TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mücahit ÇALIŞAN

Yüksek Lisans Tezi

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU
ŞUBAT-2013

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mücahit ÇALIŞAN
(Enstitü No: 102131107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ocak 2013
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Şubat 2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR
: Yrd. Doç. Dr. Resul DAŞ

ŞUBAT-2013
ELAZIĞ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU'na, bugünlere gelmemizde emeği geçen tüm hocalarıma, çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen meslektaşım Kazım HANBAY'a, beni sabır ve özveri ile destekleyen eşim Peri hanıma ve aileme teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mücahit ÇALIŞAN
ELAZIĞ - 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR ..... **II**
İÇİNDEKİLER ..... **III**
ÖZET ..... **V**
ABSTRACT ..... **VI**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **IX**
SEMBOLLER LİSTESİ ..... **X**
KISALTMALAR LİSTESİ ..... **XI**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Tez Çalışmasının Amacı 3
1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı 3
1.3. Literatür Araştırması 4
1.3.1. Termal Kamera ile Hastalıklı Bölgenin Belirlenmesi 4
1.3.2. Termal Kamera ile Canlı Nesne Ayrıştırılması 6
1.3.3. Termal Görüntülerden Yüz İfadelerini Tanıma 7
2. TERMAL KAMERALAR **11**
2.1. Termal Enerji 12
2.2. Optik Spektrum 15
2.3. Kızılötesi Termografi 17
2.3.1. Kızılötesi Film ve Termografi Arasındaki Fark 18
2.3.2. Termografinin Avantajları 19
2.3.3. Termografinin Kısıtlamaları ve Dezavantajları 19
2.4. Termal Kamera Yapıları 19
2.4.1. Optik Mekanik Birimler 21
2.4.2. Dedektör Soğutucu Birimi 24
2.4.3. Elektronik Sinyal İşleme Birimi 26
2.5. Termal Kameralarda Çözünürlük 27
2.6. Termal Kameralarda Sıcaklık 28
2.7. Termal Kameralarda Renkler 29
2.8. Termal Kameraların Çalışma Prensibi 30

2.9. Termal Görüntülerde Odaklama 31
3. TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİNİN İŞLENMESİ 34
3.1. Görüntü Özellikleri 35
3.2. Görüntülerin Sınıflandırılması 40
3.3. Görüntü İşleme ve Onarma Teknikleri 41
3.3.1. Görüntü Elde Etme 43
3.3.2. Görüntü İyileştirme 43
3.3.2.1. Kontrast Değişikliği 44
3.3.2.2. Histogram Değişikliği 44
3.3.2.3. Filtreleme 46
3.3.2.4. Görüntü Keskinleştirme 51
3.3.3. Görüntü Analizi 54
3.3.4. Görüntü Anlama 55
4. TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ UYGULAMALARI 57
4.1. Termal Görüntülerin Elde Edilmesi 59
4.2. Morfolojik İşlemler 59
4.3. Kenar Haritası Oluşturma 60
4.4. Eğim Hesaplaması 61
4.5. Fourier Dönüşümü ve Parametrelerin Ayarlanması 62
4.6. Yatay ve Dikey Türevlerin Ayarlanması 64
4.7. Uygulama Sonuçları 66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 70
KAYNAKLAR 72
ÖZGEÇMİŞ 76

ÖZET

TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
2013, Sayfa: 88

Tüm cisimler yapılarına göre az veya çok kızılötesi ışınım yayar. Termal kameralar farklı optik spektrumlarda çalıştıkları için insanların gözle göremediği ancak cisimlerden salınan bu kızılötesi ısıyı algılayarak cisimlerin bir renk haritasını çıkarırlar. Bu sayede ısı farklılığı mantığından yararlanarak nesnelerin ayrıştırılması mümkün olur ve canlı/cansız nesneler ayrı ayrı tespit edilebilir. Ancak çoğu zaman termal kameralar ile alınan görüntülerin olumsuz hava şartlarından etkilendiği, gürültülü olduğu, parlaklık seviyesinin düşük/yüksek olduğu ve karşıtlık ayarlarının düzgün olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle siyah renkli şemsiye gibi, nesnelerden salınan ısıyı engelleyici cisimler görüntüyü algılamayı daha da zorlaştırmaktadır. Bütün bu olumsuz nedenlerden dolayı nesneleri birbirinden tam olarak ayırt etmek ve nesneleri gözle görülür bir şekilde rahatça seçmek, elbette güçleşecektir.

Bu tez çalışmasında, termal görüntüler türev işlemleri ve Fourier değişimi kullanılarak iyileştirilmiştir. Geliştirilen teknik ile görüntüdeki termal nesneler belirginleştirilmiştir. Ayrıca görüntüde var olan gürültü, karşıtlık eksikliği ve diğer nesneler ortadan kaldırılmıştır. Deneysel sonuçlar termal görüntünün iyileştirilmesinde geliştirilen yöntemin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Geliştirilen bu uygulama yönteminin yardımı ile uygulamada karşılaşılan görüntü yanılması sonucu oluşabilecek çeşitli olumsuzluklarında önüne geçilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, Termal görüntüleme, Görüntü iyileştirme, Termografi

ABSTRACT

ENHANCEMENT OF THERMAL CAMERA IMAGES

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Computer and Electronics Education
2013, Pages: 88

All objects emits infrared radiation in any amount according to their structure. Since thermal cameras work with different optical spectra, they provide a heat map by detecting this infrared heat, emitted by objects, which human cannot see. Thus, it is possible to decompose the objects by benefiting from the temperature difference and the living/lifeless objects can be identified separately. However, it is detected many times that the thermal cameras are effected by the bad weather conditions and noise, apart from this it is recognized that their brightness level is low/high and their contrast settings are not proper. Especially like a black colored umbrella, substances blocking the heat emitted from objects make the image detection more difficult. Because of all these negative reasons, it is difficult to distinguish the objects accurately and select them clearly.

In this thesis, thermal images have been enhanced by using derivative operations and Fourier transform. Through this technique, the thermal objects on the image have been made clear. Furthermore, the distortion, lack of contrast on the image and the other objects have been clarified. The experimental result show that the developed method to recover thermal image is extremely succesful. Through this method, various problems coming out of illusions faced in the practice will be prevented.

Key Words: Image processing, Thermal imaging, Image enhancement, Thermography

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Analog bir görüntünün sayısal karşılığı 1
Şekil 1.2. Vücutta ağrılı bölgenin belirlenmesi 5
Şekil 1.3. Termal kamera ile çekilmiş bir kişinin görüntüleri 5
Şekil 1.4. Termal kamera ile canlı nesne ayrıştırılması 7
Şekil 1.5. Yüz ifadeleri ile sıcaklık dağılımı arasındaki ilişki 8
Şekil 1.6. Yüz ifadelerini tanımada programın akışı 9
Şekil 1.7. İşlem gören gülen yüz ifadesi 9
Şekil 1.8. İşlem gören durgun yüz ifadesi 10
Şekil 2.1. Termal kamera ile alttan ısıtmalı zeminin temassız ölçümü 11
Şekil 2.2. Toplam enerji dağılımı 14
Şekil 2.3. Wein şeması 15
Şekil 2.4. Elektromanyetik ışınım spektrumunda dalga boyları 16
Şekil 2.5. Kızılötesi bandlarda çekilmiş görüntüler 16
Şekil 2.6. Termal görüntüleme cihazı ile çekilen sıcaklıkları farklı A1 ve A2 nesnelerinin görünümü 18
Şekil 2.7. Orta ve uzun dalga boyunun karşılaştırılması 20
Şekil 2.8. Termal kameranın blok yapısı 21
Şekil 2.9. Bir termal kameranın optik bölümü 22
Şekil 2.10. Germanyum iletim grafiği 23
Şekil 2.11. Termal kamera dedektörleri 25
Şekil 2.12. Termal kameranın şematik görünümü 27
Şekil 2.13. Gündüz görüş kamerası ve Termal kameranın karşılaştırılması 29
Şekil 2.14. Termal ışıkta çekilmiş hayvan görüntüsünün sıcaklığa göre renk dağılımı 29
Şekil 2.15. Gündüz görüş kamerası ve Termal kamera görüntülerinin farklı ortam şartlarında karşılaştırılması 31
Şekil 3.1. Görüntüleri analogdan sayısala çevirme işlemi 35
Şekil 3.2. Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali 36
Şekil 3.3. Bir görüntünün sayı matrisi olarak bir kesitinin gösterilmesi 36
Şekil 3.4. Uzaysal çözünürlük değerlerinin karşılaştırılması 37
Şekil 3.5. Parlaklık seviyesinin karşılaştırılması 38

Şekil 3.6. Karşıtlık seviyesinin kıyaslanması 38
Şekil 3.7. İki renk seviyesini kullanan görüntü 40
Şekil 3.8. Gri seviyeli görüntü 41
Şekil 3.9. Bir pikselin komşulukları 42
Şekil 3.10. Görüntü işlemenin adımları 43
Şekil 3.11. Termal bir görüntünün histogramı 45
Şekil 3.12. Histogram denkleştirmeyle elde edilen görüntü 46
Şekil 3.13. Medyan filtresinin 3x3'lük pencere görünümü 47
Şekil 3.14. Medyan filtresi kullanılarak gürültüden arındırılmış görüntü 48
Şekil 3.15. Ortalama filtresi uygulanmış görüntü 48
Şekil 3.16. Keskinleştirme filtresi uygulanmış termal görüntü 49
Şekil 3.17. Kuwahara filtresinde bölgeler 50
Şekil 3.18. Sobel algoritması uygulanmış termal görüntü 52
Şekil 3.19. Canny algoritması uygulanmış görüntü 52
Şekil 3.20. Prewitt kenar algılama çekirdek filtre matrisleri 53
Şekil 3.21. Termal görüntüsü alınmış binanın Prewitt filtresi uygulanmış hali 53
Şekil 3.22. Roberts kenar algılama çekirdek filtre matrisleri 54
Şekil 3.23. Termal görüntüsü alınmış bir gurubun Roberts filtresi uygulanmış hali 54
Şekil 3.24. Eşikleme işlemine tabi tutulan görüntü 55
Şekil 4.1. Geliştirilen tekniğin akış diyagramı basamakları 58
Şekil 4.2. Termal sokak görüntüsüne morfolojik işlemlerin sırayla uygulanışı 60
Şekil 4.3. Sobel algoritması uygulanmış termal sokak görüntüsü 60
Şekil 4.4. X, Y yönlerinde Gradientleri alınmış bir termal görüntü 62
Şekil 4.5. Optik transfer fonksiyonu maskesi 63

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Termal kamera kullanım alanları 12
Tablo 2.2. Bazı maddelerin yayma faktörleri 13
Tablo 2.3. Görünür bölgedeki renk dalgaboyları 17
Tablo 2.4. Dedektör teknolojileri 26
Tablo 4.1. Geliştirilen tekniğin şemsiyeli görüntülere uygulanması 67
Tablo 4.2. Geliştirilen tekniğin sokak görüntülerine uygulanması 68
Tablo 4.3. Geliştirilen tekniğin sokak görüntülerine uygulanması 69

SEMBOLLER LİSTESİ

Y : Yayma değeri

α : Kameranın bakış açısı

P(x,y) : Filtrenin merkez pikseli

G_σ : Gaussian kerneli

σ : Standart sapma

F(i,j) : Görüntünün (i,j) pikselinin değeri

Ge : Germanyum

f_x : f görüntüsünün x yönündeki değeri

f_y : f görüntüsünün y yönündeki değeri

T : Eşik değeri

k : Konvolüsyon kerneli

f : İşlenecek imge

w,h : İmge boyutları

A : Bir pikseldeki bit sayısı

α[m,n] : Her bir piksel seviyesi

α_{max} : Maksimum piksel sayısı

α_{min} : Minimum piksel sayısı

a(x) : Histogramı eşitlenecek görüntü

b(x) : Histogramı eşitlenmiş görüntü

j : Gri seviye parlaklık değeri

n_j : j gri seviyesine sahip piksel sayısı

n_p : Görüntünün toplam piksel sayısı

fft : Hızlı fourier dönüşümü (fast fourier transform)

ifft : Ters hızlı fourier dönüşümü (inverse fast fourier transform)

otf_mask : Optik transfer fonksiyonu maskesi

∇L : Gradient (Eğim)

|S| : Gradient vektörünün genliği

$|S_\alpha|$: Gradient vektörünün açısı

$f_x(x,y)$: f(x,y) fonksiyonunun x'e göre türevi

$f_y(x,y)$: f(x,y) fonksiyonunun y'ye göre türevi

KISALTMALAR LİSTESİ

IR : Kızılötesi enerji (infrared energy)

UV : Morötesi (ultraviyole)

FPA : Odak düzlem dizisi (focal plane array)

FPGA : Programlanabilir entegre (Field Programmable Gate Array)

MR : Manyetik rezonans (magnetic resonance)

JPEG : Ortak fotoğraf uzmanlar grubu (joint photographic expert group)

NIR : Yakın kızılötesi

MIR : Orta kızılötesi

FIR : Uzak kızılötesi

LCD : Sıvı kristal görüntü (liquid crystal display)

CCD : Şarj kuplajlı cihaz (charge-coupled device)

CMOS : Tamamlayıcı metal oksit yarıiletken (complementary metal oxide semiconducton)

LED : Işık yayan diyot (light emitting diode)

DSP : Dijital işaret işlemcisi (digital signal processors)

Kontrast : Karşıtlık

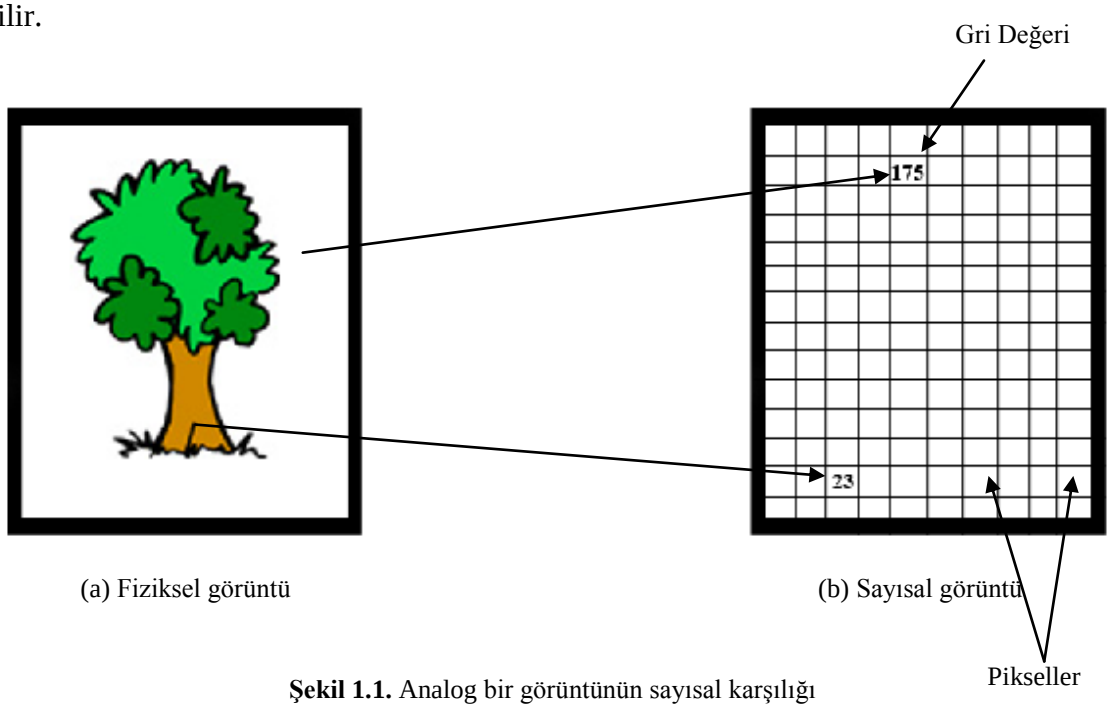
Iterasyon : Tekrar

Infrared : Kızılötesi

1. GİRİŞ

Görüntü, bir nesnenin sunumudur. Görüntüyü işlemek ise bir görüntüden başka bir görüntünün elde edilmesi için kullanılan tekniklerin bütünüdür. Görüntü işleme teknikleri, görüntünün insan veya bilgisayar tarafından anlaşılabilmesi ya da yorumlanabilmesini sağlamak için kullanılır.

Sayısal bir görüntü, nesneler tarafından yansıtılan ışık enerjisinin (analog sinyal) bir alıcı tarafından belirli bir aralıkta algılanarak sayısal bir sinyale dönüştürülmesi ile oluşur. Görüntülerin temel bileşeni pikseldir. Her pikselin bir tamsayı bölgesi, adresi ve gri seviye adı verilen bir tamsayısı değeri vardır. Pikselin gri seviyesi, ilgili noktanın görüntü ekranı üzerindeki parlaklığını belirtmek için kullanılır. İşlenmiş görüntü böylece yeniden insanın yorumlamasına açık bir hale getirilir. Sayısal görüntüler *mxn* boyutlu matrisler ile ifade edilir.



Şekil 1.1. Analog bir görüntünün sayısal karşılığı

1960'ların başında sayısal görüntü işleme uygulamalarını gerçekleştirebilecek bilgisayarların geliştirilmesi ile görüntü işleme uygulamalarında da büyük atılımlar görülmüştür. Uzay uygulamaları ile başlayan görüntü işleme, özellikle tıp alanında uygulanmaya başlanmıştır. 1970'lerin başında bilgisayarlı tomografinin keşfiyle, görüntü işlemenin en önemli uygulama alanı olan tıbbi teşhis ortaya çıkmıştır [1]. Röntgen ve MR (Manyetik Rezonans) resimlerinin incelenmesi, patolojik doku örneklerinin analizi, mikro

canlıların boyutlarının otomatik bulunması ve kan hücrelerinin sayımı gibi örnek uygulamalara literatürlerde rastlanmaktadır [2,3].

Termal görüntülerin ilk işlenmeside 1970'lere dayanır. Termal görüntülemenin ilk kullanım alanıda tıp olmuştur. Ancak o günlerde dijital kızılötesi kameraların zayıf uzaysal çözünürlük (128x128 piksel), kısıtlı termal çözünürlük (yaklaşık ± 0.1°C) ve tek dedektör taramalı kızılötesi kameraların çok yavaş çalışması gibi dezavantajları vardı. Problem, derinin yayım kabiliyetinin %98'den fazla olması ve kara cisim yayımının 30-34°C kızılötesi spektrumunda en yüksek değerine ulaşması idi [5]. Bu sıcaklık seviyelerinde performans yeterli olamazdı. 90'lara ulaşıldığında çok hızlı sıralı odak düzlemli kameralar ve yüksek çözünürlüklü hızlı tarayıcılı kameralar geliştirildi (512x512 piksel).

Termal kameralar insan gözünün göremediği bandlarda ki görüntüyü alarak bu görüntünün görülebilir hale getirilmesini sağlayan sistemlerdir. Görüntü alma veya aktarma esnasında, sayısal görüntüleme işlemindeki bir takım olumsuz şartlar nedeniyle görüntülerde bozulmalar oluşabilmektedir. Bu bozulmalar hem ortamdan hem de kameranın yapısından kaynaklanmaktadır. Görüntü iyileştirme teknikleri (gürültüyü azaltan, kenar belirginleştiren, kontrast artıran) kullanılarak görüntü üzerindeki bozulmaların giderilmesine yönelik çok sayıda araştırma yapılmış ve birçok yöntem geliştirilmiştir. Unutulmamalı ki kullanılan tekniğin görüntüdeki bozulmanın özelliklerine uygun olarak seçilmesi sonucun daha net olmasını sağlar.

Görüntü işleme olayında, kullanılan teknikler görüntüyü iyileştirirken, bu tekniklerin görüntüdeki faydalı veriyi bozmaması, görüntüdeki detayları koruması gerekir. Bu durum çoğu görüntü işleme tekniği için bir sorun teşkil etmektedir. Bu tekniklerin çoğunun zamandan ve kullanılan bellekten dolayı senkronize olarak uygulanamaması, paralel işlem mantığını kullanan teknikler üzerinde çalışmalar yapılmasını zorlaştırmıştır.

Görüntü zenginleştirme ve restorasyonu işlemleri, kalitesiz görüntülerdeki tanımlanamayan nesnelerin belirlenmesinde ve tekrarlanması maddi olarak zor olan deneylerin sonuçlandırılmasında kullanılırlar. Fizik ve bağlantılı alanlarda görüntü işleme, elektron mikroskobu ve yüksek enerji plazma deneylerinde görüntülerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Böylece görüntü işleme, astronomi, nükleer tıp, savunma, biyoloji ve endüstriyel uygulama alanlarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır ve kullanılmaktadır.

-273ºC üzerindeki tüm nesneler bir termal enerji yayarlar. Bu enerji nesnelerin sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Termal enerji insan gözünün göremediği

Kızılötesi (Infrared) aralıkta yayılır [4]. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılayan bir cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal görüntüleyiciler çıplak gözle tespit edilmeyen, ancak ciddi sonuçlara yol açabilen küçük problemleri net olarak görmemizi sağlar.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasında, nesnelerin özelliklerine göre yaydığı ısıya duyarlı olarak çalışan bir termal kameradan alınan görüntüler irdelenmiş, alınan bu görüntülerin parlaklık seviyesinin yüksek olduğu, kontrast ayarlarının iyi olmadığı, gürültülü olduğu, ölü dedektörlerden veya mekanik tarama sisteminden kaynaklanan istenmeyen noktaların bulunduğu tespit edilmiştir. Bu olumsuzlukların diferansiyel uygulamalar ve Gaussian, kenar belirginleştirme filtreleri gibi görüntü iyileştirme teknikleri kullanılarak giderilmesine çalışılmış ve görüntünün daha anlaşılır olması sağlanmıştır. Ayrıca şemsiye gibi termal ısıyı engelleyici nesnelere rağmen insan silüeti geliştirilen yöntemle bulunmuştur.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm-2'de termal enerji, termografi, optik spektrum kavramları açıklanarak termografinin avantajları/dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca bu bölümde termal kamera sistemlerinin çalışma prensibi, termal kameralar ile ilgili temel bilgiler; termal kameraların sıcaklığı, çözünürlüğü vb. incelenmiştir.

Bölüm-3'de görüntü ile ilgili temel kavramlar açıklanmış, görüntü onarma ve işleme teknikleri incelenmiş, bu tekniklerden tez çalışmasında geliştirilen yönteme uygun filtreler belirlenmiştir.

Bölüm-4'de tez çalışmasında kullanılan yöntem ve teknikler anlatılmış, termal kamera görüntüleri üzerinde bu yöntemler uygulanmış ve uygulama görüntüleri verilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bölümde tezin ana temasını oluşturan adımların algoritması verilerek akış diyagramı ile çizilmiştir.

Bölüm-5'de tez çalışmasının genel sonuçlarının üzerinde değerlendirmeler belirtilmiştir ve bu alanda yapılabilecek çalışmalar tartışılmıştır. Bu tez çalışmasında alınan termal görüntülerdeki olumsuzluklar türev uygulamaları ile giderilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın termal kamera görüntülerini iyileştirme literatürüne zenginlik ve farklılık katması amaçlanmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

Termografi ve termal görüntüleme elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma, bina tanılamaları vb. birçok alanda kullanılabilir. Elektrikli ekipmanlar motorları, dağıtım ekipmanlarını ve trafo merkezlerini içerir. Süreç ekipmanları otomatize üretim ve montaj ekipmanlarını kapsar. Bina tanılamaları, çatıdaki rutubeti kontrol etmeyi, hava sızıntısına yönelik olarak bina yalıtımı incelemelerini ve nem algılamasını içine alır. Yalıtım ise duvarların, çatıların ve döşemelerin içine yerleştirilmiş bina termal çevre kaplama malzemelerini kapsar. Sağlık ise vücuttaki kırık kemik veya incinmiş alanları belirler. Savunmada ise istenmeyen nesnelerin tespitini sağlar.

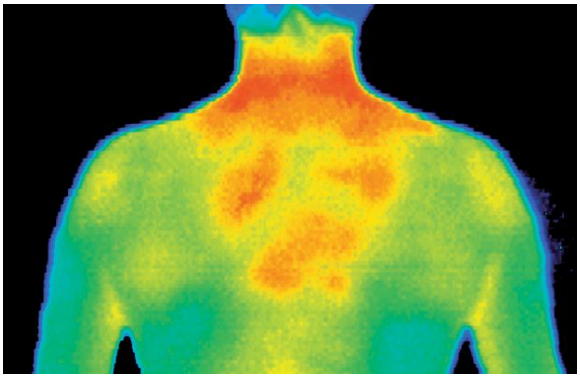
Birbirinden farklı dokuların enerji tüketim değerleri de değişkenlik göstermektedir. Dokunun sağlıklı olup olmamasına göre iletkenliği ve metabolizmaya ait sıcaklık artış değerleri değişmektedir. Dokular arasındaki sıcaklık farkları, hastalık teşhisinde termal kızıl ötesi görüntülemeyi önemli bir konuma taşımıştır. Eski yarı iletken teknolojisi ve termal cihazlarla düşük miktardaki sıcaklık farklarını algılayabilmek mümkün değildi. Ancak, son yıllardaki dedektörlerin ve kameraların önemli ölçüde artan hassasiyet değerleri ile çok küçük sıcaklık farklarını algılamak mümkün hale gelmiştir. Aşağıda termal kameralar ile yapılmış bazı çalışmalar verilmiştir.

