



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**KBRN OLAYLARINDA,
HASTA VE YARALILARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA
TERMAL KAMERA KULLANIMI**

Çağatay KADIRSOY

**KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK,
NÜKLEER TEHDİTLER YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

NİSAN 2022





**KBRN OLAYLARINDA, HASTA VE YARALILARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA TERMAL KAMERA
KULLANIMI**

ÇAĞATAY KADIRSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK, NÜKLEER TEHTİDLERİ
YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2021

Çağatay KADİRİSOY tarafından hazırlanan “KBRN OLAYLARINDA, HASTA VE YARALILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA TERMAL KAMERA KULLANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer Tehditleri Yönetimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Gökhan NUR

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Abdullah Özkan

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Hacı Ahmet Deveci

Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı, Gaziantep Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi:13/04/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Çağatay KADIRSOY

...../...

KBRN OLAYLARINDA, HASTA VE YARALILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA TERMAL KAMERA KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Çağatay KADIRSOY

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Nisan 2021

ÖZET

KBRN sahaları, niteliği bakımından oldukça çok fazla risk barındırmaktadır. Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer olaylar ayrı ayrı riskler barındırdığı gibi komplike riskler de oluşturabilmektedir. Bu nedenle olağan bir KBRN kazası veya afeti karşısında olay yerinde ortaya çıkabilecek riskler tespit edilmeden olay yerine girilmesi olası can kayıplarını arttıracaktır. Aynı zamanda bu durum karşısında olay sahasındaki risklerin tespiti için geçen süre çok uzun olacak ve geçen süre boyunca hiçbir ekip olay yerine güvenli bir şekilde girerek bilgi edinme ve müdahale etme şansı bulamamaktadır.

Bu tez çalışmasında özellikle KBRN sahaları gibi girilmesi güvenli bulunmayan sahalarda olabilecek olgularda, olay yerindeki insanların genel sağlık durumunun anlaşılabilmesi için termal kamera ile durum analizi yapılabilmesi üzerine çalışılmaktadır. Ulaşılması zor veya yüksek tehlikeli sahalardaki (KBRN sahaları) olgularda, olay yeri ile ilgili yaşayan canlı ve yaralanan veya etkilenen durumu gibi bilgilerin elde edilebilmesi ihtiyacının olduğu ve olmaya devam edeceği açıktır. Bu çalışmada hayati bulgulardan, eş zamanlı olarak birden çok kişiye uygulanabilirliği ve temassız değerlendirme yapılabilmesi gibi avantajlarıyla beraber termal kameraların robotik sistemlere ve insansız hava araçlarına entegre olarak kullanılabilmesi nedeniyle vücut ısısı yani ateş ölçümü üzerine çalışılmıştır. Bununla birlikte elde edilen görüntüler üzerinde otonom görüntü analizi teknikleri üzerine çalışılmıştır.

Çalışmamız kapsamında KBRN vakalarında vücut ısısından yola çıkarak yaşam bulgusu ve etkilenme seviyesi değerlendirilebilmesi amacıyla termal kameraların nasıl kullanılabileceği üzerine bir ön çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Derin öğrenme, Kızılötesi, Termografi, Termogram, Ateş

Sayfa Adedi : 34

Danışman : Doç. Dr. Gökhan NUR

İkinci Danışman : Doç. Dr. Hüseyin KAFADAR

THERMAL CAMERA USE FOR EVALUATION OF PATIENTS AND
INJURED IN CBRN EVENTS

(M. Sc. Thesis)

Çağatay KADIRSOY

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

April 2021

ABSTRACT

CBRN sites contain quite a variety of risks in terms of their nature. Chemical, biological, radiological and nuclear threats can create separate risks as well as complicated risks. For this reason, in the event of a possible CBRN accident or disaster, it is not possible to enter the scene without detecting the risks that may occur at the scene. In this case, the time taken to determine the risks at the scene is long and no team can enter the scene and find a chance for information and intervention.

In this thesis, it is studied to determine the situation with a thermal camera in order to determine the general health status of the cases at the crime scene, especially in cases that may be in unsafe areas such as CBRN areas. It is clear that there is and will continue to be a need to obtain information about the scene, such as the individual living and the injured person, in cases in hard-to-reach or high-hazard areas (CBRN areas). In this study, we focused on body temperature, in other words fever measurement, because of the advantages of vital signs such as simultaneous applicability to multiple people and non-contact detection, as well as the use of thermal cameras in an integrated manner with unmanned aerial vehicles. In addition, autonomous analysis techniques were studied on the images obtained.

Within the scope of our study, a preliminary study was carried out on how to use thermal cameras in order to evaluate the vital signs and the level of exposure in CBRN cases over body temperature.

Key Words : Thermography, Thermogram, Deep Learning, Feverly
Page Number : 34
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gökhan NUR
Second Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin KAFADAR

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince beni yönlendiren, her konuda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen İskenderun Teknik Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü ve danışmanım Doç. Dr. Gökhan NUR' a, ilgili teknik ve teorik bilgileriyle çalışmamda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen ikinci danışmanım Adıyaman Üniversitesi Adli Tıp Ab. Bölüm başkanı Öğr. Üyesi Dr. Hüseyin KAFADAR'a, tez çalışmamda bana ilk olarak yol gösteren ve gelecek teknolojiler ile ilgili ufkumu açan değerli önceki danışmanım Öğr. Üyesi Abdullah ÇALIŞKAN'a ve çalışmalarım da her zaman yanımda olan aynı bölümü ve kariyeri paylaştığım sevgili eşim Selcan KADIRSOY'a ve aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL BİLGİLER	3
2.1. KBRN	3
2.1.1. KBRN tarihi	3
2.1.2. KBRN olayları ve KBRN olaylarında olay yeri güvenliği	5
2.2. Vücut Isısı ve KBRN	8
2.2.1. Vücut ısısı	8
2.2.2. Vücut ısısı ölçüm teknolojileri.....	9
2.2.3. KBRN durumlarında olası vücut ısısı değişkenleri	10
2.3. İnfrared Radyasyon ve Termal İnfrared Kameralar	16
2.3.1. Kızılötesi radyasyon ve insanda kızılötesi.....	16
2.3.2. Termal infrared kameralar ve kullanım sahaları	17
2.3.3. İnsanda termal kamera kullanım çalışmaları	18
2.3.4. Afet veya kaza durumlarında termal kamera kullanımı.....	22

	Sayfa
2.3.5. Termal kamera görüntü analizinde yapay zeka kullanımı	23
2.3.6. Termal kameraların İHA sistemleriyle kullanımı	24
2.3.7. Termal kamera kullanımındaki küresel zorluklar	26
3. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	28
KAYNAKLAR	30



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kimyasal ajan keşifleri	4
Çizelge 2.2. Birinci dünya savaşındaki KBRN kayıpları sayısı	4
Çizelge 2.3. Vücut ısı ölçümü için kullanılabilen ölçüm bölgeleri ve teknolojiler...	9
Çizelge 2.4. Akut Radyasyon Sendromu Başlangıç Fazı	12
Çizelge 2.5. Biyolojik ajanların CDC sınıflandırması	15
Çizelge 2.6. Kızılötesi radyasyon alt sınıfları	17
Çizelge 2.7. Normal insanda çeşitli vücut bölümlerinin sıcaklık farklılıkları	21

