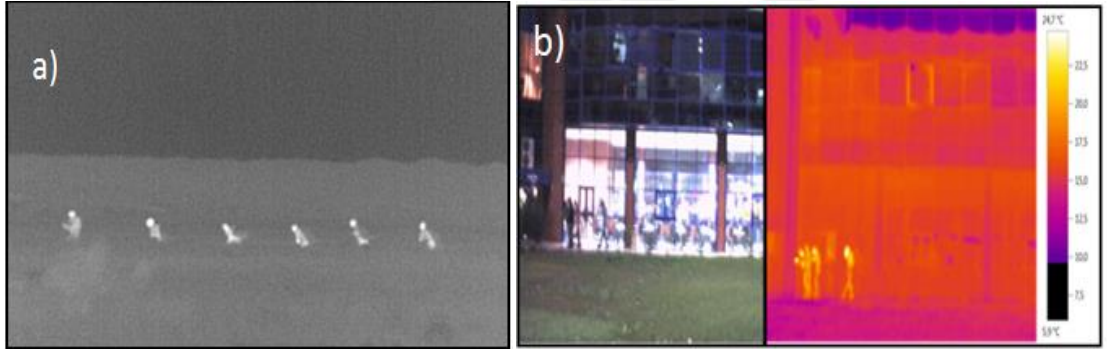
4.4. Savunma Uygulamaları

Termal kameralar ilk olarak güvenlik amaçlı kullanılmaya başlanmış olup zamanla çok çeşitli sektörlerde kullanımı giderek artmıştır. Özellikle ısıya güdümlü füze, gece görüş sistemleri ve benzeri askeri tekniklerin gelişmesi ile önemi daha da artmıştır. Sınır gözetlemeleri, karargâh, askeri tesis ve karakolların korunması, kıyıliman gözetlemeleri, petrol platformu, boru hattı ve baraj gibi sivil tesislerin korunmasında termal kameralar sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 4.50. Boru hattına yaklaşan insanlar (Anonim, 2012)

Petrol boru hatlarının ve pompalama istasyonlarının hem hırsızlığa karşı hem de olası bir sızıntı ve kaza risklerine karşı güvenliği çok büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, daha uzun mesafeleri kapsayan yüksek dereceli görüntü işleme kullanan daha yeni termal kameralar, boru hattının etrafında hacimsel bir tampon bölge yaratılarak güvenliği sağlamada çok etkin bir şekilde kullanımı söz konusu olmaktadır.



Şekil 4.51. Savunma uygulamalarında termal kamera görüntüleri a) Sınırdan tespit edilen insanlar (Anonim,2011), b) Bina önünde tespit edilen insan görüntüleri

Petrol sınırda tespit edilen insanların görüntüsü Şekil 4.51’de verilmiştir. Şekil 4.51 (a) incelendiğinde sınırdan geçmeye çalışan insanlar termal kameralar ile tespit edilmiştir. Benzer şekilde insanların termal kamera ile görüntüsü Şekil 4.51(b)’de verilmiş olup uzaktan çekim ile insanların termal görüntüleri açık ve net bir şekilde görülmektedir.

4.5. Diğer Uygulamalar

Denizcilikte, çoğu deniz araçları gece görüş ve güvenlik amacıyla termal kamera kullanmaktadır. Bunun yanı sıra yangın söndürmede, yangınlara müdahale sırasında dumandan görüşü kapanan itfaiyecilerin yangın alanında bulunan kişileri görmeleri amacıyla da yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

Seralar, bitkilerin gelişmesi için çevre koşullarının uygun olmadığı zamanlarda uygun ortamların yaratıldığı yapılar olup bitkilerin büyümeleri ve gelişmeleri için, sera içi sıcaklığının belirli sınırlar arasında tutulması gerekmektedir. Bir yerde sera kurulurken ve ekonomik olup olmadığına karar verilirken, seranın ısıtma giderleri; sera karlılığında en büyük parametre olduğundan dolayı, büyük önem arz etmektedir. Termal kameralar; seraların kapı ve pencere çevrelerinden, örtü malzemesinin ekleme kısımlarından, duvar ve çatıların birleştikleri yerlerden sera dışına ısı kaybı yaşanabilmekte olup, sera ısını kontrol etmede büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu ısı kayıplarının yaşandığı noktaların tespit edilmesi oldukça önemli olup sorunun çözümünde kritik rol oynamaktadır. Termal görüntüleme ile birlikte ısı farklılıklarının yaşandığı noktalar kolayca tespit edilebilmekte ve sorunlu bölge tanımlanmaktadır. Böylece asgari maliyet ile enerji kayıpları engellenmiş olmaktadır.