1.3.1. Termal Kamera ile Hastalıklı Bölgenin Belirlenmesi

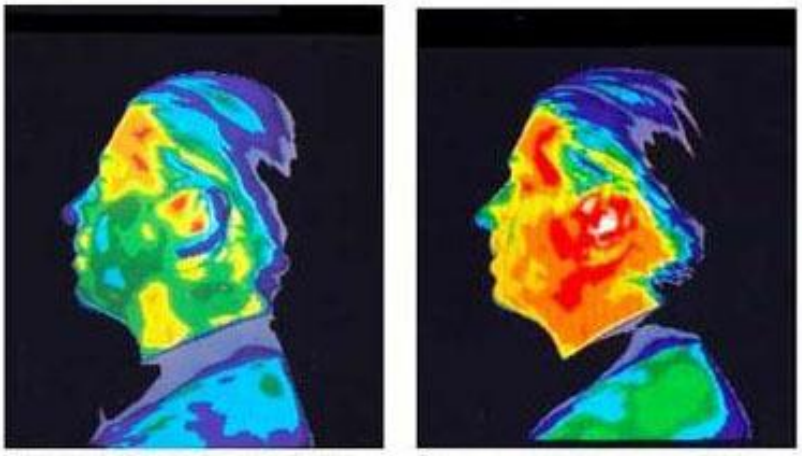
Kızılötesi ışık şiddeti, ısı yayan dokunun sıcaklığı ve doku içindeki kan akışı ile doğru orantılıdır. Foton akışındaki değişimler ölçülüp analiz edilerek doku içindeki kan akışındaki değişim bulunur ve hastalığın fizyolojisi hakkında bilgi sahibi olunabilir [10]. Termal görüntüleme yöntemi uygulayıcının, hastanın cilt yüzeyi sıcaklığındaki değişiklikleri görebileceği hastaya ilaveten bir kateter uygulanması, kontrast madde verilmesi ve iyonize edici radyasyon uygulanmasını gerektirmemesi sebebiyle invazif olmayan tanısal bir tekniktir [11]. Yüzey sıcaklığı dağılımından yararlanarak fizyolojik değişim ve metabolik süreçleri göstermek için kullanılır. Vücut yüzey sıcaklığı yaş,

cinsiyet, kilo, metabolizma, topoğrafya ve damarlardan akan kanın ısısal etkisine bağlı olarak değişecektir [12,13].

Vücutta ağrıyan bölgelerdeki çok küçük ısı farklılıkları ile ciltten yayılan IR dalgalar hassas dedektörler tarafından algılanarak elektriksel sinyale dönüştürülür. Bu sinyallerin renk skalasında ki farklılıklarından yararlanarak insan vücudunun termogram adı verilen termal resimleri elde edilir. Normal vücutta termal ısı simetri olduğundan asimetrik sıcaklık kolaylıkla fark edilir. Vücuttaki simetrik bölgeler arasında sıcaklık farklılığı söz konusu ise görüntüleme ile belirlenerek ağrının fizyolojik ve fonksiyonel bozukluğun gerçek merkezi tespit edilebilir. Şekil 1.2'de bir kişinin boyun ve sırt bölgelerindeki ağrılı alanlar termal kamera ile kolaylıkla fark edilebilir. Şekil 1.3'de bir kişinin termal kamera ile çekilmiş sağlıklı ve hastalıklı halleri gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Vücutta ağrılı bölgenin belirlenmesi



(a) Sağlıklı (b) Hastalıklı

Şekil 1.3. Termal kamera ile çekilmiş bir kişinin görüntüleri

1.3.2. Termal Kamera ile Canlı Nesne Ayrıştırılması

Termal imgeler üzerinde hatalı piksellerin tespit edilmesi için geliştirilmiş olan algoritma canlı nesne ayrıştırılması için adapte edilerek kullanılmış ve bu şekilde nesnelerin canlı ve cansız olmak üzere iki sınıfa ayrıştırılması sağlanmıştır [14]. Canlı nesneler daha fazla ısı yaydıkları için sıcaklık görüntülerinde göreceli olarak daha parlak görünürler. Bu algoritma parlak kısımları daha parlak karanlık kısımları daha karanlık yaparak birbirlerinden ayrılmalarını sağlamaktadır [15].

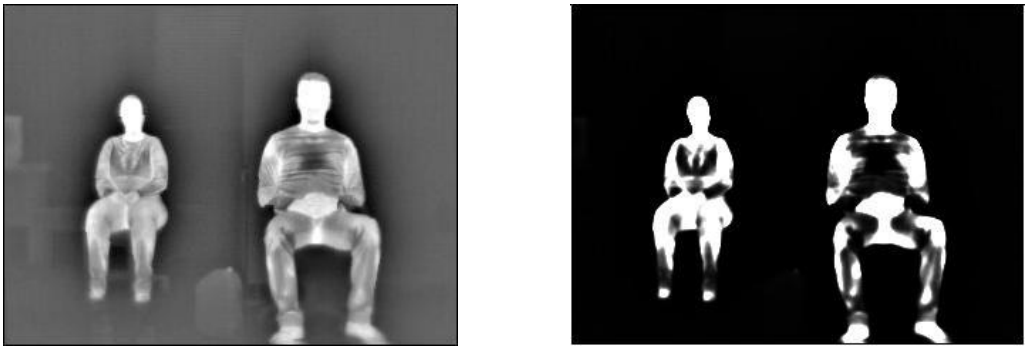
Termal görüntüdeki *I(x,y)* pikseli z_0, komşu pikselleri *I(x-1,y-1), I(x-1,y), I(x-1,y+1), I(x,y-1), I(x,y+1) , I(x+1,y-1), I(x+1,y), I(x+1,y+1)* de sırasıyla *z1, z2,,..., z8* olsun. Her pikselin kendisi ve komşularının çarpımına Z diyelim.

$$Z = \prod_{k=0}^{8} Z_k \tag{1.1}$$

Burada her piksel için Z degerlerinden oluşan bir görüntü oluşturulacak. Bu görüntüdeki her piksel Eşitlik 1.2'ye göre oluşturulmaktadır.

$$F(i,j) = Z \tag{1.2}$$

Burada *F(i,j)* yeni görüntünün *(i,j)* pikselinin değeridir. Bu işlem N satır sayısı ve M sütun sayısı için *i=2,3,.....N-1 ve j=2,3...M-1* arasındaki pikseller için uygulanır. Yani birinci ve sonuncu satır ve sütunlar için uygulanmaz. Bunun yerine birinci satır ve sütunun yerine ikinci satır ve sütunlar, sonuncu satır ve sütunlar için sondan bir önceki satır ve sütunlar kopyalanır. Daha sonra en büyük piksel değerinin diğer bütün piksellere bölünmesi ile normalizasyon yapılması sağlanır. Yeni oluşturulan görüntü ile parlak pikseller daha parlak, karanlık pikseller daha karanlık hale getirilmiş olur. İkili değer görüntüsü elde edilebilmesi için mutlak ortalama eşik değeri metotu kulanılır. Bu işlem sonucu canlı nesneler için 1, cansız nesneler için 0 değerini içeren bir ikili değer görüntüsü *Fs(x,y)* elde edilir [15]. Algoritma sonuçları Şekil 1.4'de gösterilmektedir.



(a) Orijinal görüntü (b) Algoritma sonucu

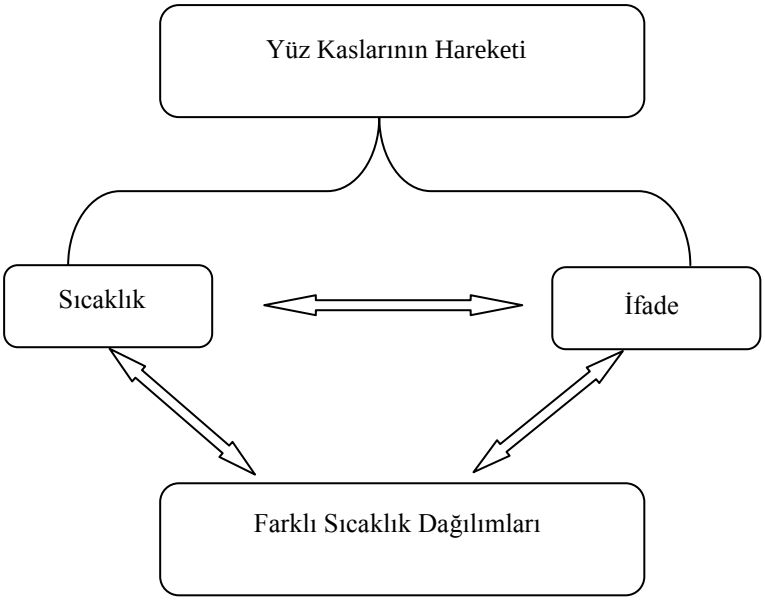
Şekil 1.4. Termal kamera ile canlı nesne ayrıştırılması

1.3.3. Termal Görüntülerden Yüz İfadelerini Tanıma

Kişilerin yüz ifadelerindeki değişimler aynı zamanda yüzdeki ısı değişimlerini de gerçekleştirir. Geometrik ve matematiksel bilgilerinde yardımıyla termal kamera ile yüzün ısı haritası çıkarılabilir. Bu ısı haritalarından yola çıkarak kişilerin yüz ifadeleri tanınabilir [16]. Bu çalışmada [17] kullanılan yöntemde, yüz ifadeleri gerçek zamanlı olarak monitörde izlenmektedir. Aynı zamanda bu termal görüntüler tıbbi rahatsızlıklarda da yardımcı teşhis olarak kullanılabilir. "Bilgisayarı insanlaştırarak" yüksek tehlike içeren hasta muayenelerinde de kullanmak mümkündür.

Yüz ifadeleri vücudun doğrudan davranışları ile ilgili bilgi içerir. Bu ifadeleri inceleme çalışmaları insanların sağlık durumlarını teşhis etmek içinde kılavuzluk edecektir. Tabi bu, tüm kişiler için geçerli değildir. Akıl hastaları karmaşık ruh haline sahip oldukları için onların gerçek duyguları hakkında bilgi edinemeyiz.

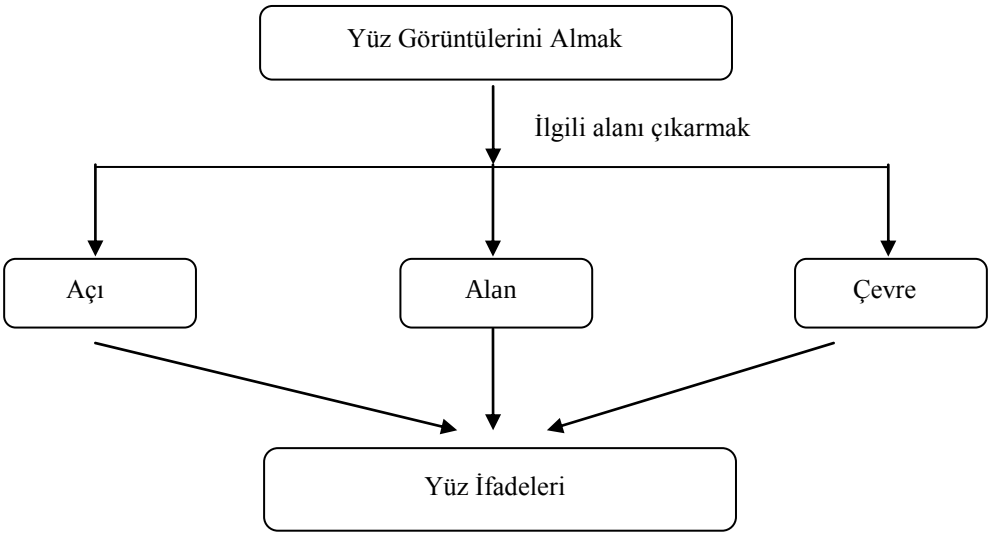
Termal resim teknolojisi ile ışıktan ve ten renginden etkilenmeden ilgili bölgeden yüz alanı çıkarılabilir. Yüz ifadelerinde ki farklılıklara kas hareketleri rehberlik eder. Bu kasların hareketi farklı miktarda ısı üretir ve böylece yüzdeki ısı dağılımı değişir. Termal görüntü ölçüm cihazı ısı dağılımını insan vücudunda ki kızılötesi ışınımdan alır. Şekil 1.5'de ifadeler ile yüzdeki ısı dağılımı ilişkisi verilmiştir.



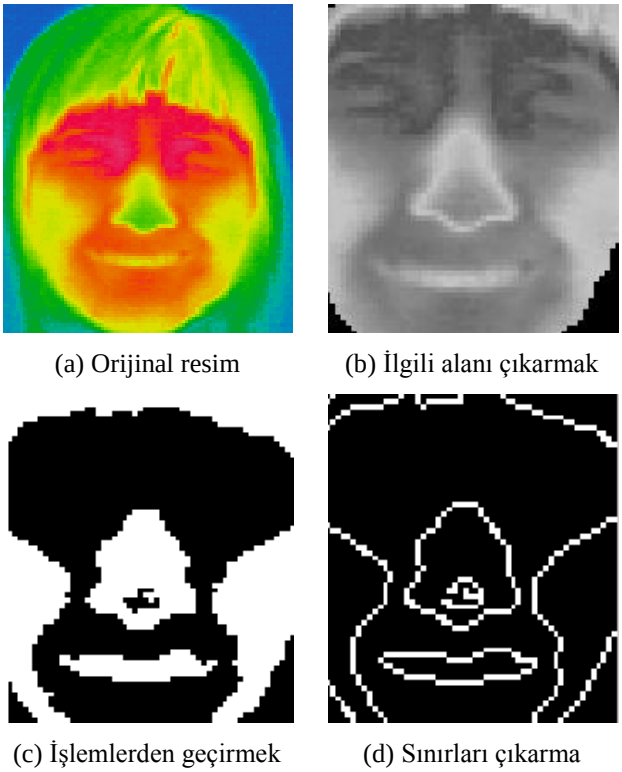
Şekil 1.5. Yüz ifadeleri ile sıcaklık dağılımı arasındaki ilişki

Termal görüntü ile ilgili bölgenin hatlarını çıkarmak için bazı geometrik ve matematiksel işlemler gerekir. Görüntünün kapsama alanı, çevresi, yarıçap eğrisi gibi. Çalışmada [18] görüntüye bazı temel işlemler uygulanacak; görüntüyü yıpratma (aşındırma), görüntüyü genişletme, bölgesel alan ölçümü gibi. Termal görüntülerde görülüyor ki burun yüksek ısı alanlarına nispeten daha düşük ısı alanları ile çevrilmiştir. Bu nedenle referans noktası burun ucu olarak alınmaktadır. Çalışmadaki dairesel seçim alanının merkez referans noktası yüz alanındaki en düşük ısıya sahip olan burun çevresi alınmıştır. Yani merkez noktası olarak burun ucu alınmıştır.

Şekil 1.6'da gösterildiği üzere, termal resimlerin renkli görüntüsünden ilgili alan çıkarıldıktan sonra açı, alan ve çevresi matematiksel bilgi yoluyla dışa taşınır. Resimde algılanabilen ciddi çizikler çıkarılır. Sonra resim parçalara ayrılır. Açık işleme tabi tutulan resimlerin son olarak kenarları çıkarılır. Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de işlem gören gülen ve durgun yüz ifadeleri verilmiştir.



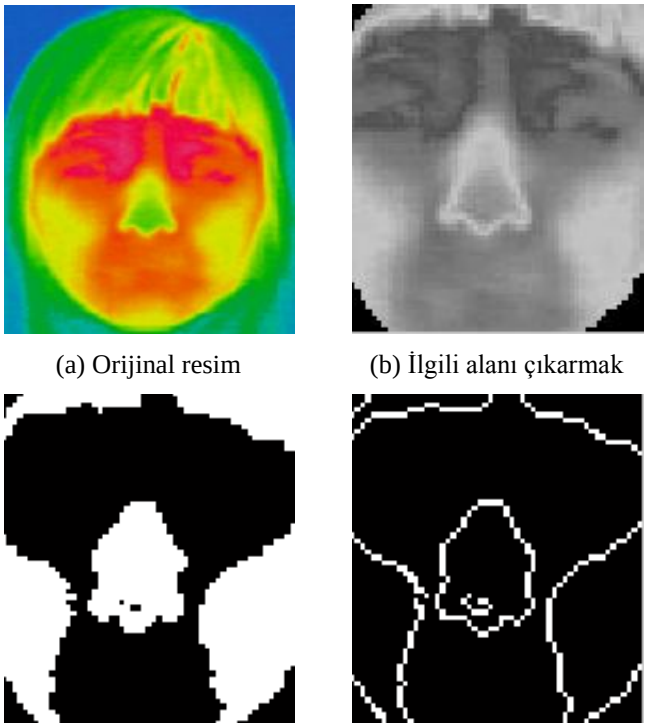
Şekil 1.6. Yüz ifadelerini tanımada programın akışı



(a) Orijinal resim (b) İlgili alanı çıkarmak

(c) İşlemlerden geçirmek (d) Sınırları çıkarma

Şekil 1.7. İşlem gören gülen yüz ifadesi



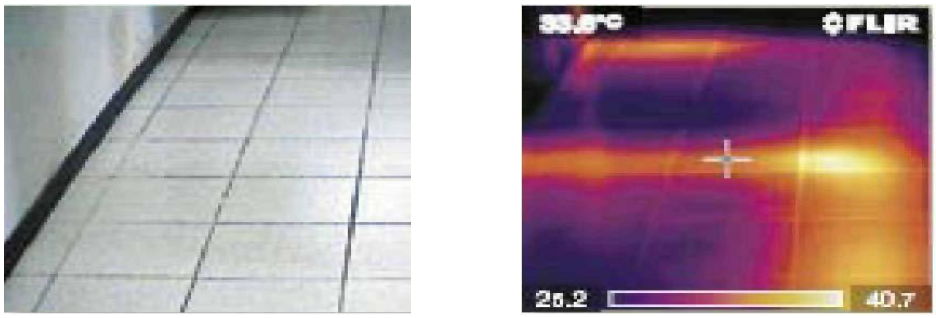
(a) Orijinal resim (b) İlgili alanı çıkarmak

(c) İşlemlerden geçirmek (d) Sınırları çıkarma

Şekil 1.8. İşlem gören durgun yüz ifadesi

2. TERMAL KAMERALAR

Termal kamera, çeşitli sektörlerde kullanılan, alanların ya da parçaların normalin üzerindeki sıcaklıklarını ya da soğukluklarını ölçebilen pahalı tanı cihazlarıdır. Bu cihazla normalde çıplak gözle görünmeyen sorunlar tespit edilebilir. Bu cihazlar nesnelerden yayılan termal enerjiyi ölçmeye yarayan lenslerden ve algılayıcılardan oluşur. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılayan cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Ciddi sonuçlara yol açabilen ve insanların göremediği problemleri en iyi tespit eden cihazlar termal kameralardır. Örneğin zeminden ısıtmalı bir mekânın ısıtma sistemindeki problem termal kamera ile çok hızlı bir şekilde tespit edilir. Şekil 2.1'de zeminden ısıtmalı bir mekanın termal kamera görüntüsü verilmiştir.



Şekik 2.1. Termal kamera ile alttan ısıtmalı zeminin temassız ölçümü

Termal kamera canlıları, vücutlarının çıkardığı ısı sayesinde görür. Kısaca canlıların yaydığı vücut ısısından yararlanarak hareketlerini tespit edip yerlerini belirleyen kameralardır. Termal kamera son derece düşük sıcaklık farklarını algılayabilir ve bu farkları gerçek zamanlı video görüntüsü olarak dönüştürüp monitörde izlenmesini sağlar. Tam gece görüşü ve benzer zor uygulamalar için en uygun üründür. Sıcak nesnelerin görüntülerini elde etmek için iki tür termal kamera vardır. Bu iki tür kamera arasındaki fark sensörlerin yapılarından ileri gelir. Birinci grup kameralar uzun dalga infrared de çalışan ve soğutulmayan sensörler ile donatılmıştır. Diğer grup ise kriyojeni soğutma tekniği ile soğutulan sensörlerden oluşur. Bu kameralar ile orta dalga ve uzun dalga bantların her ikisinde de görüntü elde edilebilir.

Termal kameralar elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma, veterinerlik, endüstriyel, çevre ve sivil birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [39]. Tablo 2.1'de termal kameraların birkaç uygulama alanı verilmiştir.

Tablo 2.1. Termal kamera kullanım alanları [40]

Savunma	Nesne tanımlama, keşif yapma vb.
Sağlık	Damar tıkanıklıklarının tespiti, mamografi, kırık bölge tespiti vb.
Endüstriyel	Motorlar, dağıtım merkezleri, trafolar vb.
İnşaat	Çatı rutubeti kontrolü, hava sızıntısı vb.
Çevre	Yer altı kaynaklarının bulunması, kirlilik kontrolü vb.
Sivil	Yangınla mücadele, suçla mücadele vb.

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 IR yayılımlar olduğu ve her IR yayılımın farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu objektifler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler. Askeri amaçlı olanlar genellike doğada bulunan cisimlerin ortak IR yayılımlarının olduğu 8 ile 14 µm dalgaboyuna 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 [41].

2.1. Termal Enerji

Termal görüntülemede bir cisim tarafından yayılan, iletilen ve yansıtılan kızılötesinin tamamı gösterilmektedir. Bu yüzden bu yolla cismin sıcaklığı ile ilgili kesin bir değer bulunması oldukça zordur, özel matematiksel hesaplamalar ister. Her maddenin IR emme/yayma ve yansıtma özelliği farklıdır. Yayma ve yansıtma ise birbiri ile ters orantılıdır. %Y yayma özelliği olan bir cismin yansıtma özelliği %(100-Y)'dir. Tablo

2.2'de örnek maddelerin IR yayma faktörleri görülmektedir. Tablo 1.1'den de anlaşıldığı üzere, yayma özelliği ile yansıtma özelliği ters orantılıdır. Yansıtma özelliği düşük olan cisimler kendi sıcaklıkları ile orantılı IR yayarken, yansıtma özelliği yüksek olanlar yansıttığı cismin sıcaklığından dolayı oluşan IR'yi de yaymaktadırlar. Örneğin, suyun yayma özelliği %92-96 arası, yansıtma özelliği ise %8-4 arasıdır [5].

Tablo 2.2. Bazı maddelerin yayma faktörleri [5].

Madde	**Yayma Faktörü**	**Alanlar**
Su	0,92-0,96	Su ve Toprak Yüzeyleri
Yeni yağmış kar	0,82-0,99	
Buzlanmış kar	0,89	
Buz	0,96	
Donmuş toprak	0,93-0,94	
Kuru kum	0,84	
Islak kum	0,95	
Kuru çimento	0,71-0,88	
Nemli ve çıplak yeryüzü	0,95-0,98	
Çöl	0,90-0,91	Doğal Yüzeyler
Kuru ot	0,90	
Tarla ve Çalılık	0,90	
Meşe ağacı	0,90	
Yonca	0,95	Bitkiler
Meşe yaprağı	0,91-0,95	
Beyaz kağıt	0,89-0,95	Diğerleri
Düz cam	0,87-0,94	
Kırmızı tuğla	0,92	
Beyaz sıva	0,91	
Odun	0,90	
Beyaz boya	0,91-0,95	
Siyah boya	0,88-0,95	
Alüminyum kağıt	0,01-0,05	Diğerleri
Parlatılmış gümüş	0,02	
İnsan derisi	0,95	

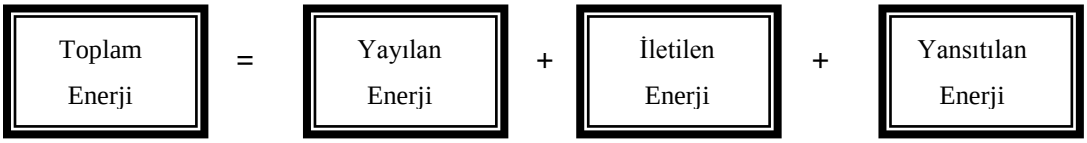
Bir termal kamera ile bakıldığında görülen enerji toplam enerjiyi göstermektedir.

Yayılan Enerji: Genellikle ölçülmek istenilen enerjidir.

İletilen Enerji: Uzak bir termal kaynaktan gelip içinden geçen enerjidir.

Yansıtılan Enerji: Uzak bir termal kaynaktan gelip cismin yüzeyinden yansıyan enerjidir.

Şekil 2.2'de toplam enerji dağılımı gösterilmiştir.



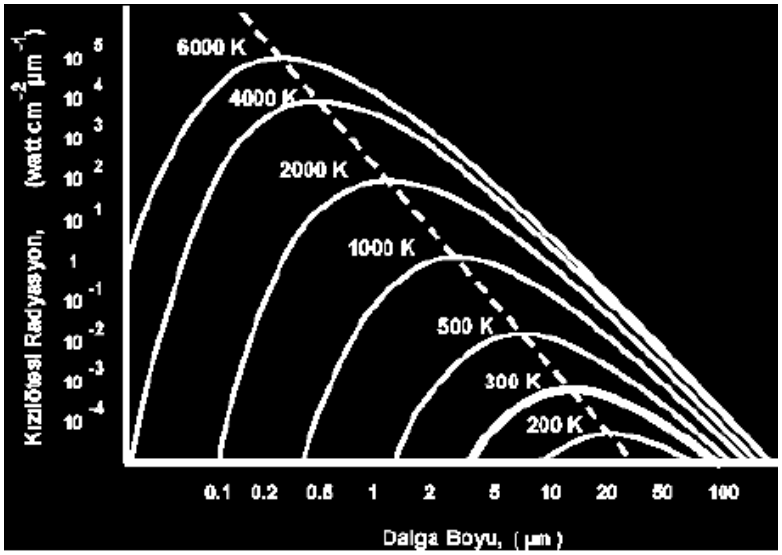
Şekil 2.2. Toplam enerji dağılımı

Eğer cisim bulunduğu ortamdan daha yüksek bir sıcaklığa sahipse termodinamiğin ikinci yasasına bağlı olarak sıcak cisimden soğuk cisme doğru bir ısı akışı gerçekleşecektir. Bu yüzden eğer termografisi alınacak ortamda soğuk bir alan varsa bu cisim sıcak cisim tarafından yayılan radyasyonu emecektir. Bu cisimlerin yayma ve emme yeteneklerinin her ikisine de emissivity denmektedir [6]. Dış ortam şartlarında ısı iletimine neden olan rüzgârın varlığı da gözönüne alınmalıdır. Havanın geçirgenliği aslında değişken bir yapıya sahiptir. Çünkü havanın kendisi dinamiktir.