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum ve İnfrared dalga spektrumu.....	16
Şekil 2.2. Termal kamera bileşenleri.	17
Şekil 2.3. Termal kamera ve multikopter tasarım şeması.....	26



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Termal kameraların ilk olarak insan vücudunda kullanımı.	19
Resim 2.2. Modern termal kamera yüz görüntüsü.	20
Resim 2.3. İnsan vücudu termal görüntüsü.	20
Resim 2.4. Termal kamera özellikli İnsansız Hava Araçları	25



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

$^{\circ}\text{C}$

Santigrat derece

μm

Mikrometre (mikron)

hz

Hertz

m^2

Metrekare

Gy

Gray

Kısaltmalar

Açıklamalar

AFAD

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

ARS

Akut Radyasyon Sendromu

CDC

Uluslararası Hastalıkları Önleme Merkezi

GPS

Küresel Konumlama Sistemi

İHA

İnsansız Hava Aracı

IRT

İnfrared Termografi

FIR

Far İnfrared (Uzak Kızılötesi)

LWIR

Long Wavelength İnfrared (uzun dalga kızılötesi)

MWIR

Mid Wavelength İnfrared (orta dalga kızılötesi)

NWIR

Near Wavelength İnfrared (yakın dalga kızılötesi)

SWIR

Short Wavelength İnfrared (kısa dalga kızılötesi)

1. GİRİŞ

Günümüzde mevcut teknolojiler ve insan gücü ile birden çok insanın etkilendiği nitelikli acil durumlarda yaşam bulgusu değerlendirmeleri ve akabinde mevcut durum tespiti kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak bilindiği üzere tüm uygulamalarda ilk adım olarak olay yeri güvenliği, müdahale proseslerinin en başında yer almaktadır. Ancak, çoğu kimyasal, biyolojik ve radyolojik tehditler göz önüne alındığında, saldırıya maruz kalan kitleye nasıl yaklaşılacağı son derece önemlidir. Böyle bir durumda saldırıya maruz kalan kitlenin genel sağlık durumuyla ilgili bilgi almak son derece önemlidir. Bu tarz durumlarda kaç hastanın veya yaralının KBRN olayından etkilendiğinin tespit edilmesi ve kurtulma ihtimalinin hesaplanması çok önemlidir [1]. Bu tez çalışmasında bu tarz KBRN tehditlerinin kişilerde oluşturduğu zararın ve etkilenme olup olmadığının anlaşılması amacıyla kişilerin lokal veya genel vücut ısısı değişkenlerinin termal kamera yardımıyla tespit edilmesi yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşıma göre etkilenen kitleden alınan termal kameralardan gelen görüntülerden etkilenme durumunun anlaşılmasının mümkün olup olmayacağı üzerine çalışılacaktır. Tezin temel amacı KBRN olaylarında olayın türüne göre termal kamerayla etkilenme durumu üzerine bir ön çalışma yapılmasıdır.

Olay yeri güvenliği birçok vakada kolaylıkla sağlanabilirken özellikle KBRN durumlarında çok geç sağlanabilmektedir [2, 3]. Bunun başlıca sebepleri KBRN olaylarının kontrolünün çoğunlukla kolay olmamasıdır. Endüstriyel alanlardaki, sağlık araştırmalarındaki ve enerji alanlarındaki KBRN çalışmalarının çok fazla olması, dolaylı yoldan kaza ihtimallerini de artırmıştır. Bu sektörlerde oluşabilen kazalar dünya tarihinde, çok sayıda ölüme ve kırığa sebep olmasıyla ün kazanmıştır. Bununla birlikte KBRN olaylarının savaş silahı olarak kullanımı veya terör amaçlı olabileceği de akıldan çıkarılmamalıdır. Özellikle bu tür olaylarda önü alınamayan etkilenme sahaları ve ikincil KBRN tehditlerinin de olabileceği muhtemeldir [4, 5].

Bu sebeple KBRN sahalarındaki etkilenen insanların durumlarının değerlendirilmesi açısından, mevcut ölçüm teknolojilerine kıyasla temassız, girişimsel olmayan ve uzaktan kontrol edilebilir bir analiz tekniği gerekli görülmüştür. Çalışmamızda belirtilen hedefler doğrultusunda yaşam belirtilerinin arasında tek temassız tespiti yapılabilen bulgu olma

özelliği taşıyan vücut ısısı bulgusu, termografi yöntemi ile değerendirilecek olup termografi tekniğinin olaydan etkilenme durumunun değerlendirmesi açısından kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir.



2. TEMEL BİLGİLER

2.1. KBRN

2.1.1. KBRN tarihi

KBRN silahlarının kullanımı çok eski tarihlere dayanmakla birlikte, tarihin her döneminde savaşlar için ucuz, kullanımı kolay ve etkileme kapasitesi yüksek olmasından dolayı kullanılmıştır. En büyük kullanımı ise dünya savaşları olmuştur. Bunun en yakın örneğini ise yakın zamanda Suriye’ de kullanılan silahlar olmuştur. Bununla birlikte KBRN silahları aynı sebeplerle, terör güçlerinin ve çeşitli grupların da ilgisini çekmiştir. Tarihe geçen terör veya sabotaj şeklinde gerçekleştirilen KBRN olaylarına özellikle yakın yüzyıllarda sıkça rastlanmaktadır. Bununla birlikte tarihe farklı geçen veya geçmeyen KBRN olaylarının da varlığı yüksek olasılıklı görülmektedir.

KBRN ajanları ile ilgili insanlık tarihinde sayısız örneğe rastlamak mümkündür. Kimyasal ajan ve KBRN ajanı olarak kabul edilen ilk olayı M.Ö. 1000 yılında Çinlilerin arsenik dumanı kullanımı olarak verebiliriz. Bununla birlikte kullanılan ilk kimyasal ajanların arsenik, kükürt ve çeşitli bitkilerden elde edilen zehirli dumanlar, koku bombaları ve zehirli şarapneller olduğu bilinmektedir. Kullanılan ilk biyolojik ajan kayıtlarına bakıldığında M.Ö. 190 yıllarında General Kartacalı Hannibal’ın düşman üzerinde yılan zehri ile zehirlediği silahları kullanması gösterilmiştir [1].

Günümüzde kullanılan KBRN ajanlarını incelemeyen, daha öncelikli olarak modern KBRN silahlarının tarihçesini bilmekte oldukça önemlidir. KBRN tehditlerinin önemini anlamak, olası tehlikeleri doğru tespit ederek riskleri hesaplamak ve çözüm ve savunma stratejileri üretebilmek için KBRN tarihine bakmak büyük önem arz etmektedir.

Modern KBRN ajanlarıyla ilgili ilk araştırmaların 18. Yüzyıldan itibaren hızla gelişen inorganik kimyanın akabinde 19. Yüzyılda gelişen organik kimyadaki değişimler olduğu görülmektedir [1].

19. Yüzyılda keşfedilen kimyasal ajanları sıralamak gerekirse;

Çizelge 2.1. Kimyasal ajan keşifleri [1].

