T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# TERMAL KAMERA SİSTEMLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİ, RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ UYGULAMALARI

ONUR ÖZCAN

ARALIK 2019

# ÖZET

TERMAL KAMERA SİSTEMLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİ, RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ UYGULAMALARI

ÖZCAN, Onur

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN

ARALIK 2019 , 63 sayfa

Fotovoltaik panellerin ve Rüzgar Türbinlerinin termal kameralarla görüntülenmesi; pislenme, tozlanma, serseri kurşun, mikro film çatlakları vs. çevrenin durumundan etkilenmekte. Bu çevre durumda en önemlisi kirlenmedir. Bu tez çalışmasında; Termal kameraların optik özelliklerini kullanarak Rüzgar Türbinleri ve Güneş Enerji Santrallerinde çevre durumları altında, yarı iletken malzeme silisyum tabanlı polikristal fotovoltaik panellerin ve rüzgar türbinlerinde arızaların önceden noktasal ve tespiti verimleri üzerine etkisi teorik de incelenmiştir. Çeşitli deneysel ölçümlere ait veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çeşitli arızalar görüntü üzerinden tespit edilmiş özellikleri incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fotovoltaik Hücre, Yenilenebilir Enerji, Termal Kamera, Rüzgar Türbini, Fotovoltaik Modül Verimi, Yarı İletkenler, Polikristal Hücre, infrared Spektroskopisi, Optik özellikler

# ABSTRACT

OPTICAL PROPERTIES OF THERMAL CAMERA SYSTEMS, APPLICATIONS IN WIND TURBINES AND SOLAR POWER PLANTS

ÖZCAN, Onur

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics, Msc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kutalmış GÜVEN

APR 2019, 63 pages

In this paper, thermal cameras which detect IR (infrared) radiation emitted by objects because of heat and turn them into images as a result of different algorithms were studied theoretically. Fault detection of photovoltaic panels and wind turbines, which are Application Areas of thermal cameras, has been investigated. The use of thermal cameras in the detection of photovoltaic panel failures caused by contamination and different reasons that decrease electrical energy production in photovoltaic panels has been investigated. Specifically, it was concluded that silicon-based polycrystalline photovoltaic panels can be predicted without failure by using thermal camera images together with current-voltage graphs shown in different fault types.

**Key Words**: Photovoltaic Cell, Renewable Energy, Thermal camera, wind turbine, Photovoltaic Module Efficiency, Semiconductors, Polycrystalline Cell, Infrared spectroscopy, Optical properties

# TEŞEKKÜRLER

Bu tez çalışmamda değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana doğru yolu gösteren ve destek olan kıymetli danışman hocam sn. Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisansımın bu tez dönemi içinde, beni maddi manevi destekleriyle yalnız bırakmayan her açıdan yanımda olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum. Ayrıca her daim yanımda olan diğer aile fertlerime ve arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

**Sayfa**

**ÖZET** ..... **i**

**ABSTRACT** ..... **ii**

**TEŞEKKÜR** ..... **iii**

**İÇİNDEKİLER DİZİNİ** ..... **iv**

**ŞEKİLLER DİZİNİ** ..... **vi**

**ÇİZELGELER DİZİNİ** ..... **ix**

**TABLOLAR DİZİNİ** ..... **x**

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ** ..... **xi**

**1.GİRİŞ** ..... **1**

1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'de ki Önemi ..... 1

**2.TERMAL KAMERALARIN HAYATIMIZDAKİ ÖNEMİ** ..... **4**

2.1.Termal Kameraların Optik Özellikleri Ve Temel Çalışma Prensibi ..... 4

2.1.1.Infrared Spektroskopisi ..... 10

2.1.2.Infrared Enerji Ölçümünde Temel Bağıntılar ..... 13

2.1.2.1.Planck Eşitliği ..... 14

2.1.2.2.Wien Eşitliği ..... 17

2.1.2.3.Stefan – Boltzmann Eşitliği ..... 18

2.2.İnsanın Yaydığı Termal Işıma ..... 19

2.3.Infrared Işımanın Görünür Işığa Dönüşmesi ..... 22

2.4.Termal Kamerada Görüntü İyileştirme ..... 24

2.5.Termal Kamerada Görüntü Analizi ..... 24

2.6.Termal Kameralarda Geliştirilen Uygulama Yöntemi ..... 25

**3.TERMAL KAMERALARIN KULLANIM ALANLARI ..... 27**
3.1.Rüzgar Enerjisindeki Kullanımları ..... 31
3.2.İnsansız Hava Araçlarıyla Enerji Kayıplarının Tespiti ..... 38
3.2.1.İnsansız Hava Araçlarıyla Yapılan Çalışmalarda ki Hedef ..... 38
3.2.2.İnsansız Hava Araçlarıyla Yapılan Çalışmalar ..... 39
**4.KAPSAM ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 40**
4.1.Güneş Enerjisi Ve Fotovoltaik Paneller ..... 41
4.1.1.Güneş Paneli Sistemlerindeki Arızalar ..... 42
4.1.1.1.Potansiyel Fark Kaynaklı Bozulma (Potential Induced Degradation-PID) ..... 44
4.1.1.2.Tabakaların Ayrılması (Delamination) ..... 44
4.1.1.3.Işık Kaynaklı Bozulma (Light-Induced Degradation) ..... 45
4.1.1.4.Hücre Çatlakları (Cell Cracks) ve Mikro Çatlaklar(Micro Cracks) . 46
4.1.1.5.Salyangoz İzi Hatası (Snail Track) ..... 47
4.1.1.6.EVA ( Etilen Vinil Asetat) Renk Değişimi ..... 48
4.1.1.7.Bypass Diyot Arızası (Bypass diode failure) ..... 49
4.1.1.8.Bağlantı Kutusu Arızaları (Junction Box Failure) ..... 50
4.1.1.9.Sıcak Noktalar (Hot-Spots) ..... 51
4.1.2.Güneş Panellerinde Arıza Tespitleri ..... 52
4.1.2.1.Temas Gerektiren Tespit Metotları ..... 52
4.1.2.2.Temas Gerektirmeyen Tespit Metotları ..... 53
4.1.2.2.1.Elektrolüminisans (EL) Görüntüleme ..... 53
4.1.2.2.2.Ultraviyole Görüntüleme ..... 54
4.1.2.2.3.Güneş Enerjisinde Termal Görüntüleme ..... 55
**5.SONUÇ ..... 57**
**6.KAYNAKLAR ..... 59**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**ŞEKİL** **Sayfa**

1.1. Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü (TEİAŞ, 2018)..... **2**

1.2. Avrupa'nın Yıllık Küresel Ortalama Güneş Işıma Değeri, (kWh\kWp) ..... **3**

1.3. Ülkemizin Yıllık Küresel Ortalama Güneş Işıma Değeri, (kWh\m$^2$) ..... **3**

2.1. Karanlık bir odada sıcaklık farkından dolayı görünen motorun görüntüsü ..... **5**

2.2. İnsanın Etrafa Yaydığı Enerjinin Termal Kamera ile Görüntülenmesi ..... **5**

2.3. Termal Kamera Fonksiyonel Blok Diyagramı..... **6**

2.4. Termal Kamera İle Sigortalardaki Arıza Tespiti..... **7**

2.5. Nemli Bir Duvara Ait Termal Ve Gerçek Görüntü..... **8**

2.6. Termal Kamerada Isıya Dayalı Görüntü Elde Etme ..... **10**

2.7. Görünür Bölge..... **11**

2.8. Işık Dalga Boyları ..... **11**

2.9. Motor Elemanı Termal Görüntüsü..... **13**

2.10. Güneş ve Kara Cisme Ait Tayf Kıyası ..... **15**

2.11. Güneş için Işımanın Spektral Dağılımı..... **16**

2.12. Kara Cisim Işıma Grafiği..... **17**

2.13. İnsan için IR Işımanın λ ile Değişimi ..... **20**

2.14. Atmosferin Transmisyonu..... **21**

2.15. λ = 5 – 8 μ Arası Trapezoidal İntegral ..... **21**

2.16. Örnek Devre IR'nin GI Dönüşümü ..... **23**

2.17. Termal Görüntü ..... **25**

2.18. Eşikleme Sonucu ..... **25**

2.19. Geliştirilen Tekniğin Akış Diyagramı ..... **26**

3.1. Termal Kamera İle Elektrik Üretimi İzlemesi ..... **27**

3.2. Tarımsal Arazilere Termal Kamera Kurulumu ..... **28**

3.3. Kalorifer Kazan Dairesi Termal Kamera Görüntüsü ..... **28**

3.4. Sıcak Su Taşıyan Sistemlerin Kaçaklarının Tespiti ..... **29**

3.5. Motor, Rulman, ve Dönen Parçaların Termal Görüntüsü ..... **29**

3.6. Konutların Termal Kamera Görüntüsü ..... **30**

3.7. Hayvanların Termal Kamera ile Takibi ..... **31**

3.8. Arızalanmış Rüzgar Türbini ..... **32**

3.9. Arıza Nedeni ile Yanan Rüzgar Türbini ..... **33**

3.10. Termal Kamera Entegreli Drone İle Türbin İncelemesi ..... **34**

3.11. Hasar Gören Rüzgar Türbin Parçaları ..... **35**

3.12. Termal Kamera Entegreli Drone ..... **35**

3.13. Rüzgar Türbini Kanat Deformasyonu ..... **36**

3.14. Termal Kamera ile Türbindeki Kompozit Malzeme Analizi ..... **37**

3.15. Termal Kamera ile Rüzgar Türbin Analizi ..... **38**

4.1. Hücre ve Modül ..... **42**

4.2. Hücre, Modül, Panel ve Dizi ..... **42**

4.3. Arızaların (veya hataların), modülün enerji verimliliği üzerine etkileri ..... **43**

4.4. İlk 2 yıl içerisinde (solda) ve ilk 8 yıl (sağda) içerisinde karşılaşılan hatalar.... **43**

4.5. Potansiyel Fark Kaynaklı Arıza (PID) I-V grafiği ve termal görüntüsü ..... **44**

4.6. Güneş Paneli modüllerinde EVA tabakalarının ayrılması arızası ..... **45**

4.7. P-tipli Monokristalin Silisyum Bazlı Hücrelerde Işık Kaynaklı Arıza ..... **45**

4.8. Hücre çatlakları yüzünden verim düşüşü ve termal görüntüsü ..... **47**

4.9. Salyangoz İzi Hatası ve Elektrolüminisans Fotoğrafı ..... **48**

4.10. EVA Renk Değişimi Hatası ..... **49**

4.11. Açık devre Bypass diyot arızası sonucu paneldeki yanıklar ..... **50**

4.12. Bağlantı kutusu arızaları ..... **50**

4.13. Gölgelenmiş bir hücrede oluşan sıcak noktanın termal analiz örneği..... **51**

4.14. Bağlantı noktalarındaki arızalar (üst) sonucunda oluşmuş sıcak noktaların termal görüntüleri (alt) ..... **52**

4.15. Her bir panel arkasına yerleştirilen takip sistemi ..... **53**

4.16. Elektrolüminisans Yöntemi ile Hücre Çatlaklarının Belirlenmesi (a) ..... **54**

4.17. Elektrolüminisans Yöntemi ile Hücre Çatlaklarının Belirlenmesi (b)..... **54**

4.18. Termal Görüntüler ve İlgili Arızalar ..... **55**

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge** **Sayfa**

1.1 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü (TEİAŞ, 2017)..... **2**

2.3. Termal Kamera Fonksiyonel Blok Diyagramı..... **6**

2.19. Geliştirilen Tekniğin Akış Diyagramı Basamakları..... **26**

4.3. Arızaların (veya hataların), modülün enerji verimliliği üzerine etkileri..... **43**

4.4. İlk 2 yıl içerisinde (solda) ve ilk 8 yıl (sağda) içerisinde karşılaşılan hatalar.... **43**

4.5. Potansiyel Fark Kaynaklı Arıza (PID) I-V grafiği ve termal görüntüsü..... **44**

4.8. Hücre çatlakları yüzünden verim düşüşü ve termal görüntüsü..... **47**

# TABLOLAR DİZİNİ

**Tablo** **Sayfa**

2.1. Çeşitli Yüzeyler için ε Değerleri ..... **19**

2.2. Renkler ve Dalga Boyları ..... **23**

# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

## SİMGELER DİZİNİ

| | |
|---|---|
| E | Enerji |
| T | Mutlak Sıcaklık |
| A | Yüzey Alanı |
| °K | Kelvin |
| °C | Celsius |
| W | Watt |
| kW | kilowatt |
| MW | Megawatt |
| I | Akım |
| V | Gerilim |
| λ | dalga boyu, μ |
| mm | mikron ($1\mu = 10^{-3}$mm) |
| nm | Nanometre |
| υ | Işığın Frekansı |
| h | Planck Sabiti |
| σ | Stefan-Boltzmann Sabiti |
| $m^2$ / $cm^2$ | Birim Yüzey |
| ε | Emissivite |
| $W_\lambda$ | Dalga boyuna bağlı ışımanın spektral dağılımı |

## KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| PID | Potansiyel Fark Kaynaklı Arıza |
| EVA | Etilen Vinil Asetat |
| UV | Ultraviyole |
| GES | Güneş Enerji Santrali |
| EL | Elektrolüminisans |
| DIN | Alman Standartları Enstitüsü |
| Si | Silisyum |
| Ge | Germanyum |
| PV | Photo Voltaic |
| IR | Infrared (Kızılötesi) |
| GI | Görünür Işık |

# 1. GİRİŞ

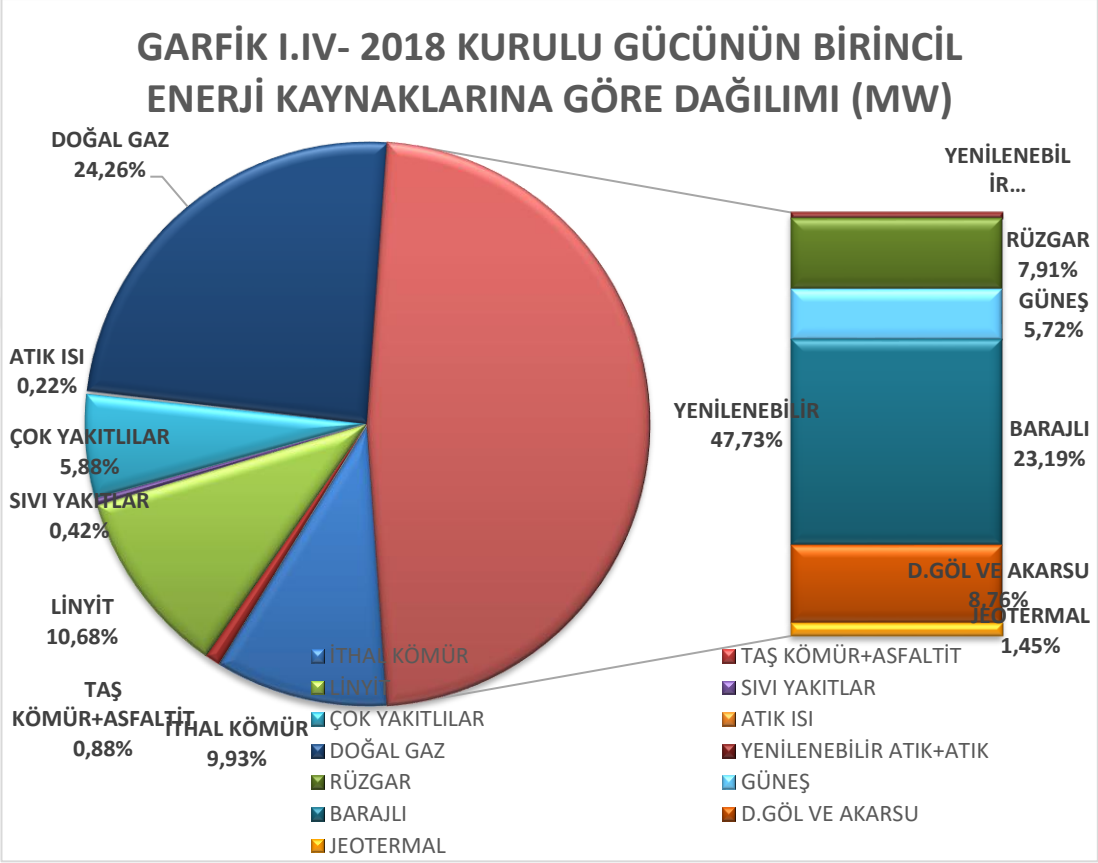
## 1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'de ki Önemi

Enerji ve enerji kaynakları, sadece gelişmiş veya gelişmekte olan ulusların değil aynı zamanda "geri kalmış" olarak değerlendirilen ulusların da gündemini oluşturmaktadır. Uluslar enerjiyi gelecekleri için vazgeçilmez olarak nitelendirmektedirler. Bu açıdan; politikalar ile "uluslarda ki enerji kaynaklarını bularak çıkarma", "enerji arz-talep güvenliğini oluşturma", "ithalata bağımlılığı bitirme" ve "üretilen teknolojik enerjiyi ihraç etme" konularında büyük emek harcamaktadır. [1].

Sürdürülemez enerji kaynakları olarak değerlendirilen kaynaklardan elde edilen enerji üretiminin çevreye verdiği zararlardan çok, bu kaynakların yakın tarihlerde tükenecek olması sadece ulusların değil insanlık tarihinin de problemi olmaktadır. Dolayısıyla; içinde bulunduğumuz son 75 yıl içerisinde farklı biçimde elektrik enerjisi üretme çalışmaları yoğunluk kazanmıştır. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılacak olan; Rüzgar, Güneş, Bio-Gaz/Kütle, Jeotermal, Su Hidroliği (hidroelektrik santraller, dalga enerjisi, mikro santraller vs.) gibi değişik kaynakları kullanarak yenilenebilir enerji üretme çalışmalarına odak artmıştır. Bu durumu kapsayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan tüm çalışmaları genellikle şu kapsamlı başlıklar altında birleştirebiliriz; yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini (ve verimini arttırma), pil teknolojisiyle üretilen enerjinin depolanması, üretimi yapılan enerjinin güvenliği ve üretimi yapılan enerjinin verimli bir şekilde kullanımı şeklindedir [1].

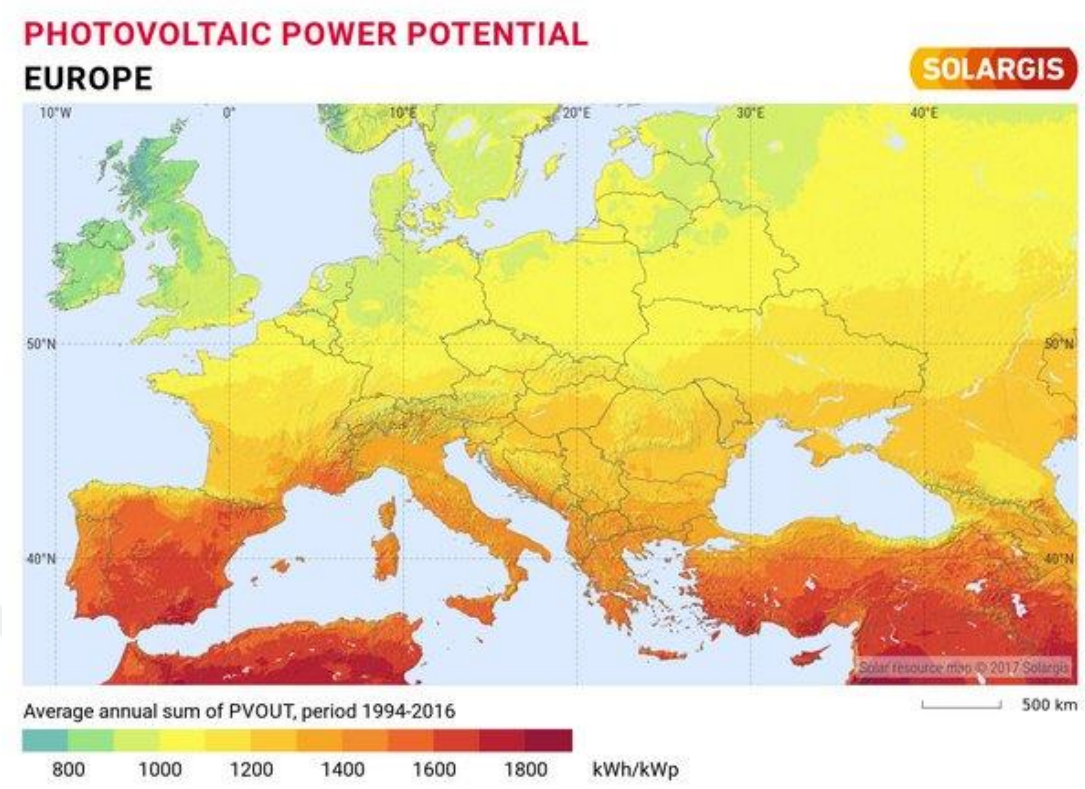
Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) yaptığı açıklamada, en büyük yurtdışı ithalat kalemi olan doğal yakıtlar, doğal yağlar ve bunların damıtılmasıyla üretilen ürünler ithalatı 2018 yılında bir diğer yıla göre yüzde 15,6 artarak 42 milyar 999,5 milyon dolar oldu. 2017 yılında ithalat 37 milyar 204,8 milyon dolar olmuştu. Aralık'ta ise ithalat %1,4 artışla 3,87 milyar dolardan 3,92 milyar dolara çıktı. Kaynak: Türkiye'nin 2018'de enerji ithalatı %15,6 arttı [1].