*Emissivity***:** Objelerin kızılötesi spektrumda ışıma oranı yani ısı yayım katsayısıdır. Her nesne farklı ısı yayım oranına sahiptir. Bu değer 0.0 iletimsiz, 1.0 iletimli arasında değerlendirilmektedir. Siyah bir nesnenin emissivity değeri 1.0'dır. Diğer bütün nesneler için ise emissivity değeri 1.0'ın altındadır.

*Reflectivity***:** Bir yüzeye çarpan ışıkla yansıyan ışık arasındaki orandır. Emissivity + Reflectivity = 1.0 olur.

-273 °C üzerinde olan her nesne görünür ışıktan bağımsız bir ısı yayar. Fotonlardan oluşan bu ısı geniş bir frekans aralığını kapsar. Bir cisimden yayılan enerji, cismin sıcaklığına, yayma özelliğine ve dışarı yayılan enerjinin dalgaboyuna bağlıdır. Herhangi bir dalga boyunda yayınlanan enerji miktarı, o cismin sıcaklığı arttıkça artar. Sıcaklık arttıkça yayınlanan foton enerjisinin tepe değeri, görünür ışığa doğru kayar ve dalga boyu kısalır. Şekil 2.3'de sıcaklık - dalgaboyu - kızılötesi radyasyon arasındaki ilişki Wein şeması ile gösterilmektedir.

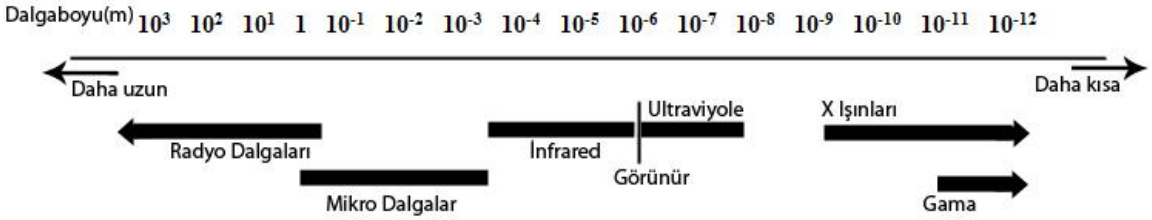


Şekil 2.3. Wein şeması

Termal kameralar Planck formülü, Wein eşitliği ve Boltzman denklemleri esas alınarak uygun ayarlama ile cisimlerin sıcaklık dağılımlarını elde etmemizi sağlarlar. Cismin birim yüzeyde 1µ dalga boyu aralığında yaydığı ışımanın spekral dağılımı, ışımanın maksimum değeri, cismin $1cm^2$ yüzeyinin yaydığı toplam enerji, cismin sahip olduğu enerjinin ne kadarının ışıma yaptığının belirlendiği bu eşitlikler kızılötesi ışıma tekniklerinin temel prensiplerini oluşturmaktadır [7-9]. Termografik kamera ilk adım olarak insan gözünün göremeyeceği elektromanyetik ışınımları görecek daha sonra çeşitli matematiksel algoritmalar kullanıp bunu gözle görülebilir bir resme dönüştürüp genellikle JPG (joint photographic expert group) formatında kaydetmektedir.

2.2. Optik Spektrum

Biyolojik görme sistemi elektromanyetik radyasyonun görünür bölgesindeki frekanslarını algılarken, sayısal görüntü işleme sistemleri neredeyse tüm elektromanyetik spektrumu (ultrason, elektron mikroskobu, bilgisayarda üretilmiş görüntüler vb.) kullanır. Dolayısıyla sayısal görüntü işleme çok geniş ve çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Şekil 2.4'de verilen optik spektrum, morötesi (UV), kızılötesi ve görünür bandlardan oluşur. IR bandı, atmosferdeki gazlardan dolayı tamamen kullanıma açık değildir.



Şekil 2.4. Elektromanyetik ışınım spektrumunda dalga boyları

Kızılötesi (Kızılaltı, IR veya Infrared) ışınım, dalgaboyu görünür ışıktan uzun ve mikrodalgalardan daha kısa olan elektromanyetik ışınımdır. Teknolojide kabul edilen ismi olan infrared Latince'de aşağı anlamına gelen infra ve ingilizce kırmızı anlamına gelen red kelimelerinden oluşmaktadır ve kırmızı altı anlamına gelir. Kırmızı, görünür ışığın en uzun dalgaboyuna sahip rengidir. Kızılötesi ışınımın dalgaboyu 750 nanometre ile 1 mikrometre arasındadır. Normal sıcaklığındaki insan vücudu 10 mikrometre civarında ışıma yapar. Güneş ışığı %47 kızılötesi, %46 görünür ışık ve %7 morötesi ışınımdan oluşur. Nesneler oldukça geniş bir tayfta kızılötesi ışınım yayarlar, fakat algılayıcılar sadece belli bant genişliklerini algılayabildikleri için genellikle kızılötesinden kastedilen belirli bantlardır. Bu yüzden kızılötesi band daha küçük altbantlara bölünmüştür. Bunlar; yakın IR (NIR), orta IR (MIR) ve uzak IR (FIR) olarak üçe ayrılır. Şekil 2.5'de farklı kızılötesi bandlarda aynı alanın görüntüleri verilmiştir.



(a) Yakın IR (b) Orta IR (c) Uzak IR

Şekil 2.5. Kızılötesi bandlarda çekilmiş görüntüler

Görünür bölge; bu bölge, optik spektrumun 0,4-0,7 μm arasındaki insan gözünün algıladığı bölgedir. Bu bölgedeki renkler ve bu renklere ait dalga boyları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Görünür bölgedeki renk dalgaboyları

Renk	**Dalgaboyu aralığı (nm)**
Mor	400-466
Mavi	466-500
Yeşil	500-578
Sarı	578-592
Turuncu	592-620
Kırmızı	620-700

Termal kamera sistemlerinin çalışma prensibinin bilinmesinin yanında her bandın dalgaboyu aralığınında farklı olduğuda bilinmelidir. Bu nedenle kullanım amacına göre uygun bandın seçilmesi ve seçilen banda göre ilgili görüntü iyileştirme tekniğinin uygulanması gerekmektedir.

2.3. Kızılötesi (Infrared/IR) Termografi

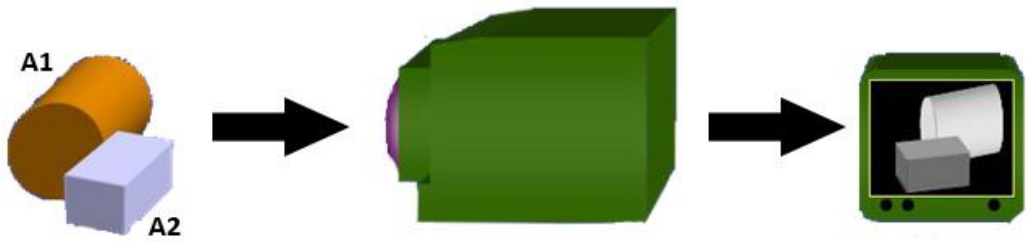
Termografi kavramı "sıcaklık resmi" anlamına gelen kelimelerin köklerinden elde edilmiştir. 1800'li yıllarda güneş ışığı ile deneyler gerçekleştirmiş olan Alman gökbilimci Sir William Herschel, termografinin kökeni ile onurlandırılabilir [40]. Hassas, civalı bir termometreden yararlanan Herschel, bir prizma içerisinden güneş ışığını geçirerek ve her rengin sıcaklığını ölçtüğü yerlere, çeşitli renklere termometreyi tutarak, kızılötesi ışınımı keşfetti. Herschel dışarı, kırmızı ışığın ötesine "dark heat" (karanlık ısı) olarak isimlendirdiği bir alana hareket ettiği zaman sıcaklığın arttığını belirledi. "Dark heat" şu anda kızılötesi ısı olarak bilinen ve elektromanyetik ışınım olarak kabul edilen, elektromanyetik spektrum bölgesiydi.

Kızılötesi termografi ışınımı ve bununla ilişkili olarak yüzey sıcaklığını algılamak ve ölçmek üzere, elektronik optik cihazlar kullanma bilimidir. Işınım, ışıyan enerji (elektromanyetik dalgalar) doğrudan bir iletim ortamı olmaksızın hareket ederken ortaya çıkan ısı hareketidir. Modern kızılötesi termografi, ışınımı algılamak ve ölçmek ve bunu denetlenen yapı veya ekipmanın yüzey sıcaklığı ile ilişkilendirmek üzere, elektronik optik cihazlar kullanılarak uygulanır.

İnsanlar kızılötesi ışınımı her zaman algılayabilmişlerdir. İnsan derisindeki sinir uçları, ±0.009°C (0.005°F)'ye kadar küçük sıcaklık farklarına cevap verebilmektedir.

İnsanlar ısıyı algılamada fiziksel sınırlamalara sahip oldukları için, ısıya karşı aşırı hassas mekanik ve elektronik cihazlar geliştirmişlerdir. Bu cihazlar, sayısız uygulamaya ilişkin termal denetlemelere yönelik olarak herkesçe kabul edilmektedir.

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.



Şekil 2.6. Termal görüntüleme cihazı ile çekilen sıcaklıkları farklı A1 ve A2 nesnelerinin görünümü [9].

Termal dalga metotları katı cismin termal özellikleri zaman veya boşluktaki sıvının sıcaklık akışı arasındaki bağıntıyı ortaya çıkarmak için kullanılır. Bir nesnenin termal görüntüleri hakkındaki bilgi, zaman veya frekans bölgesindeki sıcaklık yanıtından elde edilir. Termal dalga metotları kullanılarak nesnenin yüzeyindeki dinamik sıcaklık alanlarının teşhis edilmesini içeren termal düzensizlikler görselleştirilir. Nesne üzerindeki sıcaklık farklılıklarını ayarlamak için enerjik uyarılmanın frekans spektrumu (aralığı) göz önünde bulundurulur.

2.3.1. Kızılötesi Film ve Termografi Arasındaki Fark

Kızılötesi film 250 ºC ve 500 ºC arasında hassas iken, termografi yaklaşık olarak -50 ºC'nin altı ve 2000 ºC'nin üstünde hassastır. Bu yüzden kızılötesi filmde bir cismi göstermek için o cisim 250 ºC'nin üzerinde olmalıdır veya en azından bu kadar sıcak olan bir cisimden gelen ışımayı yansıtıyor olmalıdır. Gece görüş dürbünleri ise normal olarak,

dışarıda uygun olan yıldız veya ay ışığının küçük miktarlarını yükseltir bu nedenle sıcaklığı göremez ve tümüyle karanlıkta çalışamazlar.

2.3.2. Termografinin Avantajları

- Büyük bir alanın sıcaklığını karşılaştırmak için görünür bir resim elde edilir,
- Hareket eden hedefler eşzamanlı görüntülenebilir,
- Bozulmanın ilk aşamasında olan bileşenler bulunabilir,
- Diğer yöntemler için ulaşılamaz veya tehlikeli alanlar ölçülebilir.

2.3.3. Termografinin Kısıtlamaları ve Dezavantajları

- Kaliteli kameralar pahalıdırlar ve kolayca hasar görürler,
- Elde edilen resimleri doğru şekilde yorumlamak tecrübeli kişiler için bile zor olabilir,
- Salınım güçleri dolayısıyla, doğru sıcaklık ölçümleri çok zordur,
- Çoğu kamera ±2% veya daha kötü doğruluğa sahiptirler,
- Kızılötesi görüntülemede eğitim almak ve yeterli kalmak zaman alır.

2.4. Termal Kamera Yapıları

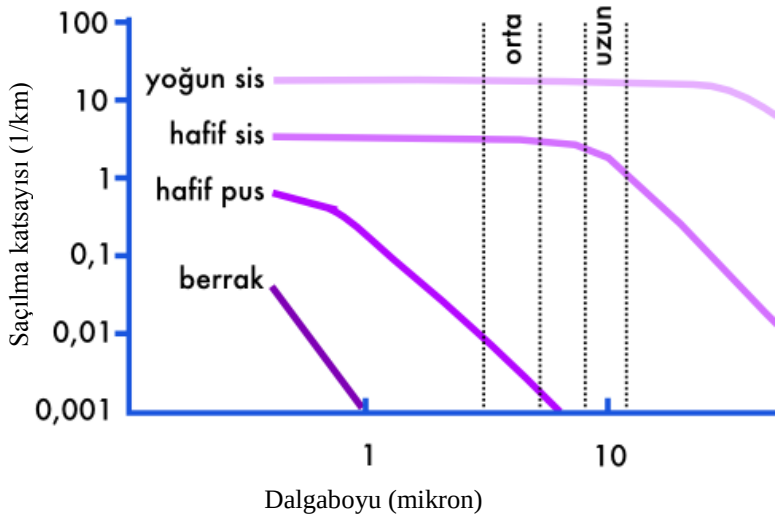
1980'lerin başından beri termal kameralardan tıbbi amaçlarla, temel endüstride, savunmada ve bina denetlemeleri için geniş bir biçimde yararlanılmaktadır. Termal kameralar tamamen radyometrik görüntüler üretmek üzere ayarlanarak radyometrik sıcaklıklar görüntüdeki her yerde ölçülebilir. Radyometrik görüntü, görüntüdeki çeşitli noktalar için sıcaklık ölçüm hesaplamalarını içeren termal bir görüntüdür.

Termal görüntüleyicileri soğutmak için kullanılmış olan sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış gazın yerini almak üzere güvenilir termal görüntüleyici soğutucuları geliştirilmiştir. Daha az pahalı, tüp temelli termal görüntüleme sistemleri de geliştirilmiş ve yaygın biçimde üretilmiştir. Bu termal görüntüleme sistemleri hafif, portatif ve soğutma olmadan çalışabilirler.

1980'lerin sonlarında odak düzlem matrisi (focal-plane array/FPA) olarak bilinen yeni bir cihaz, ordudan ticari piyasalara sunuldu. Odak düzlem matrisi (FPA), bir merceğin odak düzlemindeki kızılötesini algılayan dedektörlerin bir dizisinden oluşan (tipik olarak dikdörtgen biçiminde) bir cihazdır. Bu başlangıçtaki taramalı dedektörler üzerinden gerçekleştirilen önemli bir ilerlemeydi, sonuç; görüntü kalitesinde ve uzamsal çözünürlükte

bir artıştı. Modern termal görüntüleyicilerdeki tipik dizinlerin 16x16'dan 640x480'e kadar sıralanan pikselleri vardır. Bu anlamda bir piksel bir FPA'nın kızılötesi enerjiyi algılayabilen en küçük bağımsız unsurudur. Özel uygulamalar için 1000x1000'den fazla piksele sahip dizinler mevcuttur. İkinci sayı ekranda gösterilen yatay satırların sayısını temsil ederken ilk sayı dikey sütunların sayısını temsil eder. Örneğin bir 160x120 dizini toplam 19200 piksele eşittir. Çeşitli dedektörlerden yararlanılan FPA teknolojisinin gelişimi 2000 yılından beri tırmanıştadır. Dedektör çeşitliliği termal kameraların verimli çalıştıkları dalga boylarınıda belirleyici unsurdur. Uzun dalga boylu termal görüntüleyici, 8µm ve 15µm arasındaki bir dalgaboyu bantı içinde kızılötesi enerjiyi algılayan termal bir görüntüleyicidir. Orta dalga boylu bir termal görüntüleyici ise 2.5µm ve 6µm aralığını algılar. Hem uzun hem de orta dalga boylu termal görüntüleme sistemleri şu anda sık sık görüntü birleştirmeli ve 0.00˚C veya daha düşük termal hassasiyetli olarak tamamen radyometrik versiyonlar halinde hazırdır. Uzun dalgada çalışan termal kameralar sisli havada orta dalgada çalışanlara göre az da olsa bir üstünlüğe sahiptir.

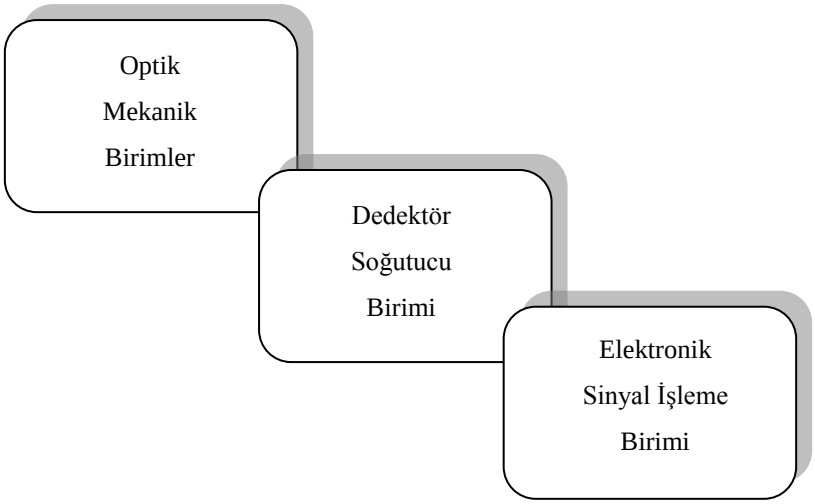
Şekil 2.7'de gösterilen grafikte eksenlerdeki skalaların eşit aralıklı olmadıkları dikkate alınırsa ikisinin arasındaki farkın boyutu görülebilir.



Şekil 2.7. Orta ve uzun dalga boyunun karşılaştırılması

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi yoğun siste ikisi de aynı miktarda etkilendikleri halde hafif siste uzun dalga boyunun avantajı ortaya çıkar. Hafif puslu havada ise farklılık daha da azdır.

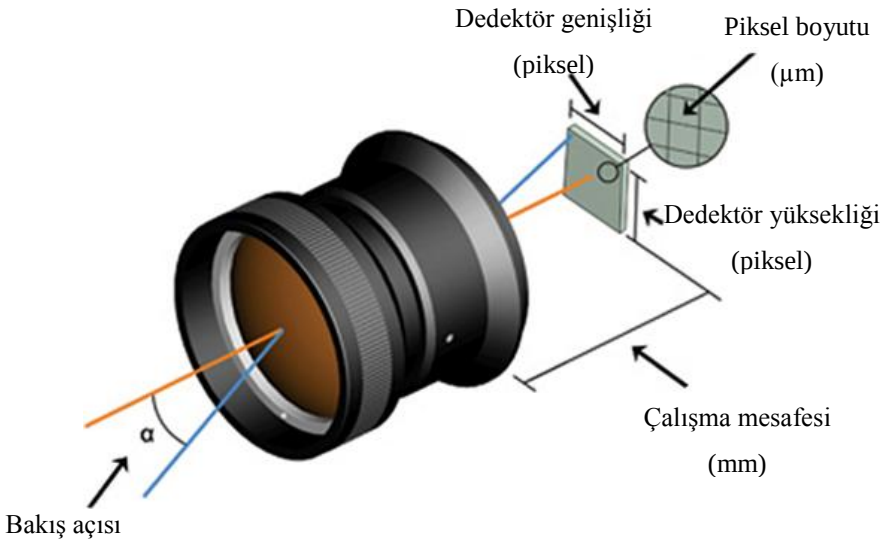
Termal kameralar kamera merceği, ekranı, veri işleme, rapor oluşturma, kumanda araçları vb. gibi yazılımları içeren optik mekanik birimlerden, dedektör soğutucu birimlerinden ve sinyal işleme birimlerinden oluşurlar. Bu kameraların en az bir merceği bulunur ve bu mercek önce kızılötesi ışınımı alır, dedektöre odaklar ve dedektör de cevap verince görüntü oluşur. Şekil 2.8'de bir termal kameranın blok yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. Termal kameranın blok yapısı

2.4.1. Optik Mekanik Birimler

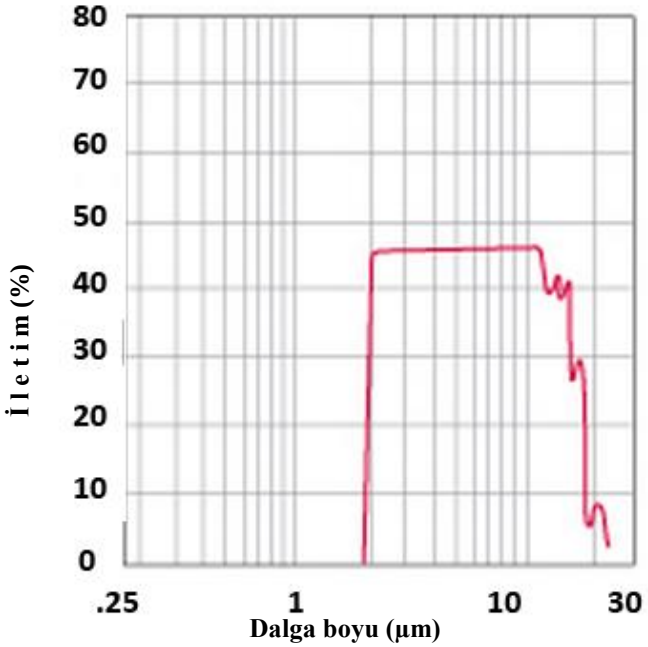
Tipik termal kameralar merceği, mercek muhafazasını, ekranı, dedektör ve işleme elektronik cihazlarını, kumanda araçlarını, veri depolama cihazlarını, veri işleme ve rapor oluşturma yazılımlarını içeren çok sayıda ortak bileşenden oluşur. Bu bileşenler termal görüntüleme sisteminin tip ve modeline bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Optik birimin görevi, nesnelerden salınan IR radyasyonu odaklayıp dedektör üzerine düşmesini sağlamaktır. Optik birim olarak IR bandı için tasarlanmış mercek, ayna ve prizmalar kullanılmaktadır. Şekil 2.9'da bir termal kameranın yapısında yer alan optik bölüm verilmiştir. Optik birimlerin parametreleri ise bakış açısı, büyütme, optik çözünürlük ve geçirgenliktir.



Şekil 2.9. Bir termal kameranın optik bölümü

Mekanik birimler, özellikle tek boyutlu dedektörlerin kullanıldığı termal kameralarda kullanılan ve mekanik tarama ile dedektörün iki boyutlu algılama yapmasını sağlayan birimlerdir. Küçük matrisli dedektörler düzlem olarak görüntüyü elde edememektedir. Bu nedenle tarama sistemleri kullanılarak görüntünün tam olarak elde edilmesi sağlanır. Yeni teknoloji dedektörler ise büyük matris yapılı olmalarından dolayı taramasız olarak çalışırlar. Tarama sistemleri mekanik tarama, elektronik tarama olarak sınıflandırılmaktadır.

A. Mercekler: Termal kameraların en az bir merceği vardır. Görüntüleyici bir mercek kızılötesi ışınımı alır ve bunu kızılötesi bir dedektör üzerine odaklar. Dedektör cevap verir ve elektronik (termal) bir görüntü oluşturur. Termal bir kameranın üzerindeki mercek, gelen kızılötesi ışınımı dedektör üzerine toplamak ve odaklamak için kullanılır. Çoğu uzun dalga boylu termal görüntüleyicinin mercekleri germanyumdan yapılmıştır. İnce yansıma önleyici astar tabakaları, merceklerin geçirimini arttırır. Germanyum (Ge) genellikle 2-12 µm spektral bölge içinde çalışan görüntüleme sistemlerinin çok yönlü bir malzemesidir. Şekil 2.10'da Germanyum malzemesinin iletim grafiği verilmiştir.



Şekil 2.10. Germanyum iletim grafiği

B. Ekranlar: Termal bir kameranın üzerine konumlandırılmış sıvı kristal görüntülü (LCD) inceleme ekranı üzerinde, termal bir görüntü açığa çıkarılır. Çeşitli saha konumlarında karşı karşıya kalınan farklı aydınlatma koşulları altında kolayca incelenebilmesi için LCD inceleme ekranı, yeterince geniş ve parlak olmalıdır. Bir görüntü sık sık batarya şarjı, tarih, saat, hedef sıcaklığı (˚F, ˚C ve ˚K olarak) görülebilir ışıklı görüntü ve sıcaklığa ilişkin bir renk spektrumu anahtarı gibi bilgilerde sağlar.

C. Dedektör ve İşleme Elektronik Cihazları: Dedektör ve işleme elektronik cihazları, kızılötesi enerjiyi işleyerek kullanılabilir bilgiye dönüştürmek için kullanılır. Dedektör, üzerine düşen IR radyasyonu elektriğe dönüştüren, matris şeklinde tasarlanmış sensör dizisidir. Hedeften gelen termal ışınım, genellikle elektronik yarı iletken bir malzeme olan dedektör üzerine odaklandırılır. Termal ışınım, dedektörden gelen ölçülebilir bir tepki üretir. Bu tepki, termal görüntüleyicinin gösterme ekranında termal bir görüntü oluşturmak üzere, termal görüntüleyici içinde elektronik olarak işlenir. Termal dedektörler kızılötesi bölgede daha geniş hassaslığa sahiptir. Hafif, sağlam ve güvenilirdir. Atomik yapının ısınmasından dolayı yavaş tepki verirler.

D. Kumanda Araçları: Ekran üzerindeki termal bir görüntüyü düzeltmek için kumanda araçları ile çeşitli elektronik ayarlamalar yapılabilir. Sıcaklık aralığı, termal ölçüm menzili ve seviyesi, renk paletleri ve görüntü birleştirme gibi değişkenlere elektronik ayarlamalar

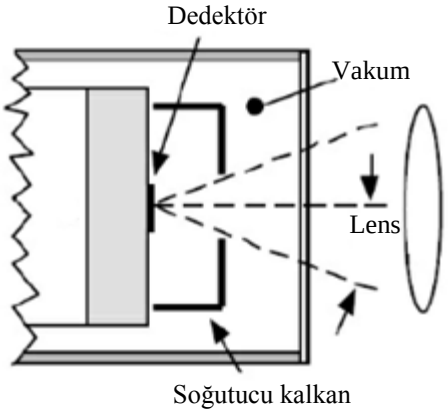
yapılabilir. Ayarlamalar aynı zamanda yayma kuvvetine ve yansıtılan arka plan sıcaklığını da yapılabilir.