Yıl	İsim	Keşif
1774	Carl Scheele (İsveç)	1774'te Klorun ve özelliklerinin keşfi, 1782'de Hidrojen Siyanür bileşimi
1802	Kont C.L. Berthollet (Fransa)	1802'de Siyanojen Klorür sentezi
1812	Sir Humphry Davy (İngiltere)	Fosgen gazının keşfi
1822	Victor Meyer (Almanya)	Dikloroetil Sülfür (Hardal Gazı) Sentezi
1848	John Stenhouse (İskoç)	Kloropikrin Sentezi

Kimyasal silah olarak kullanılabilen maddelerin keşfine yönelik artan çalışmalar özellikle yakın tarihte çok fazla kullanımına ve binlerce insanın ölümüne ve yüzbinlerce insanın sakat kalmasına sebep olmuştur. Modern KBRN ajanlarıyla ilgili ilk kapsamlı kullanımı 1. Dünya savaşı sırasında kimyasal ajan kullanımları olarak görmekteyiz. Bu olayların başında Almanların Belçika'ya karşı Nisan 1915'te klor gazı ile saldırması yer almaktadır. Bu olayları hardal gazı ve siyanür türevleri takip etmiştir.

Günümüz tarihine en yakın KBRN olayı ise Suriye'de başlayan iç savaş sırasında, 23.11.2012-07.04.2018 tarihlerinde Halep, Damaskus, Damaskus kırsalı, Dara, Deir Ezzor, Hama, Humus, Idlib, Lattakia ve Raqqa'da düzenlenen kimyasal gaz saldırılarında hayatını kaybeden toplam 1298 kişiyi ve binlerce yaralıyı örnek verebiliriz [1].

Çizelge 2.2. Birinci dünya savaşındaki KBRN kayıpları sayısı [1].

Ülke	Ölümcül olmayan kimyasal yaralanmalar	Kimyasal ölümler
Rusya	420 000	56 000
Almanya	191 000	9000
Fransa	182 000	8000
İngiliz imparatorluğu	180 000	8100

Biyolojik ajan tarihiyle ilgili saldırı olarak tarihe geçen en yakın olay 2001 yılında ABD senatosunda Risin bulunması olarak gösterebiliriz [1]. Bununla birlikte biyolojik olaylar açısından bakıldığında, günümüzde hala etkisini devam ettiren Covid-19 salgını ve geçmiş onlarca salgını örnek verebiliriz.

Radyolojik ve nükleer olayların tarihine bakıldığında ise ilk gelişmelerin 1932 yılında lityum atomu bölünmesini başaran John Cockcroft ve Ernest Walton ile atomun parçalanma sırasında zincirleme reaksiyonunu keşfeden Frédéric Joliot-Curie olarak gösterebiliriz. Bununla birlikte nükleer alanda kullanılan ilk silah 6 Ağustos 1945'te Amerika tarafından Japonya Hiroşima'ya atılan uranyum atom bombası olmuştur [1].

2.1.2. KBRN olayları ve KBRN olaylarında olay yeri güvenliği

KBRN kısaltması Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif ve Nükleer kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Genel itibariyle bu ajanların kaza, terör veya endüstriyel amaçlı kullanımı sonucunda insanlara ve çevreye verdiği zararı belirtmek için kullanılmaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), KBRN'yi "Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer kelime grubunun kısaltması" olarak tanımlarken KBRN olayını, "Kimyasal, biyolojik, radyoaktif ve nükleer maddelerin kasten veya kazaen yayılmasıyla oluşan, insan ve çevre için zararlı ve tehlikeli durumlar" olarak tanımlamaktadır [2].

KBRN olayları bilimsel araştırmalarda, endüstriyel sahalarda ve sağlık sektöründeki çalışmalar sırasında oluşabilecek kazalar sonucu olabildiği gibi kasıtlı olarak terör veya savaş amaçlı da ortaya çıkabilmektedir. AFAD, KBRN Tehlikesini "Petrol kirlenmeleri, bulaşıcı hastalıklar, soba zehirlenmeleri ve KBRN maddesi yayılımı sonucu meydana gelebilecek deniz kirlenmeleri hariç olmak üzere; endüstriyel üretimde, sağlık sektöründe, laboratuvarlarda, bilimsel araştırmalarda ürün ya da ara ürün olarak kullanılan KBRN maddelerinin kazaen yayılmasıyla oluşan durumlar" olarak tanımlarken, KBRN Tehtidini ise "Petrol kirlenmeleri, bulaşıcı hastalıklar, soba zehirlenmeleri ve KBRN maddesi yayılımı sonucu meydana gelebilecek deniz kirlenmeleri hariç olmak üzere; KBRN maddelerinden elde edilmiş silahların, terör, sabotaj vb. eylemlerde kasten kullanılması" olarak tanımlamaktadır [2].

Bununla birlikte KBRN ajanlarının özellikle terör veya savaş ajanı olarak kullanımı amacıyla günümüzde konvansiyonel patlayıcı silahlarla komplike olarak geliştirilen KBRN silahları da bulunmaktadır. Bu sebeple KBRN kısaltması da patlayıcı maddeleri içine alarak KBRN-P (CBRN-E) olarak güncellenmiştir [2].

KBRN risklerinden bahsederken bu risklerin terör veya savaş amaçlı kullanılabilmesi göz önüne alınmalıdır. Modern dünyada, KBRN ajanlarının geniş kitleleri etkileme kabiliyeti sebebiyle terör gruplarınca veya güçler dengesini muhafaza etmek amacıyla devletler tarafından edinildiği bilinmektedir [3]. KBRN ajanlarının halk üzerindeki korkutucu etkisi sebebiyle terör örgütlerince siyasi otoriteleri sarsmak amacıyla kullanılabilmesi ve eylem amaçlı kullanılacak başlıca bölgelerin kamu binaları veya halkın yoğunlukta yaşadığı noktalar olabileceği öngörülmektedir [3].

KBRN olayları sadece savaş veya terörizm sebebiyle değil, yoğunlukla kazaen veya sabotaj eylemi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Buna verilecek en önemli örnek dönemde SSCB' ye bağlı bir devlet olan Ukrayna'nın Çernobil kentinde bulunan nükleer santralde oluşan kazadır. Bununla beraber gelişen teknoloji ve kullanımının zor tespiti sebebiyle özellikle kimyasal ve biyolojik ajanların sıklıkla kullanıldığı tahmin edilmektedir. Kimyasal ve biyolojik ajanların üretim maliyeti ve teknoloji gerekliliği düşük olduğundan dolayı merdiven altı olarak tabir edilen temel seviyede laboratuvarlarda bile yapımı mümkündür [4]. Artan mutajenik hastalıklar, yeni geliştirilen ve sonradan zararlılığı kanıtlanan kimyasallar uzun vadede yüksek tehdit içeren KBRN ajanlarıdır ve bilinçli kullanımı şüphe uyandırsa da kanıtlanamamaktadır. Bununla birlikte devlet politikaları, endüstriyel faaliyetler ve özel yatırımlar gereği KBRN tehditlerinin arttığı da başka bir gerçektir. Temiz enerji amacıyla kurulan nükleer tesisler, sanayide insektisit veya koruyucu amaçlı çokça kullanılan kimyasallar ve farklı endüstri kollarında oluşan gaz, duman, atıklar bunun en önemli örnekleridir [4].