Bizimde ülkemiz, özellikle son yıllarda önemi gittikçe artan yenilenebilir enerji yatırımları 2017 sonu itibariyle üretilen enerjinin %47,73'ünü yenilenebilir enerji kaynaklarından (Jeotermal, Güneş, Rüzgar, Göl ve Akarsu, Bio-kütle ve Bio-gaz) elde etmiştir.

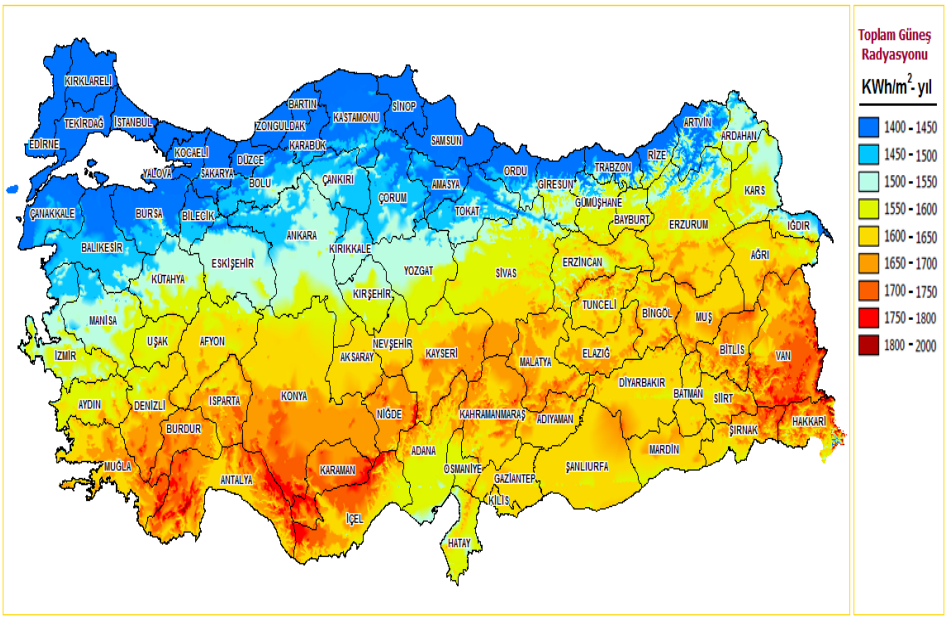



**Şekil 1.1.** Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ, 2018)

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi ve jeopolitik konumuyla beraber en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgar ve güneştir. Türkiye'nin 26 - 45 derece Doğu Paralelleri (boylamları) / 36 - 42 derece Kuzey Paralelleri (enlemleri) arasında yer almaktadır. Ülkemiz bu enlemlerde ekvatora yakınlığı sebebiyle güneş ışınları dik konuma yakın ve güneşlenme süresi Avrupa'nın birçok ülkesine göre daha uzundur.




**Şekil 1.2.** Avrupa'nın yıllık küresel ortalama güneş ışıma değeri, (kwh\kWp)




**Şekil 1.3.** Ülkemizin yıllık küresel ortalama güneş ışıma değeri, (kwh\m$^2$)

## 2.TERMAL KAMERALARIN HAYATIMIZDAKİ ÖNEMİ

Profesyoneller öncelikli olarak teknolojiyi takip ederek doğru ve verimli sonuçlara ulaşmaya yardımcı olabilecek ekipmanları kullanmayı tercih etmektedirler. Bu anlamda öngörülememiş kazaları ve zor şartlardaki kesintileri önlemek için üretilen termal kamera en iyi yardımcılarından biridir.

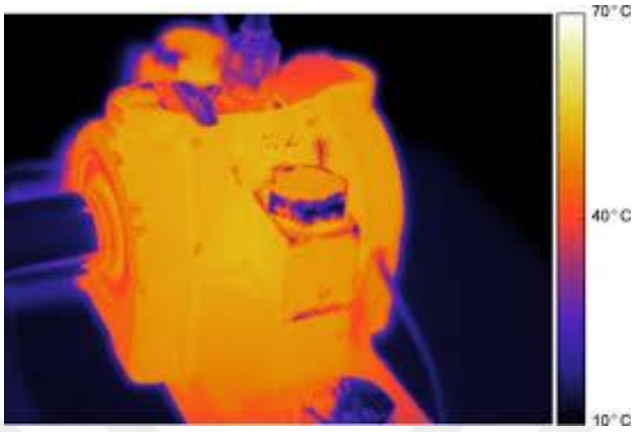
Termal kameralar ısı farkını tespit ettiği için çıplak gözle görülemeyen, ancak ciddi sıkıntılara yol açabilen arızaları çok büyük kayıplar yaşanmadan net olarak görmemizi sağlar. Yıllar önce arızalar ortaya bir felaket çıktıktan sonra fark edilir ve müdahale etmek için zaman kayıpları yaşanırdı. Termal kameraların burada esas amacı en kısa sürede arızanın veya problemin merkezini bulmak ve en hızlı şekilde en az zararla problemi çözmektir.

Termal kameralar ve aktif gece görüş sistemleri içerisinde bulunan özel yazılımlar sayesinde uyduyla da bağlantı özelliği bulunan bu kameraların sınırlarda, kontrol edilmesi güç kıyı şeritlerinde, ormanlık alanların kontrol altında tutulabilmesinde de önemli işlevleri vardır.

### 2.1.Termal Kameraların Optik Özellikleri ve Temel Çalışma Prensibi

Termal kamera, çeşitli sektörlerde kullanılan, yüzeylerin ya da parçaların normalin üzerindeki ısı farklarını ölçebilen tanı cihazıdır. Termal kameralar nesnelerden yayılan termal enerjiyi ölçmeye ve değerlendirmeye yarayan lenslerden ve algılayıcılardan oluşmaktadır. Doğada -273 °C üzerindeki tüm nesnelerin insan gözünün göremediği ve dış ortama saldığı enerji vardır. Belirlenen enerji maddesel nesnelerin ısı ve sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Termal görüntüleme sisteminde bu enerji yakalanıp enerjinin derecesine göre renklendirilerek bir görüntü elde edilir. İçeriye ışığın girmediği karanlık bir oda düşünün ve içinde de siyah bir cisim... İnsan gözünün bunu görmesi pek mümkün olmaz. Çünkü insan gözü nesnenin resmini oluşturmak için ışığa ve renge gereksinim duyar. Termal kameralarda ise durum çok farklıdır. Duvarların ve cismin siyah olma

durumunda bile enerji farklılığından dolayı cismin görünümü kolaylıkla resim olarak oluşturulabilecektir.



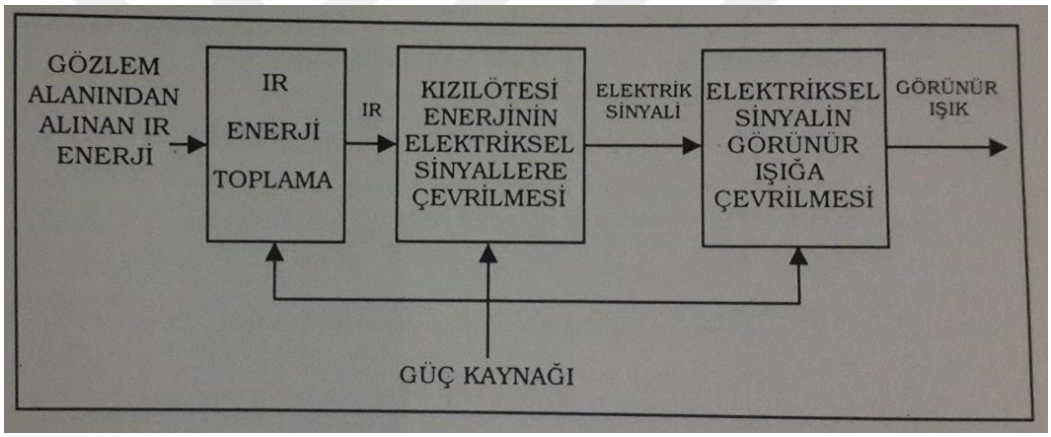

**Şekil 2.1.** Karanlık bir odada sıcaklık farkından dolayı görünen motorun görüntüsü

Doğadaki her türlü canlı veya cansız varlığın kendine ait enerjisi bulunmaktadır. Canlı varlıklar kendi organizmalarının çalışmalarından kaynaklanan sıcaklıklarına dış çevreden absorbe ettikleri sıcaklıkları da katarak yine çevrelerine sıcaklık şeklinde algılanabilen kızılötesi enerji yayarlar. Cansız varlıklar ise çevrelerinden absorbe ettikleri enerjiyi yine kendi yapılarına uygun olarak dışarıya yayarlar. Canlı veya cansız varlıkların dışarıya yaydıkları bu enerjiler termal kamera tarafından algılanır, işlenerek operatöre sunulur. Örneğin çalışan bir tankın, uçan bir uçağın, yüzen bir geminin dış çevreye göre sıcaklıkları çok farklıdır.



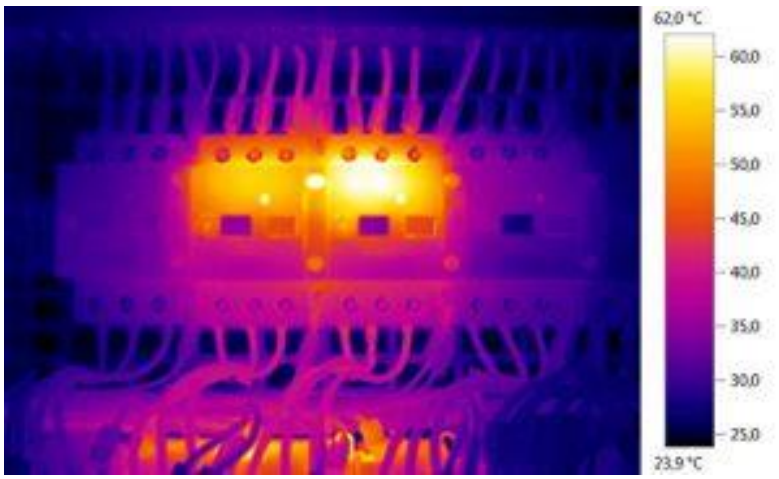

**Şekil 2.2.** İnsanın etrafa yaydığı enerjinin termal kamera ile görüntülenmesi

Termal enerji gözümüzün görünür bölgesinde olmadığından kızılötesi (Infrared) aralıkta yayılır. Kızılötesi aralık X ışınları ve Gama ışınları arasındaki bölgedir. Termal kameralar, nesnenin ortama yaydığı kızılötesi enerjiyi, kameranın lensi tarafından (Bu lenslerin birçoğu germanyumdan yapılmıştır.) algılayarak kamera içindeki kızılötesi detektöre gönderir. Detektör resmin işlenmesi için bilgileri sensöre gönderir. Bu işlemlerin sonucunda bilgiler bizim görebileceğimiz bir resme dönüştürülür. İşte bu süreç termografi olarak adlandırılır. Kısacası termografi, kızılötesi ışınlarının gözle görülebilecek şekilde resme dönüştürülmesi sürecidir. Yani termal kameralar sıcaklık farklılıklarını algılayarak görüntü elde ederler. Algılanan bu sıcaklık farklılıkları toplanıp elektrik sinyallerine, elektrik sinyalleri de görüntü sinyallerine dönüştürülerek monitörden görüntü şeklinde kullanıcılara verilir.[2]




**Şekil 2.3.** Termal kamera Fonksiyonel Blok Diyagramı

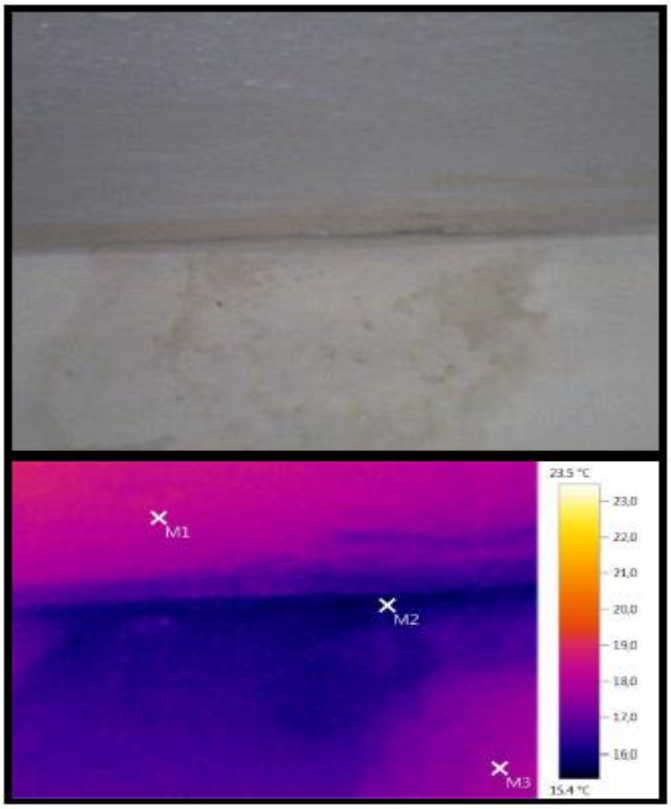
Termal kameralar, görünmez bölge kızılötesi dalga boyu spektrumunda, o parçayla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılar. Termal görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR (kızılötesi) enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel durumunun IR enerjiye göre oluşmuş şekillerin ve renkler belirlendiği görüntüleme çözümüdür




**Şekil 2.4.** Termal kamera ile sigortalardaki arıza tespiti

Çoğu zaman kızılötesi ışınlarla çekilen fotoğraflarla (infrared photograps), ısı farkını gösteren fotoğraf (thermal imagery) birbirine karıştırılmaktadır. Bunlar birbirinden farklı şeylerdir. Kızıl ötesi ışınlarla çekilen fotoğraflar objeler üzerinden yansıyarak gelen kızılötesi ışınların sebep olduğu bir kimyasal olay sonucunda meydana gelmektedir. Yansıyarak gelen kızıl ötesi ışınların üzerine yansıdıkları objelerin ısılarıyla direkt ilişkileri bulunmamaktadır. Diğer bir deyişle, kızılötesi ışınlarla çekilen fotoğraflar objelerin ışınlarını belirlemez. Dalga boyları uzun olan termal ışınları incelemek için ise detektörlerin kullanılması gerekir ve elektronik detektörlerden çıkan bilgiler manyetik bantlar üzerine sayılar şeklinde işlenebilir, gözle görülebilmelerini sağlamak amacıyla bir film üzerine aktarılabilir. Bu şekilde elde edilen görüntüye termal görüntü denir. Bu durumda film sadece üzerine bir takım bilgilerin işlendiği bir araç olup asla detektör olmamaktadır.

Termal kamerayla görüntülenen fotoğraflar çok sıcak noktalarda açık renkli, soğuk olan noktalarda ise koyu renkle göstererek sorunun kaynağını kolaylıkla bulmaya yardımcı olur. Termal kameralar ortamın durumunu siyah-beyaz veya renkli gösterirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi sıcaklık değerinin minimum, sarı ise sıcaklık değerinin maksimum olduğu bölgeleri gösterir.




**Şekil 2.5.** Nemli bir duvara ait termal ve gerçek görüntü

Doğada bulunan tüm canlıların sahip oldukları sıcak farkına bağlı olarak farklı dalga boylarında yoğunluk değişimi bulunan termal radyasyon olarak da isimlendirilen elektromanyetik enerji yaymaktadır. Termal görüntüleme, bir madde tarafından yayılan ışımadan yararlanarak onun görüntüsünü oluşturma esasına dayanır. Kısaca doğal olarak görülebilen tayf içerisinde görüntüler yansıyan ısı ve yansıma farklılıkları tarafından meydana gelir, termal görüntüler kendiliğinden emisyon ve yayınım kapasitesi farklılıklarından oluşur. Bu duruma göre, termal görüntüleme konusunda, kendiliğinden sıcaklık enerjisi üreten örneklerle ilgilenilir.[3]

Bir termal resim oluşturabilmek için, uygun lens sistemi ile birlikte bir kamera kullanılmaktadır. Bu sistemde maddelerin sahip oldukları sıcaklık, ve yaydıkları ışımanın ve arkada planlanan sıcaklık farkından oluştuğundan, harici bir ışık kaynağına ihtiyaç yoktur. [3]

Termal görüntüler oldukça geniş bir spektral band geçişi bulunmaktadır. Bu nedenle her çeşit kutuplaşmayı oluşturabilecek kapasitededirler ve efektif sıcaklık farklılıklarını oluşturan mekanizmalara karşı duyarsızdırlar. Dahili olmayan bir aydınlatmanın gerekli olmaması sistemlere her durumda ve özellikle de karanlıkta uygulanma imkan sağlamaktadır. [3]

Termal sıcaklık ışıması duman, sis gibi gaz türevi maddelere kolayca nüfuz edebilir. Işıma atmosfer tabakasında olduğu için, dışa saçılma ve emilme süreçlerinin son durumunda yapısında incelme oluşmaktadır. Bu tespit ve açıklamaların ışığında, termal görüntülemenin asıl özelliklerini dört maddede bir araya getirebiliriz.

1) Termal görüntüleme, dahili olmaya bir aydınlatma kaynağıyla istemeyen dolayısıyla, pasif bir teknikten ibarettir. Her durumda gece gündüz askeri operasyonlarda ve gizli cisimleri algılamaya imkân verir.

2) Sıcak ve soğuk noktaların içerisindeki diğer "yayınım kapasitelerine'' sahip alanların bulunması için kullanılmaktadır.

3) Termal görüntüleme, duman, sis ve gazların içine görünür termal ışımadan daha kolay elde edebilir ve görülebilir siyah noktaların belirlenmesine imkân oluşturur.

4) Termal sıcaklıkların görüntüsü, uzaktan algılanan gerçek zamanlıdır. [3]

Otomatik hedef belirleme sisteminin en önemli durumlarında biri, ağır arka zemin karışıklığı ve parazitin oluştuğu durumlarda durgun hareketli hedefleri saptamayı ve tanımayı ele alır. Açık havada sahnelerin realiteye uygun infrared görüntülerinin üretimi, simülasyon analiz/sentez prosedürüyle yapılmaktadır. Analiz durumunda, görüntü homojen konumda bölütlenir (segmentasyon), her yüzey bölgesi materyal özelliklerini bulundurur ve oryantasyonu hesaplatır. Daha sonra, bir metin sinyali orijinal resminden çıkartılır. Deneysel aşamasında ise, termal modüller yüzey ısısını tahmin edebilmek ve termal resmin radyometrelerini (ışın ölçümlerini) hesaplamak için kullanılmaktadır. Sonuç durumunda, çıkartılmış sinyal sentetik radyometreler ile bir araya getirilir. Bu girişim, sentetik (yapay) sahne ile bölütleme algoritması ve bölge analizi kullanan gerçek görüntüleri bir araya getirmeye dayatılır.