E. Veri Depolama Araçları: Termal görüntüleri ve ilişkin verileri içeren elektronik sayısal dosyalar, farklı tiplerde elektronik hafıza kartları veya depolama ve transfer cihazlarında saklanır. Pek çok kızılötesi görüntüleme sistemi tümleşik, görülebilir ışıklı bir kamera ile elde edilmiş bir görsel imajın yanında tamamlayıcı ses veya metin verilerinin depolanmasına da izin verir.

F. Veri İşleme ve Rapor Oluşturma Yazılımı: En modern termal görüntüleme sistemleri ile birlikte kullanılan yazılım, hem etkili hem de kullanıcı dostudur. Sayısal olan termal ve görülebilir ışıklı gürültüler, çeşitli renk paletleri kullanılarak görüntülenebildikleri ve tüm radyometrik parametrelere ve analiz fonksiyonlarına daha ileri ayarlamaların yapılabildiği yer olan kişisel bilgisayara aktarılır. İşlenmiş görüntüler daha sonra rapor şablonlarına eklenebilir, yazıcıya gönderilebilir veya elektronik olarak depolanan bu görüntüler e-posta ile müşteriye gönderilebilir.

2.4.2. Dedektör Soğutucu Birimi

Normal kameralar görüntüyü ışık sayesinde oluştururken termal kameralar görüntüyü ısı sayesinde oluştururlar. Bu tür kameralarda kullanılan dedektörler 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 IR yayılımlar olduğu ve her IR yayılımın farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu dedektörler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler. Performans belirleyici unsurların başı dedektördür. Hassas dedektörlerin kullanılması çözünürlüğü arttırmaktadır. Şekil 2.11'de termal kamera dedektörlerinin yapısı verilmiştir. Dedektörlerde, optik-mekanik sistem ile alınan kızılötesi ışınlar sonucu ısıl değişimler meydana gelir. Kameraya gelen ışık, ışık miktarına bağlı olan bu ısıl değişimlere göre değerlendirilerek elektriksel sinyale çevrilir.



Şekil 2.11. Termal kamera dedektörleri

IR dedektörler içerdikleri teknolojilere ve kullandıkları malzemelere göre sınıflandırılırlar. Dedektör tipleri termal ve foton dedektörler olarak sınıflandırılır.

A. Termal dedektörler: Termal dedektörlerde foton-fonon(ısı) dönüştürme işlemi yapılır, bu sırada direnç (bolometric) veya kutup (polarizasyon, pyroelectric) değiştirilir. Bu tip dedektörler oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çalışır, fiyatları ucuzdur, hassaslığı ise düşüktür.

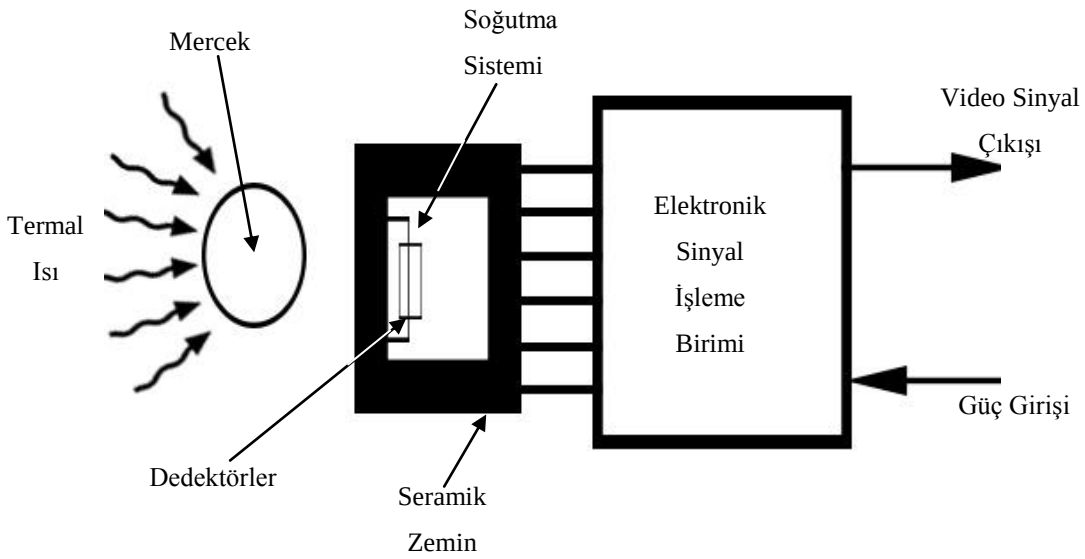
B. Foton dedektörler: Foton dedektörlerde foton-elektron dönüştürme işlemi yapılır, bu sırada elektron veya akımı (foto iletken veya foto voltaik yarıiletken) değiştirilir. Bu dedektörler -269ºC ile -73ºC sıcaklık aralığında çalışır, fiyatı pahalı, hassaslığı ise yüksektir. Saf kristal dedektör olarak tanımlananlar foto iletken veya foto voltaik iken, katkılı dedektör olarak tanımlananlar foton yayıcı veya kuantum kuyulu dedektörlerdir. Tablo 2.4'de dedektör teknolojileri özetlenmiştir.

Tablo 2.4. Dedektör Teknolojileri [19].

Foton dedektörleri		**Termal dedektörler**	
Saf Kristal (Intrinsic, PV)	Civa Kadminyum Telirür (MCT(HgCdTe))	Direnç (bolometer)	Vanadyum Oksit (V_2O_5)
	Silisyum (Si), Germanyum(Ge)		Poly-SiGe
	İndiyum garyum Arsenit (InGaAs)		Poly-Si
	InSb, InAsSb		Şekilsiz silisyum (AmorphSi)
Saf Kristal (Intrinsic, PC)	MCT	Termopil (thermopile)	Bi/Sb
	Pbs, PbSe	Piroelektrik (pyroelectric)	LiTa
Katkılı (extrinsic)	SiX		PbZrT
Foton yayıcı (photo emissive)	PtSi	Mıknatıs (ferroelectric)	BST
Kuantum kuyulu (QWIP)	GaAs/A1GaAs	Mikro dirsek (microcantilever)	Çift metalli (bimetal)

2.4.3. Elektronik Sinyal İşleme Birimi

Termal kamerayı diğer görüntüleme cihazlarından ayıran en büyük özelliklerinden birisi de sahip olduğu analiz yazılımlarıdır. Analiz yazılımı sayesinde bilgisayar ortamında çekimi yapılan objelere ait problemlerin tespiti yapılabilir. Ortama göre farklılıkları veya eşdeğer noktaların birbirlerine göre farklılıkları tespit edilebilir. Bunlar belli formatlarda raporlar haline getirilerek bakım ekibi tarafından anlaşılır raporlar haline çevrilebilir. Analiz sırasında çekimi yapılan materyalin tipinin ne olduğu doğru girilir ise sonuçlar son derece hassas bir şekilde alınabilir. Bacada kullanılan topraktan imal edilmiş bir tuğla ile paslı bir metal gövdenin veya parlak bakır bir elektrik sistemi barasının kızılötesi yayılımları bir olmadığı için çekimi yapılan materyalin yayılım oranı doğru girilmelidir [20]. Her materyalin kızılötesi yayılımını bilmemiz bazen mümkün olmayabilir. Bu durumda analiz yazılımı sayesinde doğada bulunan hemen hemen tüm materyal tiplerinin kızılötesi yayılımları bulunabilir.



Şekil 2.12. Termal kameranın şematik görünümü

Elektronik ve işaret işleme birimi, dedektörden gelen elektrik sinyalini görüntüye dönüştüren birimdir. Bu birimin özellikleri, gerçek zamanlı sayısala çevirme, saniyede 25 milyon görüntü bilgisi işleme, Sayısal İşaret İşleme (saniyede 25 milyon x 40 basamaklı iki sayının çarpımı için yeterli kapasiteye sahip olma) ve FPGA (programlanabilir entegre) kullanmadır [21]. Termal kamera tarafından elde edilen görüntüler gri tonlamalı, gürültü içerikli ve bulanık özellikli olduğundan elde edilen görüntüye de bağlı olarak kenar bulma (edge detection), gürültü filtreleme (noise filtering), karşıtlık artırma (contrast stretching), histogram manipülasyonu, sahte renklendirme (false color) gibi teknikler kullanılmaktadır.

2.5. Termal Kameralarda Çözünürlük

Modern termal kameraların görüntüleri ve kullanımları normal kameralarla benzerlikler taşımaktadır. Normal kameralarda kullanılan CCD (charge-coupled device) ve CMOS (complementary metal oxide semiconducton) görüntü sensörleri görünebilir ışıkları alabilecek şekilde tasarlanmışlardır, infrared ışığa karşı duyarlı değildirler. Bu yüzden birçok termal görüntüleme kamerası özellikle bu iş için üretilmiş FPA görüntü sensörleri kullanmaktadırlar. FPA'lar daha uzun dalga boylarına cevap verebilmektedirler.

Termal kameralarda yapısal farklılıkları olmasına rağmen sonuçta normal kameralar gibi görüntü oluşturdukları için oluşturulan görüntünün çözünürlüğü analiz açısından önemlidir. Teknolojinin gelişimi ile beraber 160x120 piksel çözünürlükte görüntü oluşturabilenlerin yanı sıra 320x240 piksel boyutta görüntü oluşturabilen kameralar da

pazarda yer almaktadır. Termal kamera konusunda 1950'den bu yana yapılan çalışmalar da 640x480 çözünürlüklü kameraların üretimine ulaşılmıştır. 640x480 piksel çözünürlük şuan en iyi termal kamera çözünürlüğüdür. 640 x 480 = 307.200 piksel ile daha uzaktan daha fazla detay görmenizi sağlar. Çözünürlükleri normal optik kameralardan düşüktür. Zamanla en sık kullanılan çözünürlük değerleri; 160×120, 320×240, 640×512' dir.
Çözünürlük arttıkça maliyet oldukça artmaktadır. Termografik kameralar görünür spektrumu gösteren kameralara göre oldukça pahalıdır ve en son modelleri genellikle ithalat sınırlamalıdırlar. Eski nesil ışınımölçerler (bolometre) veya daha duyarlı modeller kriyojenik soğutma isteyebilmektedirler. Bu işlem sıvı nitrojen ile yapılabilmektedir.

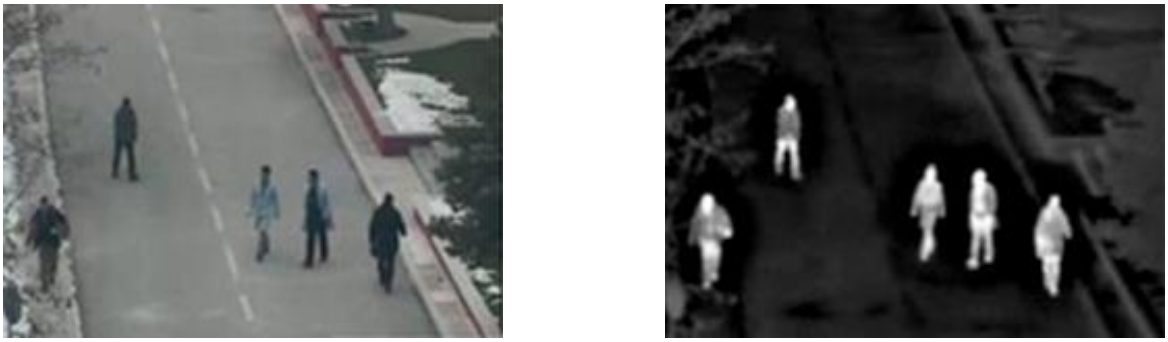
2.6. Termal Kameralarda Sıcaklık

Termal kameralar görüntü oluşturabildikleri belli bir sıcaklık aralığına sahiptirler. Her sıcaklık değerinde farklı IR yayılımlar olduğu ve her IR yayılımın farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu objektifler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler. Bu kameralarda kullanılan objektifler çok küçük sıcaklık farklarını yakalayabilen (0.01 °C gibi) ve bu farklılıktan görüntü oluşturabilen özelliklerdedir.
Isıl kızılötesi görüntüleyiciler kızılötesi dalga boyundaki enerjiyi görünür ışık video ekranına dönüştürürler. 0º Kelvin'in üzerindeki tüm cisimler ısıl kızılötesi enerji yayarlar bu yüzden pasif olarak tüm objeleri ortam ışığından bağımsız olarak görebilirler. Bununla beraber, birçok ısıl görüntüleyici sadece -50ºC' den daha sıcak cisimleri görebilirler. Isıl ışınımın spektrumu ve miktarı cismin yüzey sıcaklığına güçlü şekilde bağlıdır. Bu da ısıl kameranın bir cismin yüzey sıcaklığını görüntülemesini mümkün kılar. Bununla birlikte, diğer etkiler, bu tekniğin doğruluğunu kısıtlayan ışınımı etkiler. Örneğin ışınım sadece cismin sıcaklığına bağlı değildir, aynı zamanda cismin salım gücünün de bir fonksiyonudur. Ayrıca ışınım etraftaki cisimlerden gelir, cisimden yansır ve cismin ışınımıyla yansıyan ışınım atmosferin soğurmasından da etkilenir.

Kızılötesi ışın -273°C'nin üzerindeki her nesnenin yaydığı sıcaklığı alabilir. Kızılötesi ışını insan gözü göremez ama termal bir kamera görebilir. Yaydıkları sıcaklığın miktarını göstermek için nesnelerin fotoğraflarını çekebilir. Bu tür resimler nesnenin sıcaklık düzeyini harita renkleriyle gösterir. Kask üzerinde kullanılmak üzere dizayn edilmiş olan termal kameralar daha yüksek sıcaklıklarda da çalışabilir. İtfaiyeciler için üretilmiş olup, yoğun dumanlı ve kapalı ortamlarda yangın kaynağına kolayca ulaşma imkânı sağlar.

2.7. Termal Kameralarda Renkler

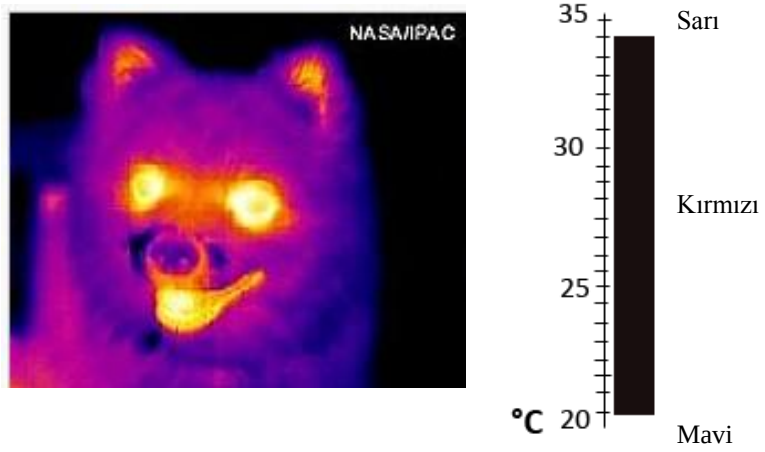
Termal kamerayla çekilen ısı fotoğrafları çok sıcak noktaları açık renkle, soğuk noktaları ise koyu renkle göstererek problemin kaynağını kolayca bulmada yardımcı olur. Termal kameralar ortamın durumunu siyah - beyaz veya renkli gösterirler. Beyaz ısı yayan nesneleri, siyah ise arka zemini gösterir.



(a) Gündüz görüş kamerası (b) Termal kamera

Şekil 2.13. Gündüz görüş kamerası ile Termal kameranın karşılaştırılması

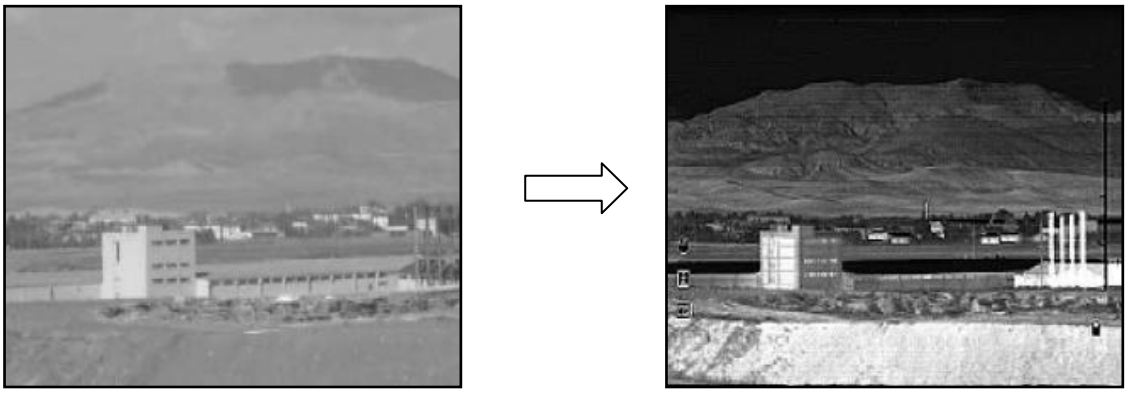
Nesneleri renkli olarak gösterdiği durumlarda ise ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi en soğuk, sarı ise en sıcak bölgeleri gösterir. Resimler olağanüstü bir renk tayfına sahip, sıcak ve soğuk bölgeler tamamen belirgin durumdadır. Sıcak bölgeler, sıcak renkler (sarı, turuncu, kırmızı) ile temsil edilmektedir, soğuk noktalar ise soğuk renkler (yeşil, mavi) tarafından temsil edilmektedir. Geçişler ve renk dağılımları modelden modele farklı olabilir. Şekil 2.14'de bir hayvanın termal kamera görüntüsü ve bu görüntüye bağlı sıcaklığın renk dağılımı verilmiştir.



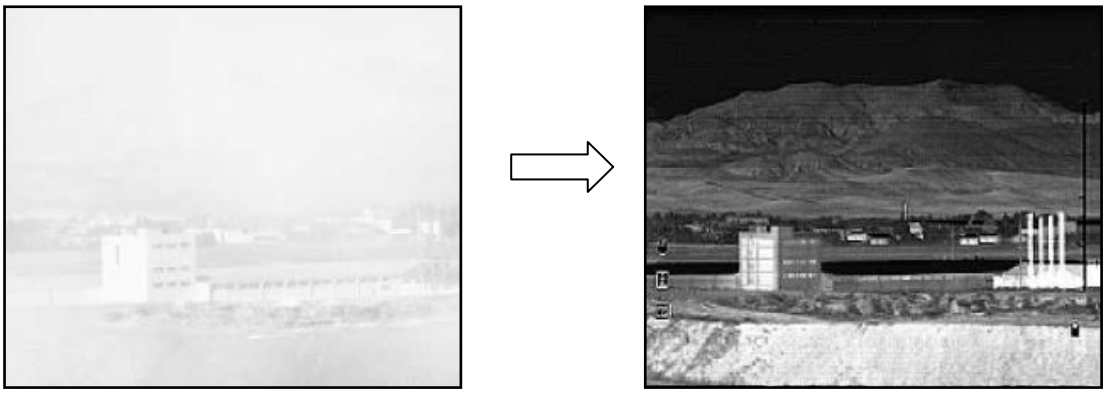
Şekil 2.14. Termal ışıkta çekilmiş hayvan görüntüsünün sıcaklığa göre renk dağılımı

2.8. Termal Kameraların Çalışma Prensibi

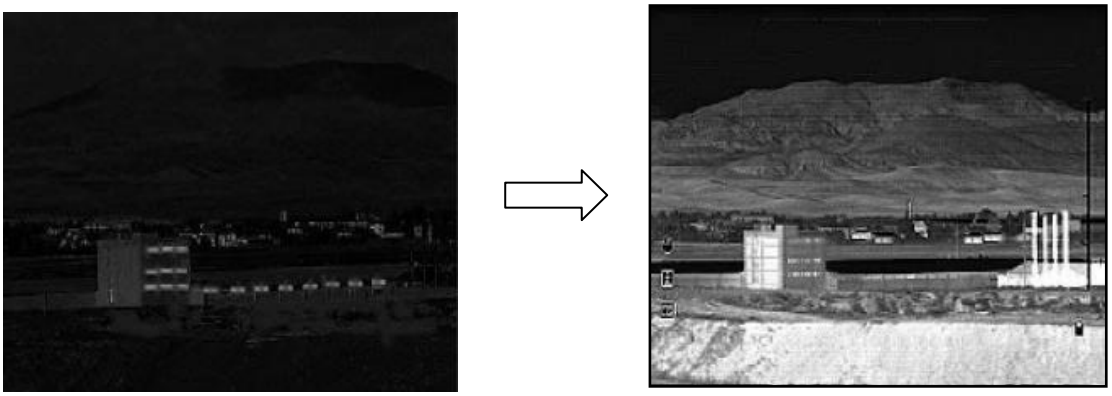
Hedeften yayılan IR enerji özel IR mercekler tarafından toplanır ve dönen bir ayna üzerine düşürülür. Bu ayna, IR radyasyonu, dedektör üzerine düşürür. Dedektör üzerine düşen bu enerji dedektör yüzeyinden elektron sökülmesine neden olur. Böylece ışık, elektrik sinyaline dönüştürülmüş olur. Bu elektrik sinyalleri bir ön yükselteç ve son yükselteçten geçirilerek yükseltilir ve bir LED (light emitting diode) dizini üzerine düşürülerek görünür ışığa dönüştürülür. Bu görünür ışığın şiddeti gelen IR sinyalinin şiddetine bağlı olarak değişir. Bir takım optik aparatlar kullanılarak LED dizininin çıkışı ya bir film üzerine kaydedilir ya da bir televizyon kamerası yardımıyla gerçek görüntüye dönüştürülür. Şekil 2.15'de gündüz, sisli hava ve karanlık ortamlarda, gündüz görüş kamerası ve termal kamera tarafından çekilen bazı görüntülerin karşılaştırılması görülmektedir.



(a) Gündüz



(b) Sisli



(c) Karanlık

Şekil 2.15. Gündüz görüş kamerası ve Termal kamera görüntülerinin farklı ortam şartlarında karşılaştırılması

2.9. Termal Görüntülerde Odaklama

Görüntü elde etme sanayi, tıp, güvenlik ve hava analizleri gibi birçok uygulamada önemli bir görevdir. Kamera odaklamasının verimliliği görüntünün kalitesini belirler. Bir görüntü elle veya otomatik olarak odaklanabilir. Kullanıcı düzgün sonuçlar elde edinceye kadar optiği ayarlamalıdır. Ayarlama işlemi odağı ayarlayan bir motor ile de gerçekleştirilebilir. Her iki durumda kullanıcı uygun odak pozisyonuna karar vermelidir. Bu işlem uzağı iyi göremeyen kullanıcılar için can sıkıcı ve zordur.

Termal kameraların odaklanması işi aşağıdaki sebeplerden dolayı zorluklar içerir.

- Görünen bir resme göre termal bir görüntünün elle odaklanması zordur. Çünkü termal görüntülerde çoğu işlemler işe yaramaz.
- Görüntü kameraları düşük çözünürlüklü ve küçük bir ekrana sahiptir. İnsan verilen bir resme odaklanabilirken kameralarda görüntü büyük ekranlarda görüntülendiğinde görüntü bulanıklaştırılır.
- Odaklamanın zorluklarından biriside bu konuda yeterli çalışmanın olmamasıdır.

Otomatik odaklama özelliği, hedef noktanın hareketli mercekler kullanılarak kamera odak noktasına düşürülmesi işlemidir. Basit optikli kameralarda, örneğin web kameralarda dedektör dizisi kamera optik odak noktasına yerleştirilerek her mesafe için aynı anda netlik sağlanırken, özellikle askeri alanda kullanılan termal kameraların menzil ve derinlik isterleri bu sistemlerde odaklama ihtiyacını doğurmuştur. Askeri uygulamalarda hızlı tepki süresi kritik etmenlerden biridir. Odaklama gibi gözetleme ve atış performansını etkileyen bir işlemin kullanıcı yerine otomatik olarak gerçekleştirilmesinin büyük avantajı vardır

[22,23]. Şu anda üretilen termal kameraların çoğunluğunda odaklama işlemi kullanıcı tarafından gerçekleştirilmektedir.

Genel odaklama işlemlerinde sorun, odağın keskinliğini belirtecek bir fonksiyon tanımlamaktır. Böyle bir sorunun çözümü odak bozuldukça monoton olarak değişen ve en iyi odak noktasında tepe noktasına ulaşan bir fonksiyon olmalıdır. Bu özellikteki bir fonksiyonla, en iyi odak noktası belirlenebilir ve herhangi bir bozuk noktadan odak noktasına ilerleme sağlanabilir. Temel yöntemlerden biri bozulmuş odağı düşük geçiren filtre olarak yorumlamak ve görüntünün yüksek frekans bileşenlerini incelemektir. Nayar'ın kullandığı yöntem, değiştirilmiş laplas operatörüdür [24]. Diğer bir yaklaşım da Tenenbaum'un ortaya attığı ve Schlag tarafından geliştirilen Tenengrad fonksiyonudur [25,26]. Bu iki operatör de her bir pikseldeki yönsel türevleri değerlendirilerek görüntünün yüksek frekans bileşenini elde etmektedir. Başka bir yöntem de Sugimoto'nun kullandığı yerel varyans metodudur. Bu metotta bozuk odağın görüntünün varyansını arttıracağı gözlemlenmiş ve piksellerin lokal varyansları hesaplanmıştır [27]. Bu üç yaklaşımdan başka, genlik metodu, Fourier dönüşüm metodu, toplammodül-fark metodu, histogram entropisi gibi metotlar da kullanılmıştır. Bu metotların karşılaştırmalı performansları Chern tarafından incelenmiştir [28].

Otomatik odaklama sistemleri kullanıcı müdahalesi olmaksızın bu işlemi gerçekleştiren elektronik analizler kullanır. Elektronik sistemlerde sensörler yardımıyla kızılötesi sinyaller gönderilir ve onun cevabı beklenir. Nesnenin uzaklığı hesaplanır, gönderilen ve alınan sinyaller uzaysal ve frekans alanında incelenir. Uzaysal domain teknikleri daha az işlem gerektirir ve gerçek zamanlı uygulamalar için daha uygundur.