KBRN olaylarında olayın gerçekleştiği alan bölgesel anlamda küçük olabileceği gibi genellikle çok geniş bir çevreyi kapsayabilmektedir. Bu genişlik bazen uluslararası sahayı bile kapsayabilmekte ve sonuçlar çok ağır olabilmektedir. Bu sebeple KBRN olaylarının gerçekleştiği olay yerinde olay yeri güvenliği çok önemlidir [5]. Örneğin kimyasal ajan kullanımı tahmin edilen olay yerine girilmeden önce olay yerinde kullanılan kimyasal ile ilgili analizler yapılmalı ve olay yerine özel koruyucu ekipmanlar kullanmayan ekipler

girmemelidir. İçinde bulunduğumuz korona virüs salgınında ise özellikle yoğun bakım üniteleri gibi bulaşın yüksek olduğu alanlar, koruyucu ekipman kullanılmadan müdahale için oldukça risklidir. Bu sebeple bu tür KBRN sahalarından kurtarma ve tahliye planlanabilmesi için özel stratejiler geliştirilmelidir. KBRN ajanlarının çeşitliliği ve önceki deneyimlerin kısıtlı olması, olası tahliye ve kurtarma planlarını yaparken açıkların oluşma ihtimalini de beraberinde getirmektedir [5]. Çalışmamız KBRN sahalarında olay yerinden etkilenen kitle ile ilgili bilgi temin edilebilmesi de kurtarma ve tahliye çalışmalarında doğru planlama yapılabilmesi açısından yeni teknolojiler geliştirilmesine odaklanmıştır.

Olası bir KBRN durumunun hastane öncesi veya hastanede müdahale aşamalarında da doğru ve etkin planlama yapılması, bulaşın kontrol altına alınması açısından oldukça önemlidir. Etkilenen kitlenin doğru bir şekilde dekontaminasyonu, tecriti ve kişisel koruyucu ekipman kullanılması gerekmektedir [6, 7]. Öngörülebilecek bir başka durum ise KBRN ajanlarının kullanımı ile ilgili bilginin geç elde edilebilme ihtimalidir. Öyle ki olası bir durumda Akut radyasyon sendromu, kimyasal ajan bulaş riskleri veya biyolojik salgın oluşturma potansiyeli olan kitle kontrol altına alınamayabilir. Etkilenen kitle halkın arasına kolayca karışabileceği gibi bilinçsiz bir şekilde hastane ortamına gelebilir. Bu tarz olası durumlar açısından da planlama yapılması oldukça önem arz etmekte ve olaydan etkilenen insanların ayırımı için yeni teknolojiler geliştirilmesi, sağlık ekiplerine ve hastanelere entegre edilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir.

KBRN olaylarının tümü oldukça riskli olaylardır ve bu risklerden dolayı olay yeri oldukça karmaşık olabilmektedir. Olay yerinde etkilenen sayısının çok fazla olmasının yanı sıra olay yerinde oluşan KBRN olayı ana sebep olmak üzere oldukça yüksek tehlike ve riskler bulunmaktadır. KBRN olayının kendisi büyük bir risk olmakla beraber KBRN olaylarında ikincil ve üçüncül riskler de bulunmaktadır. Örnek verilecek olursa nükleer ısı yayılımı sonucu ikincil patlamalar veya nükleer silahların konvansiyonel patlayıcılar ile birlikte kullanımıyla oluşturulabilen kirli bombalar bulunmaktadır [8]. Kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu su ve besin zehirlenmeleri sıklıkla görülmüştür. Tüm bu riskler sebebiyle olay yerine girilebilmesi, bilgi alınabilmesi ve müdahale stratejilerinin oluşturulması bazen imkânsız bazen de çok zor ve uzun sürebilmektedir. Bunun başlıca sebebi tüm müdahale proseslerinin en başında olay yeri güvenliği ve personel can güvenliği gelmesidir. Radyolojik ve nükleer olaylarda ise bu durum çok daha zor bir hal almaktadır, özellikle nükleer santral kazalarında yayılan radyasyon çok aşırı yüksek oranda olduğundan dolayı

olay yerine yaklaşabilmek bile mümkün olamamaktadır. Örneğin, Çernobil kazasında olay sebebinin geç açığa çıkarılması ve ihmaller sebebiyle binlerce insan gereksiz yere radyasyondan etkilenmiş ve hayatını kaybetmiştir [9].

Günümüz teknolojisinde KBRN olayları dışında olay yeri hakkında bilgi alınması ve müdahale edilmesi oldukça kolaydır. Ancak KBRN olaylarında bu durum tam tersidir. Çoğu kimyasal madde insanlarda kirlenme oluşturduktan sonra havada uçuculuk özelliğinden dolayı oldukça erken kaybolmaktadır. Nükleer, radyolojik ve biyolojik olayları hiçbir duyu organıyla anlamak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple yayılım ve etkilenme düzeyi tespiti oldukça zor olmakta ve profesyonel ekiplerce özel donanım ve ölçüm cihazları kullanılarak yapılması gerekmektedir.

2.2. Vücut Isısı ve KBRN

2.2.1. Vücut ısısı

Tarihin en eski dönemlerinden beri insanlık vücut ısısı üzerine birçok araştırma yapmıştır ve vücut ısısı eski çağlardan bu yana en temel yaşamsal bulgulardan biri olarak yerini korumuştur. Vücut ısısının bu kadar önemsenmesinin başlıca sebebi ise etiyojisinin çok geniş olmasıdır. Öyle ki başta inflamatuvar (enfeksiyon) hastalıklar olmak üzere endokrinolojide çeşitli enzim ve hormonal değişikliklerde, kimyasal ajan veya ilaç kullanım durumlarında, radyasyon soğurulması ve ölüm gibi birçok durumda temel değişken olarak karşımıza çıkmaktadır [10].

Vücut ısısı insan vücudunda belirli bir fizyolojik düzende kontrol altında tutulmaktadır. Ortam ısısı belirli sınırlar içinde yükselip düştüğünde vücut bu ısı değişimini karaciğer, hormonlar ve hipotalamus tarafından kontrol altına alarak vücut ısısını dengelemekte ve dış ısıyı tolere edebilmektedir. Vücut ısısı, sağlıklı bir insanda ön hipotalamusun preoptik bölgesi tarafından 36-37 °C olarak düzenlenmektedir. Herhangi bir ateş etiyojisi varlığında bu ısı en geniş aralık olarak 34-41 °C arasında değişkenlik gösterebilir. Bu durum ölüm durumunda ortam ısısıyla orantılı olarak daha fazla değişkenlik gösterebilir [10,11].

Normal koşullarda vücutta ısı üretimi biyokimyasal reaksiyonlarla gerçekleşir. Vücutta ısı kaybı ise deri ve solunum yolu vasıtasıyla olur. Özellikle deri üzerinden gerçekleşen ısı kaybında, belirli bir ısıya sahip her nesnede olduğu gibi İnfrared radyasyon açığı çıkar. Vücut ısısının diğer nesnelere farklı olarak bir başka karakteristik özelliğı ise vücudun bölgelerine göre küçük değışkenlikler gösterebilmesidir ve bu değışkenler etiyojinin çeşitliliğine göre lokal olarak artıp azalabilmektedir. Örneğın enfeksiyon durumlarında lenf nodlarının ve dolaşımın yoğun olduğu alanlarda ekstra bir ısı artışı gözlemlenir. Bununla birlikte normal sağlıklı bir bireyde de oral (ort.37°C), aksiller (Ort. 36,5 °C), rektal (37 °C) ve timpanik (36,5 °C) bölgeler arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır [11].

Vücut ısısının yükselmesi durumunda veya ölüm durumunda düşme mekanizmalarından en etkili deri yoluyla kaybedilen ısıdır. Bununla birlikte kızılötesi spektrumdaki bu ışımının ölçümü ile vücut ısı ölçümü yapılabilir. Vücut ısı aynı zamanda tek temassız ölçülebilen yaşam bulgusudur [12].