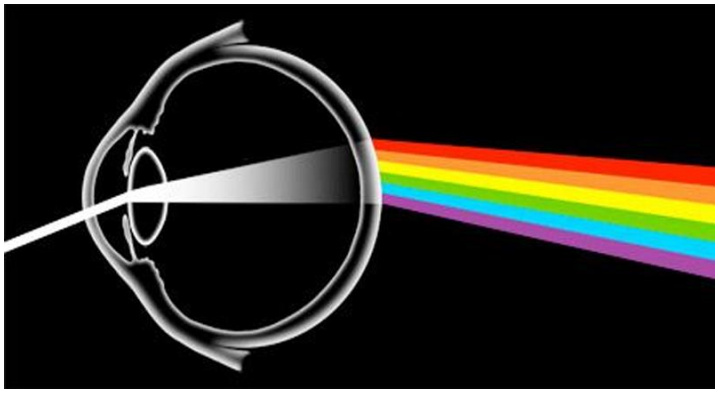
**Şekil 2.6.** Termal Kamerada ısıya dayalı görüntü elde etme

### 2.1.1.Infrared Spektroskopisi

Termal görüntülenin temeli faktörü infrared ışıktır. Dalga boyu 0.7µm'dan daha fazla, mikrodalgadan daha kısa olan ışığa infrared ışık (radyasyon) denilmektedir. [3]

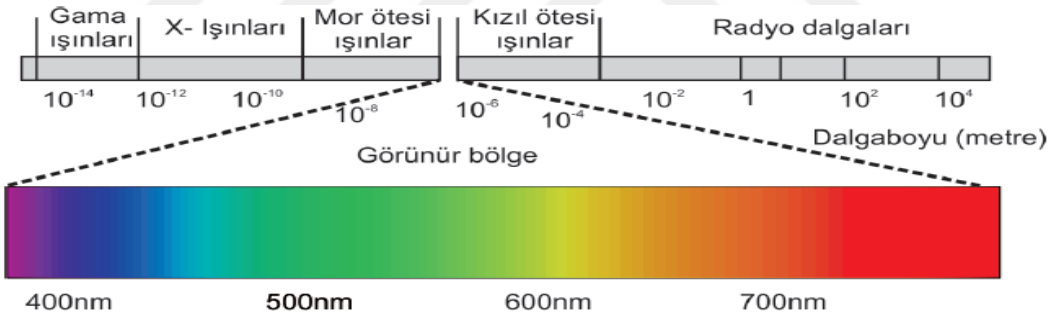
İnfrared (IR) spektroskopisi de, ışık fotonları ile analizlenen moleküller içindeki etkileşimi konu alan spektroskopik yöntemlerdendir. IR spektroskopisinde de elektromanyetik spektrumun belli bir kısmındaki (belirlemiş frekans) fotonlardan yararlanılmaktadır. Deneysel olarak elektromanyetik spektrumların 0.78 µ (780 nm) - 1000 µ (1 mm) arası görünür bölge dışı alan olup, gözle görülemeyen 0.78-2.5 µ arasında kalan kısma yakın IR, 2.5 - 15 µ arasında kalan kısım IR bölgesi ve 15 µ - 1000 µ (1 mm) arasındaki kısımsa, uzak IR bilinmektedir. [4]

Elektromanyetik ışınım radyasyonu belirleyen elektromanyetik spektrumun tüm kısımları ışık olarak sınıflandırılabilir. Ancak çıplak olarak bunların çok küçük bir kısmını gözle görmekteyiz. Bu açıdan gözümüzdeki fotoseptör hücrelerden olan koni hücreleri sadece mini bir bant aralığındadır. Spektrumun diğer görünür kısımları görsel bakıma biyolojik algı limitlerinin dışında bulunmaktadır. Canlı retinası görünür görünmez bölge elektromanyetik spektrumun yaklaşık % 0.0035'lik bir alanını algılayabilmektedir. Gözle görünür kısım olarak isimlendirilen spektrumun bu kısmı canlı gözünün hassasiyetine bağlıdır. Bu açıdan sağlıklı bir canlı gözü 380 ile 800 nm arasını görebilmektedir.



**Şekil 2.7.** Görünür Bölge

Bu açıdan gözle görünür kısmı içinde barındıran bir beyaz foton demeti prizmalardan geçerken farklı dalga uzunluğuna farklı açısal değerlerde kırılır ayrılır ve renkleri oluşturmaktalar. Çıplak gözle görebildiğimiz tüm renklerin oluşturduğu görünür bölge en küçük dalga uzunluğunu içinde bulunduran mor (380nm) ve en büyük dalga uzunluğu olan kırmızı (700nm) renkler içindedir.




**Şekil 2.8.** Işık dalga boyları

Işık dalga boyları şekilde verilmiştir. Termal kameralar diğer kameralara benzer durumda şekiller içinde görünür fotonu kullanarak infrared radyasyonu ile görüntü elde eden kamera türüdür. Işığın 750 mm–1mm arasındaki dalga boyları infrared dalga boyu olarak adlandırılır.

Standart lenslere sahip kameranın algıladığı dalga uzunluğu yaklaşık 450–750 (görünür kısım) nanometre arasındayken, infrared kameralar 7,5–13 μm dalga boyunda çalışmaktadır. 5–7 μm arası dalgalar atmosfer tabakasındaki su buharından dolayı soğurulması termal kameralar bu aralıkta olmasını sağlamaktadır.

Alman Standartlar Enstitüsü (DIN)'ın bölümleme algılama özellikleri ile beraber aşağıda verilmiştir:

– Yakın Kızılötesi: 0.72–1.4 μm arası dalga boylarına sahiptir. Düşük kayıp miktarı sayesinde genellikle fiber optik iletişimi oluşturmaktadır. Termal görüş araç gereçleri de genellikle bu band aralığındadır.
– Orta Dalga Kızılötesi: 3–8 μm arası dalga boylarına sahiptir. Güdümlü füze teknolojisinde kullanılmaktadır.

– Uzak Dalga Kızılötesi: 8–15 μm arası dalga boylarına sahiptir. Dışarıdan bir foton kaynağına gerek oluşturmadan sadece nesnelerin yaydığı ısıyla çalışan termal görüntüleme cihazları bu bantta çalışır.

– En Uzak Kızılötesi: 15–1000 μm arası dalga boylarına sahiptir.

Maddelerin sıcaklık değerleri arttıkça renk değiştirerek daha kısa dalga uzunlukları ışınım yapmaktadır. Dalga uzunluğunun azalması ortamda bulunan frekans ve enerji artırır. Bu durumdan dolayı dalga uzunluğu küçük olan mavi rengin sıcaklığı kırmızı renkten daha yüksek olduğunu göstergesidir.

Termal görüntülemelerde renk skalası siyahtan beyaza doğru farklı açılarda yayılırken, sıcaklık değeri enerjinin düşük olduğu kısımdan enerjinin yüksek olduğu kısma doğru yükselişe geçmektedir. Termal görüntülemelerde görüntünü hemen yanı başında termal renk skalası görülür. Bu ölçüm değerlerinde ki minimum sıcaklık birimi siyah renkteki kısımlar bu birimin altında olduğunu, en yüksek sıcaklık ise beyaz renkteki kısımları bu birimin üstünde olduğu bilinmektedir. Siyah ve beyaz arasındaki tüm renkler, skalada ki minimum ve maksimum sıcaklık birimleri arasında yayılmıştır.



**Şekil 2.9.** Motor elemanı termal kamera görüntüsü

"Askeri amaçlı olanlar genellikle doğada bulunan cisimlerin ortak IR yayılımlarının olduğu 8 ile 14 mikrometre dalga boyuna duyarlı oldukları gibi endüstriyel tipte olanlar daha düşük dalga boylarına hassas üretilirler ve daha yüksek/düşük sıcaklıklarda da görüntü oluşturabilme özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu kameralar kamera merceği, ekranı, veri işleme, rapor oluşturma, kumanda araçları gibi yazılımları içeren optik bileşenlerden oluşmuştur. Bu kameraların en az bir merceği bulunur ve bu mercek önce kızılötesi ışınımı alır ve detektöre odaklar, detektör de cevap verince görüntü oluşur. Aslında mercek, ışınımları detektörde toplamak ve odaklamak amacıyla kullanılır. Termal görüntüleyicilerin çoğu uzun dalga boyuna sahip olmakla beraber bu mercekler germanyumdan yapılmıştır." [9]

### 2.1.2.Infrared Enerji Ölçümünde Temel Bağıntılar

Mutlak sıfır (-273°K) bir cismin atomlarının titreşim hareketinin durduğu sıcaklık derecesidir. Mutlak sıfır derecenin üzerindeki sıcaklıklarda cisim atomları titreşim hareketi yapar ve bunun sonucu olarak kızılötesi dalga boyunda enerji yayarlar. Atomların titreşimi cismin sıcaklık değeri ile orantılıdır. Işımanın şiddeti cisim içindeki atomların titreşim ve rotasyon hareketindeki artış ile artar. Kızılötesi kameralar kızılötesi enerjiyi ölçmekte bu açıdan Planck sabitinin oluşturduğu formül, Wien eşitliği ve Boltzmann denklemleriyle uygun biçim ile maddelerin sıcaklık dağılımlarının elde edilmesini sağlamaktadır. Maddenin birim yüzeyde 1μm dalga boyu aralıklarında yaydığı fotonun spektral dağılımı, fotonun maksimal durumu,

cismin bir santimetrekarelik yüzeyinin yaydığı toplam enerji, cismin sahip olduğu enerjinin ne kadarını ışıma yaptığının belirlendiği bu eşitlikler kızılötesi foton tekniklerinin temel durumları oluşturmaktadırlar. Bir maddenin yaydığı termal ışıma miktarı cismin sıcaklığına, yayınımına, yüzey alanına bağlı olup, yansıyan foton miktarı sıcaklığın dördüncü büyük kuvveti ile orantılı olduğundan sıcaklık birimindeki küçük bir değişme foton miktarını önemli ölçüde etkilediğinin göstergesidir.

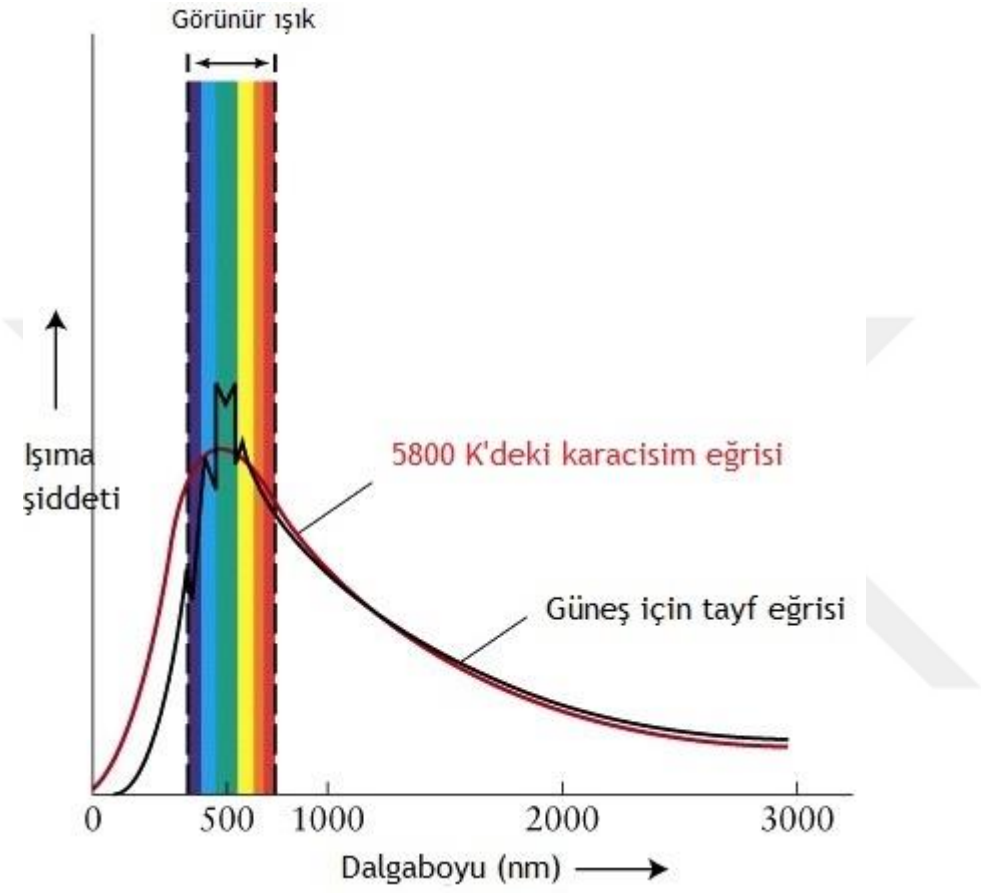
#### 2.1.2.1.Planck Eşitliği

Planck yasası belirli bir sıcaklıkta termal denge durumunda bulunan bir kara cisim ışımasının yaydığı elektromanyetik radyasyonu ifade eder.

Niçin ısı deyince akla kırmızı renk geliyor? Bu soruların cevabı düşünülürken aslında bir soru daha sormak gerekebilir. Niçin ısıya maruz kalan çelik önce kırmızı, daha sonra sarı ve en son beyaz ışık yaymaktadır? Max Planck bu değişimleri ısının ve ışık fotonunun fiziklerini farklı açıdan açıklamıştır. Fotonun, sürekliliği olan bir dalga hareketi değil de istatiksel olarak açıklamaktadır. Max Planck'ın bu fikri, kuantum fiziğinin de önünü açmıştır. Birçok cismin ısıtıldığında ışık fotonu yaydığını bilmekteyiz. Madde artan sıcaklıkla birlikte önce kırmızı, sonra sarı ve en son beyaz ışık yaydığı görülmektedir. Işık fotonu, beyaz görünür bu durumda var olan sarıya daha çok maviyle birleşmiştir. Renklerin bu durumu, kara cisim eğrisiyle gösterilir. Yıldızlar da bu sırayı izler: Bu durumda sıcak ne olurlarsa renkler de o kadar maviye yönelir. Cismin yüzey sıcaklığı 6000 °K olan Güneş sarı bir yıldız olduğu biliyoruz. Sirius gibi bazı yıldızlar 30000 °K'e kadar sıcaklıklarıyla mavi – beyaz görünmektedir.

On dokuzuncu yüz yılın başından itibaren fizik bilimi üzerine çalışanlar hangi maddeden yapılmış olursa olsun, cisimlerin ısıtıldığında yaydıkları fotonlar hep aynı çizgisel birleşimde olduğunu anlamışlardır. Fotonun büyük bir bölümü tek bir frekanstan yayılmaktadır.

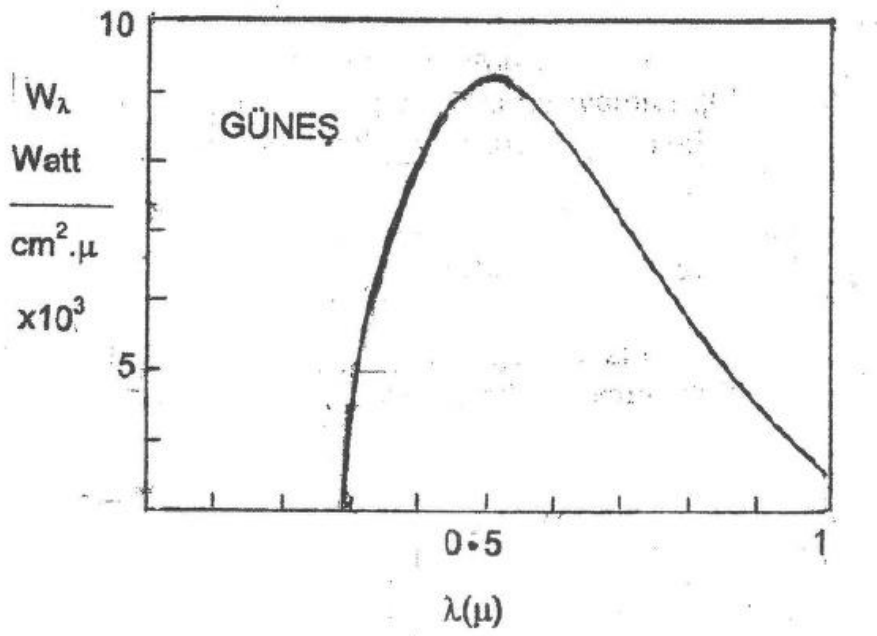
Sıcaklık değeri yükseldikçe tepe frekans daha mavi (daha kısa) dalga uzunlukları kayıyor, bu durumda önce kırmızıdan sarıya, sonra mavi-beyaza doğru ilerleme katlediyor. Siyah cisim ışıması terimini kullanılmasının sebebi ısıyı en iyi üzerinde emilime uğratan koyu renk cisim olduğunun göstergesidir.




**Şekil 2.10.** Güneş ve kara cisme ait tayf kıyası [5]

Siyah cisim ışımasını anlamaya çalışan bilim insanı Max Planck, ısı ve ışık fizik bilimi üzerine çalışan bilim insanlarıyla birlikte ele alıyordu. Max Planck, elektromanyetik fotonlaşmanın, termodinamik alt yapısını ısıyı ele aldığı gibi farklı açıdan da ele alınması gerektiğini düşünmüştür. Sıcaklığın pek çok parçacık arasındaki ısı enerjisi paylaşımı olmasından yola çıkan Max Planck, elektromanyetik enerjiyi de bir elektromanyetik salıngaç kümesi veya nano dünyada elektromanyetik alan birimleri arasında bölüştürdü ve ışığı bu durumu tanımlanır. Her elektromanyetik durumun enerjisini frekansla orantılandırarak E=hυ denklemini elde etti. Burada E enerji, υ ışığın frekansı, h ise Planck sabiti denen sabit bir

sayıdır. Elektromanyetik enerjiyi birçok salıngaç arasında sınıflandırma en olası yolunu bulan Max Planck'ın modüler enerjinin büyük bölümünü ortadaki frekanslara yönlendiriyor. Bu, tepeli siyah cisim spektrumuna da uyuyordu. [6]




**Şekil 2.11.** Güneş için ışımanın spektral dağılımı

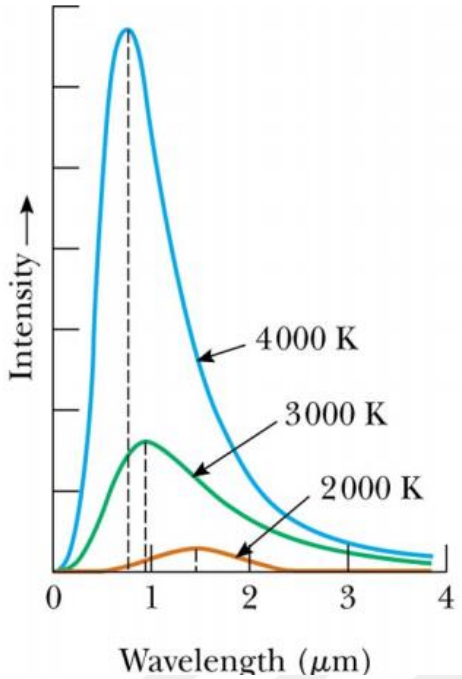
Siyah cismin birim yüzeyinin ($cm^2$), bir μ ($10^{-3}$mm:mikron) dalga uzunluğu aralıklarında yaydığı foton spektral dağılımı, $W_\lambda$ eşitlik 2.1 ile verilmektedir.

$$W_\lambda=[3.74x10^4/\lambda^6].[e^{14388/\Lambda t}-1]^{-1} \ \frac{watt}{cm^2\mu} \qquad (2.1)$$

λ : dalga boyu, μ
T: Maddesi Mutlak Sıcaklığı, °K

"Sıcaklığı yaklaşık T=5900°K olan güneş için birim yüzeyin yaydığı ışımanın dalga boyu ile değişimi Planck eşitliğinden hesaplanmış ve şekil 2.11' de sunulmaktadır. Bu durumda ki gibi güneş optik bandın her üç bölgesinde de ışıma yapar. Işıma en çok 0.4 - 0.7 μ civarındadır ve insan gözünün duyarlı olduğu bölgeye karşılık gelir." [7]

### 2.1.2.2.Wien Eşitliği




**Şekil 2.12.** Kara cisim ışıma grafiği

Işımanın maksimum değerde olduğu dalga boyu olan $\lambda_{max}$, Wien eşitliğinden hesaplanır. Sıcaklık değeri yükseldikçe toplam enerji değeri de artış gösterir (eğrilerin altında kalan alan). Sıcaklık değerinin artışı eğrilerin maksimumları sola doğru kaymaktadır.

**Wien Yerdeğiştirme Yasası:**

$$\lambda_{max} . T = 0.2898 \times 10^{-2} m. K \quad (2.2)$$

$\lambda_{max}$ dalga uzunluğunda, maddenin bir $cm^2$ yüzeyinin yaydığı enerji eşiği 2.3'ten hesaplanır.

$$W_m = (1.286 \times 10^{-15}). T^5 \frac{watt}{cm^2.\mu} \quad (2.3)$$

Örnek; "sıcaklığı yaklaşık T = 1800 °K olan mum alevi, ışımayı en çok 1.6 μ dalga boyunda yapar. Mum alevinin $cm^2$ si bu dalga boyunda 24 watt enerji yayar." [7]

### 2.1.2.3.Stefan-Boltzmann Eşitliği

Planck eğrisinin λ = 0 - ∞ arasındaki integrali Stefan-Boltzmann denklemini verdiği görülmektedir. Bu eşitlik 2.4 denkleminde verilmiştir.

$$W = \sigma . T^4 \text{ watt/cm}^2 \quad (2.4)$$

σ : Stefan-Boltzmann sabiti

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-12} \frac{watt}{cm^2 K^4}$$

Başka bir deyişle eşitlik 2.4 cismin bir $cm^2$ yüzeyinin yaydığı toplam enerji miktarı. Bu durum teoride ki Güneş gibi siyah cisimler için geçerli olduğu görülmektedir.
Siyah cisimlerin, üzerinde ki enerjinin tümünü emer (yansıtma sıfırdır). Aynı durumda enerjinin yine tümünü fotonlaşan ışık yolu ile yayılmaktadır. Pratik durumda ise maddeler daha çok "gri cisim" durumundadır. Bu açıdan sahip olunan enerjinin belli bir yüzdesini foton ışıması ile verilmektedir. Bu yüzde miktara ışıma salınım gücü denir ve ε ile gösterilir. Siyah cisim için ε = 1.00. Bu durumda Stefan-Boltzmann denklemleri gri cisimler için eşitlik 2.5'de verilir. [7]

$$W = \varepsilon . \sigma . T^4 \quad \text{watt/cm}^2 \quad (2.5)$$

ε : Emissivite %

Emissivite (ışıma salınım gücü) değerleri, maddenin iç yapısından çok yüzey durumunu belirler. Emissivite, terimi ayrıca maddenin yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Bir çok yüzey için ε değerleri tablo 2.1'de listelenmiştir.

| **Yüzey** | **°C** | **ε %** |
|---|---|---|
| Çelik(parlak) | 38 | 7 |
| İnsan derisi | 32 | 98 |
| Siyah boya | 21 | 92 |
| Mum isi (Lamp Black) | 40 | 95 |

**Tablo 2.1.** Çeşitli Yüzeyler için ε değerleri

Sonuç olarak, bir maddenin yaydığı termal IR ışıma miktarı maddenin; sıcaklığına T, emissivitesine ε, yüzey alanına A, bağlıdır. Bu durumda en önemli kıstas sıcaklıktır. Bu durumda ışıma miktarı sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle orantılı olduğu görülmüştür ve T değerindeki küçük bir değişme dahi ışıma miktarını önemli ölçüde etkilenmektedir.