Bir odaklama işlemi aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır.

1- Odaklama görüntünün içeriğinden bağımsız olmalıdır.

2- Eğer ortalama odak pozisyonundan hareket edersek odak ölçümü azalmalıdır.

3- Odak ölçümü tek şekilli olmalıdır yani ölçüm sadece bir tane maksimum değere sahip olmalıdır. Düz sahneler için bu işlem basittir ancak farklı merkez uzaklıklara sahip sahneler için bu işlem zordur.

4- Bulanıklık derecesinin değerindeki değişiklikler tek bir max odaklama değerine izin verecektir.

5- Gerçek zamanlı görüntü elde etmek için odaklama mümkün olduğu kadar hızlı yürütülmelidir.

6- Maksimum odak değeri sabit olmalıdır ve gürültüyü ayırt etmelidir. Aydınlatma yeterli değilse görüntü gürültülüdür ama termal kameralar ısı yayılımı elde ederek çalıştığı için aydınlatmadan etkilenmezler.

3. TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİNİN İŞLENMESİ

Doğada bulunan tüm nesneler sahip oldukları sıcaklığa bağlı olarak farklı dalga boylarında yoğunluk değişimi gösteren termal radyasyon olarak da adlandırılan elektromanyetik enerji yayarlar. Dalga boyu 0.7μm'den daha uzun, mikrodalgadan daha kısa ışımaya infrared ışıma (radyasyon) denir. Termal görüntüleme sistemlerinin temeli de infrared ışımaya dayanır yani bir cisim tarafından yayılan ışımadan yararlanarak onun görüntüsünü üretme esasına dayanır. Kırmızı rengin hemen üzerinde başlayan kızılötesi bant içinde termal görüntüleme yapılan iki dalga aralığı mevcuttur. Bunlar sırası ile *Orta Kızılötesi* (3-5μm)' ve *Uzak Kızılötesi* (8-12μm) bantlardır. Doğal olarak görülebilen tayf içerisinde görüntüler yansıma ve yansıma farklılıkları tarafından meydana getirilirken, termal görüntüler kendiliğinden emisyon ve yayınım kapasitesi farklılıklarından elde edilir. Buna göre, termal görüntüleme konusunda, kendiliğinden ısı enerjisi üreten örneklerle ilgilenilir. Bir termal görüntü üretebilmek için, uygun lens sistemleri ile birlikte bir kamera kullanılır. Bu sistemde cisimlerin sahip oldukları sıcaklık, dolayısıyla yaydıkları ışıma ve arka planın sıcaklık farkından yararlanıldığından, harici bir ışık kaynağı gerekli değildir. Termal görüntü sistemlerinin oldukça geniş bir spektral band geçişi mevcuttur. Bu nedenle her çeşit kutuplaşmayı alabilecek kapasitededirler ve efektif sıcaklık farklılıklarını üreten mekanizmalara karşı duyarsızdırlar. Harici bir aydınlatmanın gerekli olmaması sistemlere her ortamda ve özellikle de karanlıkta uygulanma imkânı verir. Termal ışıma duman ve sise kolayca nüfuz edebilir. Işıma atmosfer boyunca olduğu için, saçılma ve emilme süreçleri sonucu yapısında incelme meydana gelir. Bu tespit ve açıklamaların ışığında, termal görüntülemenin temel özelliklerini dört maddede toplamak mümkündür.

1) Termal görüntüleme, harici bir aydınlatma kaynağı istemeyen tümüyle pasif bir teknikten ibarettir. Gündüz/gece operasyonlarına ve ortam şartlarında çıplak gözle görünmeyen cisimleri algılamaya imkân verir.

2) Sıcak ve soğuk noktaların veya görünüm içerisindeki farklı "yayınım kapasitelerine'' sahip alanların belirlenmesi için kullanılır.

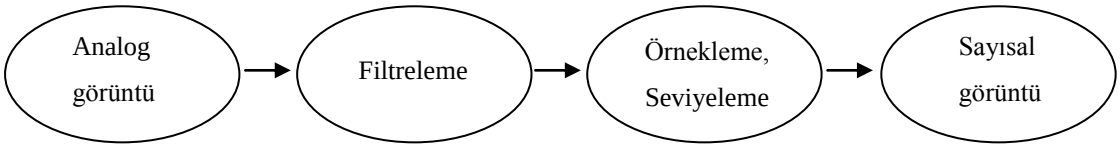
3) Termal ışıma, duman ve sis içine görünür ışımadan daha kolay nüfuz edebilir ve görülebilir karanlık noktaların belirlenmesine imkân sağlar.

4) Termal görüntüleme, uzaktan algılamalı gerçek zamanlı bir tekniktir.

3.1. Görüntü Özellikleri

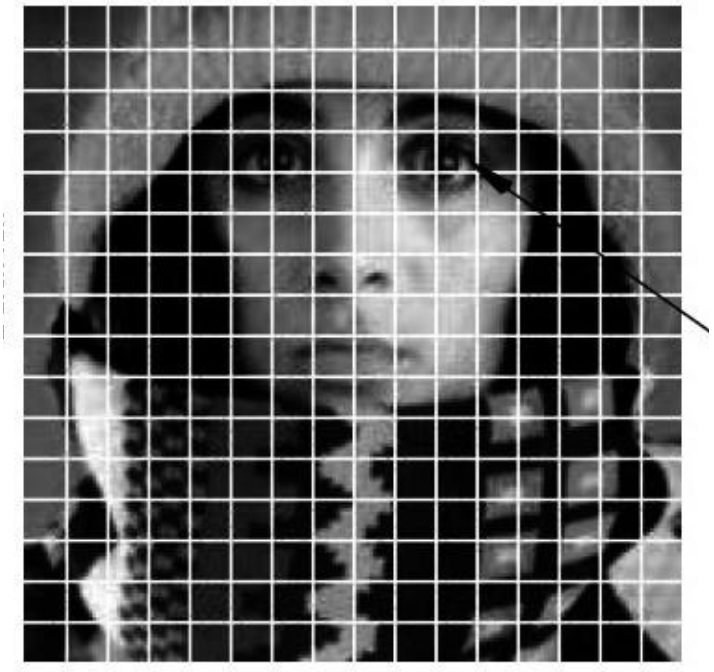
En basit anlatımıyla görüntü işleme, görüntüleri işleyebilmek için gerekli bir bilgisayara ve iki önemli girdi çıktı donanımına ihtiyaç duymaktadır. Bunlar görüntü sayısallaştırıcısı ve görüntüleme cihazı. Bilgisayarlar sayısal işaretlerle çalıştığı için, bu işaretlerin bilgisayarla işlenmesi sayısal işaret işleme, görüntü ve resim işlenmesi de sayısal görüntü işleme olarak tanımlanmaktadır. Bu cihazların doğal yapılarından dolayı, görüntüler bilgisayar analizleri için direk bir kaynak olamamaktadırlar. Bilgisayarlar görüntü verileri ile değil de sayısal değerlerle çalıştıklarından, işleme başlamadan önce görüntü sayısal bir forma dönüştürülmelidir.

Analog sayısal çevirme: Analog bir işaretin bozulmadan sayısala çevrilebilmesi için alçak geçiren bir filtre ile analog işaretin üst frekansı sınırlandırılır ve analog işaretin en yüksek frekansının iki katı frekansta örnekleme yapılır [29]. Daha sonra örnekleme ve seviyeleme (quantalama) yapılarak sayısal işaret elde edilir. Şekil 3.1'de görüntünün analogdan sayısala dönüşümü verilmiştir.



Şekil 3.1. Görüntüleri analogdan sayısala çevirme işlemi

Dönüştürme işlemi sayısallaştırma olarak adlandırılır. Her piksel için görüntünün parlaklığı örneklenir ve sayısal olarak değerlendirilir. İşlemin bu adımı, her piksel için o noktadaki parlaklık ya da karanlığı simgeler. Bu işlem tüm pikseller için gerçekleştirildiğinde görüntü dörtgen sıralı bir şekilde gösterilmiş olur. Her piksel, tam bir konum ya da adrese (satır ve sütun numarasıyla) ve grilik seviyesi denen tam bir değere sahiptir. Her bir pikselin seviyesini belirten fonksiyon o pikselin koordinatlarına göre tanımlanır. Buna göre bir görüntü farklı koordinatlardaki piksellerin değerlerini ifade eden bir fonksiyon olarak da ifade edilir. Bu sıralı sayısal veriler böylece bilgisayarda işlenmek için uygun bir hale getirilmiş olur. Şekil 3.2'de bir görüntünün sayısallaştırılmış hali gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali [29].

Sayısallaştırıcıdan elde edilen sayısal görüntüler operatörün direktifiyle gerekli programlar yardımıyla işlemeye başlar. Uygulama sırasında, görüntü bilgisayar tarafından satır satır okunarak alınır. Bir veya daha fazla satır üzerinde oynama yapılarak son bir görüntü elde edilir ve çıktı görüntüsüde satır satır kaydedilir. Aslında her sayısal görüntü gerçekte her bir pikselin seviye ve konumunun belirlendiği bir sayı matrisidir. Şekil 3.3'de bir görüntünün sayı matrisi olarak bir kesiti verilmiştir.



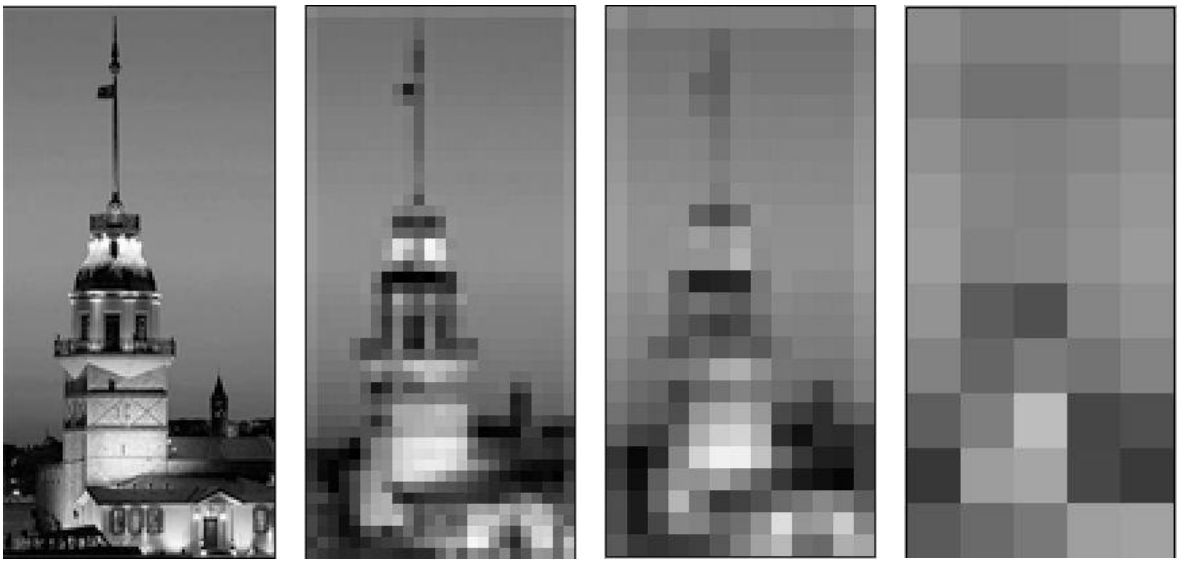
(a) Termal görüntü

0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0
0	1	2	1	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0
1	2	2	2	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0
1	2	3	1	0	0	0	0	1	2	2	0	1	0
1	2	4	2	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	3	2	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	2	1	1	0	0	2	2	1	1	1	0
0	1	1	2	2	1	0	0	3	3	2	2	2	2
0	1	1	2	2	2	0	0	3	3	3	3	2	2
1	1	2	3	3	3	1	0	2	2	2	2	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) Matris olarak bir kesiti

Şekil 3.3. Bir görüntünün sayı matrisi olarak bir kesitinin gösterilmesi

Çözünürlük: Günümüz sayısal görüntülerinin hemen hemen hepsinin temelinde kare şeklinde, görüntünün parçalanamaz birimi olan piksel yatmaktadır. Bu pikseller yan yana geldikçe ana görüntü oluşmaktadır. Görüntü boyutu bu nedenle bilgisayar için hep piksel olarak hesaplanmaktadır. Kesme, yapıştırma, montaj gibi işlemlerde bilgisayar görüntünün piksel olarak değerini dikkate alır. Eninde 2, boyunda 3 piksel olan bir görüntüde toplam 2*3=6 piksel vardır. En ve boy oranları arttıkça piksel sayısı ve dosya boyutu kenarların çarpanı kadar artmaktadır. Aynı boyutta farklı uzaysal çözünürlük değerlerine sahip örnek görüntüler Şekil 3.4'de verilmiştir.



(a) 100x200 (b) 25x50 (c) 13x25 (d) 5x10

Şekil 3.4. Uzaysal çözünürlük değerlerinin karşılaştırılması

Parlaklık ve Karşıtlık: Parlaklık, görüntünün aydınlık seviyesinin gözle algılanabilme derecesidir. Şekil 3.5'de parlaklık değeri farklı örnek görüntüler verilmiştir. Gözlerin farklı kontrastlara adapte olabilme yeteneği parlaklık adaptasyonu (brightness adaption) olarak adlandırılır. Karşıtlık ise bir görüntüdeki en parlak ve en koyu renk arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Görüntünün kaydı sırasında oluşan aydınlatma durumu ve algılayıcıların ayarlanması gibi nedenlerle karşıtlık düşük olabilir. Şekil 3.6'da karşıtlık değeri farklı örnek görüntüler verilmiştir.



(a) Düşük (b) Yüksek

Şekil 3.5. Parlaklık seviyesinin karşılaştırılması



(a) Düşük (b) Yüksek

Şekil 3.6. Karşıtlık seviyesinin kıyaslanması

Konvolüsyon: Katlama yumuşatma, keskinleştirme, kenar belirleme gibi görüntü işleme fonksiyonlarını gerçekleştirmede çok sık kullanılmaktadır. Konvolüsyonda bir pikselin yeni değeri kendisinin ve çevresindeki piksellerin ağırlıklı ortalaması ile bulunmaktadır. Piksellerin ağırlıkları konvolüsyon çekirdeği olarak adlandırılan bir matris ile belirlenir. Konvolüsyon şablonu uygulamaya göre farklı boyutlarda olabilmekle beraber genelde 3x3 lük bir matristir. Görüntü üzerinde konvolüsyon işleminin matematiksel ifadesi Eşitlik 3.1'de verilmiştir [30].

$$g(x,y) = \sum_{j=-n}^{n} \sum_{i=-m}^{m} k(i,j).f(x-i,y-j) = k * f \tag{3.1}$$

$$m = \frac{w-1}{2} \quad n = \frac{h-1}{2} \tag{3.2}$$

k : konvolüsyon çekirdeği

f : işlenecek imge

w, h : imge boyutları

Şablon matris ve matrisin üzerinde bulunduğu görüntü matrisinin konvolüsyonu sonucu elde edilen piksel değeri Eşitlik 3.3'de verilmiştir. Bu işlem görüntü üzerinde tüm piksellere uygulanarak görüntü üzerinde 2 boyutlu konvolüsyon işlemi yapılmış olur.

$$imge = \begin{bmatrix} i(0,0) & i(0,1) & i(0,2) \\ i(1,0) & i(1,1) & i(1,2) \\ i(2,0) & i(2,1) & i(2,2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 55 & 75 & 77 \\ 48 & 70 & 83 \\ 51 & 68 & 85 \end{bmatrix} \quad çekirdek = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -2 & 10 & -2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} i(1,1) &= (-1x55) + (-1x75) + (-1x77) + (-2x48) + (10x70) \\ &+ (-2x83) + (-1x51) + (-1x68) + (-1x85) = 32 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Gürültü: Görüntülerdeki istenmeyen noktacıklardır. Sensörler tarafından alınan işaretler farklı gürültü kaynaklarından etkilenirler. Sensörlerin kendisine düşen ışığı doğru analiz edememesi hakkında bir durumdur ve gürültü düzeyi yükseldikçe, görüntü kalitesi düşer. Farklı gürültü türleri mevcuttur. Bunlar foton gürültüsü, elektronik gürültü, yükselteç gürültüsü, seviyeleme gürültüsü ve termal gürültülerdir.

Termal gürültü; dedektörde foton enerjisi elektriğe çevrildikten sonra, elektronların bir kısmı termal titreşim nedeniyle dedektörden ayrılmakta veya bazı elektronlar oluşan elektrik akımına dahil olmaktadır. Termal titreşimden dolayı ortaya çıktığı için bu gürültü, termal gürültü olarak tanımlanmaktadır. Hiç ışık olmasa da ortaya çıkabildiği için bu gürültüye karanlık akımı da denmektedir. Bu gürültüyü azaltmak için kullanılan en yaygın yöntem dedektörün mümkün olduğunca soğutulması şeklindedir.

3.2. Görüntülerin Sınıflandırılması

Görüntüler, özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar.

İki seviye (siyah-beyaz) görüntü: İki seviye görüntü, sadece siyah veya beyaz olmak üzere iki rengin kullanıldığı ve hiçbir gri seviyenin kullanılmadığı görüntü olarak tanımlanır. Şekil 3.7'de örnek bir iki renk seviyesini kullanan görüntü verilmiştir.



Şekil 3.7. İki renk seviyesini kullanan görüntü

Tek renk (gri) görüntü: Tek renk görüntü, sadece bir rengin ve gri tonlarının kullanıldığı görüntü çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Birçok görüntü işleme tekniğinde bu görüntü çeşidi kullanılmaktadır. Termal cihazlar da yaygın olarak bu görüntü çeşidini kullanmaktadır. Şekil 3.8'de örnek bir tek renk gri seviyeli görüntü görülmektedir.



Şekil 3.8. Gri seviyeli görüntü

İnsan gözü 100 gri seviyeyi algılayabilmektedir. Bu nedenle 100 seviyeden daha çok seviyeye sahip bir görüntü daha çok bilgi içermesine rağmen göz tarafından algılanamamaktadır

Renkli görüntü: Üç temel rengin kombinasyonu ile elde edilen görüntüdür. Bu tür görüntülerde her piksel üç farklı renk pikselinden oluşur.

Çok bandlı (multi spectral) görüntü: Çok bandlı görüntü, elektromanyetik spektrumun morötesi, kızılötesi, mikrodalga ve X-ışını gibi bandlarından bir kaçını içeren görüntü olarak tanımlanmaktadır. Birden fazla bandın kullanılması ile gözle görülemeyen özelliklerin de görülebilir olması sağlanmaktadır. Yeni nesil uzaktan algılama sistemlerinde kullanılan bir tekniktir.

3.3. Görüntü İşleme ve Onarma Teknikleri

Sayısal görüntü elde etme işlemi genellikle görüntüde kayıplara sebep olur. Bu durum mekanik problemlerden, odaklanma problemlerinden, lensin hareketinden, uygun olmayan aydınlatmadan kaynaklanan kirlenmeler, orijinal resime göre daha kötü bir sayısal görüntü eldesine sebep olabilir. Görüntü iyileştirmenin amacı, kayıt edilmiş bir görüntüden yola çıkarak görsel olarak en memnun edici bir görüntü ulaşmaktır. Görüntü onarımının amacı ise kayıtlı bir görüntüden yola çıkarak orijinal görüntüye en yakın olan bir görüntüye yaklaşmaktır.

Görüntü işlemenin amaçlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

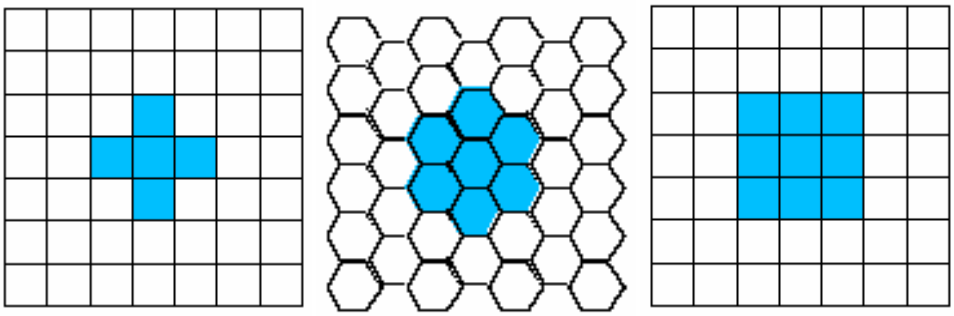
1- Görüntüyü iyileştirmek: Kenar keskinleştirmek, bozuklukları onarmak, gürültüyü temizlemek, kontrastı artırmak,

2- Bir resimdeki ilgi duyulan nesneleri ölçmek: Nesne tanımak ve görüntü anlamak,

3- Hedef tespit etmek: Parmak izi tanımak, kişi tanımak vb.

4- Görünmeyen nesnelerin görülmesini sağlamak: Gözün algılamadığı, ancak görüntünün içinde bulunan bilginin göz tarafından algılanmasını sağlamak.

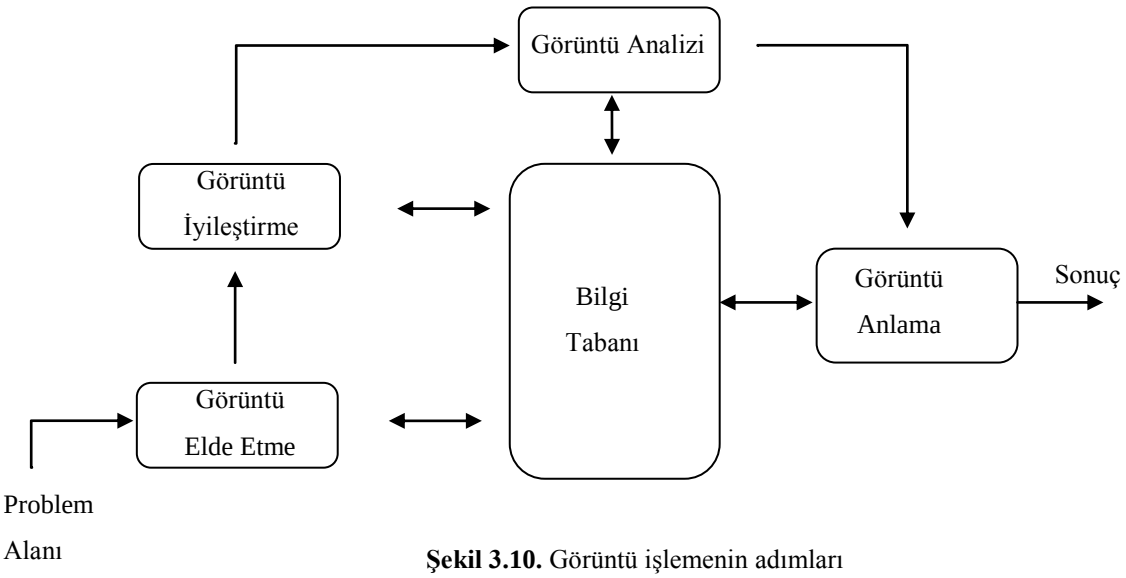
Görüntü ile ilgili işlemler noktasal (point), bölgesel (local) ve genel (global) olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır. Noktasal işlemlerde bir piksele bir işlem gerçekleştirilip çıkış değeri yine o piksele uygulanır. Bölgesel işlemlerde bir pikselin komşusu olan piksellere bir işlem gerçekleştirilir ve çıkış değeri o piksele uygulanır [29]. Genel işlemlerde ise görüntüyü oluşturan bütün piksellere gerçekleştirilen işlemin sonucu bir piksele uygulanır. Sayısal görüntü işlemede komşuluk ilişkileri çok önemlidir. Komşuluk ilişkileri ise ancak görüntü örnekleme yapılarak elde edilebilir. Şekil 3.9'da bir pikselin farklı komşulukları gösterilmiştir.



(a) 4'lü komşuluk (b) 6'lı komşuluk (c) 8'li komşuluk

Şekil 3.9. Bir pikselin komşulukları

Görüntü işleme teknikleri görüntüyü elde etme, görüntü zenginleştirme, görüntü iyileştirme, görüntü sıkıştırma, morfolojik işlemler, bölütleme, sunma ve tanıma gibi adımlardan meydana gelir. Şekil 3.10'da görüntü işlemenin temel basamakları verilmiştir. Buradaki her bir blokta, amaca uygun bir takım işlemler gerçekleştirilmektedir. Görüntüye uygulanacak işlemler sonrasında sistemin çıkışı; yeni bir görüntü, giriş görüntüsünün bir kısmı veya giriş görüntüsündeki nesneler olabilir.



Şekil 3.10. Görüntü işlemenin adımları

3.3.1. Görüntü Elde Etme

Görüntünün elde edilmesi ve sayısallaştırılması, görüntü işlemenin ilk adımıdır. Bunun için analog veya sayısal sistemler kullanılmaktadır. Termal kamerada ilk işlem dizi kamera görüntüsünden iki boyutlu imge elde etmek, ikinci aşamada ise bu görüntüdeki dedektör farklılıkları gidermektir. Sonrasında histogram eşleme algoritmalarından biri kullanılarak görüntü ekrana verilir. Termal kameralar gündüz kameralarından farklı olarak düzenli dedektör pikselleri barındırmazlar. Bazı yüksek menzil kameralarda kenar güçlendirme özelliği de kullanılmaktadır. Yüksek menzilli termal kameralar çoğunlukla dizi dedektör yapısına sahiptir. Bu yapıda, dizi dedektör mekanik olarak tek bir yönde hareket ettirilerek sahne taranır ve görüntü elde edilir.

3.3.2. Görüntü İyileştirme

Görüntü iyileştirme, görüntüde gözle ayırt edilemeyecek kısımların incelenebilir bir duruma getirilmesidir. Örneğin bir görüntünün parlaklığının arttırılması, görüntünün daha iyi sunulmasını sağlar. Görüntü içerisindeki gürültünün azaltılması, kenarların belirginleştirilmesi, karşıtlığın artırılması, insan gözünün fark edemediği ancak görüntünün içinde bulunan bilgilerin göz ile fark edilebilir şekle dönüştürülmesi için kullanılan tekniklerin genelidir. Genelde karşıtlık, histogram, filtreleme, keskinleştirme, sahte renklendirme, ve değişiklikleri büyütme gibi teknikler kullanılmaktadır. İşlenecek görüntünün özelliklerine ve amaca uygun görüntü işleme tekniklerinin belirlenmesi çok önemlidir.