2.2.2. Vücut ısı ölçüm teknolojileri

Eski tarihlerden beri vücut ısı ölçümü amacıyla birçok teknoloji kullanılmıştır. Ancak vücut ısısının hangi yöntemle ölçüldüğü önem arz etmektedir. Bununla birlikte vücut ısısında etiyojijiyi sınırlandırmak adına hangi bölgeden ölçüm yapıldığı da büyük önem arz etmektedir. Bu bölgeler vücut iç ve dış ısıyla ilgili bilgi verebilirken, enfeksiyon vs. açısından da tanıyı kolaylaştırmaktadır [12]. Bu çalışmamızda infrared ölçüm teknolojilerinden en güncel yöntem olarak termal kameraların kullanımı hedeflenmektedir

Çizelge 2.3. Vücut ısı ölçümü için kullanılabilen ölçüm bölgeleri ve teknolojiler [11].

Vücut ısı için kullanılan vücut bölgeleri	Vücut ısı ölçümünde kullanılan teknolojiler
Ağız	Civalı Cam Termometreler
Koltuk Altı (Aksiller)	Elektronik Termometreler
Timpanik Membran	Pulmoner Arter Kateteri
Cilt Yüzeyi	Probu Entübasyon Tüpü
Pulmoner Arter	Isı Probu Üriner Kateter
Burun	Sıvı Kristal Termometre Bantları
Kasık	Tek Kullanımlık Termometreler
Özefagus	İnfrared Termometreler
Trakea	

2.2.3. KBRN durumlarında olası vücut ısısı değişkenleri

Vücut ısısının fizyolojisi oldukça karmaşık olmakla daha önce de belirtildiği üzere diğer yaşamsal bulgulara kıyasla etiyolojisi en geniş yaşamsal bulgudur. Bu sebeple vücutta ısı değişkenliğine sebep olabilecek birçok faktör de bulunmaktadır. Bu faktörlerden bazıları enfeksiyonlar, dış ortam ısısı, metabolizma hızı üzerinde etkili enzim ve hormonal faktörler, fiziksel aktivite ve sinir sistemiyle ilgili faktörlerdir. Bu faktörler üzerinde değişikliğe sebep olabilecek alt faktörler de göz önüne alındığında vücut ısısını dolaylı yoldan değiştirebilecek oldukça fazla etken sıralamak mümkündür.

KBRN olayları, teker teker incelendiğinde vücut ısısı üzerinde doğrudan veya dolaylı yoldan değişkenliğe sebep olabileceği muhtemeldir. Biyolojik ajanlardan enfeksiyon etkeni olan ajanların çoğunun vücut ısısını artırdığı bilinmektedir. Bununla birlikte radyolojik olaylarda açığa çıkan radyasyonun da vücut ısısı üzerine doğrudan etkileri bilinmekle birlikte nükleer olaylarda hem ortam ısısı ciddi seviyede artmakta hem de radyasyon sebebiyle vücut ısısı artışı olacağı bilinmektedir. Kimyasal ajanların ise çeşitli vücut sistemlerine etkilerinin farklı olması sebebiyle özellikle dolaylı yoldan ısı değişikliği oluşturmaktadır.

Bunlara ek olarak KBRN olaylarında insan kitlelerinde gelişecek en olumsuz durumların başında ölüm gelmektedir. KBRN ajanlarının kullanıldığı sahada ölü ve sağ sayısı ile ilgili bilgi alabilmek de oldukça önemlidir. Termal kameralar bu alanda da oldukça spesifik bilgiler sunmaktadır. Bunun başlıca sebebi ölüm durumu ile birlikte metabolizma faaliyetlerinin durmasıdır. Bu duruma Algor Mortis (Ölü Soğuması) denilmektedir. Başka bir deyişle “Ölüm sonrası vücut sıcaklığının zaman içerisinde ortam sıcaklığına eşitleninceye kadar azalması durumuna ölü soğuması (algor motris) denir “ [13]. Bu durum sonucunda vücutta ısı üretim mekanizmaları durmaktadır. Vücutta ısı üretimi olmamakla birlikte dolaşımın durmasıyla ısı kaybı da hızla gelişmektedir. Özellikle ilk etapta cilt yüzeyinde soğuma başlamaktadır. Cilt yüzeyiyle birlikte ekstremitelerin soğuması da hızla gelişmektedir. Özellikle vücudun homojen olmayan ısı haritası dakikalar geçtikçe daha homojen bir hal almaktadır. Bu durum üzerinde ölüm zamanı tayini ve dolayısıyla KBRN olayının gerçekleşme süresi üzerinde tahminlerde bulunmak mümkündür [13, 14].

Vücut ısısının etiolojisinin geniş olması sebebiyle karşımıza çıkması muhtemel en önemli zorluk, vücut ısısının değişmesinin olası KBRN olayıyla bağdaştırılabilesidir. Öyle ki olası vakalara vücut ısısı üzerinden kesin tanı koymak mümkün olamayacaktır. Ancak kitle yaralanmaları ve ölümleri olan bir bölgede toplu ve aynı yönde vücut ısısı değişkenliğini saptayabilmek, etkilenme varsayımını güçlendirecek ve en azından vaka eleme yoluna gidilmesini kolaylaştıracaktır. Bu sebeple KBRN olaylarında termal kamera ile izleme, aynı zamanda kitle analizini mümkün hale getirebilmesi sebebiyle umut vadetmektedir.

Nükleer olaylarda ve radyasyon maruziyetinde vücut ısısı değişkenleri

Nükleer enerji ve radyasyon, günümüzde artan enerji ihtiyacı, tıbbi gelişmeler, endüstriyel veya bilimsel çalışmaların gelişmesiyle birlikte oldukça geniş bir kullanım alanı bulmasıyla birlikte çok kapsamlı riskleri de beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte ülkelerin savaş amacıyla geliştirdikleri nükleer bombalar ve çeşitli terör örgütlerinin radyoaktif materyaller ile konvansiyonel silahların birleştirilmesiyle elde ettikleri kirli bombalar radyasyon ve nükleer olay tehlikesini gün geçtikçe artırmaktadır [9].

Bu sebeple olası nükleer veya radyoaktif olaylarda tıbbi yönetim oldukça riskli ve önemlidir. Öyle ki özellikle düşük seviyede soğurulan radyasyon ilk dakikalarda klinik belirti vermeyebilir. Ancak geçen zaman periyotunda etkilenme belirtileri daha net açığa çıkacak ve ayırt edilebilir olacaktır. Aynı zamanda soğurma düzeyi yüksek bireyler dış ışınım yoluyla etrafına radyasyon vermeye devam edebilir ve kirlenme sahası oldukça genişleyebilmektedir [15].

Bireylerde radyoaktif maddelerle temas veya nükleer olaylar sonucunda birçok etki gözlemlenmektedir. Bu etkileri kapsayan genel durum Akut Radyasyon Sendromu (ARS) olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle ARS “radyasyona maruz kaldıktan sonra oluşan belirti ve semptomlar olarak tanımlanır” [16]. ARS’ de en tipik klinik bulgular, bulantı ve kusma, eritem, yanıklar, doku hasarı, hematolojik sendrom ve yüksek ateştir. Özellikle radyasyon soğurma düzeyinin erken hesaplanmasında vücut ısısı artışının olaydan ne kadar zaman sonra ve ne şiddetle arttığı oldukça önemli ve kullanılan bir parametredir [17].