## 2.2.İnsanın Yaydığı Termal Işıma

Canlı vücudunun ortalama yüzey alanı A = 0.6 $m^2$ elbise ile birlikte yüzey sıcaklığı 32°C = 305° K, emissivitesi ε = %98'dir. Bu durumda göre canlının yaydığı tüm termal IR ışıma miktarı:

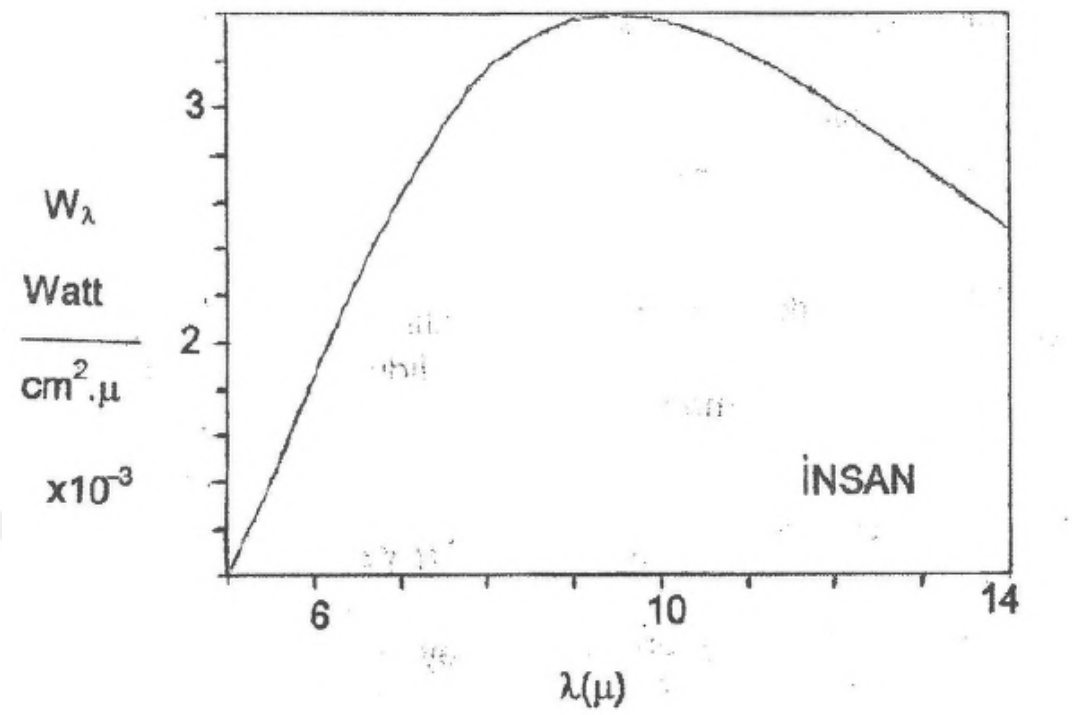
$W = \varepsilon.\sigma.T^4.A = 289$ watt

Işımanın en yüksek seviyede ki dalga uzunluğu:

$\lambda = 2898/T = 9.5\mu$

9.5μ dalga boyunda insanın yaydığı toplam ışıma

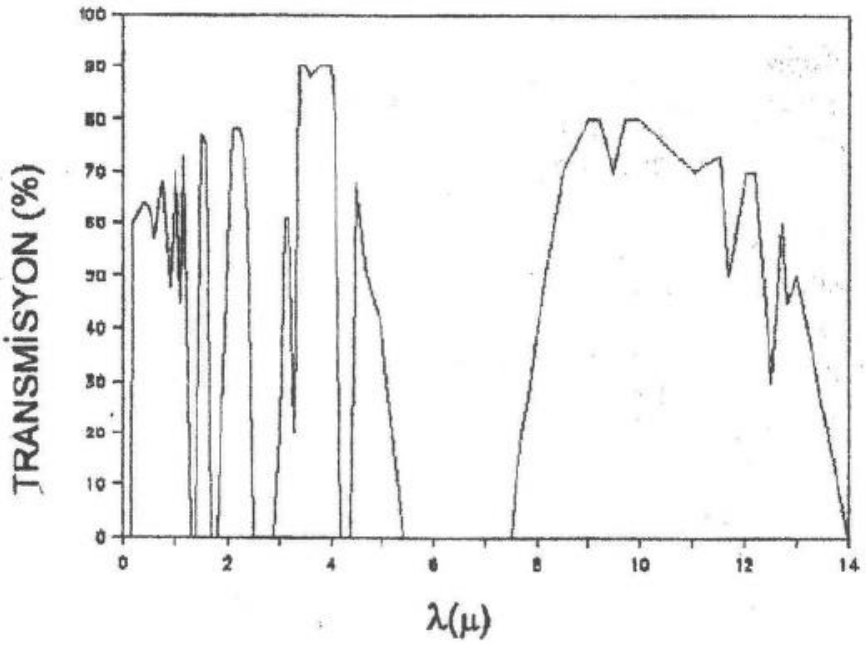
W = 20.4 watt




**Şekil 2.13.** İnsan için IR ışımanın λ ile değişimi

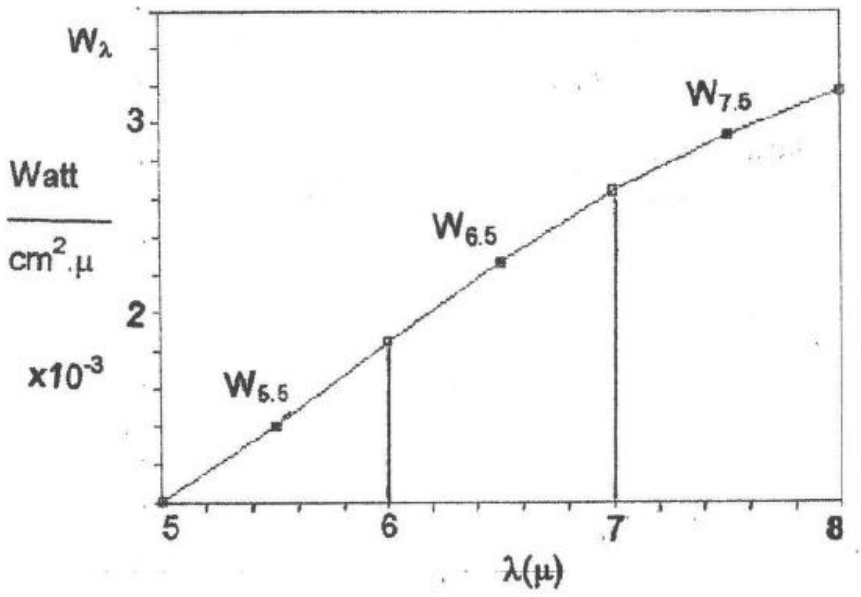
Canlının yaydığı termal ışık IR dalga uzunluğuna göre spektral konumunu bulmak için eşitlik 2.1 ile verilen Max Planck denklemi kullanılmaktadır ve sonuç şekil 2.13' de sunulmaktadır.

Canlının yaydığı IR ışık algılama ve görüntüleme için kullanılmak istendiğinde atmosferin emici etkisinden dolayı. Atmosfer λ= 5-8 μ ve λ > 14μ infrared dalga uzunlukları hemen hemen geçirmez. Yani atmosfer transmisyonu bu dalga uzunlukları için yaklaşık sıfırdır.




**Şekil 2.14.** Atmosferin Transmisyonu

Atmosferin emici foton ışıma miktarı Max Planck eğrisi üzerinde λ=5μ ve λ=3μ arasında trapezoidal integral ile hesaplanır.




**Şekil 2.15.** λ=5-8μ arası trapezoidal integral

λ=5-8μ aralığı, bir μ genişliğinde 3 banddan oluşur. Bandların orta noktaları : λ=5.5μ, 6.5μ, 7.5μ .Planck eşitliği bu dalga boyları ve T=305 °K için hesaplandığında

$$W_{5-8} = W_{5-5} + W_{6-5} + W_{7-5} = 6.6 \times 10^{-3} \text{ watt/cm}^2 \quad (2.6)$$

Bu durum elde edilir ve sayısal değer canlının ortalama yüzey alanı ve ε = 0.98 ile çarpıldığında 39 watt sonuç değeri olarak bulunur ki canlının yaydığı tüm IR değeri %14 kadar hesaplanır

Atmosferin etkisi nedeniyle canlının termal IR ile görüntülenmesinde 8-14 μ arası duyarlı dedektörler kullanılmaktadır. Canlının bu dalga boyu aralığında yaptığı ışık fotonu miktarını bulmak için yine trapezoidal integral yolu ile hesaplamalar yapılırsa 110 watt değeri elde edilir.[7]

### 2.3.Infrared Işımanın Görünür Işığa Dönüştürülmesi

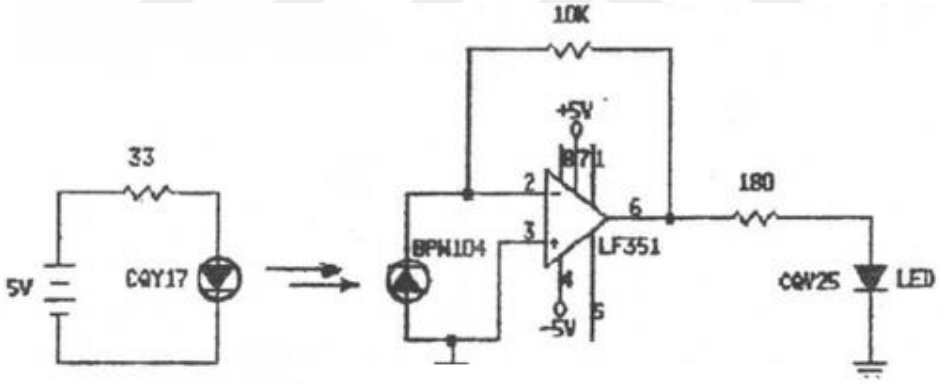
IR Işımanın görünür bölgede ki ışığa (GI), dönüştürülmesi iki aşamada yapılır.

**a.** IR Işıması, IR duyarlı bir dedektörde foto-akım oluşturmaktadır.

**b.** Foto-akım, GI yayan bir LED'e verilir ve GI çıkışı sağlamaktadır. Örnek devre şekil 2.16'de sunulmaktadır. Bu açıdan IR kaynak örneği olarak CQY17 IRLED belirlenmiştir. Bu durumda IR kaynağı uçak motoru gibi yapay veya canlı gibi doğal termal IR kaynağı da olabilmektedir. GI yayan LED olarak seçilen CQV 25 yeşil ışık verir. Bu durum nedeni ise canlı gözünün en duyarlı olduğu dalga uzunluğu λ = 0.55 μ , Tablo 2.2'de yeşil ışık olmasıdır.

| **Renk** | **Dalga boyu,µ** |
|---|---|
| Mor | 0.40 – 0.45 |
| Mavi | 0.45 – 0.50 |
| Yeşil | 0.50 – 0.57 |
| Sarı | 0.57 – 0.59 |
| Turuncu | 0.59 – 0.61 |
| Kırmızı | 0.61 – 0.70 |

**Tablo 2.2**. Renkler ve dalga boyları




**Şekil 2.16.** Örnek devre IR → GI dönüşümü

## 2.4.Termal Kamerada Görüntü İyileştirme

Termal görünüm içerisindeki karmaşanın azaltılması, kenarların durumunun belirginleştirilmesi, karşıt durumun artması, canlı gözünün fark edemeyeceğini bu durumda görüntünün içinde bulunan bilgilerin göz ile görünebilir bölgeye taşınması için kullanılan tekniklerin genel durumudur. Bu durumda karşıtlık, histogram, filtreleme, keskinleştirme, sahte renklendirme ve değişiklikleri büyütme gibi teknikler kullanılmaktadır. İşlenecek görüntünün özelliklerine ve amaca uygun görüntü işleme tekniklerinin oluşması bu açıdan çok önemlidir.[8]

## 2.5.Termal Kamerada Görüntü Analizi

Cisimlerin görüntülerinin incelemelerinde ki değer kazanan konular görüntü üzerinde ilgilenilen şekil ve "arda kalanı" arasındaki farkları ayırt edilmektedir. Bu açıdan görüntü faktörü ölçeklendirme, sınıflandırılarak ve ölçeklendirilen cisimlerin tanınması durumudur. Görüntünün incelemesinde giriş kısmı resim iken, çıkışta resimden edilen durumlar bulunmaktadır. Resmin iç tarafında ilgilenilen açıyı bulmaya yarayan tekniklere bölümleme teknikleri denmektedir. Bölümleme tekniklerinde parlaklık eşik değeri olarak verilen bir θ değeri seçilir ve görüntüye uygulanır. Sistemin algoritması daha açık renk üzerinde daha koyu kısımları ya da tersi olarak koyumtırak da parlak kısımları arar. Bu doğrultuda "madde" ve "arka plan" iki kısmı belirlenmektedir. Şekilde sokaktaki termal yaya görüntüsünün eşikleme durumuna tabi olmuş resim verilmektedir. [8]



**Şekil 2.17.**Termal Görüntü



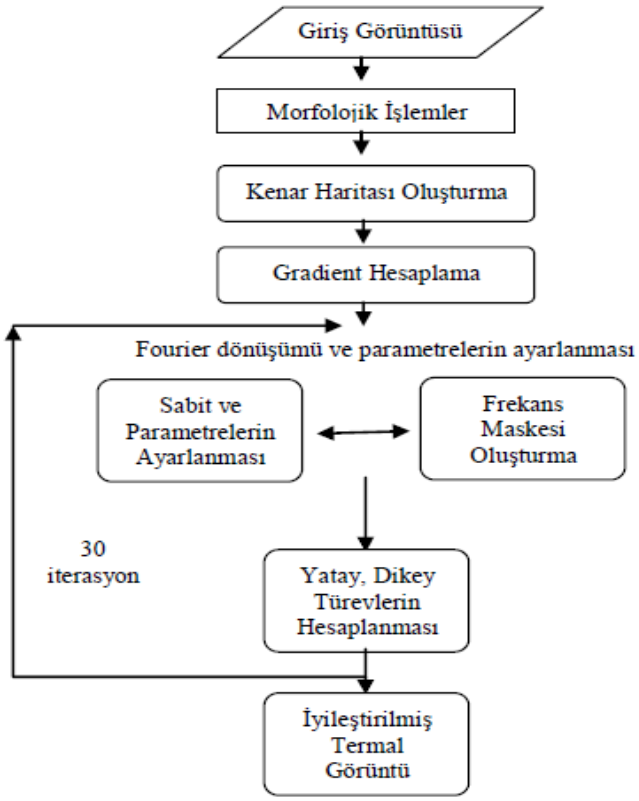
**Şekil 2.18.** Eşikleme Sonucu

## 2.6.Termal Kameralarda Geliştirilen Uygulama Yöntemi

Bu çalışmada matematiksel morfoloji, gradient bilgisi ve fourier dönüşümü birlikte kullanılarak termal görüntülerin iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca görüntünün arka planı, görüntüde bulunan gürültü ve diğer istenmeyen nesneler yok edilmiştir. Giriş görüntüsü morfolojik işlemler ile kısmen iyileştirilerek, iyileştirilen görüntünün kenar haritası gradient metodu sonucu elde edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda kenar görüntüsünde var olan az miktarda gürültü fourier dönüşümü yardımıyla giderilerek termal görüntüdeki nesneler belirgin bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Fourier dönüşümü ile termal görüntü frekans uzayına taşınır ve bir frekans maskesi kullanılarak termal görüntü belirlenen iterasyon rakamına kadar iyileştirilmektedir. [8]

Her iterasyonda elde edilen daha iyi kenar sonuçları başlangıç kenarları olarak alınır ve sonraki iterasyona verilir. Bu açıdan belirlenen iterasyon ile diğer iterasyondan elde edilen bilgiler dikey ve yatay bilgilerde kullanılır. Bu çalışmada Fourier dönüşümü, görüntüde sık tekrarlanan piksel değerlerini ortaya çıkarmak ve vurgulamak için kullanılmıştır. Fourier dönüşümüne giriş görüntüsünün kenar haritası verildiği için, görüntünün sıklıkla tekrar eden piksellerde kenar pikselleri olmaktadır. Bu şekilde yaklaşık 30 iterasyon sonucunda termal görüntüdeki kenar

değerleri görüntü arka planının üzerinde doğrudan göze çarpmaktadır. Dolayısıyla bölümleme, nesne takip gibi ileri uygulamalarda girişte kullanılan gürültülü ve karmaşık termal görüntü yerine, geliştirilen teknik ile elde edilen görüntü kullanılabilir. İleri uygulamalarda iyileştirilen termal görüntü kullanımı kullanılacak yöntemlerin oluşan metotların gerçekliği, uygunluğu ve hızlı olması yönünden etkilemesi söz konusudur. Bu açıdan belirlenmiş düzeltilmiş termal resimlerde karmaşa olmamakla beraber parlak olması ve zıtlık düzeyleri optimum şekilde elde edilmektedir. [8]




**Şekil 2.19.** Geliştirilen Tekniğin Akış Diyagramı Basamakları

## 3.TERMAL KAMERALARIN KULLANIM ALANLARI

Elektrik sistemindeki ısınmayla ilgili problemlerin bir çok nedenleri vardır, en çok olanı bağlantılardaki boşluk ve aşırı yüklenme ve fazlar arasındaki dengesizliktir. Ayrıca, tesislerin konumu nedeniyle, makine ve ekipman titreşime maruz kalabilir. Üç fazlı sistemdeki yüklerin zayıf dağılımı faz dengesizliğine, dolayısıyla bağlantının aşırı yüklenmesine ve ısınmasına neden olur, bu nedenle elektrik sisteminin aşırı ısınmalardan kaynaklanan kaza ve patlama risklerini önceden tespit etmek de önemi çok büyüktür termal kameraların.



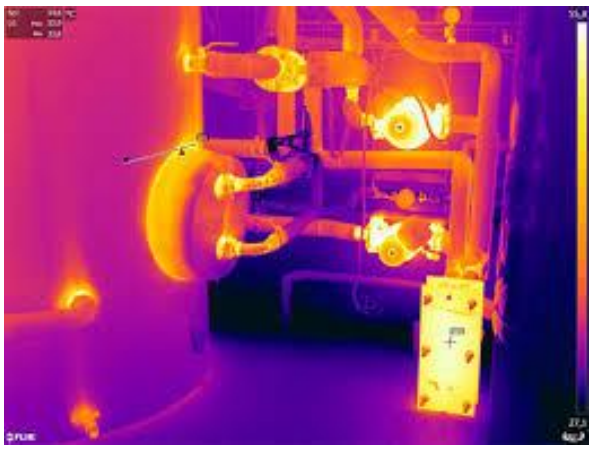

**Şekil 3.1.** Termal kamera ile elektrik üretimi izlemesi

Termal görüntüleme yöntemi ile zifiri karanlıkta dahi görüntü alınabildiği için, özellikle askeri alanlarda sınır bölgelerinin askeri güvenliğini en üst durumda tutma hedefiyle kullanıldığı görülmektedir. Kaçak geçişleri tespit etmede, terör örgütü çalışmalarını önceden teşhis etmede, askeri personelin can güvenliğini sağlamada, gece görüşü, hedef algılama, düşman tespitinde, sınır geçişlerini kontrol etmekte yardımcıdır. Gizlenmek genel olarak ışıklı ortamlardan kaçmakla sağlanır ve gizlenme yerleri doğal ortamda genellikle ormanlar ve çalı arkalarıdır. Kızılötesi termal görüntüleyici objelerin termal radyasyonlarını pasif olarak alır. İnsan vücudunun ve araçların sıcaklıkları ile kızılötesi radyasyon alanları, çalılık ve orman ağaçlarınınkinden çok daha fazla ve büyük oldukları için, termal görüntüleyici sayesinde, suçlular kendilerini gizleme de zorluk çekerler.

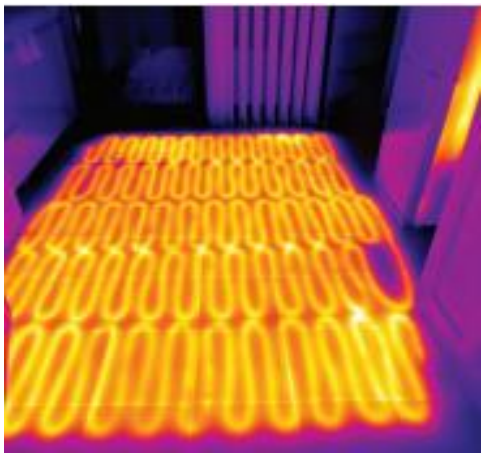


**Şekil 3.2.**Tarım arazilerine termal kamera kurulumu

Su buharı, birçok basınçlı gaz, ısı seviyesi yüksek su, sıcak hava buharı taşıyan sistemlerim problemlerinin tespiti, optimize edilmiş olan dereceden daha düşük ya da çok daha yüksek derecelere ulaşılması planlanan bu bileşenler problem üreteceği için, termal görüntüleme ile sorunu öncesinden algılayabilmek mümkün olmaktadır.