Termal görüntüyü iyileştirmenin amacı orijinal görüntüdeki hedeflerin ve ayrıntıların gözle daha rahat seçilebileceği görüntüler elde etmektir. Ağırlıklı olarak askeri uygulamalarda kullanılan termal dedektörlerin tepkileri zamana ve ortama göre hızlı değişim göstermektedir. Bu durum termal kameralı sistemlerde görüntü iyileştirme işlemlerinin gerçek zamanlı uygulamasını zorunlu kılmaktadır. Kullanılan termal kameralardaki yoğunluk, çözünürlük ve yüksek çerçeve hızı (frame-rate) görüntü iyileştirme işlemlerinin sadece işlemciler ile gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır.

3.3.2.1. Kontrast Değişikliği

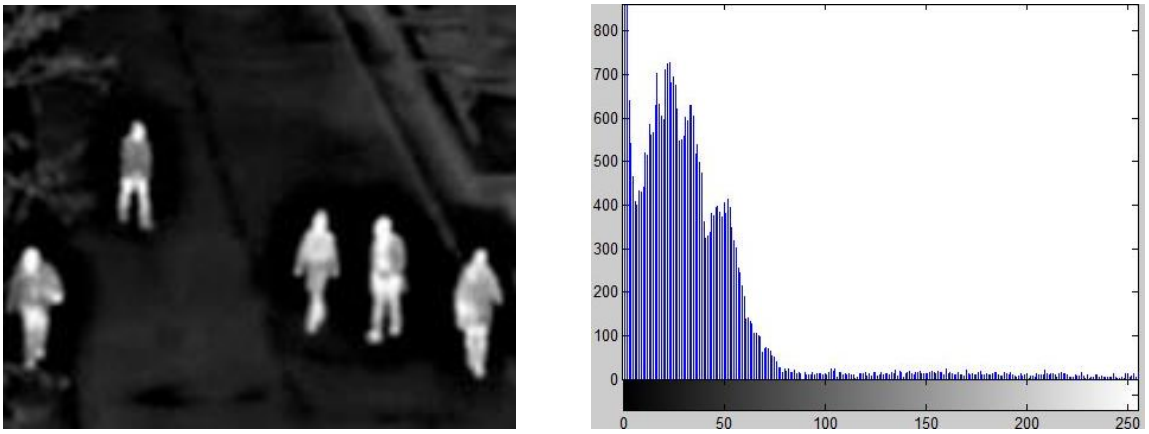
Genelde bir görüntünün minimum ve maksimum parlaklık değerleri kullanılabilecek dinamik aralığın çok az bir bölümünü kapsamaktadır. Bu durum ise görüntünün anlaşılırlığını azaltmaktadır. Bunu önlemek için kontrast genişletme işlemi gerçekleştirilir. Karşıtlık genişletme, bir görüntüdeki gri seviye dinamik aralığının artırılmasıdır. A bir pikseldeki bit sayısı olarak tanımlanırsa, karşıtlık genişletme işleminde, minimum parlaklık seviyesi 0, maksimum parlaklık değeri 2A-1 yapılır ve diğer parlaklık değerleri ise Eşitlik 3.3'de ki gibi transfer edilir [29]. Doğrusal olarak kontrast genişletme işleminde alt ve üst sınırlarda doyum olma olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle üst ve alt sınırlar ile diğer bölümlerdeki genişletme oranı farklıdır. Bu türlü karşıtlık genişletme doğrusal olmayan bir işlemdir. Karşıtlık genişletmede kare, küp, karekök, küpkök veya üstel fonksiyonlar cinsinden de genişletme yapılabilmektedir [31]. Eğer karşıtlık genişletmede çok az sayıda doyuma ulaşan piksel varsa bunlar kırpılabildiği gibi doğrusal olmayan genişletme de tercih edilebilmektedir.

$$b[m,n] = (2^A - 1)\frac{a[m,n] - min}{max - min} \tag{3.3}$$

3.3.2.2. Histogram Değişikliği

Bir görüntüdeki ışık yoğunluğuna (intensity) ait değerlerin gösterimine denir. Bu grafik üzerinde, ışık yoğunluğu değerleri yatay eksende ve bu yoğunluk değerlerinin görüntü içinde hangi sıklıkta olduğunu gösteren değerler de dikey eksende yer alır. Histogram görüntüdeki piksellerin koordinat bilgilerini içermez. Ancak görüntüde yer alan yoğunluk bilgisinin dağılımı, görüntünün karanlıkmı aydınlıkmı olduğu hakkında bilgi verir. Görüntünün ışık yoğunluk değerleri üzerinde işlemler yapılarak, görüntüdeki bazı alanların daha belirgin olması sağlanabilir. Şekil 3.11'de ki görüntünün histogramı

incelendiğinde piksellerin yoğunluk değerlerinin büyük bir oranda 0'a yani siyaha yakın olduğu görülmektedir. Bu da görüntüdeki karanlık alanların çok olduğunu göstermektedir.



(a) Gri Seviye Görüntü (b) Histogramı

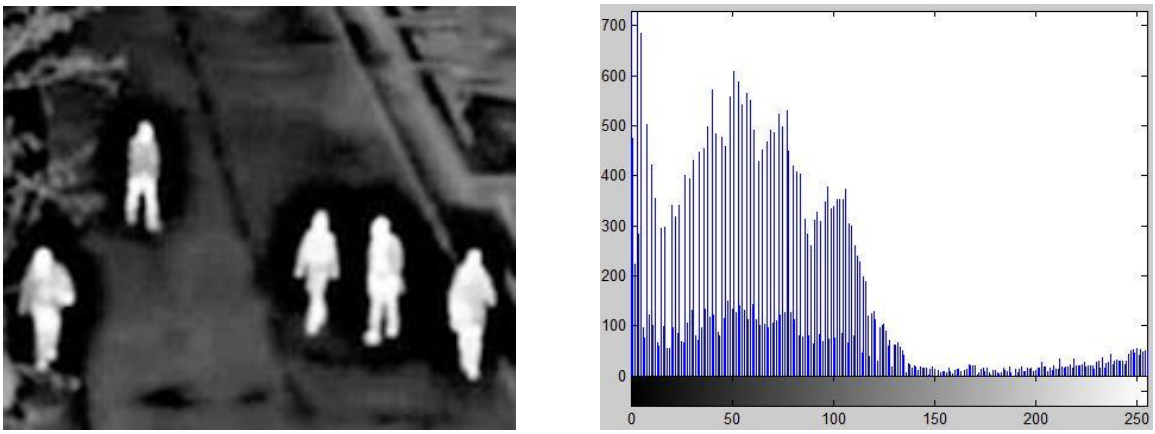
Şekil 3.11. Termal bir görüntünün histogramı

Histogramın tanımı Eşitlik 3.4'de verilmiştir.

$$b(x) = \frac{255}{np^2} \sum_{j=0}^{a(x)} n_j \tag{3.4}$$

b(x) : Histogramı eşitlenmiş görüntü
a(x) : Histogramı eşitlenecek görüntü
j : Gri seviye parlaklık değeri
nj : j gri seviyesine sahip piksel sayısı
np : Toplam piksel sayısı

Histogramla ilgili işlemler genel olarak histogramın sağa veya sola kaydırılması (histogram kaydırma), doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle histogramın genişletilmesi veya daraltılması ile histogramın eşitlenmesi şeklinde özetlenmektedir. Histogram genişletme işlemi görüntünün tamamı veya bir bölümündeki parlaklık değerlerinin histogramının genişletilmesidir. Bu tanımdan kontrast genişletme ile histogram genişletmenin aynı işlemle elde edildiği anlaşılmaktadır. Şekil 3.11'de ki görüntünün kontrast ve parlaklık değerleri değiştirilerek histogram genişletilmesi sağlanmıştır. Histogram denkleştirmeyle elde edilen görüntü ve histogramı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



(a) Termal Sokak Görüntüsü (b) Histogramı

Şekil 3.12. Histogram denkleştirmeyle elde edilen görüntü

Termal kameralarda gerçek zamanlı histogram eşleme işlemi alanda programlanabilir entegre (FPGA) ve sayısal işaret işlemcisinin (DSP) eş zamanlı çalışması ile gerçekleştirilmektedir [15,30]. FPGA'lar günümüzde özellikle askeri uygulamalarda gerçek zamanlı sinyal işleme iş yükünün büyük bir kısmını DSP üzerinden almıştır. FPGA'lar özellikle görüntü işleme uygulamalarında akan video üzerinde paralel piksel işlemi yaparak, DSP'lerin birkaç bin tikte gerçekleştireceği işlemleri bir kaç tik hızıyla gerçekleştirebilmektedirler. Günümüzde birçok askeri sistemde histogram eşleme ve kenar güçlendirme algoritmaları FPGA ve DSP'lerin birlikte çalışması ile gerçek zamanlı olarak uygulanmaktadır.

3.3.2.3. Filtreleme

Filtreleme resmin üzerinde bir filtre varmış gibi düşünüp her piksel değerinin yeniden hesaplanmasıdır. Filtreler sayesinde girdi resminden yeni resim değişik efektler verilerek elde edilir. Filtreleme sayesinde görüntü üzerinde netleştirme, belirli ayrıntıları ortaya çıkarma, görüntüyü yumuşatma, kenar keskinleştirme veya kenar bulma gibi işlemler gerçekleştirilir. Filtreler genelde 3×3 lük matrislerdir. Fakat boyutları 5×5, 7×7, 9×9, 11×11 şeklinde olabilir.

Filtreleme işlemi Eşitlik 3.5'de ki gibi formüle edilebilir. Formülde h fonksiyonu filtredir.

$$f'(x,y) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} h(i,j) x f(x-i, y-j) \tag{3.5}$$

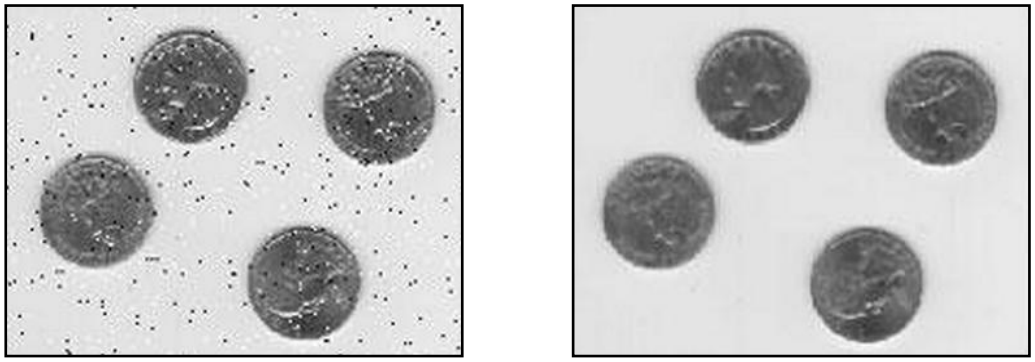
Filtreleme işleminde filtre parametrelerini belirleyen ve bir pikselin komşuluğundaki her bir pikselin hangi katsayı ile çarpılacağını belirleyen matrise kernel denir. Filtreleme ise, kernel ile görüntünün konvolüsyonunun sonucu olarak tanımlanır. Doğrusal ve doğrusal olmayan filtreleme yöntemleri vardır. Doğrusal filtreler konvolüsyon veya fourier dönüşümleri kullanılarak uygulanır ve Düzgün Dağıtılmış, Üçgen, Gaussian ve Wiener filtre gibi çeşitleri bulunur [19]. Doğrusal olmayan filtreler ise, doğrusal filtrelerin yetersiz kaldığı durumlarda etkin olarak kullanılan ve Medyan ve Kuwahara gibi çeşitleri bulunan filtrelerdir.

Medyan Filtresi: Bu filtreleme yönteminde, orijinal sıralanmış piksel, komşularının arasındaki ortanca değer ile değiştirilir. Bunun ağırlıklı ortalama filtrelerinden farkı şudur: Ağırlıklı ortalama filtrelerinde, komşuların ağırlıklı ortalaması alınır, hesaplanan bu değer orijinal piksel ile yeniden ortalanarak sonuç bulunur. Ortanca filtresinde ise, komşuluk değerleri önce sıraya konulur, sonra ortadaki değer alınır. Bu değer doğrudan sonuç kabul edilir. Ortanca değeri net elde edebilmek için genellikle tek sayıda komşu seçilir. Eğer hesaplamada çift sayıda komşu kullanılırsa, bu durumda ortada kalan iki pikselin aritmetik ortalaması kullanılır. Ortanca filtre; Uzaysal çözünürlüğü bozmadan, kopuk (bağımsız) nokta veya çizgi gürültülerini temizlemek için kullanışlıdır. Bu nedenle ikili (binary) gürültülerde başarılı olmasına rağmen Gaussian gürültüsünde kullanışlı değildir. Gürültü piksellerinin sayısı komşu piksellerin yarısına eşit veya daha fazla ise bu filtre pek başarılı çalışmaz.

Görüntü işlemede ise medyan filtresinin 2 boyutlu olması gerekir. Medyan filtresinin en pratik yolu kare (3x3, 5x5, 7x7) şeklindeki bir pencere kullanılarak görüntünün sol üst köşesinden başlayarak görüntünün tamamını taramak ve darbe gürültüleri yok etmektir [25]. 3x3 lük bir medyan filtrenin merkez pikseli P(x,y) olsun. P; x,y noktasındaki pikselin gri seviyesi olmak üzere 3x3'lük medyan karesinin elemanları Şekil 3.13'de ki gibi olacaktır. Şekil 3.14'de ise darbe gürültüsüne maruz kalmış bir görüntünün medyan filtresi kullanılarak temizlenmiş hali görülmektedir.

$x(m-1,n-1)$	$x(m-1,n)$	$x(m-1,n+1)$
$x(m,n-1)$	$x(m,n)$	$x(m,n+1)$
$x(m+1,n-1)$	$x(m+1,n-1)$	$x(m+1,n+1)$

Şekil 3.13. Medyan filtresinin 3x3'lük pencere görünümü



(a) Gürültülü Görüntü (b) Medyan filtresi sonucu

Şekil 3.14. Medyan filtresi kullanılarak gürültüden arındırılmış görüntü

Ortalama Filtresi: Resimdeki her piksel yerine komşuları ile beraber ortalaması alınarak yeniden hesaplanır. Resimdeki gri düzeyler arasında keskin geçişler azalır; daha yumuşak geçişler söz konusudur. Resim üzerindeki kenarlarda bulanıklaşmaya (blur) yol açarlar. Şekil 3.15'de ortalama filtresi uygulanmış görüntü verilmiştir.



(a) Orijinal görüntü (b) Ortalama filtresi sonucu

Şekil 3.15. Average filtresi uygulanmış görüntü

Unsharp Filtresi: Resimdeki ayrıntıları, keskin geçişleri belirginleştirmek, bulanıklaştırılmış görüntülerdeki ayrıntıları yeniden ortaya çıkarmak için kullanılır.

Endüstriyel ve askeri alanda, tıbbi çalışmalarda ve diğer birçok alanda yararlıdır. Şekil 3.16'da keskinleştirme filtresi uygulanmış termal sokak görüntüsü verilmiştir.



(a) Orijinal görüntü (b) Keskinleştirme filtresi sonucu

Şekil 3.16. Keskinleştirme filtresi uygulanmış termal görüntü

Gaussian Filtresi: Gauss dağılım fonksiyonu kullanılarak, standart sapmanın genişliğine bağlı bir denklem üretilir ve görüntüye uygulanırsa, görüntüde düzleştirme ve bulanıklık etkisi oluşturan alçak geçirgen bir filtre elde edilmiş olur. Gürültü gideren ideal bir filtrenin iki özelliği olmalıdır. Yüksek frekanslı gürültüleri temizleyebilmek için, frekans düzleminde, bir filtrenin bandı mümkün olduğu kadar dar olmalı, kenarları belirleyebilmek için ise uzay düzleminde mümkün olduğu kadar dar olmalıdır. Her iki özelliği de sağlayan en iyi filtre Gaussian filtresidir. Bundan dolayı gürültü gidermede Gaussian filtresi çok kullanılan ve en iyi doğrusal filtrelerden birisidir. Eşitlik 3.6'da Gaussian filtresinin fonksiyonu, Eşitlik (3.7-3.10)'da ise örnek Gaussian kernelleri gösterilmektedir [32].

$$G_\sigma(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|x|^2 + |y|^2}{2\sigma^2}\right) \tag{3.6}$$

G(x,y) : Gaussian Fonksiyonu

x : Satır sayısını gösteren eksen (apsis)

y : Sütun sayısını gösteren eksen (ordinat)

σ : Standart sapma

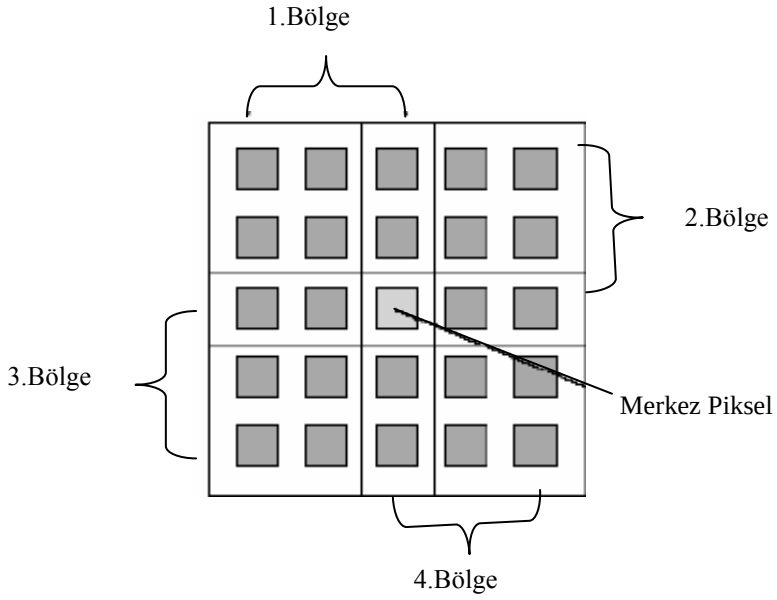
$$[h_{Gauss}] = \frac{1}{6}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

$$[h_{Gauss}] = \frac{1}{8}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

$$[h_{Gauss}] = \frac{1}{12}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

$$[h_{Gauss}] = \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

Kuwahara Filtresi: Genel olarak alçak geçiren filtreleme sonunda kenarların keskinliği kaybolmaktadır. Bu nedenle hem gürültüyü azaltan hem de kenarların netliğini koruyan Kuwahara filtresi geliştirilmiştir. Kuwahara filtresi gibi kenarların yerini ve keskinliğini değiştirmeyen filtreler kenar koruyan filtre olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.17'de kuwahara filtresinin bölgeleri verilmiştir. Bu yöntemde bir merkez piksel etrafında 4 bölge oluşturulur. Her bölgenin parlaklık değerinin ortalaması ve varyansı hesaplanır. Merkez pikselin yeni değeri varyansı en düşük olan bölgenin parlaklık değerinin ortalaması olarak belirlenir [21].



Şekil 3.17. Kuwahara filtresinde bölgeler

3.3.2.4. Görüntü Keskinleştirme

Bir görüntüdeki kenar, görüntü parlaklığının lokal olarak maksimum olduğu noktalar şeklinde tanımlanmaktadır. Bu noktalar, görüntünün birinci türevinin Eşitlik (3.11-3.12) maksimum veya ikinci türevinin sıfır olduğu noktalardır. Hem kenar bulma hem de kenar iyileştirme, birçok görüntü analiz işleminden önce yapılması zorunlu tekniklerdir.

$$f_x(x,y) \approx f(x,y) - f(x-1,y) \tag{3.11}$$

$$f_y(x,y) \approx f(x,y) - f(x,y-1) \tag{3.12}$$

X : apsis

Y : ordinat

$f_x(x,y)$: f(x,y) fonksiyonunun x'e göre türevi

$f_y(x,y)$: f(x,y) fonksiyonunun y'e göre türevi

Kenar bulma, görüntülerde piksel değerlerindeki değişimlerin gerçekleştiği yerlerin belirlenmesidir. Nesne tanıma, hedef izleme ve bölütleme gibi daha ileri seviyeli görüntü işleme yöntemlerinin içinde ilk aşamalardan biri olarak yer aldığından, bunların başarısını etkileyen önemli unsurlardan biridir. İlk yöntemler, keskin piksel değişimlerini bulmak için geliştirilen gradyana dayalı işleçlerdir. Birinci derecede türeve dayanan teknikler, gradyanın çeşitli yönler için hesaplanmasına ve bunların birleştirilmesine dayanmaktadır. Sobel, Canny, Prewitt ve Roberts isleçleri, bu tür yöntemlere örnek verilebilir.

Sobel filtre: Sobel operatörü yatay ve düşey yöndeki türevleri hesaplamak için 3x3'lük maskeler kullanır. I giriş görüntüsü olmak üzere, Sobel operatörlerinin cevabı bu giriş görüntüsünün 3x3'lük Eşitlik (3.13)'de verilen maskelerle konvolüsyonudur [1]. Şekil 3.18'de sokakta çekilmiş termal görüntüye sobel filtresi uygulanmış hali gösterilmiştir.

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I \qquad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} * I \tag{3.13}$$

Elde edilen eğim vektörünün genliği ve açısı Eşitlik (3.14) de ki gibi hesaplanır.

$$|s| = (\sqrt{sx^2 + sy^2}) \qquad |s_\propto| = (arctan\,(\frac{S_y}{S_x})) \tag{3.14}$$



(a) Orijinal görüntü (b) Sobel sonucu

Şekil 3.18. Sobel algoritması uygulanmış termal görüntü

Canny filtre: Kenar bulmada son derece etkin bir algoritmadır. Önce görüntüdeki gürültü bir sigma değerine göre üretilen Gaussian çekirdekle konvolüsyonu alınarak azaltılır.

$$g(x,y) = f(x,y) * w_G(x,y;\sigma) \tag{3.15}$$

Daha sonra, gradient operatörü uygulanarak, kenar gradient büyüklüğü ve yönü hesaplanır. Kenarlar, non maxima baskılama uygulanarak inceltilir. Son olarak görüntü, ikili eşikleme uygulanarak istenmeyen ayrıntılardan arındırılır. Şekil 3.19'da Canny algoritması uygulanmış bir görüntü verilmiştir.



(a) Orijinal görüntü (b) Canny sonucu

Şekil 3.19. Canny algoritması uygulanmış görüntü

Prewitt filtre: Değişik işleçler kenar bulmak amacı ile tek renkli görüntülerde kullanılmıştır. 3x3'lük yatay ve düşey yönlü maskelerden oluşan Prewitt'de en iyi bilinen işleçlerden biridir. Bu işleçin en büyük sınırlaması yüksek gürültülü ortamlarda kenarları doğru olarak bulamamasıdır. Ancak, [33]'de bu problemin, gradyanın hesaplandığı komşulukların arttırılmasıyla en aza indirgenebileceği belirtilmiştir. Şekil 3.20'de prewitt kenar algılama çekirdek filtre matrisleri verilmiştir.

1	**1**	**1**
0	**0**	**0**
-1	**-1**	**-1**

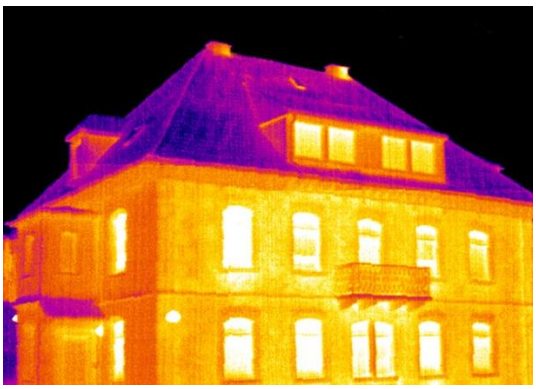
(a) Yatay

-1	**0**	**1**
-1	**0**	**1**
-1	**0**	**1**

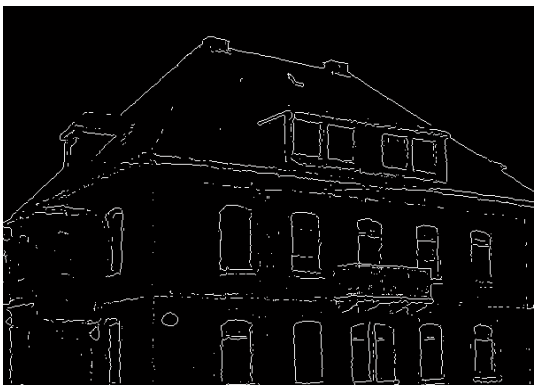
(b) Dikey

Şekil 3.20. Prewitt kenar algılama çekirdek filtre matrisleri

Termal kameraların kullanım alanlarından biride inşaat / yapı sektörüdür. Binalardaki kaçak ısı alanları termal kameralar ile tespit edilebilir. Özellikle binalardaki cam kenarları ısı kaybının yoğun yaşandığı alanlardır. Şekil 3.21'de bir binanın termal görüntüsü ve prewitt filtre uygulanmış görüntüsü bulunmaktadır. Görüntüden de anlaşılacağı gibi özellikle pencere alanları prewitt filtresi ile bulunmuştur.