Çizelge 2.4. Akut Radyasyon Sendromu Başlangıç Fazı [17].

Semptomlar ve Tıbbi Cevap	ARS' nun Derecesi Akut NI Dozu (Gy)				
	Hafif 1-2 Gy	Orta 2-4 Gy	Şiddetli 4-6 Gy	Çok Şiddetli 6-8 Gy	Öldürücü >8 Gy
Kusma Başlama zamanı %Görülme sıklığı	2 saatten sonra 10-50	1-2 saat sonra 70-90	İlk 1 saat içinde 100	İlk 30 dk içinde 100	İlk 10 dk içinde 100
Diyare Başlama zamanı %Görülme sıklığı	Yok	Yok	Hafif 3-5 saat sonra <10	Ağır 1-3 saat sonra >10	Ağır Dakikalar içinde Yaklaşık 100
Baş Ağrısı Başlama zamanı %Görülme sıklığı	Çok Hafif Bilinmiyor	Hafif Bilinmiyor	Orta 2-24 saat içinde 50	Şiddetli 3-4 saat içinde 80	Şiddetli 1-2 saat içinde 80-90
Bilinç Değişikliği Başlama zamanı %Görülme sıklığı	Etkilenmez	Etkilenmez	Etkilenmez	Değişebilir	Bilinç Kaybı Dakikalar içinde 100
Vücut Isısı Başlama zamanı %Görülme sıklığı	Normal -	Artmış 1-3 saat içinde 10-80	Ateş 1-2 saat içinde 80-100	Yüksek Ateş <1 saat 100	Yüksek Ateş <1 saat 100

Çizelge 2.4.'te görüldüğü üzere 2 Gray (Gy) ve üzeri radyasyon soğurulması durumunda vücut ısısının hastaların büyük çoğunluğunda yükseldiği ve doz ve zaman geçtikçe ısı artışının da doğru orantılı olarak yükseldiği tespit edilmiştir.

Radyasyon ve vücut ısısı arasındaki ilişkinin güçlü olması sebebiyle radyasyon hasarı tespiti ve derecesini ölçme amacıyla termografi yöntemi halihazırda kullanılmaktadır. Termografi yöntemiyle vücut ısısı takibi ile genel hasar seviyesi gözlemlenebildiği gibi lokal hasarlar da gözlemlenebilmektedir. Bununla birlikte daha önce de belirtildiği üzere özellikle hafif düzeyde radyasyon maruziyeti ilk dönemlerde klinik belirti vermeyebilmektedir. Termografi yöntemi ile vücut ısısı takibi erken dönemdeki radyasyon hasarını tanımak için oldukça etkili ve hassas bir yöntem olarak tercih edilebilir [15].

Kimyasal ajan Maruziyetinde vücut ısısı değişkenleri

Kimyasal ajanlardaki çeşitlilik sebebiyle spesifik olarak vücut ısısı değişiklikleri üzerine çalışmalar kısıtlıdır. Ancak kimyasal ajanların direkt veya indirekt etkileri sonucunda vücut ısısı değişikliklerine sebep olduğu kanıtlanmıştır. Bu etkilerden direkt olanlar genellikle Merkezi Sinir Sistemi üzerinden kolinerjik ve antikolinerjik etkiler şeklinde olmaktadır. Kolinerjik etkileri temel olarak vücut sıvılarında artış, bradikardi, hipotansiyon, mukoza salgısında artış, göz bebeklerinde küçülme, kaslarda seyirme, nöbetler ve vücut ısısında düşme olarak sıralamak mümkündür. Antikolinerjik etkileri ise

tam tersi olarak göz bebeği genişlemesi, vücut sıvılarında azalma, ciltte kızarıklık ve kuruluk (flushing) ile birlikte ısı artışı, taşikardi vb. olarak sıralanmaktadır [18].

Sinir ajanlarının ise genel etki mekanizması Asetil-kolinesteraz enzimini inhibe ederek kolinerjik (muskarinik, nikotinik vb.) etkiler oluşturmalarıdır. Bunun yanı sıra boğucu ajanlar da düşük doz maruziyetinde kolinerjik etkilere sebep olmaktadır. Kolinerjik etkiler sebebiyle görülen bradikardi, hipotansiyon, aşırı terleme durumundan kaynaklı olarak vücut ısısında düşme görülmektedir [18].

Özellikle yakıcı, boğucu ve kargaşa kontrol grubu ajanların etkileri sonucu oluşacak endirekt etkilerde de vücut ısısı artışı olmaktadır. Bu tür ajanların çoğu asidik yapıdadır ve doku hasarları ile birlikte enfeksiyon ile birlikte lokal veya genel ateş oluşumu veya kemik iliği hasarı sonucu oluşacak kan hastalıkları (hematolojik sendrom) ile birlikte ateş oluşumu şeklinde gerçekleşmektedir. [19]

Bununla birlikte kimyasal silah olarak kullanımı mümkün olan nöroleptik (kolinerjik, antikolinerjik) dopaminerjik ve anestezi yapısındaki yüzlerce kimyasalın da vücut ısısı üzerine artma veya azaltma şeklinde etkileri tespit edilmiştir. Bu ilaçlar içerisinde ise özellikle kapasite bozucu ajan grubundaki opiyat grubu kimyasalların etkilerini gözlemlemek mümkündür [20].

Bu ajanların etkilerini gruplandırarak olursak özellikle kapasite bozucu ajanların başında gelen ajanlardan LSD'nin (Liserjik Asit) orta beyindeki sempatik sinir sistemini uyararak antikolinerjik etkiler oluşturduğu ve bu etkiler sonucunda flushing olarak tabir edilen özellikle baş ve boyun bölgesindeki kızarıklık ile birlikte ciddi vücut ısısı artışına sebep olduğu görülmektedir [18].

Elde edilen verilerle birlikte kimyasal ajanların insanda vücut ısısı üzerinde değişikliğe sebep olduğu görülmektedir. Bu sebeple KBRN olaylarında olay yeri görüntüleme ve sağlık birimlerindeki triyaj işlemlerinde vücut ısısı amacıyla termal görüntüleme sistemlerinin kullanılabilirliği umut vadetmektedir.

Biyolojik ajan Maruziyetinde vücut ısısı değişkenleri

Biyolojik ajanlar, insanlarda öldürücü, sakat bırakıcı veya etkisizleştirme özelliği bulunan mikroorganizma, bitki ve mikroorganizma toksinlerinin genelini kapsamaktadır. Biyolojik savaş veya biyoterörizm ise biyolojik ajanların, insanları doğrudan veya dolaylı olarak öldürme, etkisiz hale getirme veya kargaşaya sebep olmak amacıyla kasıtlı olarak kullanılmasıdır. Başka bir deyişle “mikroorganizmalar ve mikrobiyal, bitkisel veya hayvansal kökenli toksinlerin insan, hayvan ve bitkilerde hastalık oluşturmak ve ölüme neden olarak toplumda panik ve afet yaratmak amacıyla kasıtlı kullanımınıdır” [21].

Biyolojik ajanlar, çok geniş bir sınıfı ifade etmekle beraber kullanım alanları savaş amaçlı olabildiği gibi biyolojik çalışmalar sırasında yaşanabilecek kazalar ve sabotaj amaçlı olabilecek girişimler de olabilmektedir. Biyolojik ajanların savaş silahı olarak kullanılması ilk olarak 14.yy’da Tatarların Kaffa şehri kuşatmasında vebalı ölümleri karşı tarafa atarak ve suları kontamine etmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte Amerika kıtasının keşfinde ve 2. Dünya savaşı da biyolojik silah kullanımını açısından tarihe geçmiştir [22].