Bunların yanı sıra ortam dinlemesi veya izlemesi yapabilen kapalı devre kayıt cihazları diğer sistemler ile oldukça zor tespit edilmektedir. Ortamda kablolu veya kablosuz casus cihazları, tablo ve panellerin arkaları, tavan ve duvar döşemelerinin altına gizlenmiş olan dinleme cihazları ve gizli kameraların tespiti, cephede gizli olan dinleme cihazları, besleme üniteleri, gizli kameralar gibi casus objeler ile gizli dinleme ya da izleme olup olmadığının tespiti termal kamera vasıtası ile cihazların kayıt esnasında yaydığı ısıların tespiti ile kolayca yapılabilmektedir.

Soğuk hava depolarında en önemli maliyet enerji kayıplarından yaşanmakta olup özellikle soğuk odaların köşe kısımları ve birleşim yerlerinden ısı kayıpları yaşanmaktadır. Ayrıca, kapı kenarları ve altları da ısı kaybının yoğun olduğu noktalardır. Bunlarla birlikte soğuk oda ısı yalıtımı, soğutma gazı kaçakları, soğuk oda birleşim noktası kaçakları ve emtia sıcaklık kontrolü termal kamera sistemleri ile yapılabilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, binalarda, sanayide ve mühendislik uygulamalarında termal kamera ile sıcaklık ölçümü yapılmış olup elde edilen görüntüler neticesinde mevcut sistemlerin enerji analizleri ile enerji kayıplarının meydana geldiği bölgeler tespit edilmiştir. Kestirimci bakım uygulamalarında, elektrik devreleri, sigorta hatları, elektrik trafoları ve bilgisayar ana kartları incelenmiştir.

Bu çalışma sonucunda binalardaki enerji kayıplarına neden olan ve özellikle dış duvar bileşenlerinde meydana gelen ısı köprülerinin ve nem ile ilişkili problemler alanlarda tahribatsız olarak sorunların tespit edilmesi, mevcut yapı stoğunun ısı ve nemsel performansının iyileştirilmesi ile birlikte daha iyi tasarım ve uygulamalara katkı sağlayacağı söylenebilir. Kızılötesi termografi tekniği binadaki enerji kayıplarını ortaya koyduğundan, elde edilen görüntüler, mimar, mühendis, mal sahibi ve hatta yapı malzemesi üreticilerinin enerji verimliliği konusunda gelecek projelerin tasarım ve yapım süreçlerine daha bilinçli ve dikkatli olmalarını sağlayacaktır.

Termal kameraların kullanımı sayesinde, ekipmanlara ilişkin arıza giderme, bina bakım ve denetlemelerini içeren çalışmalar, ticari ve endüstriyel ortamlar için kritik olan pek çok fonksiyonun takibi yapılabilmektedir. Termal kameralar genel olarak pahalı tanı cihazları olarak bilinmektedirler. Buna karşı bir tesisin faaliyetleri ile ilgili bakım ve planlanmamış aksama süresine bağlı maliyetler, önleyici bakım görevlerini gerçekleştirmek için gerekli harcamalar, binalardaki enerji kayıplarının neden olduğu maliyetler v.b. termal kameralar kullanıldığında büyük ölçüde azaltılabilir.

Kızılötesi termografik görüntüleme zaman içerisinde askeri alanda, endüstride, inşaat sektöründe, veteriner hekimliğinde, tıp hekimliğinde kısaca sıcaklığın ve ısının olduğu her alanda yaygın olarak kullanım imkânı bulmuştur. Son zamanda kullanılan termal kameraların çok küçük boyutlarda olması taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı sağlarken, hayvanlara ya da objelere temas etmeden, herhangi bir zarar vermeden, gerçek zamanlı görüntü alabilmesi en büyük avantajı olmuştur. Veteriner hekimlikte hasta hayvana dokunmadan ağrı ya da inflamasyonun yerinin belirlenebiliyor olması şüphesiz çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Kullanıldığı uygulama alanları zaman içinde daha da artacak olan bu teknik, teknolojik gelişmeleri de arkasına alarak ilerleyen zamanda klinisyenlere ve araştırmacılara birçok yardım sağlayacaktır.