(a) Termal bina görüntüsü



(b) Prewitt sonucu

Şekil 3.21. Termal görüntüsü alınmış bir binanın Prewitt filtresi uygulanmış hali

Roberts filtre: Bu filtre köşegen olarak kenar tarar. Dört element kullanılır ve iki köşegen yönünde hesaplanır [34]. Hesaplama işlemi Eşitlik 3.16'da verilmiştir. Şekil 3.22'de roberts kenar algılama çekirdek filtre matrisleri verilmiştir. Şekil 3.23'de ise roberts filtresi uygulanmış bir termal görüntü verilmiştir.

$$X = abs(p1 - p4) \qquad Y = abs(p2 - p3) \tag{3.16}$$

1	**0**
0	**-1**

(a) Yatay

0	**1**
-1	**0**

(b) Dikey

$\mathbf{P_1}$	$\mathbf{P_2}$
$\mathbf{P_3}$	$\mathbf{P_4}$

(c) Piksellerin yeni değerleri

Şekil 3.22. Roberts kenar algılama çekirdek filtre matrisleri



(a) Termal görüntü (b) Roberts sonucu

Şekil 3.23. Termal görüntüsü alınmış bir gurubun Roberts filtresi uygulanmış hali

3.3.3. Görüntü Analizi

Nesnelerin görüntülerinin analiz edilmelerinde öncelikli olan konu görüntü üzerinde ilgilenilen kısım ve "geri kalanı" arasındaki farkı ayırt etmektir. Bu da görüntü detayının ölçülerek, sayılarak ve boyutlandırılarak nesnelerin tanınması işlemidir. Görüntü analizinde giriş görüntü iken, çıkışta görüntüden elde edilen özellikler vardır. Görüntü içerisinde ilgilenilen kısmı bulmaya yarayan tekniklere bölümleme teknikleri denmektedir.

Bu bölümde eşikleme ve sınır bulma teknikleri bulunmaktadır. Unutulmaması gereken iki nokta vardır;

1. Tüm görüntülere uygulanabilecek ve başarılı olacak evrensel bir bölümleme tekniği yoktur.
2. Hiçbir bölümleme tekniği mükemmel değildir.

Eşikleme: Bu teknik basit bir kavram üzerine kuruludur. Parlaklık eşik değeri olarak verilen bir θ değeri seçilir ve görüntüye uygulanır. Algoritma açık renk üzerinde koyu kısımları ya da tersi olarak koyu zemin üstünde parlak kısımları arar. Sonuç olarak "nesne" ve "arkaplan" olarak iki kısım belirlenir. Burada önemli olan soru bu eşik değerinin nasıl belirleneceğidir. Tüm görüntüler üzerinde uygulanabilecek garantili bir prosedür bulunmamasına rağmen birçok alternatifler bulunmaktadır. Şekil 3.24'de sokaktaki yaya görüntüsünün eşikleme işlemine tabi tutulmuş görüntüsü verilmiştir.



(a) Termal görüntü (b) Eşikleme sonucu

Şekil 3.24. Eşikleme işlemine tabi tutulan görüntü

3.3.4. Görüntü Anlama

Modern teknoloji, çok boyutlu sinyallerin basit devre sistemlerinden karmaşık bilgisayar sistemlerine kadar birçok sistemle işlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu işlemenin amacı 3 ana kategoriye ayrılabilir [31].

- Görüntü İşleme → Görüntü girer – Görüntü çıkar
- Görüntü Analizi → Görüntü girer – Ölçüler çıkar
- Görüntü Anlama → Görüntü girer – Yüksek mertebeli tanımlar çıkar

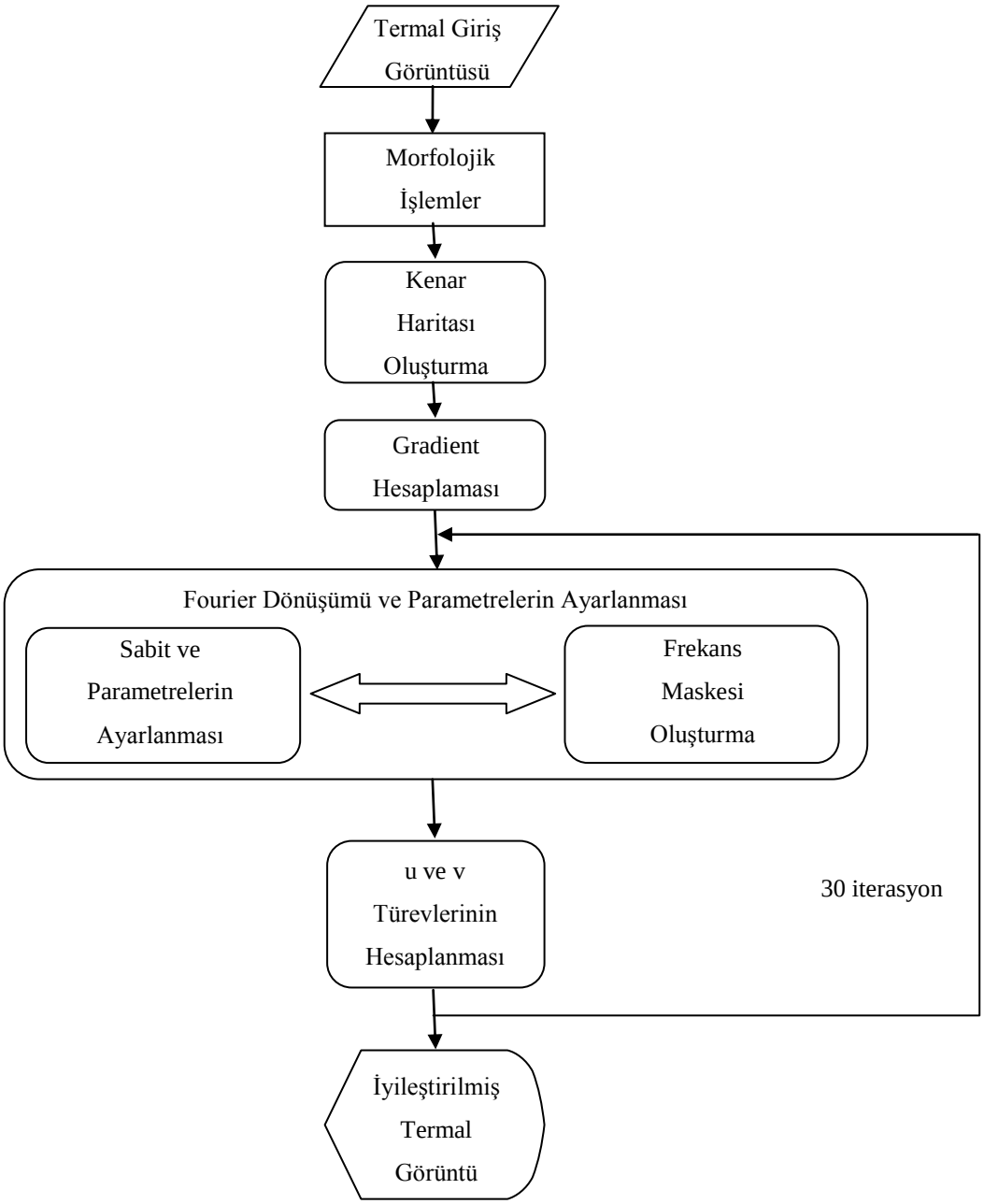
Görüntü işlemenin bu seviyesinde girişe görüntü verilirken, çıkıştan anlam elde edilmektedir. Görüntü tanıma, karakter tanıma, bilgisayarda görme, örüntü tanıma, bilgisayarlı grafik, hedef tanıma, hedef takibi, yüz tanıma ve parmak izi tanıma gibi uygulamaları bulunmaktadır.

4. TERMAL GÖRÜNTÜLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ UYGULAMALARI

Termal kamera görüntüleri üzerinde literatürde yapılmış birçok çalışma yapılmışsa da giriş görüntüsünde var olan olumsuz içerikler yapılacak işlemlerin kalitesini ve doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Kamera ile elde edilen görüntü, kamera kalibrasyon eksikliği, ortamdaki ışık miktarı, hava şartları ve gürültü gibi dış etkenlerden olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu nedenle kameradan elde edilen görüntünün bir ön işlemden geçirilerek görüntüdeki gürültü ve diğer eksikliklerin giderilmesi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında bilinen matematiksel ve geometrik gerçeklerin termal görüntülere uygulanarak termal görüntülerin kalitesinin arttırılması ve iyileştirilmesi yapılmıştır. Geliştirilen yöntemin temeli türev uygulamalarına dayanmaktadır. Termal görüntü problemlerinin türev uygulamaları ile çözümlerinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Yöntem belirli bir adım miktarı (30 iterasyon) kadar çalıştırılmıştır. Her çalışmada nesnelerin kenar görüntüleri daha belirginleşmiş olup sonuçta oluşan görüntü, algoritmanın girişine, tekrar giriş görüntüsü olarak verilmiştir.

Bu tez çalışmasında görüntü üzerinde yapılan diferansiyel hesaplamalar ile görüntünün içerdiği termal yani belirli miktarda ısı yayan nesnelerin belirginleştirilmesi ve elde edilen yeni görüntü ile görüntüdeki gürültünün giderilmesi ve termal nesnenin vurgulanması amaçlanmıştır.

Geliştirilen tekniğin işlem basamakları Şekil 4.1'de akış şeması ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Geliştirilen tekniğin akış diyagramı basamakları

4.1. Termal Görüntülerin Elde Edilmesi

Tezde kullanılan görüntüler sadece eğitim ve araştırma amaçlı olarak kullanılan OTCBVS veri tabanına aittir [35]. Görüntüler OTCBVS'nin Dataset 01: OSU Termal Yaya Veritabanı bölümünden alınmıştır. Bu görüntülerin özellikleri:

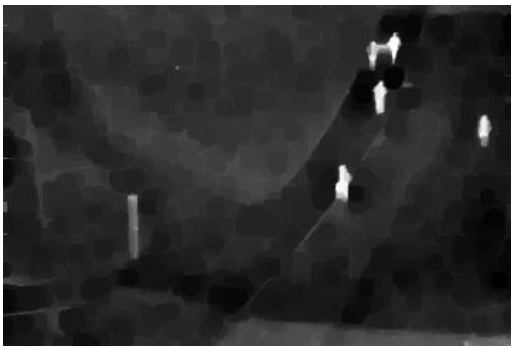
- İlgili konu: Termal görüntülerde kişi algılama.
- Sensör detayları: Raytheon 300D termal sensör çekirdek, 75 mm mercek, 8 katlı binanın çatı üzerine monte kamera, odaklama kontrolü manuel.
- Veri detayları: Ohio Eyalet Üniversitesi kampüsünde yaya kavşağı. Dizilerinin sayısı = 10, Görüntülerin toplam sayısı = 284. Görüntülerin formatı = 8-bit grayscale bitmap. Görüntü boyutu = 360 x 240 piksel. Örnekleme oranı = non-uniform 30Hz.

4.2. Morfolojik İşlemler

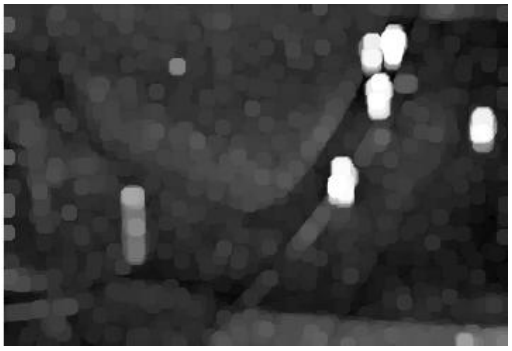
Geliştirilen yöntemin bir sonraki adımı giriş termal görüntüsüne morfolojik yöntemler uygulanmasıdır. Morfoloji, şekil analizleri yapmaya yarayan ve matematiksel işlemlere dayanan bir çıkış yöntemidir. Görüntülerde istenmeyen nesneleri ve gürültüleri kaldırmak ve görüntüyü iyileştirmek için sıklıkla başvurulan bir tekniktir. Görüntüye uygulanacak morfolojik operatörler morfolojik açma, morfolojik kapatma, dilate (açmak) ve erode (aşındırma) işlemleridir. Morfolojik işlemlerde çeşitli yapı elemanları kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapı olarak küre yapı elemanı kullanılmıştır. Öncelikle giriş görüntüsüne bir defa morfolojik kapatma, bir defa dilate ve bir defa da morfolojik sınır temizleme işlemi uygulanmıştır. Uygulanan morfolojik işlemler sonucunda girişteki termal görüntüde var olan istenmeyen nesneler görüntüden çıkarılmıştır. Şekil 4.2'de örnek bir termal görüntü ve morfolojik adımlar sonrası elde edilen çıkış görüntüsü görülmektedir.



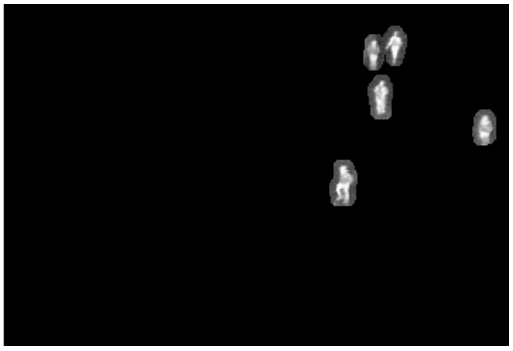
(a) Orijinal termal görüntü



(b) Kapatma işlemi



(c) Dilate işlemi



(d) Sınır temizleme işlemi

Şekil 4.2. Termal sokak görüntüsüne Morfolojik işlemlerin sırayla uygulanışı

4.3. Kenar Haritası Oluşturma

Tez çalışmasında termal görüntülerin iyileştirilmesi amaçlandığı için, kenarlarının bulunması veya vurgulanması önemli bir aşamadır. Bu nedenle giriş görüntüsünün kenarları sobel filtresi ile bulunarak kullanılan yönteme giriş olarak verilmiştir. Sobel operatorü yatay ve düşey yöndeki türevleri hesaplamak için 3x3lük maskeler kullanır. I giriş görüntüsü olmak üzere, Sobel operatörlerinin cevabı bu giriş görüntüsünün 3x3'lük aşağıda verilen maskelerle katlanmasıdır [1].

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I \qquad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} * I \tag{4.1}$$

Şekil 4.3'de örnek bir termal görüntü ve bu görüntünün Sobel filtresi ile elde edilen kenar sonucu verilmiştir.



(a) Orijinal termal görüntü



(b) Sobel sonucu

Şekil 4.3. Sobel algoritması uygulanmış Termal sokak görüntüsü

Sobel sonucundan görüleceği gibi algoritmanın girişine termal görüntünün kenar bilgileri öncelikli olarak verilmiştir. Verilen sobel görüntüsü normalize edilir. Normalize işlemi ile görüntünün histogramı daha dengeli bir hale getirilir.

4.4. Eğim Hesaplaması

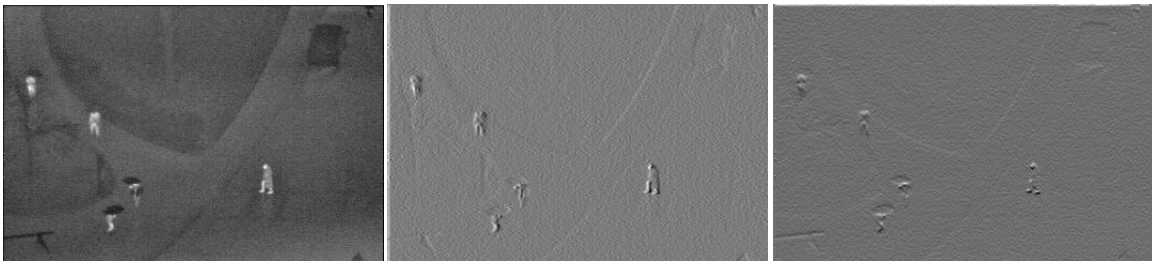
Matematiksel olarak bir nümerik fonksiyonun birinci sıra koşulları bize sadece dönüm noktaları hakkında bilgi verir. Matematiksel olarak eğim ifadesi Eşitlik 4.2'de verilmiştir;

$$\nabla L(x,y) = \begin{bmatrix} L_x(x,y) \\ L_y(x,y) \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

Eşitlik 4.2'de görüleceği gibi eğim 2 boyutlu bir vektördür ve her noktada değişen hem yön hem de büyüklük bilgisi içermektedir. Termal görüntüler için L_x ve L_y bilgisi görüntünün piksel koordinatlarıdır. Eğim hesaplaması ile görüntünün 1.sıra şartları incelenmiş olur ve bize o noktadaki dik eğim yönünü verir. Geometrik olarak eğim tanjant düzleminde tanımlanır ve herhangi bir yöndeki 1.türevi hesaplamak için kullanılır. Yani eğim genel bir 1.türev hesaplayıcısıdır ve bir noktadaki 1.türev bilgilerini içermektedir. Bu bilgiler çerçevesinde görüntünün 1.türevi alındığında, kenar noktaları bulunmuş olur.
Buradan hareketle bir termal görüntünün gradienti bize görüntünün kenarları ile ilgili bilgi verir. Yani görüntünün sınırlarını kabaca çıkarır. Bir görüntü için birinci sıra koşulu eğim (gradient) olarak adlandırılır. Normalize edilmiş giriş görüntüsünün gradient'i hesaplanarak görüntünün eğim bilgisi elde edilir. Literatürde görüntünün gradienti'nin büyüklüğü bulunarak kenarların daha iyi vurgulanması gerçekleştirilmiştir [36]. Bu nedenle elde ettiğimiz eğim bilgisinin büyüklüğü bulunur. Eğimin büyüklüğünü hesaplamak için Eşitlik (4.3)'de ki formül kullanılır:

$$MagGrad = fx^2 + fy^2 \tag{4.3}$$

Burada fx ve fy kenar görüntüsünün yatay ve dikey yöndeki gradient matrisleridir.
Şekil 4.4'de örnek bir termal görüntü ve onun gradienti verilmiştir.



(a) Orijinal termal görüntü (b) Yatay türevi (c) Dikey türevi

Şekil 4.4. X, Y yönlerinde Gradientleri alınmış bir termal görüntü

Şekil 4.4'den de görüleceği üzere termal görüntünün yatay ve dikey yani x ve y yönlerindeki eğimleri görüntüdeki nesneleri kabarık şekilde yansıtmaktadır. Ancak termal nesnelerin sınırlarını istenen oranda belirginleştirmemiştir.

4.5. Fourier Dönüşümü ve Parametrelerin Ayarlanması

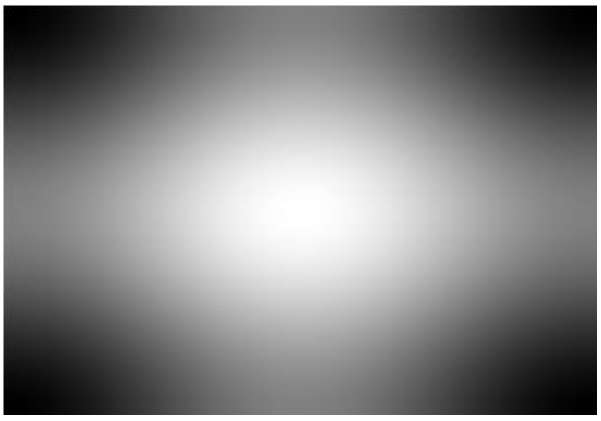
Elde edilen gradient büyüklüğündeki ham kenar bilgilerini daha iyi hale getirmek ve görüntüde halen var olan gürültü bilgilerini en aza indirgemek için literatürde Fourier dönüşümünden yararlanılmıştır [37]. Hızlı Fourier dönüşümü herhangi bir işareti frekans uzayında incelememize imkân sağlayan istatistik tabanlı matematiksel bir dönüşüm yöntemidir. Birbirine girmiş frekans demetlerini ayrıştırarak hangi frekansta ne kadar genlik büyüklüğünde frekans olduğunu bize hesaplar. Bunun yanında zaman uzayında bulunan bir sinyali eşdeğer frekans uzayı sinyaline dönüştürerek sinyalde bulunan ve elde edilmesi ile farklı bilgiler sağlayacak olan bilgileri hızlı Fourier Dönüşümü ile elde etmek mümkündür. Ayrık zamanlı fourier dönüşümünün temel formülü Eşitlik 4.4'de verilmiştir:

$$X\left(e^{j\omega}\right) = F\{x(n)\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n} \tag{4.4}$$

F{.} operatörü x(n) ayrık işaretini gerçel değerli ω'nın karmaşık değerli ve sürekli bir fonksiyonu olan $X(e^{j\omega})$'ya dönüştürmektedir. Sinyal işleme alanında bir sinyal fourier dönüşümü ile analiz edilerek o sinyalin genliği ve frekansı ile ilgili bilgiler elde edilmektedir. Fourier analizi yapılarak sinyalde sıklıkla tekrar eden frekans değerleri ortaya çıkarılır. Yani elimizdeki giriş sinyali frekans alanında değerlendirilerek sinyal ile ilgili frekans ve genlik bilgileri elde edilmektedir.

Sinyal işlemede sıklıkla kullanılan bu dönüşüm 2 veya 3 boyutlu bir sinyal olan termal görüntülerde de kullanılabilmektedir. Çünkü bir sinyal olan görüntüde tekrar eden piksel değerlerini, bu piksellerin koordinatlarını ve tekrar sayıları gibi bilgileri elde edebilmek görüntüyü analiz etmede kolaylıklar sağlamaktadır. Görüntünün kenarlarını bulmak için yapılan çalışmalarda hızlı fourier dönüşümünden faydalanılmıştır [36]. Termal görüntülerde de bu dönüşümden faydalanılarak özellikle görüntüdeki ısıya duyarlı nesnelerin bulundukları yer ve bu nesnelerin sınır çizgilerini elde etmek mümkündür. Bu nedenle 1. veya 2. türev ile elde edilen öncelikli sınır bilgileri fourier dönüşümü ile iyileştirilerek hem görüntüdeki gürültü giderilir hem de sınır piksellerin net şekilde vurgulanması gerçekleştirilmiş olur. Bu nedenle tez çalışmasında kullanılan yönteme ek olarak belirli tekrar değerine kadar elde edilmiş ham kenar görüntüsüne fourier dönüşümü uygulanarak daha kaliteli bir termal nesne bulma algoritması geliştirilmiştir.

Görüntü işlemede fourier dönüşümü kullanmak için bir maskeleme oluşturulmalıdır. Bu maskeleme için nesne frekans düzleminde bir optik transfer fonksiyonu nesnesi tanımlanmıştır. Algoritmada kullanılan ve giriş görüntüsü boyutunda oluşturulan örnek bir optik transfer fonksiyonu maskesi Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Optik transfer fonksiyonu maskesi

Eşitlik 4.5'de yöntemde faydalanılan optik transfer fonksiyonu maskesinin formülü verilmiştir.

$$eigDtD = abs\left(psf2otf([1,-1],[m,n])\right)^2 + abs(psf2otf([1;-1],[m,n]))\text{^}2 \quad (4.5)$$

Şekil 4.5'de ki optik transfer fonksiyonu maskesi her tekrarda kullanılarak giriş termal görüntüsünün yatay ve dikey türevlerine çarpan olarak etki ettirilmektedir. Bu maske bir frekans alanı oluşturarak matlab ortamında fourier dönüşümüne imkan tanımaktadır.
Fourier dönüşümünün sonucu karmaşık içerikli olduğu için bu sonucu tekrar gerçel sayı yapmak ve görüntüyü frekans uzayından tekrar zaman uzayına çekmek için ters fourier dönüşümü uygulanmıştır.

4.6. Yatay ve Dikey Türevlerin Elde Edilmesi

Her iterasyon adımında bir önceki iterasyonda iyileştirilerek tekrar elde edilen yatay ve dikey kenar görüntüleri maske, kenar bilgileri ve algoritmadaki diğer sabitler kullanılarak istenen kenar sonuçları elde edilmiştir. Her iterasyonda iyileştirilen yatay ve dikey türev değerlerinin formülasyonu aşağıda verilmiştir.

Yatay türev (x yönündeki türev) için;

$$yu = \nabla_u * c_u * u \tag{4.6}$$

$$yu = real\frac{ifft2(0.5 * fft2(yu))}{mu * otf_mask + c_u} \tag{4.7}$$

$$u = \frac{MagGrad * fx + c_u * yu - \nabla_u}{2}$$
$$u = \frac{u}{c_u + MagGrad} \tag{4.8}$$

Dikey türev (y yönündeki türev) için;

$$yv = \nabla_v * c_v * v \tag{4.9}$$

$$yv = real\frac{ifft2(0.5 * fft2(yv))}{mu * otf_mask + c_v} \tag{4.10}$$

$$v = \frac{MagGrad * fx + c_v * yv - \nabla_u}{2}$$
$$v = \frac{v}{c_v + SqrMag} \tag{4.11}$$

Algoritmanın sabitleri ve başlangıç değerleri şöyledir;

∇_u : Görüntü boyutunda sıfır matrisi

∇_v : Görüntü boyutunda sıfır matrisi

c_u : 1/2*satır boyutu

c_v : 1/2*satır boyutu

otf_mask : Optik transfer fonksiyonu maskesi

u, v : Elde edilen yeni kenar görüntüleri

Algoritmada kullanılan sabitler her iterasyon sonunda belirli bir kurala göre güncellenmektedir. Formüllerde kullanılan fx, fy değerleri başlangıçta alınan yatay ve dikey gradient matrislerdir. Algoritmadaki ∇_u ve ∇_v sabitlerinin güncellenme formülleri Eşitlik (4.11)'de verilmiştir:

$$\nabla_u = \nabla_u + c_u(u - yu)$$
$$\nabla\text{_v} = \nabla_v + c_v(v - yv) \tag{4.12}$$

Yine algoritmada kullanılan c_u ve c_v sabitlerinin güncellenmeleri için Eşitlik (4.12)'de verilen formüller kullanmıştır:

$$c_u = c_u * 5$$
$$c_v = c_v * 5 \tag{4.13}$$

Yöntemdeki iterasyon sayısı görüntünün kalitesine göre değişmekle birlikte genel olarak 30 iterasyon iyi bir sonuç almak için yeterli olmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan yöntemin temel adımları şöyledir:

Adım 1: Giriş görüntüsü alınarak matematiksel morfoloji ile istenmeyen nesneler görüntüden çıkarılır.

Adım 2: Morfoloji ile elde edilen termal görüntünün kenar haritası çıkarılır.

Adım 3: Termal görüntü normalize edilerek eğimi hesaplanır.

Adım 4: İterasyon sayısı ve sabitler ayarlanır. Fourier işlemleri yapılır.