Biyolojik ajanların kullanımını daha ön plana çıkaran birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin başında biyolojik ajanların çok düşük maliyetlerle ve amatör şekilde üretilebilip silah haline getirilebilmesi, kullanım sonrasında birincil etkilerinin az olması ve etkisinin görülmesi için zamana ihtiyaç duyulması, genel güvenlik birimlerince tespitinin zor yapılması ve tespiti yapılsa bile kontrolü için çok ciddi ve kapsamlı çalışmalar gerektirmesidir. Günümüzde yasal olmaması ile birlikte birçok ülkenin veya terör grubunun biyolojik silahlanma üzerine çalışmalar yaptığı bilinmektedir [22].

Biyolojik ajanlar bakteri, virüs, mantar, protozoon veya toksin gibi birçok farklı yapıda olabileceği gibi yayılım potansiyeli, üretim kolaylığı, etkileri, mortaliteleri vb. özellikleri bakımından Hastalıkları Önleme Merkezi (CDC) tarafından üç ana gruba ayrılmıştır.

Çizelge 2.5. Biyolojik ajanların CDC sınıflandırması [23]

Kategori A	Kategori B	Kategori C
Antraks (<i>Bacillus Anthracis</i>)	Brucelloz (<i>Brucella species</i>)	Hanta Virüsler
Botulizm (<i>Clostridium botulinum toxin</i>)	Epsilon Toksini (<i>Clostridium perfringens</i>)	Sarı Humma Virüsü
Veba (<i>Yersinia Pestis</i>)	Glanders (<i>Bulkholderia mallei</i>)	Ensefalomiyelit (Nipah Virüsü)
Çiçek (<i>Variola majör</i>)	Risin toksini (<i>Ricinus communis</i>)	Kriptosporidiyoz (<i>Cryptosporidium pravum</i>)
Tularemî (<i>Francisella tularensis</i>)	Q ateşi (<i>Coxiella burnetii</i>)	Tickborne virüsleri
Viral Hemorajik Ateşler (Ebola, Marburg ve Lassa, Machupo)	Enterotoksin B (<i>Staphylococcus aureus</i>)	Çoklu Dirençli Tüberküloz (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)

Çizelge 2.5'te görüldüğü üzere biyolojik ajan olarak kullanılmış birçok biyolojik ajan vardır. Bununla birlikte halihazırda kimyasal ajan olarak kullanımı mümkün olan veya laboratuvar ortamında geliştirmeye müsait bilinen veya bilinmeyen birçok mikroorganizma ve toksini bulunmaktadır. Bu çeşitlilik doğal olarak hastalıkların etiyolojisi gereği belirti ve bulgu çeşitliliğini de beraberinde getirmektedir. Her hastalığın ayrı belirti ve bulguları olabileceği gibi bir bulgunun birden fazla hastalıkla ilişkili olması da beklenen bir durumdur. Bu sebeple belirtilerin biyolojik ajan kullanımı ile ilgili kanıt oluşturabilmesi için onlarca faktör bulunmaktadır [23].

Ancak çalışmamızda dikkat çekmesi gereken en önemli durum, biyolojik ajan maruziyeti sonucunda oluşacak en temel ve ortak belirtinin vücut ısısı artışı (ateş) olmasıdır. Ateş bugüne kadar veba, şarbon, çiçek, hemorajik ateşler, viral enfeksiyonların tamamı gibi halihazırda kullanılan tüm biyolojik savaş ajanlarında ortak belirti olarak karşımıza çıkmaktadır [22, 23]. Ateşin belirli bir hastalığın teşhisi için bir parametre olmaması ile beraber aynı bölgeden, toplumdaki veya biyolojik ajan kullanılmış olma ihtimali olan bölgeden ateş etiyolojisi olan hastaların sayısındaki artış, hastaların ayrımının yapılabilmesi açısından oldukça önemlidir.

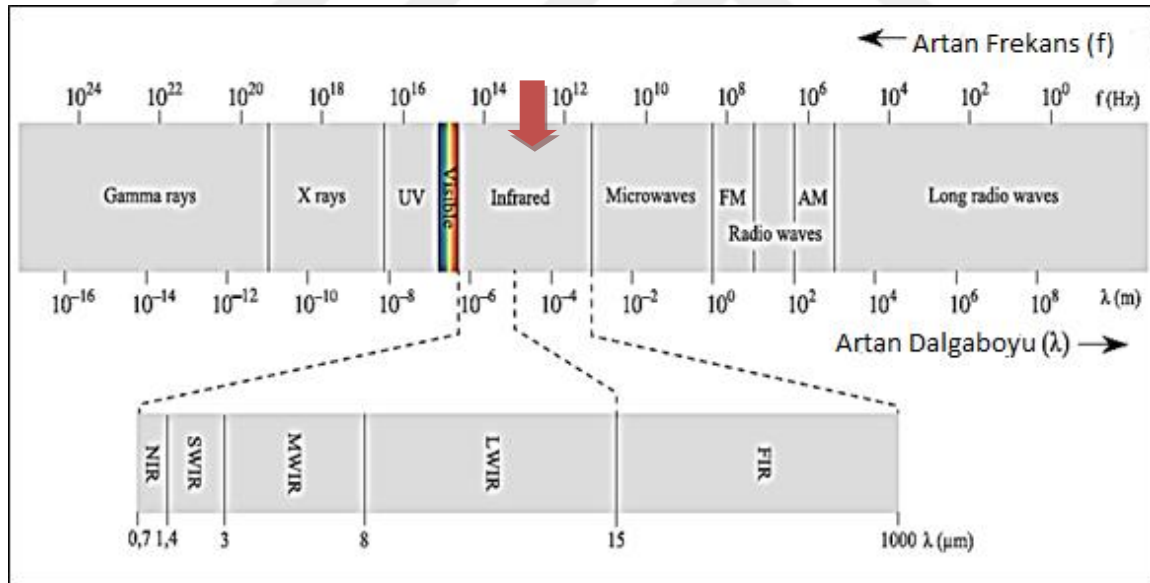
Öyle ki günümüz covid-19 salgınında da ateş varlığının termal kamera ve ateş ölçüm cihazları vasıtasıyla tespiti, ayırım ve karantina açısından oldukça verimli bir şekilde kullanılmış olup salgının azaltılmasında oldukça etkin rol oynamıştır. Termal kameraların anlık olarak kalabalık insan topluluklarında ateşi yüksek insanların tespitini yapabilmesi bu

durumun başlıca sebebidir. Günümüz teknolojisiyle birlikte bilgisayar destekli yapay zeka uygulamaları yardımıyla tespit işlemi otonom olarak yapılabilirken insansız hava araçlarının termal kamera ile kullanılabilmesi, termal kameraların geniş alanda tarama yapabilmesi gibi özelliklerinden ötürü biyolojik ajan tehlikesi varlığında termal kameralar ile vücut ısısı analizi kullanımının önünü açmaktadır... [24, 25].