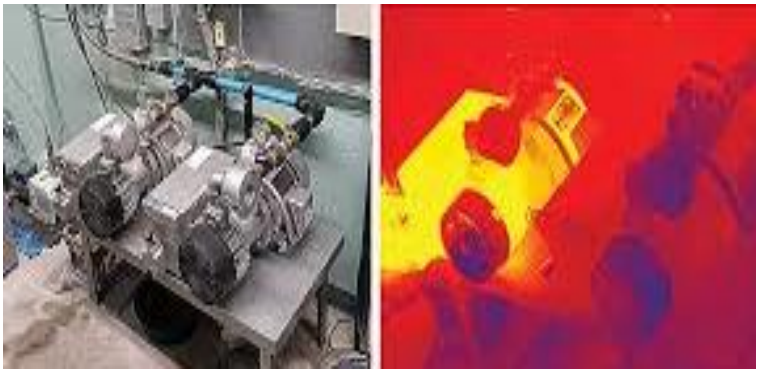
**Şekil 3.3.** Kalorifer kazan dairesi termal kamera görüntüsü



**Şekil 3.4.** Sıcak su taşıyan sistemlerin kaçaklarının tespiti

Motorlarda rulman parçası veya dönen diğer parçaların yağlanmamasından oluşan sürtünme ve oluşturduğu yerlerin tespiti: Arızalı ve aşırı ısınan motorlar ve jeneratörler ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde birçok problemi de beraberinde getirir. Termal görüntüleme ile aşağıdaki bileşenlerde oluşabilecek muhtemel problemler önceden belirlenebilir.

- Elektriksel Bağlantılar
- Fan Soğutmalı Motorlar
- Rulmanlar
- Sargı Yalıtımları



**Şekil 3.5.** Motor, rulman, dönen parçaların termal kamera görüntüsü

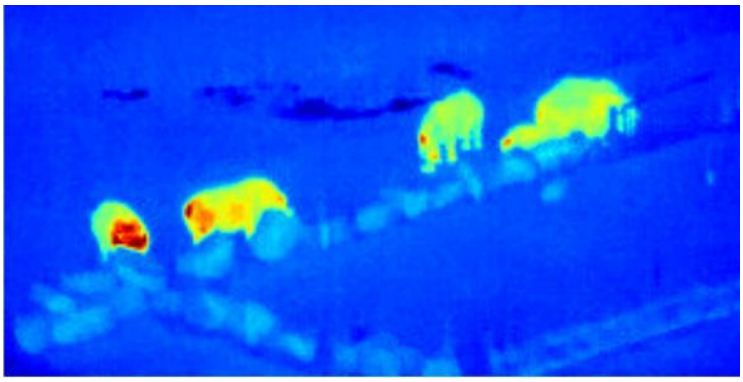
Konutların, iş merkezi, alışveriş merkezi, diğer tüm binaların enerji verimliliğinin belirlenmesi, tüm enerji tüketiminin belirlenmesi için sorunlu bölgelerin tespiti: Bina ısı yalıtım materyalleri iç ortam ısısını dış ortam ısısından ayırmak için ve genellikle aşağıdaki alanlarda kullanılır.

- Çatılar
- Duvarlar
- Isı yalıtım malzeme bitim noktaları
- Kapılar ve pencereler




**Şekil 3.6.**Konutların termal kamera görüntüsü

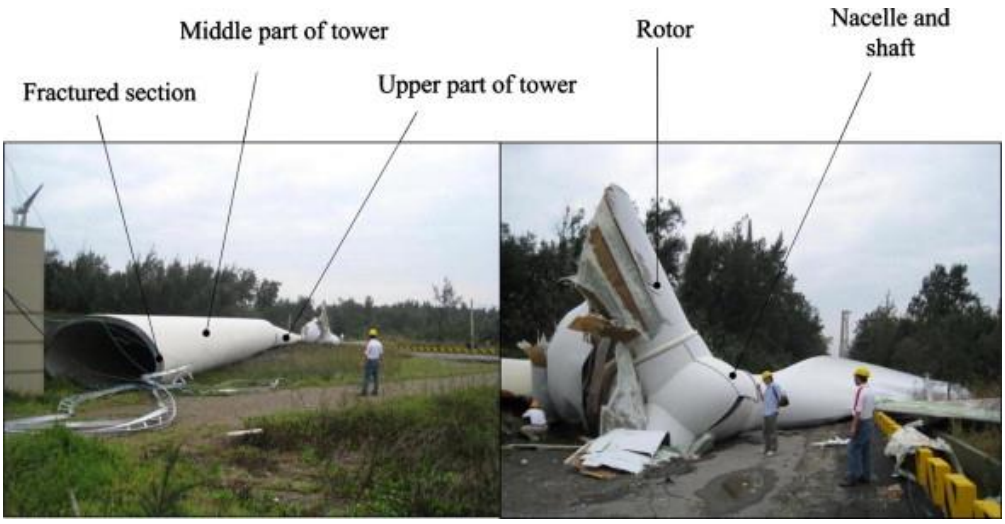
Liverpool John Moores Üniversitesi'nde bir ekolojist nesli tükenmekte olan hayvanları koruma çalışmaları yapıyor. Bu çalışma kapsamında kullanılan droneların üzerine yerleştirilen termal kameralar sayesinde gergedan orangutan ve fillerin birçok türü izleniyor. Ayrıca ormanları yok etme, yasadışı avlanma ve yaşam alanı tahribatına karşı mücadelede de termal kameralar kullanılıyor.



**Şekil 3.7.**Hayvanların termal kamera ile takibi

### 3.1.Rüzgar Enerjisindeki Kullanımları

Rüzgar türbinleri pek çok farklı elektrik ve mekanik parçadan oluşmaktadır. Bütün parçalar ile diğer parçalar eskimeye ve bozulmaya duyarlı olduğu bilinmektedir. Böyle bir durumun olması yüksek maliyetli kesintilere daha da önemlisi ciddi kazalara neden olabilir. Örneğin bu kazaların nedeni fren sistemindeki ya da şanzımandaki bir hata olabilir. Fren ve şanzıman sistemi kanatların çok hızlı dönmesini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu iki sistemin arızalanması, kanatların hızlı dönmesine ve sistemin arızalanmasına veya kazalara neden olur. Böyle bir durumda rotor kanat uçlarının hızı, kilometrelerce saate ulaşır. Bu hızdan dolayı kanat ve kanadın parçası rotordan kopar ve çok uzağa fırlayabileceği gibi çok yüksek kinetik enerji ve momentum da ortaya çıkabilir. Bu olay, yaşamı tehdit eden kazalara yol açabilir. Bu yaşanmış olayda kopan parçaların 10 kilometre uzakta bulunduğu görülmüştür.




**Şekil 3.8.** Arızalanmış rüzgar türbini

Termal kameralar ile yapılacak önleyici bakımlar ile bu tür kazaların olması engellenebilir. Elektrik panolarında, trafo veya enerji nakil hatlarında niteliğini yitiren kablo, sigorta gibi ekipmanların tespit edilmesi ve bu sayede elektrik arkından doğabilecek yangınların engellenmesi mümkündür.

Elektrik ve mekanik sistemlerde genel olarak, arıza olmadan önce problemli noktanın ısınarak kendini belli etmesidir. Termal kamera, sıcaklık artışlarını tespit edebilir ve herhangi bir kaza olmadan önce problem giderilebilir.

Elektriğin iletimiyle devre planları üzerinde korozyonla gevşeyen vidaların yuva kısmında çok küçük boyutta boşluk alan oluşmaktadır. Hava sirkülasyonunda ki rüzgar nem kuvvetin de etkisiyle bu boşluğa girmekte ve aralıklar korozyona neden olabilmektedir. Elektriksel iletimin esnasında metal vidanın korozyonla bozulası sistem için direnç görevi görür ve ısınma kat sayısı artar. Bu sebeple enerjide seviye faktöründe ki değişimler termal kamera ile gözlenebilmektedir ve oluşan potansiyel sorunlara karşı erken çözüm alınmalıdır. Bunun durumda elektrik sistemlerinin düzenli kontrolü oluşabilecek sıkıntıların önüne geçmektedir. Ayrıca sistemin üzerinden elektrik akımının geçmesi sıcaklık kat sayısını yükseltir, oluşabilecek bir sıkıntıdan dolayı elektrik akımının kesildiği sorunlar ve sonrası ise sıcaklık değeri

düşük ölçüleceğinden dolayı sorunun nerede meydana geldiği fiziki kontrol olmadan tespit edilmektedir.



**Şekil 3.9.** Arıza nedeni ile yanan rüzgar türbini

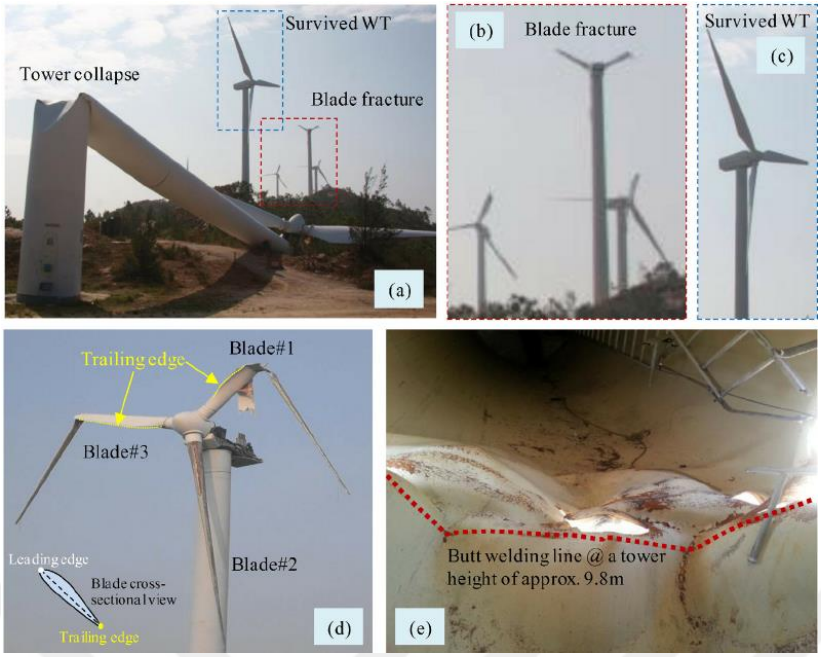
Termal görüntü, problemin görülmesini sağlar. Diğer ölçüm teknolojileri, makinada problem olduğunu bulur fakat termal kamera kullanıcıya hatanın nerede olduğunu gösterir. Güvenilir, hızlı ve verimlidir. Termal görüntü; yataktaki aşınmaları, şaftlar, dişliler, rulmanlar ve frenlerdeki ısınmaları tespit edebilir. Bu tespitle de arıza meydana gelmeden gerekli bakımlar yapılıp, tedbirler alınabilir.



**Şekil 3.10.**Termal kamera entegreli drone ile türbin incelemesi

Rüzgar türbininde rotor kanatları, bir türbinin kinetik enerjiyi elektriksel enerjisine çevirmesidir. Kanatların ana parçası kompozit malzeme olması üretilen bu türbin parçalarının hem üretimi, hem de ileride işletimi sırasında çok büyük kuvvetsel yüke maruz kalmalarıyla, stabil çalışması için kusursuz olmaları gerekmektedir.

Bir rüzgâr türbinini üretimi yapan ile müşterisi, fiziki müdahale olmadan kızılötesi termografiyle türbinin rotor kanatlarının daimi olarak en iyi şekilde çalışmasını sağlamak için türbinin rotor kanatlarına ve kanat içine kesin bir şekilde göz atabilmektedir. Bu açından termal kameralar probleme ayrıntılı çözüm bulmayı sağlamaktadır.




**Şekil 3.11**. Hasar gören rüzgar türbin parçaları

Teknolojik sürecin hızla ileri doğru gitmesiyle sektördeki tüm üreticilerin ürettiği türbinlerin standartları ve kapasitesi iyice yükselmiştir ve önemli bir durum olarak kanatların iç dizaynı, malzemesi ve üretim türü önem oluşturur. Bu açıdan günümüzde rüzgâr türbini kompozit kanatlarının, türbin üretim verimliliğinde ciddi ölçüde etkisi görüldüğü kabul edilmekte mühendislik teknolojisi olarak da önemli yatırımlarıyla sürekli gelişim göstermektedir.



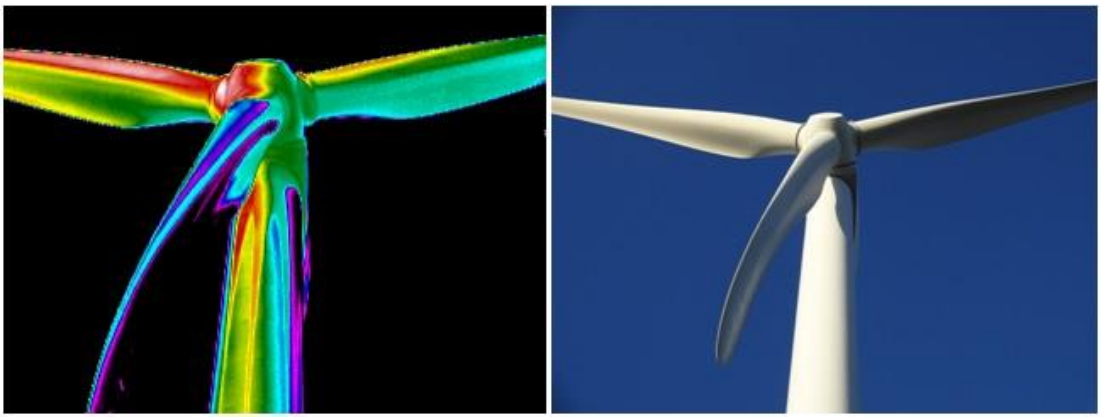
**Şekil 3.12.**Termal kamera entegreli drone

Rüzgâr türbini kompozit kanatlarından en önemli beklenti; her türlü duruma karşın uzun sürede sağlamlığını korumalı, aerodinamik yapısı olarak türbinin maksimum enerji üretimine ilave katkı sağlaması, tüm dış etkenlere karşı bütünlüğünü ve yüzey kalitesini kaybetmemesi gibi özelliklerdir. Bu kapsamda özelliklerin yerine getirmek için de yapılan tüm fiziki çalışmalar ve geliştirme denemeleri sonucunda rüzgâr türbinleri kanatlarının kompozit malzeme teknolojisi ile üretilmesinin en uygun yöntem olduğu ve kullanılan tüm malzemelerde de her geçen gün daha çok gelişim yaşanması ile bunun desteklendiği görülmektedir. Termal kameraları, kanatlardaki kompozit malzemenin yapısında oluşabilecek hasarların tespitinde kullanmak mümkündür. Kırık olarak kurulan kanatlar tehlikeli olabilir, hatta ve hatta yaşama tehdit oluşturan durumlar ortaya çıkabilmektedir. Termal kamera kullanarak bunun olmayacağından emin olmak mümkündür. Arıza ya da kaza meydana gelmeden hangi kanadın değiştirilmesi gerektiğinden emin olmak bu sayede mümkündür. Kompozit malzemelerdeki delaminasyon ve mikro çatlakların tespit edilmesi, termal kameralarda bulunan pulse termografi yöntemi ile yapılmaktadır. Kompozit malzeme, lamba kullanarak uyarılır. Daha sonra malzeme üzerindeki termal dağılım termal kamera ile izlenir. Pervanedeki sıcaklık farklılıkları hatanın nerede olduğunu gösterir.



**Şekil 3.13.**Rüzgar türbin kanat deformasyonu

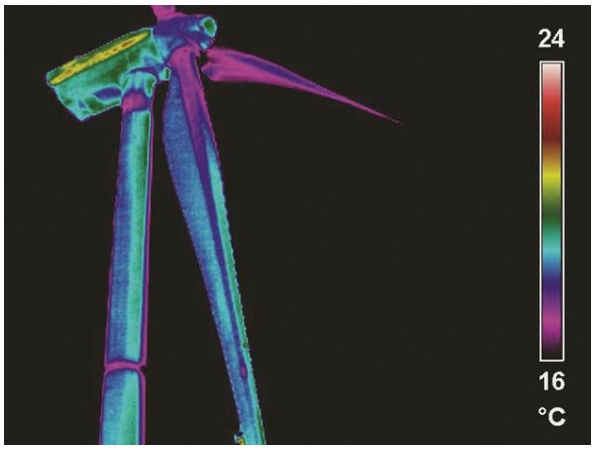
Kanadın kalitesi sürekli olarak kontrol edilmektedir. Görülemeyen iç bölgeler termal kamera ile dış kısmı ise yetkili personeller tarafından kontrolü yapılır.



**Şekil 3.14.** Termal kamera ile türbindeki kompozit malzeme analizi

Kompozit metal malzeme denilince akla, birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmayan birden çok elementsel malzemenin bir araya gelmesi ile ortaya çıkan özelliklere sahip yeni bir dayanıklı malzemenin çıkması görülmektedir. Her bir kompozit malzeme çoğunlukla iki şekilde bulunur; matris ve takviye malzemesi olarak da bilinen bu malzeme türü takviye malzemesi (reinforcement) taşıyıcı görevi kapsar ve etrafında bulunan diğer matris fazı ise onu bir açıdan birleştirmeye ve desteklemeye yaramaktadır. Günümüzde önem gittikçe artan kompozit malzeme en bilinen betonarme sistemlerde kullanılır. [11]

Teknolojik gelişim, dinamik ve sistematik bir yapıya sahip olmasından kompozit bütün malzemelerin maliyetinin planlamasının çok daha aşağıya düşürülmesiyle kullanım verimliliğinin çok daha fazla yükselmesi üretilen ürüne ilişkin bütünsel bütün problemlere çözüm getirilmesine imkan oluşturması sayesinde çok daha çeşitli iş kollarında artan bir kullanıma sahiptir.




**Şekil 3.15.**Termal kamera ile rüzgar türbin analizi

## 3.2.İnsansız Hava Araçlarıyla Enerji Kayıplarının Tespiti

Enerji kayıplarını kısa süre içerisinde tespit eden ve tanımlayan, termal Kamera ile donatılmış insansız hava aracı (Drone-Uçangöz) sistemi tasarımı ve üretimidir. Farklı yapılardaki veya sistemlerdeki ısı ve elektrik enerjisi kayıplarını, milli ve kullanıcı dostu bir yazılımla kısa sürede tespit edebilen ve tanımlayabilen, termal kamera ile donatılmış insansız hava aracı (drone-uçangöz) sistemi tasarlanması amaçlanmaktadır.

### 3.2.1. İnsansız Hava Araçlarıyla Yapılan Çalışmalarda ki Hedef

Arazide kurulmuş; farklı üretim kapasitesine sahip Güneş Enerji Santrallerinde (Sulama amaçlı kullanılan 2kW ile enerji üretiminde kullanılan, 5MW'a kadar GES dahil) kullanılan farklı fotovoltaik panellerde ayrıca ulaşılması zor olan, çatı üzeri güneş enerjisi üretim sistemlerinde (1kW ve üzeri) kullanılan farklı fotovoltaik panellerde meydana gelebilecek arızaların veya hataların, yerli bir yazılım üretilerek, kısa zamanda tespit edilmesi ve tanımlanarak, elektrik enerjisi kayıplarının ortaya çıkarılmasıdır. Binalarda veya benzeri yapılarda ısı kayıplarının kısa zamanda, yerli bir yazılım üretilerek tespit edilmesi ve tanımlanarak, kayıplarının giderilmesidir.

### 3.2.2. İnsansız Hava Araçlarıyla Yapılan Önceki Çalışmalar

Güneş enerjisi teknolojisiyle elektrik üretim yapan tesislerde (arazi tipi veya çatı üzeri sistemler), temel amaç; en yüksek verime sahip enerji üretimini sağlamak ve bunu sürdürebilmektir. Bu sebeple; maksimum enerji üretimi, risklerin azaltılması, tesiste kullanılan cihaz ve donanımların kullanım sürelerinin sağlıklı yönetimi ve yatırım geri dönüş sürelerinin azaltılması gibi hedeflere ulaşmak amacıyla; üretilen enerjinin takibi ve sistemin devamlı olarak kontrolü gerekir. Güneş enerjili elektrik üretim tesislerinde, kullanılan fotovoltaik panellerde, eviricilerde ve trafolarda meydana gelebilecek herhangi bir arıza enerji üretimini düşürmektedir. Bu arızaların bir kısmı, zamanında tespit edilemez ise daha büyük arızalara veya hatalara sebep olabilmektedir. Bu arızaların erken tespit edilememesi ve dolayısıyla zamanında müdahale edilememesi bu sistemler için önemli bir problemdir.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün en son yayınladığı toplam enerji tüketim raporuna göre (Sankey-Diagramları 2015); %99,49'unu ithal ettiğimiz doğalgazın, %43,42'si meskenler tarafından kullanılmaktadır. Kamu kurumları ve özel sektörün de dâhil edilmesi ile bu oran artmaktadır. Meskenlerde kullanılan doğalgaz miktarının çok büyük bir kısmı (yaklaşık olarak %95'i) ısınma ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra ısınma ihtiyacımızı karşıladığımız petrol ve kömürü de dikkate aldığımızda; büyük bir kısmını ithal ettiğimiz enerji kaynaklarının önemli bir kısmı ısınma için kullanılmaktadır. Kamu, özel sektör ve meskenlerde meydana gelen ısı enerjisi kaybının önlenmesi milli bir hedef olmalıdır. Bu açıdan ekonomik olarak sadece düşünmeyelim, aynı doğrultuda çevresel etkilerinden dolayı da binalarda meydana gelen ısı ve sıcaklık kayıpları önemli bir sorunudur.