Enerji ve Çevre Koruma Politikalarının ulusal ve uluslararası düzeyde giderek daha önemli hale geldiği günümüzde, enerjinin daha verimli kullanılabilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi ve buna bağlı olarak gelişen zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilebilmesi adına Termografik Görüntüleme tahribatsız bir test tekniğidir. Dünyada önemi her geçen gün artan ancak ülkemizde henüz çok sık bir kullanım alanı bulamayan bu yöntemle ilgili olarak ölçümün yapıldığı zaman dilimi, yüzeylerin yansıtıcılık, emilim ve yayılım özellikleri ile ölçümlerde kullanılan cihazın sıcaklık ve nem ölçme performansı ölçüm sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu konudaki çalışmalar diğer tahribatlı ve tahribatsız test teknikleriyle, laboratuvar çalışmaları ve bilgisayar programlarıyla desteklenerek enerji-zaman-maliyet kayıplarının büyüklüğünün sayısal olarak belirlenmesi yolundaki çalışmalara hız verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2011. <https://mannydelarosa40.wordpress.com/tag/border-patrol> **Erişim tarihi:**10.09.2015
- Anonim, 2012. <http://www.rimaelektronik.com/guvenlik-sistemleri> **Erişim tarihi:**11.09.2015
- Anonim, 2013. Cells.<http://www.tutev.org.tr/makaleler/enerjide-disa-bagimlilik-sonucu-elektrik-ve-dogalgaz> **Erişim tarihi:**05.08.2015
- Anonim, 2014. <http://www.turbofsi.net> **Erişim tarihi:**18.09.2015
- Anonim, 2015a. Dünya Ve Ülkemiz Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü
http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_10/files/download/s/Sayi%2010.pdf **Erişim tarihi:**15.10.2015
- Anonim, 2015b. <http://haberustam.com/wpcontent/uploads/2013/10/elektromanyetik-spektrum.gif> **Erişim tarihi:**08.09.2015
- Anonim, 2015c. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termografi> **Erişim tarihi:**21.10.2015
- Anonymous, 2009a. <http://www.painttreatmentcenter.net> (12.01.2009) **Erişim tarihi:**19.10.2015
- Anonymous, 2009b .<http://users.bigpond.net> (19.01.2009) **Erişim tarihi:**27.10.2015
- Anonymous, 2015. <http://desembouage-circuit-de-chauffage.fr/solutions-desembouage-traitement/thermographie-infrarouge> **Erişim tarihi:**22.10.2015
- Accent Building Sciences Inc 850 Tapscott Road, Unit 29Toronto, Ontario M1X 1N4
- Alan,A. Nur, İH., 2006 **Termal Anatomi. IV. Ulusal Veteriner Anatomi Kongresi.** Eylül, 13-16, ;Kayseri-Türkiye.
- Bilir. A, Güleç. S, Ekemen. S, Karpaltünel Sendromu Düşünülen Bir Gebede Termografi Kullanımı, Osmangazi Tıp Dergisi, 27(2): 91-96
- Buyruk, E., vd., 2015 Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Termal Kamera ile Belirlenmesine Yönelik Çalışma”,
http://www.emo.org.tr/ekler/07fd505578df62f_ek.pdf, **Erişim tarihi:** 11.09.2015)
- Çalışan, M.,ve Türkoğlu, İ., 2011. Termal Kameralar ve Uygulamaları Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu
- Çolak, A., Polat, B., Okumuş, Z., Kaya, M., Yanmaz, LE., Hayırlı, A., 2008 Early Detection Of Mastitis Using Infrared Thermography In Dairy cows. DairySci 91(11): 4244-8.
- Durmuş, G., ve Görhan, G., 2009. Doğal Taş Plakaların Isıl İletkenlik Bakımdan Termografik Görüntülerinin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Teknik Online Dergi, Cilt 8, Sayı: 1
- Düzler, A., 2008. İngiliz atlarında extremitelerin bölgesel yüzeysel termal anatomisi. V. Ulusal Veteriner Anatomi Kongresi. Haziran, 25-28, Van-Türkiye.