Adım 5: Her iterasyonda Eşitlik (4.6 – 4.11)'de ki formüller kullanılarak termal görüntünün yatay ve dikey türevleri fourier dönüşümü kullanılarak elde edilir.

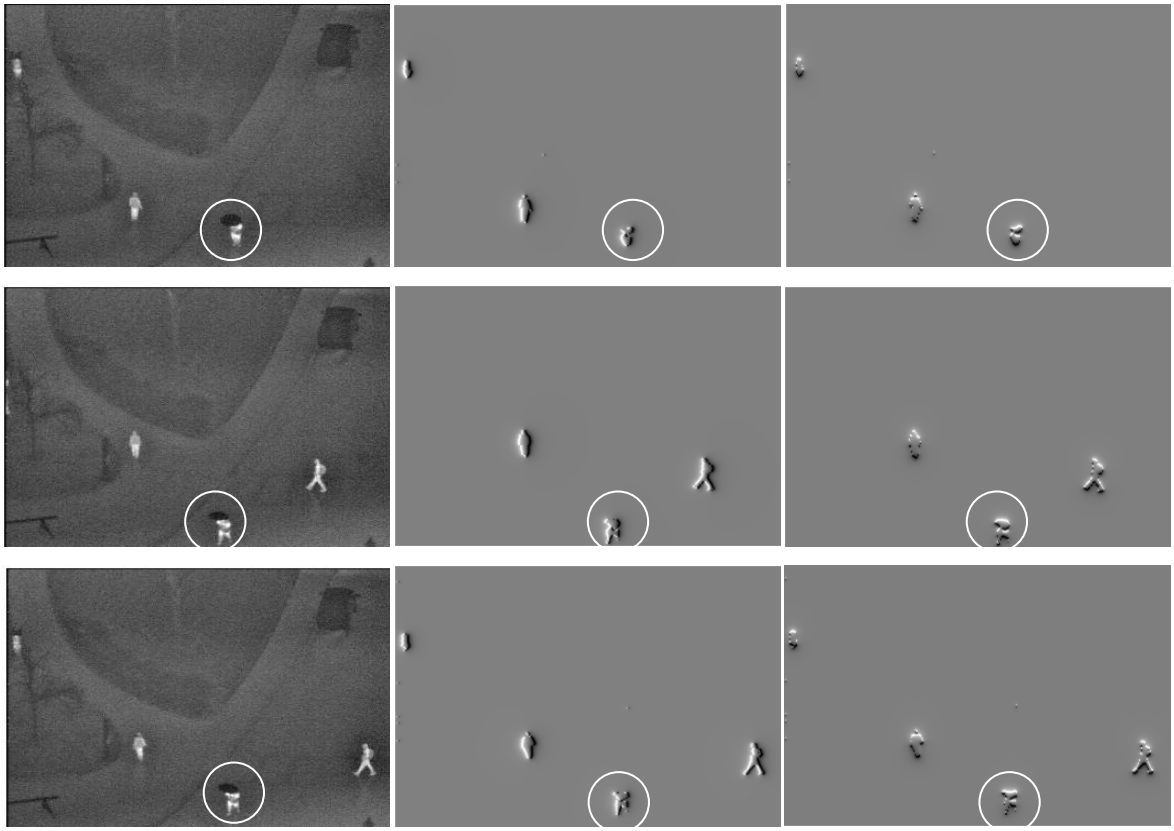
Adım 6: Elde edilen yatay ve dikey türev matrisleri kullanılarak bir önceki türev değerleri güncellenir.

4.7. Uygulama Sonuçları

Bu çalışmada termal görüntülerin iyileştirilmesi için Şekil 4.1'de yapısı verilen gradient, morfoloji ve fourier transforma dayanan bir iyileştirme tekniği geliştirilmiştir. Termal giriş görüntüsünün morfolojik işlemler ile iyileştirilmesinin ardından kenar haritası çıkarılmıştır. Elde edilen kenar haritası normalize edilerek eğim hesaplaması yapılmıştır. Eğim hesaplaması ile elde edilen başlangıç türev değerleri Eşitlik (4.6 - 4.11) kullanılarak belirli bir iterasyon sayısına ulaşılana kadar iyileştirilmiştir. Her bir iterasyonda, termal görüntüdeki nesne sınırları ve görüntüdeki ilgilenilen ısıya duyarlı termal nesneler daha belirgin bir şekil almışlardır. Geliştirilen yöntem Intel i5 işlemci ve 4GB dahili belleğe sahip bir bilgisayarda uygulanmış olup geliştirme ortamı olarak Matlab R2008b programı kullanılmıştır. Yöntemin bellek gereksinimi ve zaman tüketimi oldukça ideal değerlerdedir. Çalışmada kullanılan termal görüntüler literatür çalışmalarında sık sık kullanılan OTCBVS veritabanına ait görüntülerdir [35].

Geliştirilen tekniğin sonuçları genel olarak yeterli olsa da gürültü oranı çok yüksek olan ve karşıtlık değerleri belirgin olarak düzensiz görüntülerde istenen sonucu tam vermemektedir. Ancak literatürde eğim ve Fourier dönüşümünü birlikte kullanarak termal görüntü iyileştiren uygulama sayısı yok denecek kadar azdır. Bu nedenle geliştirilen tekniğin literatüre katkı sağlayacağı ve yapılacak farklı çalışmalar ile bu tekniğin daha ilerilere götürülebileceği düşünülmektedir.

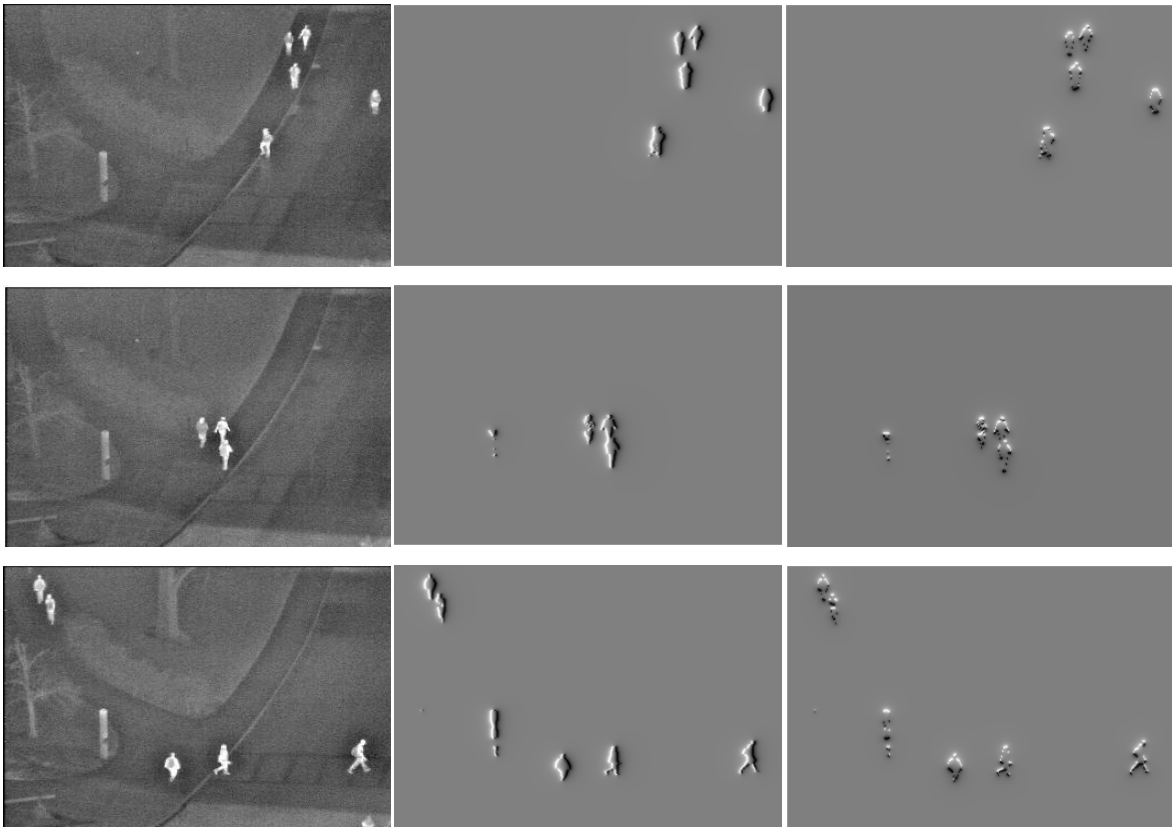
Geliştirilen tekniğe ait elde edilen sonuçlar Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.



(a) Orijinal termal sokak görüntüsü (b) Yatay yönde türev görüntüsü (c) Dikey yönde türev görüntüsü

Tablo 4.1. Geliştirilen tekniğin şemsiyeli görüntülere uygulanması

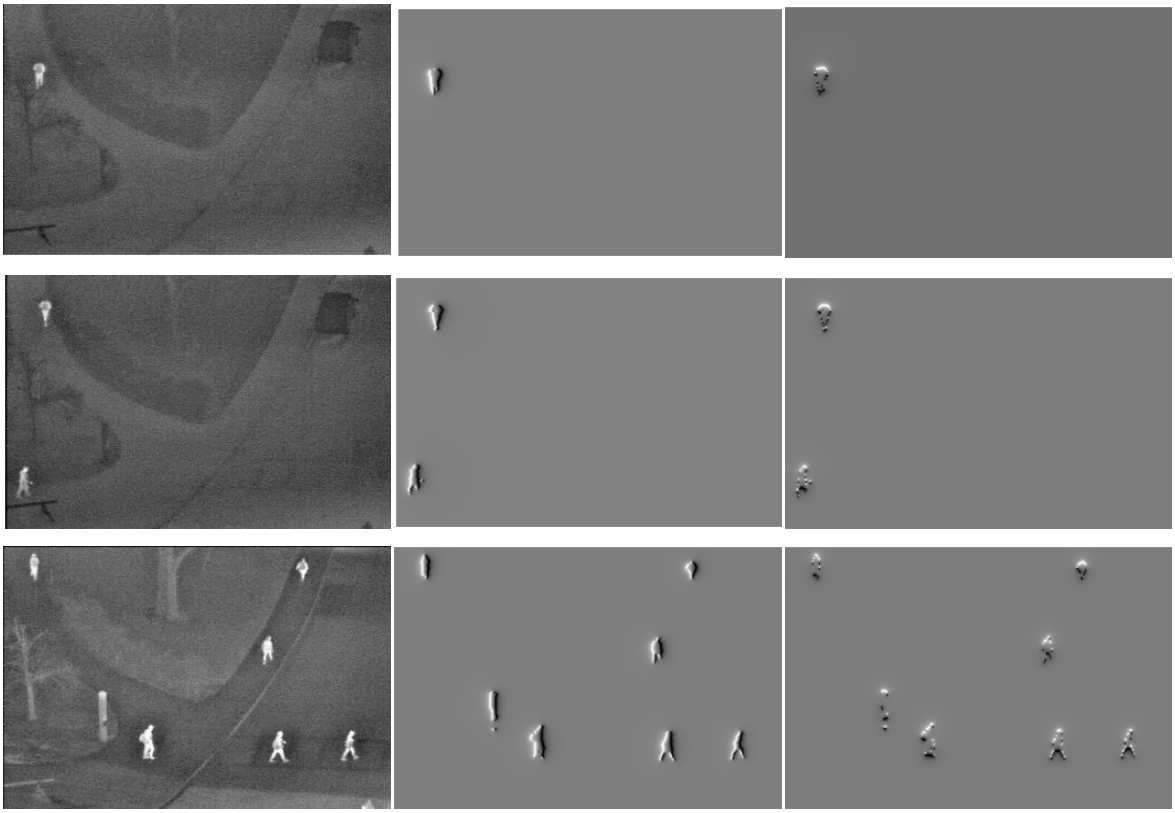
Geliştirilen yöntemin ana unsuru sokaktaki canlıları tespit edip ileriki süreçlerde nesne takibi gibi alanlara uyarlamaktır. Tablo 4.1.(a)'da termal kamerayla çekilen sokak görüntüsünde ilk etapta sokakta bulunan nesnelerin çoğunu görmekteyiz. Geliştirilen yöntem ile insan dışındaki tüm nesneler ortadan kaldırılmıştır. Tablo 4.1.(b) ve (c) alanlarında yöntemin bazı sonuçları verilmiştir. Termal görüntülemeyi engelleyen en büyük unsurlardan biride siyah şemsiyelerdir. Çünkü siyah renkli şemsiye vücut ısısını kapattığı için kişilerin termal kameralar tarafından tespitini zorlaştırmaktadır. Şemsiye gibi nesnelerin görüntüde bulunması bu yöntemin çalışma performansını olumsuz etkilese de genel olarak amaca ulaşılmış ve insan siluetinin büyük bir kısmı çıkarılmıştır. Şemsiyeli görüntüler Tablo 4.1'de daire ile belirtilmiştir. Şemsiye ile gezen kişiler her ne kadar vücutlarının üst kısmını gizleseler de vücudunun çok az bir kısmından yola çıkarak geliştirilen yöntemle kişilerin yerleri tespit edilebilmektedir.



(a) Orijinal termal sokak görüntüsü (b) Yatay yönde türev (c) Dikey yönde türev görüntüsü

Tablo 4.2. Geliştirilen tekniğin termal sokak görüntülerine uygulanması

Tablo 4.2'de verilen deneysel sonuçlar da geliştirilen yöntem ile elde edilen termal görüntünün ileri işlemler için kullanılmaya daha uygun olduğunu göstermektedir. Çünkü giriş görüntüsünde bulunan olumsuzluklar ve gereksiz bilgiler giderilmiştir. Geliştirilen teknik ile termal görüntülerin analizi ve görüntü yanılması sonucu oluşabilecek çeşitli olumsuzluklarında önüne geçilebilecektir.



(a) Orijinal termal sokak görüntüsü (b) Yatay yönde türev görüntüsü (c) Dikey yönde türev görüntüsü

Tablo 4.3. Geliştirilen tekniğin termal sokak görüntülerine uygulanması

Bu yöntemin dezavantajlarından sayılabilecek unsurlardan biri insan ısısına yakın ısı yayan nesnelerinde insan gibi algılanmasıdır. Tablo 4.3'de görüldüğü gibi sokak lambalarının yaydığı ısı insan ısısına yakın olduğu için bu nesnelerde yöntemde bulunmuştur. Ancak insan silüetine benzemediği için bu nesneler elenir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Termal kameralar son yıllarda sanayi, güvenlik ve bilgisayar görmesine ihtiyaç duyulan farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılan bir teknolojidir. Çoğu zaman termal kameralar olumsuz hava şartlarından, gürültü probleminden, parlaklık seviyesinin düşük/yüksek olduğu durumlardan olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle termal kamera teknolojisinin ilerlemesine paralel olarak termal görüntülerin iyileştirilmesi de önemli bir alan olmaya devam edecektir. İyileştirilen termal görüntüler kullanılan bellek ve zaman gereksinimini azaltarak daha ileri görüntü işleme uygulamaları olan kümeleme, bölütleme ve sınıflandırma gibi işlemlerin doğruluğunu, kalitesini ve hızını olumlu yönde etkilemektedir. Çünkü elde edilen iyileştirilmiş termal görüntüde gürültü bulunmamakla birlikte parlaklık ve kontrast düzeyleri optimum şekilde elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, termal görüntüler üzerinde yapılan araştırmalar ve yöntemler incelenmiştir. İncelemeler sonucunda görüntülerin iyileştirilmesi bölütleme, sınıflandırma gibi örüntü tanıma sistemlerinde ön işlemeler basamağında yer aldığı görülmüştür. Tezin ilerleyen bölümlerinde farklı görüntü işleme teknikleri incelenmiş ve MATLAB uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntem genel olarak verimli çalışmaktadır.

Ülkemizde 20 Haziran 20012 tarihinde Hakkari'nin Yüksekova ilçesi Dağlıca kesiminde 8 askerin şehit olduğu, 19 askerin de yaralandığı saldırıda ölü ele geçirilen teröristlerin üzerinden termal kameraya karşı kullanılan siyah renkli şemsiyeler çıkmıştı. Tez çalışmasında geliştirilen yöntemle termal görüntülemeyi engelleyen şemsiye gibi nesnelerin görüntüde bulunması bu yönteminde çalışma performansını etkilemektedir. Ancak kişilerin vücutlarından yayılan ısıyı engellemek için şemsiye kullanılmasına rağmen görüntüdeki insan silüeti hemen hemen çıkarılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan da görüleceği gibi geliştirilen yöntem şemsiye görüntüsünü ve altındaki nesneyi kaybetmeyerek yaklaşık olarak ortaya çıkarmaktadır. Geliştirilen teknik ile termal görüntülerin analizi ve görüntü yanılması sonucu oluşabilecek çeşitli olumsuzluklarında önüne geçilebilecektir. Ayrıca yine termal görüntü kalitesini etkileyen sis, nem gibi hava şartlarına bağlı durumlarda geliştirilen yöntem sonuç vermekle birlikte zayıf kaldığı görüntülerde mevcuttur. Geliştirilen algoritmanın en büyük dezavantajı görüntüyü vurgulama süresinin fazlalığıdır. Yapılabilecek yeni çalışmalar ile bu çalışmanın geliştirilmesi mümkündür. Bu anlamda geliştirilen yöntemin termal görüntüleme literatürüne katkı yapacağı muhtemeldir.

Literatürde birçok imge işleme yöntemi vardır. Şu bilinmektedir ki hiçbir yöntem her tür imgenin işlenmesinde çok başarılı değildir [38]. Bundan dolayı termal görüntü işleme çalışmalarında bir nesnenin vurgulanması başarımının nasıl arttırılacağı tartışılmaktadır. Bu problemi çözmek için iyileştirilecek nesnenin hangi yöntem ile daha başarılı iyileştirileceğine otomatik olarak karar verecek çalışmalar yapılması daha gerekli hale gelmiştir. Bir başka alternatif de farklı iyileştirme yöntemlerinin bileşimi olan yöntemlerin geliştirilerek başarımın arttırılmasıdır.

Görüntü işlemenin birçok alanda uygulanabilmesi, büyük yenilikler ve kolaylıklar sağlaması bu alanda çalışan kişi sayısını ve yapılan çalışmaları arttırmıştır. Bunun sonucu olarak görüntü işleme alanında yetişmiş eleman açığı ortaya çıkmıştır. Bu yüzden ülkemizde ve daha birçok ülkedeki üniversitelerde görüntü işlemeye yönelik eğitim programları başlamıştır. Bu dersler lisans ve lisansüstü seviyesinde olup önemleri artmaktadır. Eğitim programları ilgili bölümün amacına uygun olarak güncellenip geliştirilerek, kullanılacak araçlar tespit edilerek gerekli uygulamalara göre yeniden düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Gonzales, R. C., Woods R. E., Digital Images Prossesing, Prentice Hall, 2002

[2] M.E. Petersen, T. Arts, Recognition of radiopaque markers in X-ray images using a neural network as nonlinear filter, Pattern Recognition Letters, 20, 5, p. 521-533, May, 1999

[3] Toraman, S.,2006. Histopatolojik Imgelerin Değerlendirilmesinde Örüntü Tanıma Temelli Karar Destek Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

[4] I. Pitas, Digital image processing algorithms and applications, John Wiley&Sons Inc., 2000

[5] Turan, F., "Introduction to IR technology", Optik Sempozyumu 2003, Ankara, 3, 5, 16 (2003)

[6] Değirmenci, A.İ., 2010. Türkiye'de uygulanan yalıtım tekniklerinin araştırılmasında termal kameranın etkin biçimde kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

[7] Hurnik. JF, De Boer. S, Webster. A.B, ''Detaction of health disorder in dairy cattle utizing e thermal infrared scaning technique'', J. Anim. Sci, 64: 1071-1073, (1984).

[8] Düzgün, D., Erman, M., 2009, "Termal kameraların tıpta ve veteriner hekimlikte kullanımı", Tübav Bilim Dergisi, 4, 468-475

[9] Şirel. D, Akgül. E, Bayaroğulları. H, Sarpel. Y, ''Synovial hemangioma of the knee'', Official Journal of the Turkish Society of Radiology, 7(1), 131-134, (2001).

[10] Goillot. CC, ''Airborne thermography or infrared remote sensing'', Bibl Radiology, (6): 237-48, 1975

[11] Erdoğan. B, ''Meme kanseri tanısında kızılötesi görüntüleme yöntemi'', *uzmanlık tezi*, 4-9, 2007

[12] Laughmiller. J. A, Spire. M. F, Dritz. S.S, Fenwick. B.W, Hosni. M.H, Hogge, S.B,"Relationship between mean surface temperature measured by use of infrared thermograpy and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with Antinobacillus Pleuropeumobia. Am", J. Vwt.Res, 62: 676-681, 2001

[13] Susam. M, ''Koroner arter cerrahisinde termal görüntüleme kullanılarak greft değerlendirilmesi'' uzmanlık tezi, 9-13, 2005

[14] R. Heriansyah and S.A.R. Abu-Bakar, “Defect detection in thermal image for nondestructive evaluation of petrochemical equipments”, NDT & E International, vol. 42, no. 8, pp. 729-740, Dec. 2009.

[15] Yiğit, A., Temizel, A., “Termal ve Görünür Bant İmgeleri Kullanılarak Terk Edilen Nesne Tespiti”, SIU2010 - IEEE 18. Sinyal isleme ve iletisim uygulamalari kurultayi, Diyarbakir, p 617-620

[16] Abboud Bouchra, Davoine Franck, Dang Mo, “Facial expression recognition and synthesis based on an appearance odel”, Signal Processing: Image Communication, v 19, n 8, September, 2004, p 723-740

[17] Guotia, J., Kang, L., “Character Analysis of Facial Expression Thermal Image”, International Conference on Complex Medical Engineering, 2007, p 824-827

[18] Guotai, J., Xuemin, S., Fuhui, Z., Peipei, W., Ashgan, M., “Facial Expression Recognition Using Thermal Image”, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005, p 631-633

[19] Bahçebaşı, A., 2006, Gece görüş cihazından alınan görüntülerin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

[20] BERKMEN, G., ‘Dış Cephe Yalıtım Sistemleri ve Uygulama Prensipleri’ Yalıtım Kongresi ve Sergisi Bildirileri MMO Yayını, 2001

[21] Vural, M.F., Kızılöz, C., Turgay, E., “FPGA Based Real-Time Efficient Histogram Equalization”, IEEE, p 49-52, 2009

[22] Turgay, E., Teke, Oğuzhan., “Autofocus method in thermal cameras based on image histogram”, SIU2011 - IEEE 19. Sinyal isleme ve iletisim uygulamalari kurultayi, p 462-465

[23] Faundez-Zanuy, M. and Mekyska, J.,”On the Focusing of thermal images”, Pattern Recognition Letters 32 (2011) 1548–1557

[24] Nayar, S.K. Nakagawa, Y. (1994) Shape from focus. IEEE Trans. Pattern Anal.Mach. Intell. 16, 824-831

[25] Tenenbaum, J.M. Accommodation in Computer Vision, PhD Thesis, Stanford University, USA, 1970

[26] Schlag, J.F., Sanderson, A.C., Neuman, C.P. and Wimberly, F.C. Implementation of Automatic Focusing Algorithms for a Computer Vision System with Camera Control, CMU-RI-TR-83-14, Robotics Institution, Carnegie Mellon University, 1983

[27] Sugimoto, S.A. and Ichioka, Y. (1985) Digital composition of images with increased depth of focus considering depth information. Appl. Opt. 24, 2076 – 2080

[28] Ng Kuang Chern, N.; Poo Aun Neow; Ang, M.H., Jr.:, ”Practical issues in pixel-based autofocusing for machine vision,” Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on , vol.3, no., pp. 2791 2796 vol.3, 2001

[29] Young, I., Gerbrands, J., Lucas J., “Fundamentals of Image Processing”, Delft University of Technology, Hollanda, 1998

[30] Özcan, A.R., 2009, Gerçek Zamanli Lineer Görüntü Işleme Algoritmalarinin Fpga ile Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[31] Harry C. Andrews , B. R. Hunt, Digital Image Restoration, Prentice Hall Professional Technical Reference, 1977

[32] Klinger, T., “Image Processing with LabVIEW™ and IMAQ™ Vision”, Prentice Hall, New Jersey, 17 (2003)

[33] Scharcanski, J., Venetsanopoulos, “Edge Detection of Color Images Using Directional Operators”, IEEE Trans. On Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 7, No. 2, 1997

[34] Roberts, L. G., “Machine Perception of Three- Dimensional Solids” , in Optical and Electro-Optical Information Processing (J. Tippett, ed.), 159-197, MIT Pres, 1965

[35] http://www.cse.ohio-state.edu/otcbvs-bench/, (14.11.2012)

[36] Huang, Y.M., Lu, D.Y., “On decomposition-based block preconditioned iterative methods for half-quadratic image restoration”, Journal of Computational and Applied Mathematics 237, 2013, p 162-170

[37] Dongwein, Ren., Wangmeng, Zuo., Xiaofei, Z., Zhouchen, Lin., Zhang, D., “Fast gradient vector flow computation based on augmented Lagrangian method”, *Pattern Recognition Letters 34 (2013) 219–225*

[38] L. A. Zadeh, ‘Fuzzy Sets’, Inform. Control 8, pp. 338-353, 1965

[39] Çalışan, M., Türkoğlu, İ., “Termal Kameralar ve Uygulamaları”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, p 46-50, 2011

[40] Alan, A., “Termografi ve Veteriner Hekimliğinde Kullanımı”, Erciyes Üniv Vet Fak Derg 9(12) 133-140, 2012

[41] Günyel, B., Bala, E., Akar, G.B., “Uzun ve Orta Dalga Boylu Kızılötesi Görüntü Kaynaştırılması”, Signal Processing and Communications Applications, SIU 2007

ÖZGEÇMİŞ

Mücahit ÇALIŞAN, 1985 yılında Bingöl'de doğdu. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bilgisayar Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2007-2010 yılları arasında Muş Anadolu Kız Meslek Lisesinde Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yaptı. Halen Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.