Bu çalışmada; yukarıda bahsedilen elektrik ve ısı enerjisi kayıplarını kısa sürede milli ve kullanıcı dostu bir yazılımla tespit edebilen ve tanımlayabilen, termal kamera ile donatılmış insansız hava aracı (drone-uçangöz) sistemi tasarlanması ve üretilmesi amaçlanmaktadır.

## 4.KAPSAM ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI:

Doğada fosil yakıt olarak belirlenen tüm kaynaklardan elde edilen enerjinin üretimi ve çevreye verdiği zararları bilinmekte olduğu, bu fosil kaynakların yakın dünyada tükenecek olması ve sadece ulusların değil insanlık tarihinin de bir problemi olmaya başlamaktadır. Bundan dolayı; son 100 yıl içerisinde farklı sistematik yöntemlerle elektriksel üretim çalışmaları çoğalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılırsa, Güneş, Rüzgar, Bio-Gaz/Kütle, Jeotermal kaynak, Su hidroliği (hidroelektrik santraller, dalga enerjisi vs.) gibi bir çok kaynak kullanarak enerji üretmeye yönelik çalışmaları artmıştır. Nerdeyse tüm bu yenilenebilir enerji kaynakları üzerine planlanan çalışmaları genellikle şu ana başlıklar altında birleştirebiliriz; *yenilenebilir enerji sistemlerinden enerji üretimiyle (ve verimini arttırma) , üretilen elektriksel enerjinin depolanmasıyla, üretilen tüm enerjinin güvenliği* ve *üretilen enerjinin daha verimli bir şekilde kullanımı* şeklindedir.

Devletimizin cari açığı (ihracat-ithalat oranı) TÜİK 2018 sonuçlarına göre %63,7 olarak görülmüştür. Bu açığın büyük bir kısmı yurtdışından ithal ettiğimiz doğalgaz ve petrolden kaynaklanmakta olduğunu görmekteyiz. Yine yurtdışından ithal ettiğimiz doğalgazımızın, yaklaşık olarak %32,5'i ile elektrik enerjisi üretilmekte olup, diğer kısmının büyük çoğunluğu ise ısınma amaçlı kullanılmakta olduğunu görüyoruz. Bu doğrultuda üretim süreçlerinin önemli bir sonucu olan enerjide, Ülkemiz için ciddi oranında dışa bağımlı olduğunun göstergesidir. Ülkemiz için, sadece 2016 yılında enerji ithalatına harcadığı kısım 27,2 Milyar Amerikan Doları olduğunu görmekteyiz.

Türkiye'nin özellikle son dönemlerde yenilenebilir enerjiye yönelerek bu alanda yatırımlarını artırmıştır. 2019 yılı Eylül ayı itibarıyla kurulu enerji gücümüzün kaynaklara göre dağılımı şu şekildedir:

- %28,6'sı doğal gaz
- %31,4'ü hidrolik enerji
- %22,4'ü kömür
- %8,1'i rüzgâr
- %6,2'si güneş

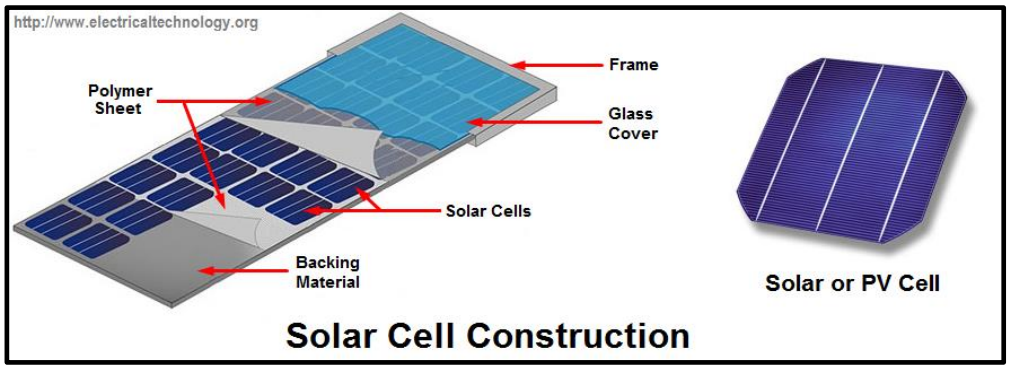
- %1,6'sı jeotermal
- %1,7'si bio-kütle

Şeklinde sıralanmıştır. Fakat bu istatistikler diğer gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün geride kalmakta olduğunu görüyoruz. Temiz enerjideki bu mevcut potansiyelimizi daha fazla kurulu güce dönüştürmek geleceğimiz açısından çok önemlidir.

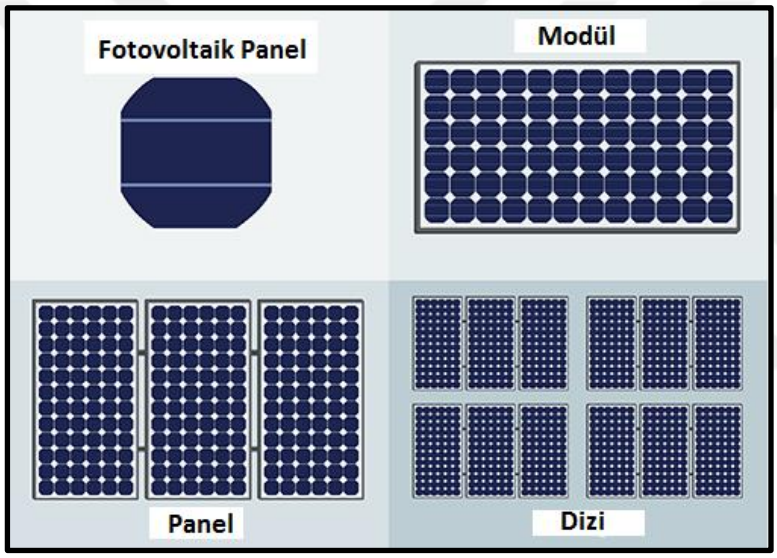
### 4.1.Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik (PV), güneş fotonunu yarı iletken malzemelerle elektrik akımına dönüştürme teknolojisinin bütünüdür. Güneş ışınının yapı taneciği olan güneş fotonunun silikon gibi bazı maddesel yapısı güneş ışınımını direkt olarak elektriksel enerjiye çevirmektedir. Buna fotovoltaik etki denir. Fotovoltaik güneş hücreleri, üzerine güneş ışığı düştüğünde güneş enerjisini doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden oluşan sistemlerdir. Genelde yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilen kristalin güneş hücrelerinin alanı 100 / 156 / 243 cm2 civarında ve kalınlıkları ise 0,2 - 0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş pilleri fotonları(güneş ışınlarının bileşenleri) soğurarak, onların enerjisini elektrik moleküllere(elektron) çevirir. Bu moleküller hücrelerin ön ve arka kısımlarında toplanır.

Burada yaratılan gerilim bir elektrik akımı yaratmaktadır. Modüllere ve panellere monte edilmiş hücreler, yeterince yüksek gerilim elde etmek için kendi aralarında da seriler halinde birbirine bağlıdır. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel yada seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya fotovoltaik modül adı verilir (Şekil 1). Modüller birleşerek, panel ve paneller birleştirilerek diziler oluşturulur (Şekil 2). Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan Megawattlara kadar sistem oluşturulur.



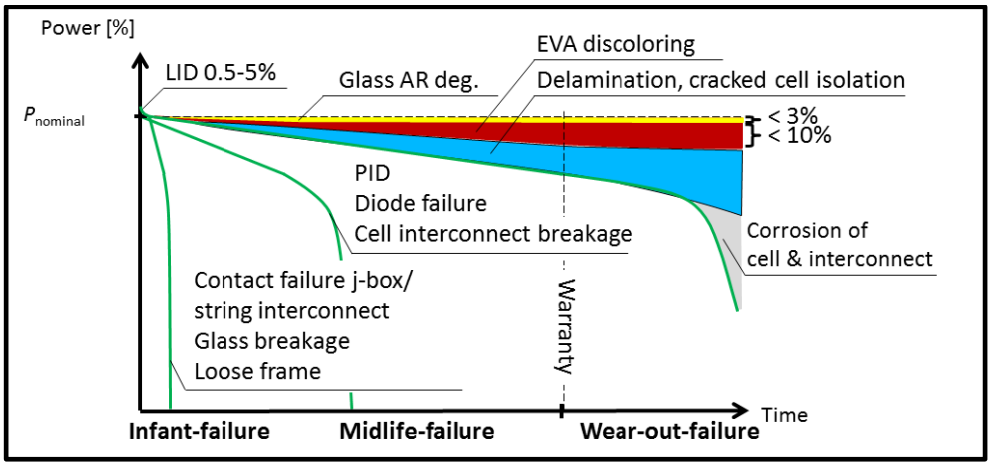

**Şekil 4.1.** Hücre ve Modül




**Şekil 4.2.** Hücre, Modül, Panel ve Dizi

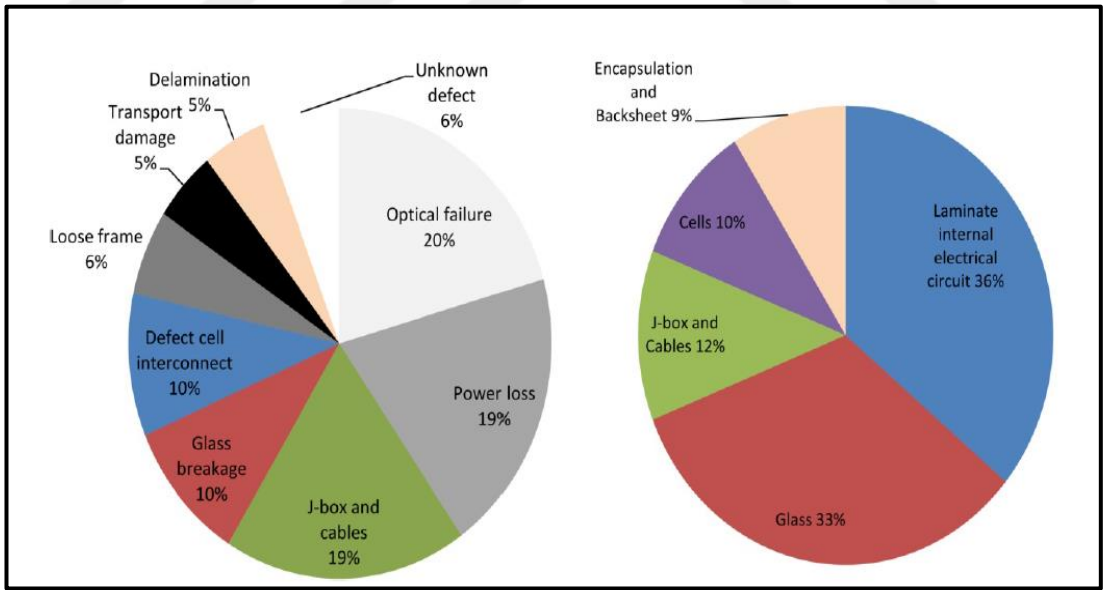
### 4.1.1.Güneş Paneli Sistemlerindeki Arızalar

Güneş enerjili elektrik üretim tesislerinde farklı sebeplerden dolayı kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar, enerji üretimi sırasında çevresel şartlardan oluşabileceği gibi aynı zamanda seçilen donanımların (panel, evirici, trafo vb.) verimlerinden de kaynaklanabilir. Kayıpların büyük bir kısmı bu tip sistemlerin ana bileşeni olan güneş panellerinden kaynaklanmaktadır ve enerji üretiminin performansını etkilemektedir.




**Şekil 4.3.** Arızaların (veya hataların), modülün enerji verimliliği üzerine etkileri

Meydana gelen arıza (veya hataların) modülün enerji verimini ciddi anlamda azaltmaktadır. Ayrıca, sahada montajı tamamlanmış ve faaliyete geçen güneş panelleri üzerine Almanya'da yapılan bir çalışmada; ilk 2 yıl içerisinde ve ilk 8 yıl içerisinde modüllerde meydana gelen arızalar tespit edilmiş ve oranları çıkartılmıştır.

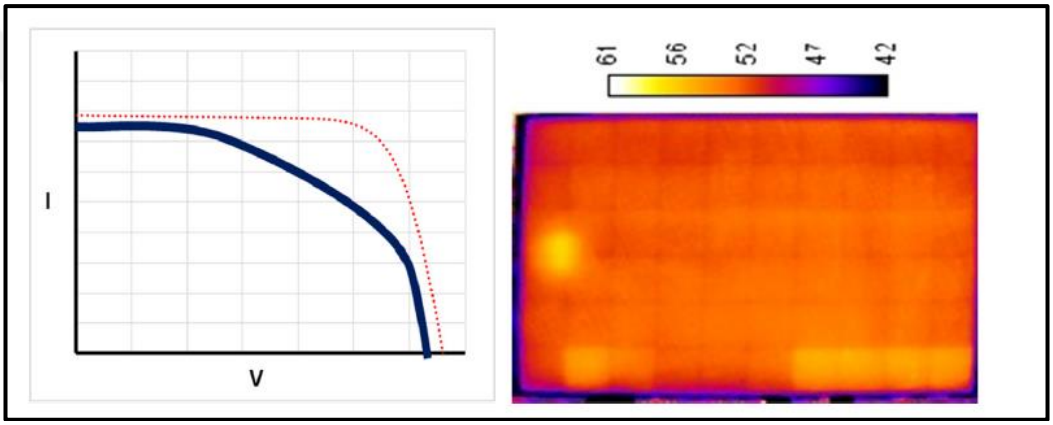



**Şekil 4.4.** İlk 2 yıl içerisinde (solda) ve ilk 8 yıl (sağda) içerisinde karşılaşılan hatalar

Karşılaşılan bazı arıza (veya hatalar) şunlardır;

#### 4.1.1.1.Potansiyel Fark Kaynaklı Bozulma (Potential Induced Degradation-PID)

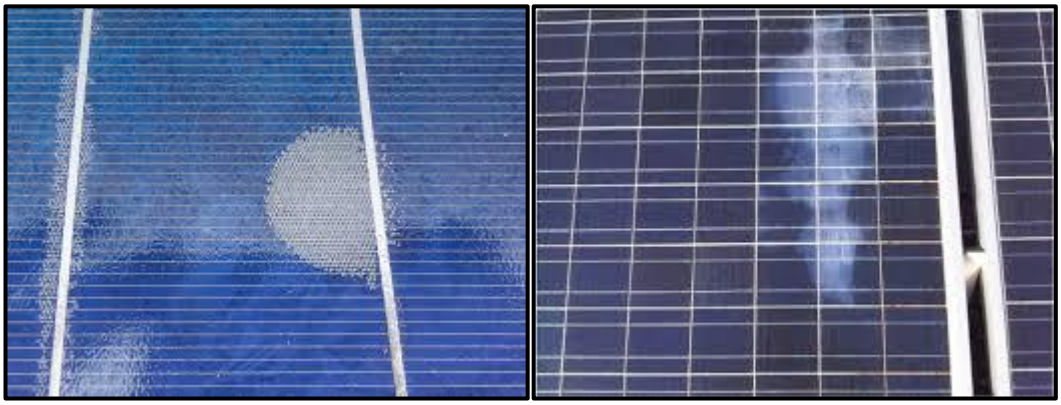
Si (silisyum) kristalli hücrelerden yapılmış modüllerde meydana gelir. Fotovoltaik modülün bulunduğu alüminyum çerçeve, güvenlik sebebi ile topraklanmış durumdadır. Bu yüzden modülleri oluşturan hücreler, çalışma esnasında, toprağa göre yüksek bir negatif potansiyele sahiptir. Fotovoltaik dizinin negatif kutbuna yakın modüllerde bu etki daha yüksektir. Bu istenmeyen potansiyel farkından dolayı elektronlar paneli oluşturan metal üzerinden akmaya başlar ve modülün güç çıkış kapasitesini azaltır.




**Şekil. 4.5.**Potansiyel Fark Kaynaklı Arıza (PID) I-V grafiği ve termal görüntüsü

#### 4.1.1.2.Tabakaların Ayrılması (Delamination)

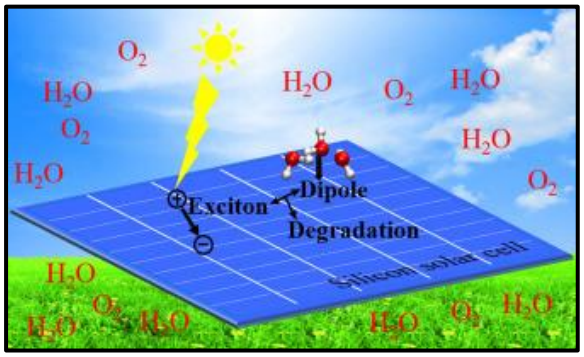
Bir güneş paneli modülü imalatında, hassas hücreleri nem, sis ve UV (ultraviyole) ışımaları gibi hava koşullarından korumak için EVA (Etilen Vinil Asetat) ile kaplanır (Şekil 4.1). Üretim esnasında; EVA tabakanın çok hassas ve belirlenmiş basınç ve sıcaklık altında kompozit modüle yapıştırılması gerekmektedir. Bu işlem sırasında yapılan yanlış paremetre değerleri veya kalitesiz ürün kullanımı, zaman içerisinde EVA yapıda tabakaların ayrışmasına sebep olur. Bu ayrışma sonucunda; hava ile temas eden EVA deforme olmaya başlar ve beyaz renk olmaya başlar. Bu tip arızalı modüllerin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu ayrışma sonucu; hücreler çevresel şartlardan direkt olarak etkilenmeye başlar. Ve kaçınılmaz olarak kurulan sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkiler.



**Şekil 4.6.** Güneş Paneli modüllerinde EVA tabakalarının ayrılması arızası

### 4.1.1.3.Işık Kaynaklı Bozulma (Light-Induced Degradation)

Işık kaynaklı bozulma; p-tipli Czochralski metodu ile üretilmiş monokristalin silisyum tabanlı güneş hücrelerinde karşılaşılan en tanınmış problemlerden bir tanesidir. Monokristalin silisyum malzemesinde, malzemeye katkılanan bor-oksijen atomlarının, zamanla ısınıp-soğumasına ve gelen ışına bağlı olarak, ayrılıp tekrar birleşme mekanizmasının bozulması ile alakalıdır. Atomik seviyede Silisyum atomlarının istenmeyen Si-O-Si bağı yapmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip bozulmalar hücrelerin verimlerinin eksponansiyel olarak azalmasına sebep olur. Erken teşhis edilmesi ile modülün değiştirilerek verim kaybının azalmasının önüne geçilir.