- Gensed, 2010. Türkiye'nin Enerji Gerçekleri Ve Çıkış Yolları
- Günyel, B., Bala, E., Akar, G.B., 2007. Uzun ve Orta Dalga Boylu Kızılötesi Görüntü Kaynaştırılması, Signal Processing and Communications Applications, SIU
- Güven, A., Tütünoğlu, Y., Özmural, Ü., Yahya Kaptan Toplu Konut Alanının Isı Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina • Cilt: 52 Sayı: 617 Sayfa: 125-134
- Haralambopoulos, D.A., Paparsenos, G.F., 1998. Assessing The Thermal Insulation Of Old Buildings-The Need For In Situ Spot Measurements Of Thermal Resistance And Planar Infrared Thermography, vol.39 no. ½, pp.65-79
- Karaca, H., 2007. Yapılarda Duvar Yalıtımında Isı Kayıplarının Ölçme Ve Değerlendirme Yöntemleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Karakuş, C., Ertuğrul, G., Özutku, O., Baltacıoğlu, E., 2013. Binalarda Termal Kamera Kullanımı, 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Dicle Üniversitesi, sf:504-515, Diyarbakır, Türkiye
- Kavak, K., 2005. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi Yayın No: DPT: 2689,
- Kominsky, J.R., Luckino, J.S., Martin, T.F., 2005. Passive Infrared Thermography—A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building Envelopes, Environmental Quality Management, Inc., 1800 Carillon Boulevard, Cincinnati, OH 45240
- Mike, R. Dunbar, MS. 2009. Use Of Infrared Thermography To Detect Thermographic Changes In Muledeer (*Odocoileus Hemionus*) Experimentally Infected With Foot And Mouth Disease. *J Zoo Wildl Med* 40(2): 296- 301
- Nikkah, A., Plaizier, J.C., Einarson, M.S., Berry, R.J., Scott, S.L., Kennedy, A.D., 2005. Infrared Thermography And Visual Examination Of Hooves of Dairy cows In Two Stages Of Lactation. *J Dairy Sci* 2005; 88: 2479-2753.
- Osawa, T., Tanaka, M., Morimatsu, M., Hashizume, K., Syuto, B., 2004. Use Of Infrared Thermography To Detect The Change In The Body Surface Temperature With Estrus In The Cow. *Proceedings From The 2004 SFT/ACT Annual Conference & Symposium*. August, 4-7, Kentucky-USA.
- Palmon, L.U., 1997. Ruptured or intact: What Can Linear Echos Tell Us *AJR* ; 168: 1595-98
- Paulrud, C.O., 2005. Clausen S, Andersen PE, Rasmussen MD. Infrared thermography and Ultrasonography To Indirectly Monitor The Influence Of Liner Type And Overmilking On Teat Tissue Recovery. *Acta Vet Scand* ; 46: 137-147
- Purohit, R.C., McCoy, M.D., 1980. Thermography In The Diagnosis Of Inflammatory Processes In The Horse. *Am J Vet Res* 1980; 41(8): 1167-74.
- Ring, E.F.J., 2004. The Historical Development Of Thermal Imaging In Medicine. *Rheumatology* ; 43(6): 800-2

- Schwartzkopfgenswein, KS., Stookey, JM., 1997. The Use Of Infrared Thermography to Assess Inflammation Associated With Hot-Iron and Freezebranding in cattle. *Can J Anim Sci*; 77: 577-83.
- Snell, J., 2008. Infrared Thermography: (Nearly) A Daily Tool, www.snellinfrared.com
- Snell, J., Spring R., 2008. Testing Building Envelope Systems Using Infrared Thermography www.thesnellgroup.com
- Snell J., Spring R., 2008. Testing Building Envelope Systems Using Infrared Thermal Imaging, 373 Route 46, Fairfield, NJ 07004 www.electrophysics.com/thermal-imaging
- Speakman, JR., Ward S. 1998. Infrared Thermography: Principle And Applications. *Zoology* ; 101: 224-32
- Stockton, G., 2003. Aerial Infrared– An Asset Management Tool for District Heating System Operators By: Stockton Infrared Thermographic Services, Inc. 8472 Adams Farm Road Randleman, NC 273177331, www.StocktonInfrared.com
- Szabra D., Swiderski W., 2002. Infrared Thermographic Detection of Destruction Area in Composite Armour. *Mezinarodni Conference Pyrotechniku 2002, Luhacovice*, s.127-132
- Şirel. D, Akgül. E, Bayaroğulları. H, Sarpel. Y, 2001. Synovial hemangioma of the knee, *Official Journal of the Turkish Society of Radiology*, 7(1), 131-134
- TEVEM, 2010, Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Enerjiye Geçiş”
- Tibbs, A., 2004. Using Infrared Thermography to Assess Building Problems, *President Closer Look In spections*
- Tulgar, M., Yılmaz, M., 1999. Nörostimülasyon tedavisinde alınması gereken önlemler ve tıbbi görüntüleme tekniklerinden faydalanma, *Van Tıp Dergisi*, 6 (1): 44-46
- Xu, Q., Wang, Z., 2006. Application Of Infrared Thermography In Building Energy Efficiency ,Beijing Institute Of Civil Engineering And Architecture, Beijing P.R. China, 100044
- Wilcox, CS., Patterson, J., Cheng, HW., 2009. Use of Thermography To Screen For Subclinical Bumblefoot In Poultry. *PoultSci* ; 88:1176-80.)

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Erzincan'da doğdu. 1996 yılında Malatya Lisesinden mezun oldu, 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirdi ve 2005 yılında bir asansör firmasında proje sorumlusu olarak 5 yıl çalıştı,2010 yılından itibaren ise bir LPG Dönüşüm firmasında montaj ve proje sorumlusu olarak çalışmaya devam etmekte. 2011 yılında Mustafa Kemal Üniversitesinde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.2012-2013 yıllarında Çalışma Bakanlığında onaylı C sınıfı ve B sınıfı İş Güvenliği Uzmanı oldu. Termal kamera uygulamaları, endüstriyel sistemlerde ve konutlarda enerji performansı ve kestirimci bakım uygulamalarına yönelik araştırmaları var. Evli, 2 çocuk sahibi.