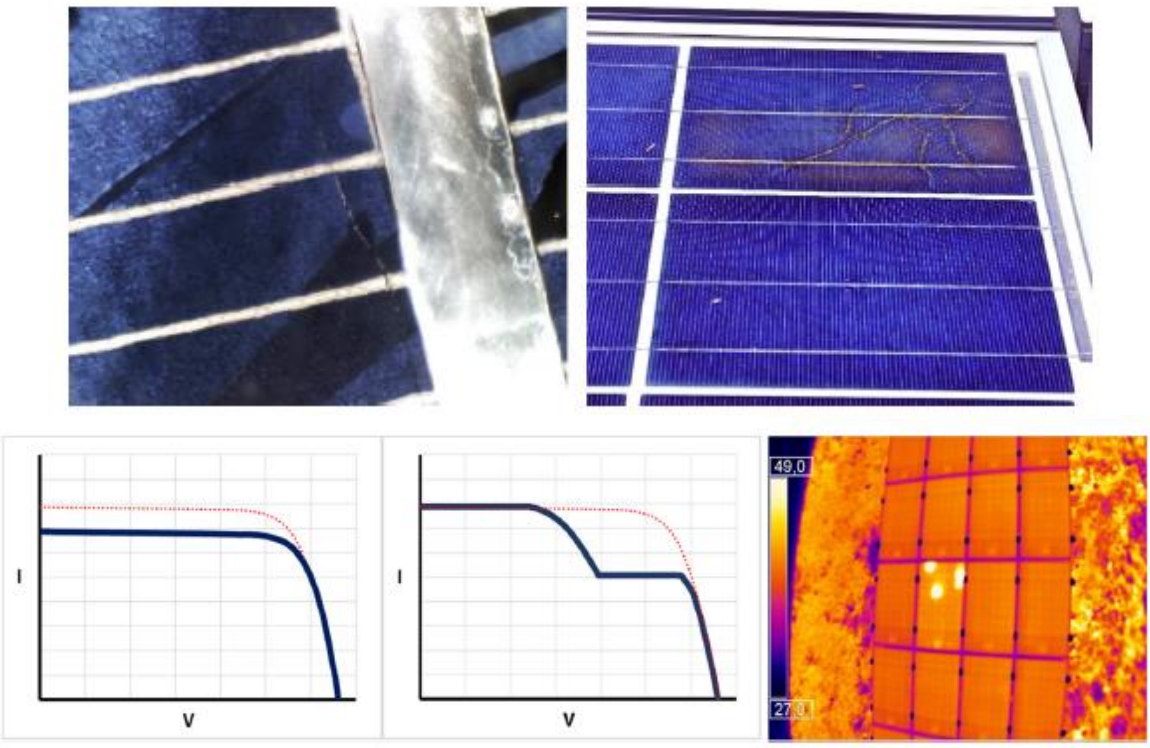

**Şekil.4.7.** P-tipli Monokristalin Silisyum Bazlı Hücrelerde Işık Kaynaklı Arıza

#### 4.1.1.4.Hücre Çatlakları (Cell Cracks) ve Mikro Çatlaklar(Micro Cracks)

Fotovoltaik hücreler, çoğunlukla silisyumdan yapılmaktadırlar ve neredeyse hepsi kristal yapıdadırlar. Atomik yapıları incelendiğinde, kristal yapılarda genellikle bağlanma enerjileri düşük bağlar yapmaktadırlar. Bunun sonucu olarak da; bu tip hücreler çok çabuk kırılgan yapıya sahiptirler.

Hücre çatlaklarının meydana gelmesinde birçok etken vardır. Üretim esnasında bile bu çatlaklar meydana gelebilir. Hatta bu çatlakların belirli bir miktarına kadar olanlar kalite standartları içerisinde kabul edilebilmektedir. Fakat bu miktar düşük bir miktardır. Hücre çatlakları, panellerin taşınması, yüklenmesi, sahaya montajı, kar yükü, vb çevresel etkilerle meydana gelebilir. Bu tip etkilerle meydana gelen çatlaklar gözle görünebilir ve tespit edilebilir. Fakat üretim esnasında meydana gelen veya diğer sebeplerden dolayı meydana gelen bazı çatlaklar (özellikle kristal yapı içerisinde meydana gelen) çok küçüktür ve çıplak gözle gözlemlenemez. Bu kırklar "mikro-çatlaklar" olarak adlandırılırlar. Bu çatlakları tespit etmenin bazı yolları mevcuttur.

Hücre çatlaklarının bulunduğu bölge inaktif konuma geçebilir. Bu yüzden bazı durumlarda hücre veriminde %50 düşüş meydana gelir. Ayrıca mikro-çatlaklar, sahada çevre şartlarından dolayı büyüyecek ve beklenenden çok daha kısa süre içerisinde verim düşüşü gözlemlenecektir.

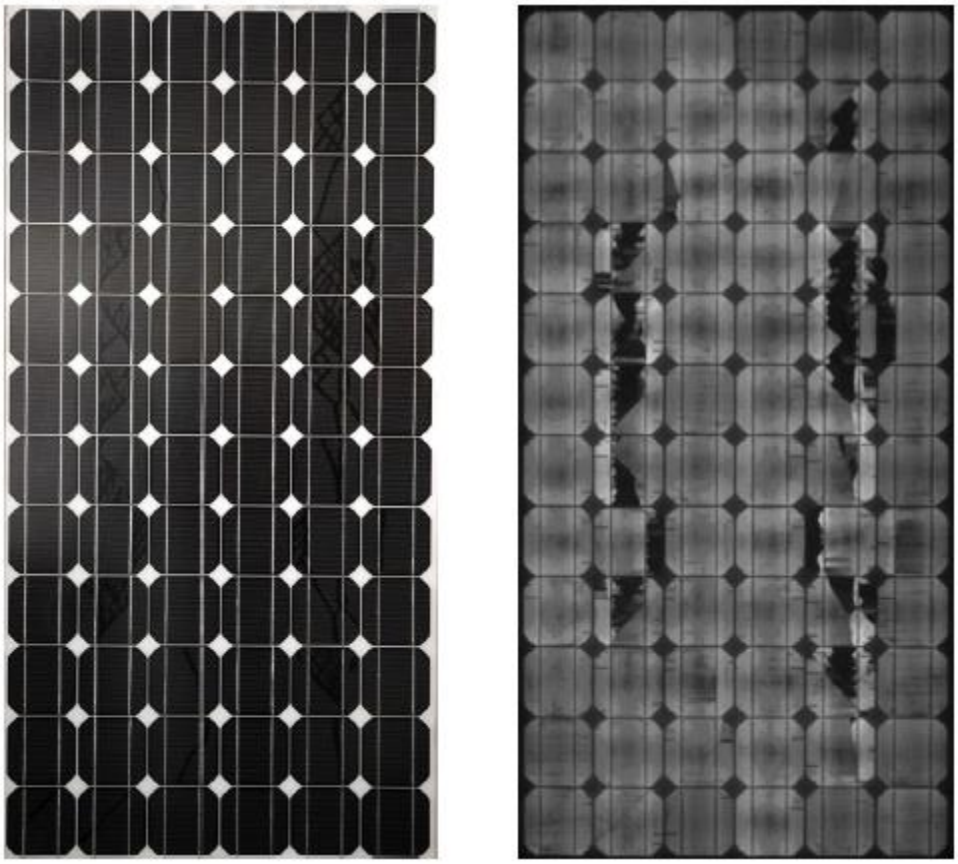



**Şekil 4.8.**Hücre çatlakları yüzünden verim düşüşü ve termal görüntüsü

### 4.1.1.5.Salyangoz İzi Hatası (Snail Track)

Salyangoz izi hatası, adına benzer şekilde, paneldeki gözle görülebilen gri/siyah renkli izlerdir. Bu izler bir salyangoz hareketine benzetildiği için bu isim verilmiştir. Bu izler, hücreler üretilip, modüller oluşturulurken, hücrelerin ön metalizasyonlarında ki gümüş pastaların renk değiştirmesidir. Bu izler, paneller sahaya yerleştirildikten 3 ay sonra başlayabilir. Sebebi, çevre şartlarıdır. Yaz aylarında büyümeleri görülür. Üretim esnasında kullanılan saf olmayan malzeme seçimi veya üretimdeki ilgili basamakta sağlanması gereken fiziksel şartların sağlanmamasından kaynaklanmaktadır.

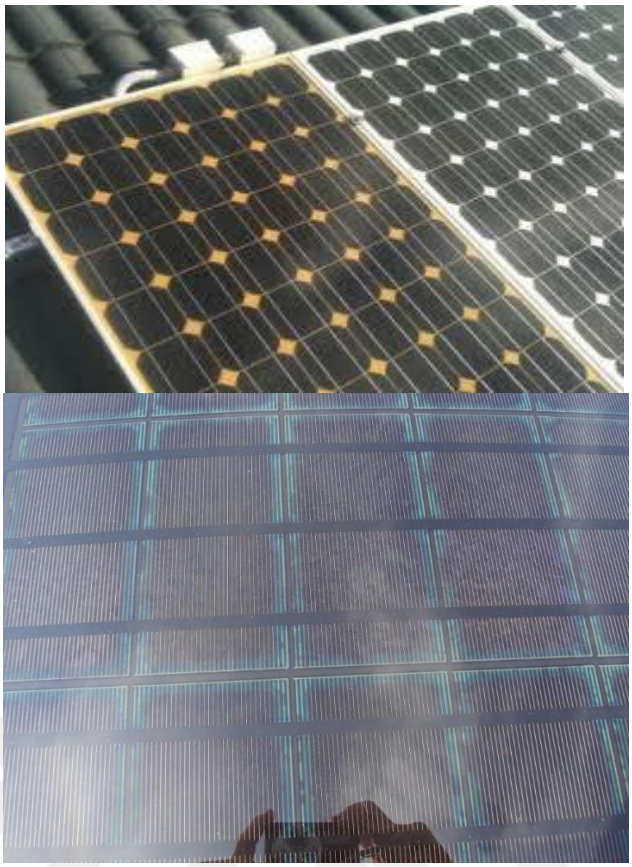
Bulunduğu yerlerde, gümüş pastanın dağılmasından dolayı kaçak akımlara ve renk değişiminden dolayı da yeterli ışınımı alamamasından dolayı verim düşüklüğüne sebep olur.



**Şekil 4.9.**Salyangoz İzi Hatası ve Elektrolüminisans Fotoğrafı

### 4.1.1.6.EVA ( Etilen Vinil Asetat) Renk Değişimi

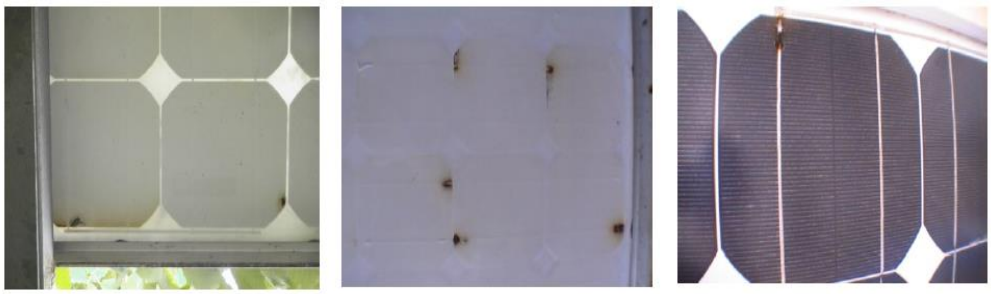
EVA (etilen vinil asetat) veya benzeri kaplama materyallerindeki en fazla rastlanan hatalardan bir tanesidir. Genellikle estetik bir problem gibi görünse de bu tip hatalara sahip panellerde verim düştüğü gözlemlenmiştir. Silisyum bazlı hücrelerde %0,5 - %0,8 oran aralığında bu tip EVA renk değişimi beklenmektedir. Panel verimini %10'a kadar düşürebilmektedir. Bu tip bir renk değişiminin olduğu bölge içerisinde kalan hücrelerin ısındığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.10.**EVA Renk Değişimi Hatası

#### 4.1.1.7.Bypass Diyot Arızası (Bypass diode failure)

Bir fotovoltaik modülde, belirli sayıda güneş hücresine paralel olarak bypass diyotları entegre edilmiştir. Bu bypass diyotları, fotovoltaik modül üzerindeki kısmi gölgelenmenin neden olduğu güç kaybını azaltır. Aynı zamanda, bu bypass diyotları diğer serideki güneş hücrelerinden kaynaklanabilecek ters beslemeyi de engeller. Bu bypass diyotların arızalanması halinde; o hücre serisinin en başından başlamak üzere hücreler ters beslemeye maruz kalırlar ve hücreler aşırı ısınarak; yanıklar, hücre bozulmaları ve en kötüsü de yangın çıkma ihtimali meydana gelir. Tipik olarak, Schottky diyotları PV modüllerinde bypass diyotları olarak kullanılır. Schottky diyotlar statik yüksek voltaj deşarjlarına ve mekanik strese karşı oldukça hassastır. Bu yüzden dikkatle ele alınmalı ve topraksız insan temasından kaçınılmalıdır.



**Şekil 4.11.**Açık devre Bypass diyot arızası sonucu paneldeki yanıklar

### 4.1.1.8.Bağlantı Kutusu Arızaları (Junction Box Failure)

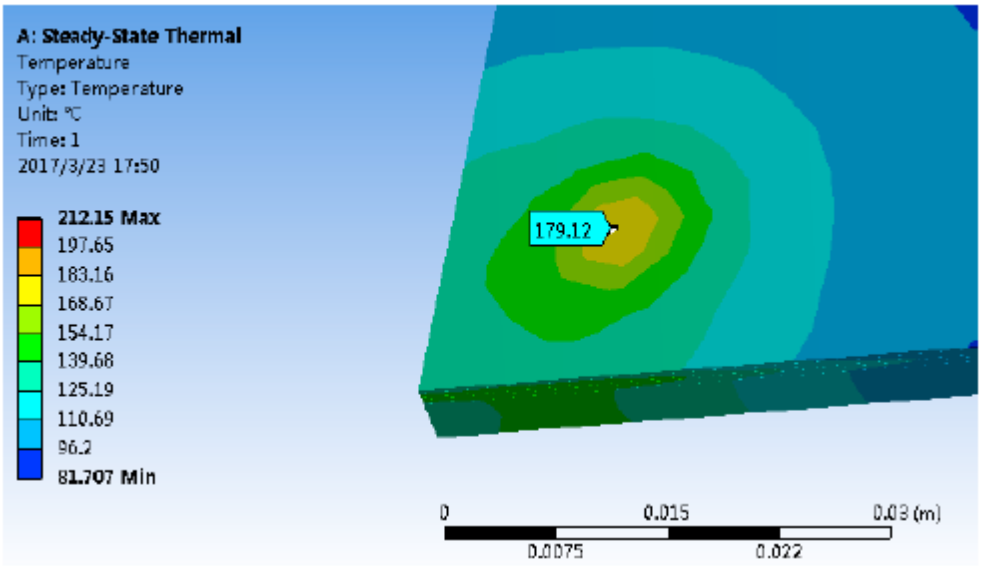
Bağlantı kutusu, modülün arkasında diğer modüllerle yapılacak bağlantı ekipmanlarını içeren yapıdır. Bu kutu içerisinde, ters beslemenin panele ve hücrelere zarar vermesini önleyen bypass diyotları içerir. Çevre şartlarından etkilenmeyecek şekilde üretilmeli ve montaj edilmelidir. Genellikle bu kutuda rastlanan arızalar; panel arkasına yapılan yapıştırmanın açılması, içerisindeki bağlantı kablolarının açık şekilde bağlanması ve sonucunda ark oluşturması, yetersiz izolasyondan dolayı nem yağmur kar vb çevresel etkenlerden dolayı paslanma, ark oluşması olarak sıralanabilir. Bu tip arızalar ciddi anlamda panelin enerji üretimini düşürmektedir ve en önemlisi yangın ihtimalini arttırmaktadır. Bu tip arızalarda bağlantı kutusu ve etrafında sıcaklık artışı meydana gelir.



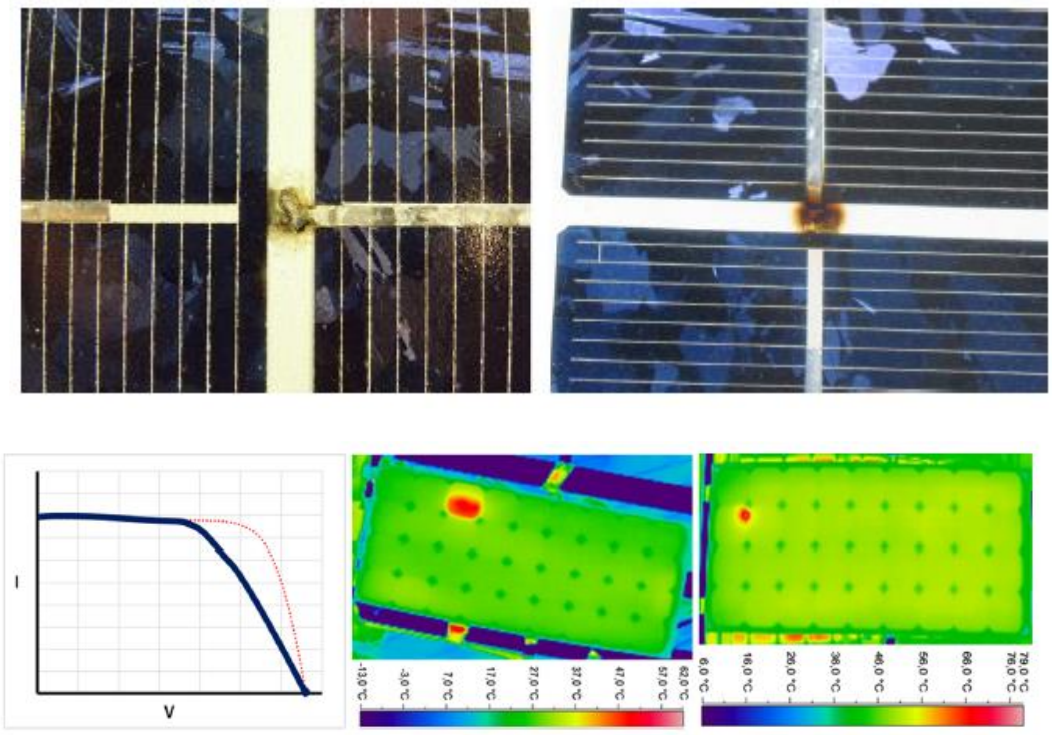
**Şekil 4.12.**Bağlantı kutusu arızaları

#### 4.1.1.9.Sıcak Noktalar (Hot-Spots)

Sıcak nokta tabiri; hücre üzerinde belirli bir alanın (nokta veya daire, bölge) bir hata (veya arıza) sonucunda aşırı ısınması anlamına gelmektedir. Aslında bu ısınmanın sebebi istenilen dışında yüksek akım oluşmasındandır. Bir hücrede meydana gelebileceği gibi, birkaç hücrede de meydana gelebilir. Farklı sebeplerden kaynaklanabilir. Gölgelenen bir hücreden kaynaklanabileceği gibi; hücrenin elektronik yapısından (hücre içi veya hücreler arası iletimi sağlayan baralar), hücrenin içyapısından (mikro veya daha büyük çatlaklar vb.), hatta panel üzerine düşen bir yaprak veya kuş pisliğinden de kaynaklanabilir.




**Şekil 4.13.**Gölgelenmiş bir hücrede oluşan sıcak noktanın termal analiz örneği




**Şekil 4.14.**Bağlantı noktalarındaki arızalar (üst) sonucunda oluşmuş sıcak noktaların termal görüntüleri (alt)

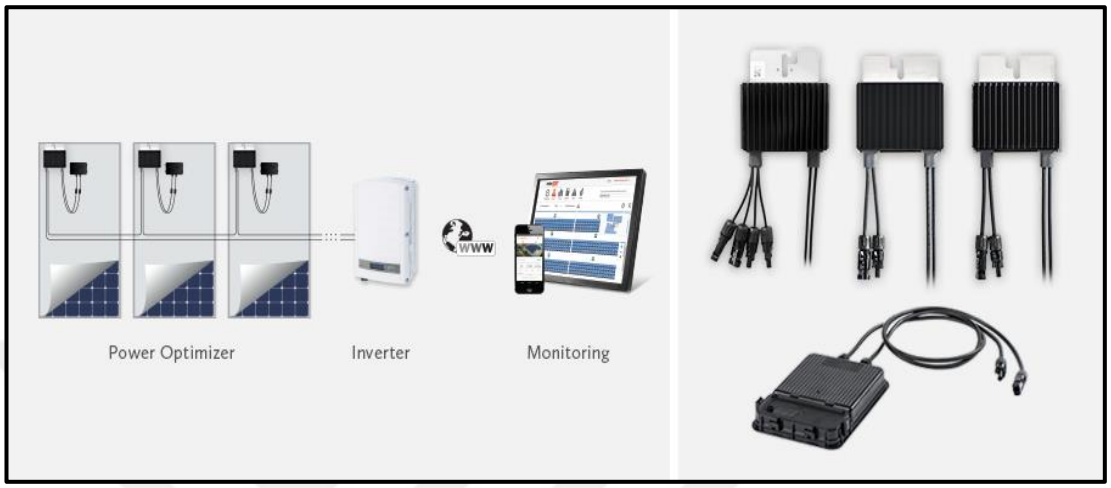
### 4.1.2.Güneş Panellerinde Arıza Tespitleri

Yukarıdaki bölümde açıklanan arızalar, panellerde meydana gelen arızaların bir kısmını oluşturmaktadır. Bu arızaların tespiti ve tanımlanması üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu arızaların tespiti için yapılan çalışmalarda uygulanan metotları temas gerektiren ve temas gerektirmeyen iki ana başlık altında toplamak mümkün olabilir.

#### 4.1.2.1.Temas Gerektiren Tespit Metotları

Güneş paneli sistemlerinde üretilen elektrik enerjisi kullanılan elektronik elemanlar üzerinden (evirici, motor sürücüleri, şarj elemanları vb.) temas ile takip edilebilir. Bu takip yöntemlerinde ana amaç I-V (akım-gerilim) grafiğindeki değişimlerden arıza tespiti yapılabilmektedir. Fakat kurulu olan sistemlerde panel sayısı on binleri bulabilmektedir. Seriler halinde bağlanan bu panellerdeki bir arızanın hangi panelden kaynaklandığını bu metot ile bulmak bazen imkânsızlaşmaktadır. Arızalı seri tespit edilir, daha sonra sahada tek tek ölçüm yapmak gerekir. Fakat son zamanlarda tek tek

panel üzerine yerleştirilen sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerde her bir panelin arkasındaki bağlantı kutusuna eklenen elektronik donanım ile her bir panelin I-V değerleri ölçülerek arızalar tespit edilebilmektedir. Fakat böyle bir yöntem çok pahalı bir çözümdür (panel başına yaklaşık olarak 80 EURO).




**Şekil 4.15.** Her bir panel arkasına yerleştirilen takip sistemi

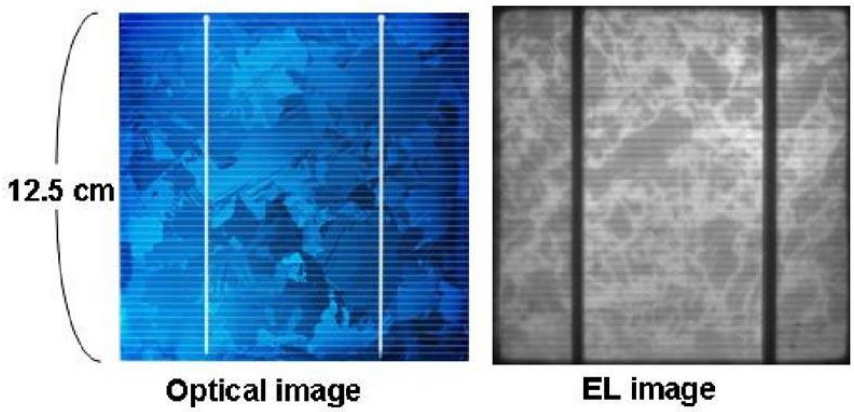
#### 4.1.2.2.Temas Gerektirmeyen Tespit Metotları

Güneş panellerindeki arızaları (veya hataları) tespit ve tanımlamanın temas gerektirmeyen en yaygın uygulamalar; termal görüntüleme, elektrolüminisans ve ultraviyole görüntüleme yöntemleridir.

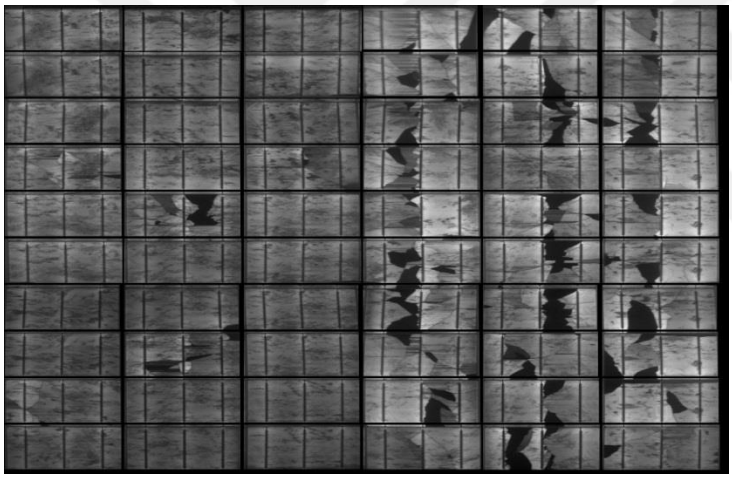
##### 4.1.2.2.1.Elektrolüminisans (EL) Görüntüleme:

Bu yöntem her ne kadar temassız yöntemler arasında yer almış olsa da; aslında yarı temaslı bir yöntemdir. Bu yöntemde; panele (veya modül) bir DC akım uygulanır, bu akım ile hücrelerde uyarılmış ışıma oluşturulur. Bu ışıma elektrolüminisans olarak adlandırılır ve CCD (Charged Coupled Device) kamera ile görüntülenir. Elektrolüminisans (EL) görüntüsü karanlık bir ortamda yapılır çünkü güneş modülü tarafından yayılan 1150 nm civarındaki kızılötesi radyasyon miktarı, arka plan aydınlatmasının yaydığı radyasyona kıyasla daha düşüktür. EL görüntüleme yöntemini kullanarak fotovoltaik modüllerdeki özellikle hücre çatlaklarını tespit etmek mümkündür. Hücre çatlakları, EL görüntüsündeki güneş hücresinde koyu

çizgiler olarak görülür. Özellikle çok kristalli güneş pillerinde, kristalografik kusurlar tipik olarak koyu çizgiler olarak da görülür ve tespit edilir.




**Şekil 4.16.**Elektrolüminisans Yöntemi ile Hücre Çatlaklarının Belirlenmesi (a)



**Şekil 4.17.** Elektrolüminisans Yöntemi ile Hücre Çatlaklarının Belirlenmesi (b)

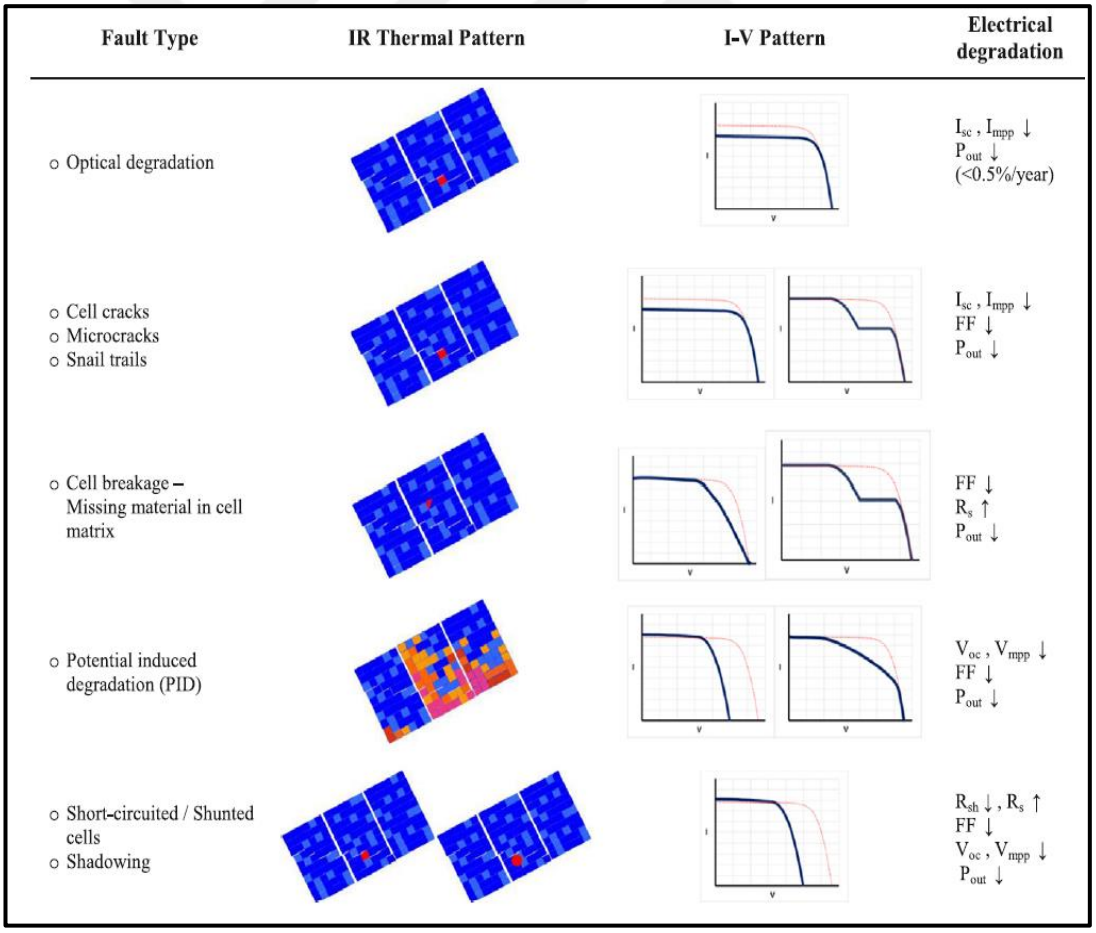
#### 4.1.2.2.2.Ultraviyole Görüntüleme:

UV (ultraviyole) ışıma görüntülemesi, ilk olarak 1997 yılında Pern ve arkadaşları tarafından; fotovoltaik modüllerdeki EVA kaplamalarındaki renk değişimi incelenmesi ile yapılmıştır. EVA'nın güneş ışığına, özellikle de UV spektrumuna maruz kalması nedeniyle, kapsül içindeki moleküller, ışık yaymak üzere ayrışırlar. Panellere, UV ışıması (yaklaşık 325 nm) uygulandığı zaman EVA içerisindeki moleküllerin oksijen ile teması halinde 325 nm – 800 nm aralığında ışıma yaydığı

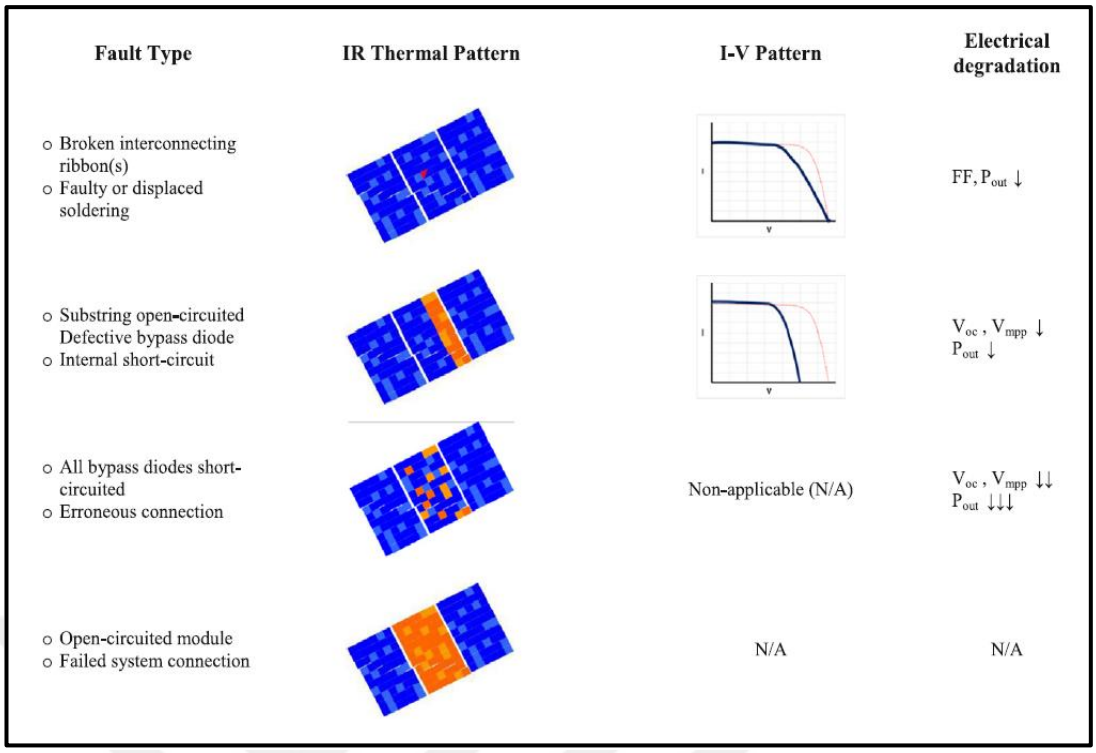
tespit edilmiştir. Böylece; EVA kaplamanın zarar görmüş veya hatalı üretilmiş olan kısımlarının tespiti için UV görüntüleme metodu kullanılabilmektedir.

#### 4.1.2.2.3. Güneş Enerjisinde Termal Görüntüleme:

Termografi veya Kızıl ötesi (IR) görüntüleme, güneş panelli elektrik enerjisi üretim sistemlerine zarar vermeyen ve temas gerektirmeyen bir ölçüm yöntemidir. Bu yöntem ile hızlı, anlık ve fotovoltaik modüllerin karakteristik özelliklerini 2 boyutlu ortaya koyabilmektedir. Bu yöntem, PV modüllerin çalışma esnasındaki termal ve elektriksel arızalarını tespit edebilir. Bu yöntem ile tek bir modül incelenebileceği gibi aynı zamanda büyük çaptaki Güneş enerjisi Santralleri de kolaylıkla incelenebilmektedir.




**Şekil 4.18.** Termal Görüntüler ve İlgili Arızalar




**Şekil 4.18.**Termal Görüntüler ve İlgili Arızalar

# 5. SONUÇ

## 5.1. Sonuç

Özellikle yarı-iletken (semiconductor) foton dedektörleri ve laser kaynakları teknolojisindeki ilerlemeler sonucu, son yıllarda gelişme gösteren termal kamera teknolojisi için ışık, optik ve elektroniğin birlikte kullanımı gibi bir tanımlama yapılabilir. Termal kamera geniş uygulama yelpazesi ile modern teknolojinin temel taşlarından biridir.

Bu tez çalışmasına konu olan termal kameraların uygulamalarından birisi Termal Kamera ile Donatılmış İnsansız Hava Araçları ile özellikle Güneş Enerjisi Üretim Santrallerinde kullanılması üzerinedir. Tez çalışmamda bu uygulamanın ürüne dönüştürülmesi araştırılmış ve sonuçlandırılmıştır.

Bu sistemlerin başlangıçta dizayn edilmesi aşamasında her ne kadar bazı kısımlarının yurt dışı kaynaklı ürünlerden faydalanılsa da çalışma sonunda yerli üretim oranının arttırılarak üretime geçilmesi planlanabilir. Ayrıca; benzer sistemlerde yer alan yazılımlar; bu kapsamında yerli olarak oluşturulabilir.

Bu çalışmada bahsedilen termal görüntüleme aslında mevcut bir sistem ve özellikle yurt dışında etkin olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de yeni kullanılmaya başlayan bu sistem, genellikle yurt dışı temsilcilikler alınarak hizmet sunumu olarak uygulanmaktadır. Fakat uygulayıcı sayısı iki-üçü geçmemektedir. Ülkemizdeki güneş enerjisi üretim tesisleri ve bireysel kullanıcılar ile ısıtılan yapılar (binalar, fabrikalar, işletmeler vb) dikkate alındığında çok büyük eksiklik olarak ortaya çıkmaktadır.

Termal görüntüleme üzerine yapılan çalışmaların asıl amacı yurt dışı sistemlerin aynısını ülkemizde üretmek veya montajını yapmak değildir. Bu sistemin eksikliklerini gidermek, ülkemiz şartlarına uygun hale getirmek, yeni yazılım ve yeni bir metot ile (tespit ve tanımlama) bu sistemi geliştirmektir. İnsansız hava aracı ile güneş enerjisi ile elektrik üretim tesislerinde kullanılan panellerin ve yapılardaki ısı kayıplarının termal görüntüleri (Termografi) alınarak; yukarıda bahsedilen arızalar

tespit edilebilmektedir. Bu tespitler genellikle görüntülerin alınarak daha sonra görüntü işleme yöntemi ile arızalar tespit edilebilmektedir.

İnsansız hava aracı ile çekilen termal görüntülerden uygun olanlar anlık olarak bir veri toplama (görüntü merkezi) merkezine gönderilebilir. Bu görüntüler depolama merkezinde toplanarak; önceki arıza tespitlerinde kullanılan termal görüntüler ile matematiksel olarak karşılaştırılmış ve anlık olarak kullanıcıya arızanın tespiti ve tanımı iletilir. Bu görüntü işleme ve karşılaştırma işlemi yerli bir yazılım ile gerçekleştirilir. Yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak bahsedildiği üzere, termal görüntüler aslında görüntüyü oluşturan piksellerin her birinin sıcaklık değeri ile renklendirilmesidir. Bu değerler daha önce çekilmiş olan veya dışarıdan yüklenebilecek olan referans görüntülerdeki değerlerle bir algoritma aracılığı ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma işlemi sırasında en yakın ve en doğru sonuca ulaşabilmek için görüntülerin alındığı alandaki (bölgedeki) diğer çevresel şartlar da (sıcaklık, basınç, rüzgâr, nem vb.) dikkate alınmalıdır. Bu sebepten dolayı; termal görüntüleme yapılacak bölge veya alanda görüntüleme esnasında bu çevresel değerlerin toplanması maksatlı mini-mobil meteorolojik istasyon kurulur. Zamanla elde edilen termal görüntülerin ve bu meteorolojik verilerin dijital olarak depolanması sayesinde arıza tespiti ve tanımlanması kolaylaşmış ve daha gerçek sonuçlar elde edilmiş olacaktır.

## 6.KAYNAKLAR


[1] "Termal Kamera ile Donatılmış İnsansız Hava Aracı ile Enerji Kayıplarının Belirlenmesi Projesi", Doç. Dr. Kutalmış GÜVEN; T.C. Sanayi Bakanlığı TEKNOKENT Projesi, 2017.

[2] "ASELSAN Baykuş Termal Kamera Sistemi" İşletme ve Sahra Bakım Kitabı

[3] " FLIR Görüntülerinde Hedef Tespiti" Oğuzhan DAĞ, Hakan ERTEM, Nursel AKÇAM Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

[4] "Farmasötik Kimya Pratikleri 3-4" Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi

[5] Anonim, http://www.kuark.org/2016/08/ders5-planck-yasasi-ve-karacisim/

[6] Anonim, https://www.sonsuz.us/planck-yasasi/

[7] "OPTOELEKTRONİK" Doç Dr. Faruk ÖZEK A.Ü.F.F. Elektronik Mühendisli Bölümü, 1995

[8] "Termal Kamera Görüntülerinin İyileştirilmesi" VII. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul (30Ekim-1Kasım 2013). M.Çalışan ve İ.Türkoğlu Bingöl Üniversitesi, Fırat Üniversitesi

[9] "Mühendislik Uygulamalarında Termal Kamera Kullanımı" T.C. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gökhan Ertuğrul, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi,2014

[10] "Termal Video Görüntüleme" Bayram Demirci/GENET Teknoloji/AR-GE Md. Ceren Korkmak/GENET Teknoloji/Termal Video Dept. Sorumlusu, Elektrik Mühendisliği Dergisi 2016 Eylül, Sayı:458

[11] “Rüzgar Türbini Kanadı İmalatı” Serhat KARABAĞ, İzmir Rüzgar Sempozyumu ve Sergisi 23-24 Aralık /2011

[12] Anonim , https://kimyasimya.blogspot.com Erişim tarihi : (26.06.2018)

[13] Anonim, solimpeksgunespaneli.com Erişim tarihi : (22.06.2018)

[14] Anonim , www.fizikbilimi.gen.tr Erişim tarihi : (10.06.2018)

[15] Anonim , www.nkfu.com Erişim tarihi : (9.06.2018)

[16] Anonim , www.shunttech.com Erişim tarihi : ( 7.06.2018)

[17] Yavuz ATEŞ , http://slideplayer.biz.tr Erişim tarihi : (5.06.2018)

[18] Sertaç BOZKURT, termoelektrik etki ile fotovoltaik panellerin soğutulması ve performansının incelenmesi Yüksek lisans tezi. Ege üniversitesi İzmir 2017.

[19] Murat Ünlü , Sabri Çamur , Birol Arifoğlu VI. yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu , Ekim 2011, Kayseri

[20] Anonim , www.teknoraysolar.com Erişim tarihi : (2.06.2018)

[21] Maral Demir , dış duvara sonradan tespit edilen fotovoltaik panellerin performansının deneysel olarak değerlendirilmesi Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi , Mayıs 2015.

[22] Anonim, Robotiksistem.com Erişim tarihi : ( 1.06.2018)

[23] Tamer Çarkıt, Pv panellerin yapısı ve panellerden elektrik üretimine sıcaklığın etkisi. Elektrik mühendisliği, Temmuz 2016. Sayı 457, sayfa 65.

[24] Anonim , www.elektrikde.com Erişim tarihi: ( 30.05.2018)

[25] Anonim, gunesenerjisipanelleri.net Erişim tarihi : ( 28.05.2018)

[26] Anonim , www.enerjimag.com Erişim tarihi : ( 26.05.2018)

[27] Anonim, urila.tripod Erişim tarihi : (25.05.2018)

[28] A. Salim, F. Huraib, and N. Eugenio, " PV power-study of system options and optimization," in Proceedings of the 8th European PV Solar Energy Conference, Florence, Italy, 1988.

[29] Anonim, www.elektrikport.com Erişim tarihi : (24.05.2018)

[30] B. Akgül, Hiperspektral Görüntülerde Boyut İndirgeme. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

[31] A. Gürsözlü,, Tekstil Mamullerinde Sol-Jel Yöntemiyle Elektriksel Özellik Kazandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2017.

[32] M. Koyuncu, Sağlık Sistemlerinde Karma Dağılım Modellerinin Uygulanması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,34(3), ss. 73-83, 2019.

[33] N. Dağdelen,F. Sezgin,T. Gürbüz,E. Yılmaz,S. Akçay, Farklı Sulama Aralığı ve Sulama Düzeylerinin Pamukta Bazı Verim Özellikleri ve Lif Kalitesi Üzerine Etkisi. ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi , 6(1):53 – 61, 2009.

[34] M. Çelik, Işık Şiddet Eğrilerinin Kamera Yardımıyla Çıkartılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2014.

[35] Ş. Aydoğan, Gümüş, Altın ve Gümüş-Altın alaşımlı nano parçacıkların organik güneş pillerinin performansına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum,2018.

[36] K. Ovuz, Kırıkkale İklim Şartlarında Sıcaklığın Polikristal Fotovoltaik Panelin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2018.