2.3. İnfrared Radyasyon ve Termal İnfrared Kameralar

2.3.1. Kızılötesi radyasyon ve insanda kızılötesi

Elektromanyetik radyasyon dalgaları gama ışınlarından radyo dalgaları arasında çok geniş bir dalga boyu ve frekans aralığını kapsamaktadır. Kızılötesi spektrum (infrared), iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bölgesinde görünür ışıktan sonra gelen bölümü temsil etmektedir. Kızılötesi radyasyonun dalga boyu 0.75–1000 μm (mikrometre)'dir [26, 27].



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum ve İnfrared dalga spektrumu [26].

Bu alan çok geniş bir aralık olmasından ötürü infrared spektrumu dalga boylarına göre yakın, kısa, orta, uzun ve uzak kızılötesi spektrum olarak dört bölüme ayrılmıştır. Termal kızılötesi spektrum ise genellikle orta (MWIR) ve uzun (LWIR) 3- 15 μm dalga boylarını kapsamaktadır. Bu sebeple termal kameralar genellikle bu dalga boyundaki radyasyonu algılamak üzerine tasarlanmıştır [28].

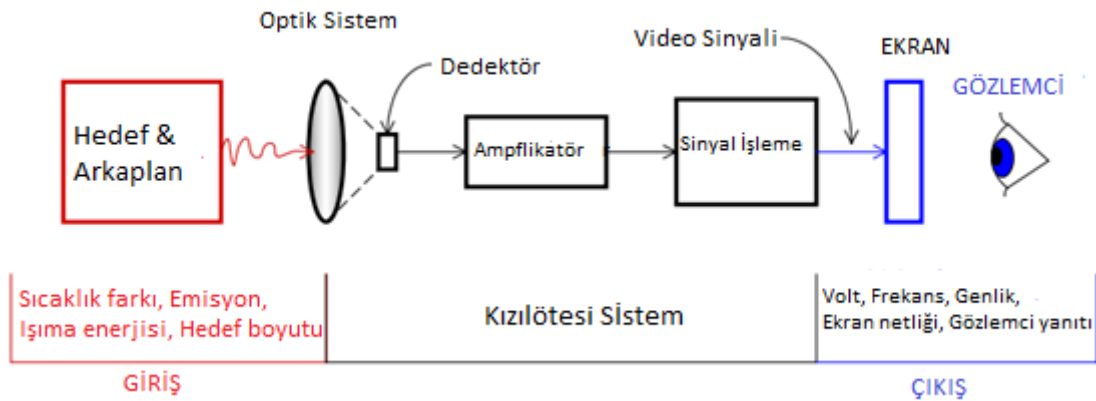
Çizelge 2.6. Kızılötesi radyasyon alt sınıfları [23].

Alt Sınıf	Kısaltması	Dalga boyu (μm)
Near-infrared (Yakın Dalga IR)	NIR	0,7-1,4
Short-wavelength infrared (Kısa Dalga IR)	SWIR	1,4-3
Mid-wavelength infrared (Orta Dalga IR)	MWIR	3-8
Long-wavelength infrared (Uzun Dalga IR)	LWIR	8-15
Far-infrared (Uzak Dalga IR)	FIR	15-1 000

Sıfırın üstündeki sıcaklık konumuna sahip her nesne mutlak bir kızılötesi dalga yayar. Nesnelere tarafından yayılan sıcaklığa bağlı olarak yayılan kızılötesi radyasyonun dalga boyu ve frekansı doğru orantılı olarak değişkendir. Bu aralık geniş olsa da normal bir insanın yaydığı kızılötesi dalgalar 8 -12 μm arasında çok dar bir alandır. Buda ölçümler için daha spesifik görüntü almayı kolaylaştırmıştır [28, 29].

2.3.2. Termal infrared kameralar ve kullanım sahaları

Kızılötesi radyasyon ilk olarak 1800' lü yıllarda William Herschel tarafından keşfedilse de termal görüntüleme çalışmaları ilk olarak 1940'larda Amerika'da gece görüşü üzerine başlatılmıştır. Çalışmalar gün geçtikçe ilerlemiş ve günümüz modern termografi tekniğine kadar birçok sahada kullanım alanı bulmuştur [26]. Termal infrared kameralar, bir nesne tarafından yayılan kızılötesi dalgaları algılar ve elektronik sinyallere dönüştürür. Kızılötesi ölçümde kullanılan en temel cihazlar sadece ısı değeri gibi tek bir çıktı veren pirometreler'dir. Bunun yanında gelişmiş kızılötesi ölçüm cihazları ise bir dizi sensör yardımıyla termal görüntü oluşturur. Bu termal görüntüler termogram olarak tanımlanırken bu tekniğin adı kızılötesi termografi (IRT) olarak tanımlanmaktadır [26, 29].



Şekil 2.2. Termal kamera bileşenleri [26].

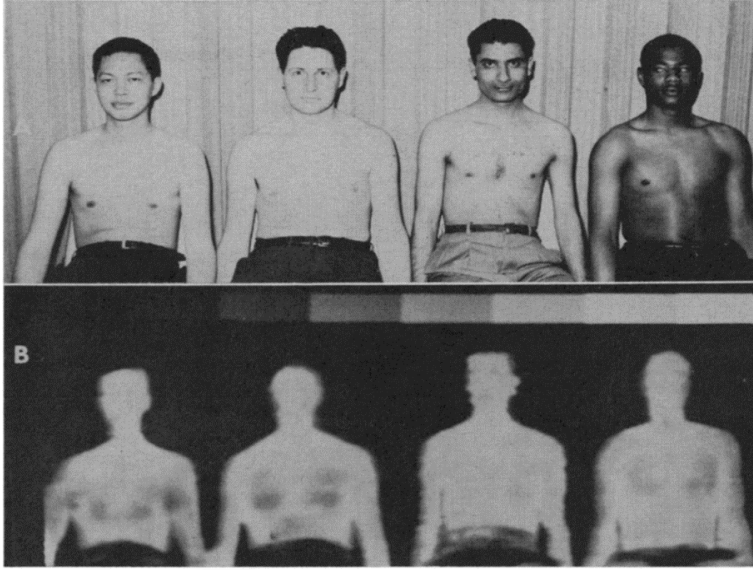
Şekil 2.2’de ısı veya radyasyon kaynağı bir cisimden gelen kızılötesi ışın, optik sistem ile dedektöre yansıtılır. Sensör içerisindeki dedektör genellikle bir baryum-stronsiyum olan ferroelektrik seramikten yapılmış titanat filmler, vanadyum oksit ince filmler kullanan mikrobolometreler ya da amorf silisyum merceklelerden oluşur. Sensör, bir arabirim görevi görerek görüntüyü sensör işlemcisine aktarır ve görüntü veri halini alır [30].

Kızılötesi termografinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

1. IRT temassız bir teknolojidir: termal kameralar ısı kaynağı ile temas halinde değildir, yani insanla temas yoktur. Bu sebeple, KBRN sahası gibi tehlikeli alanlarda inceleme yapmaya olanak tanır.
2. IRT, hedef alanların iki boyutlu termal görüntülerini sağlar.
3. IRT, yalnızca sabit hedefleri değil aynı zamanda hızlı hareket eden hedeflerin ve hızlı değişen termal modellerin de taramasını yapabilir.
4. IRT, Radyoaktif görüntüleme teknolojileri gibi insana zararlı radyasyon emilimine sebep olmaz. Bu sebeple, uzun süreli ve aynı kişiye tekrarlı kullanım için uygundur.
5. IRT, girişimsel olmayan ve ağrısız bir tekniktir. Böylece hiçbir şekilde hedef tarafından hissedilmez [30].

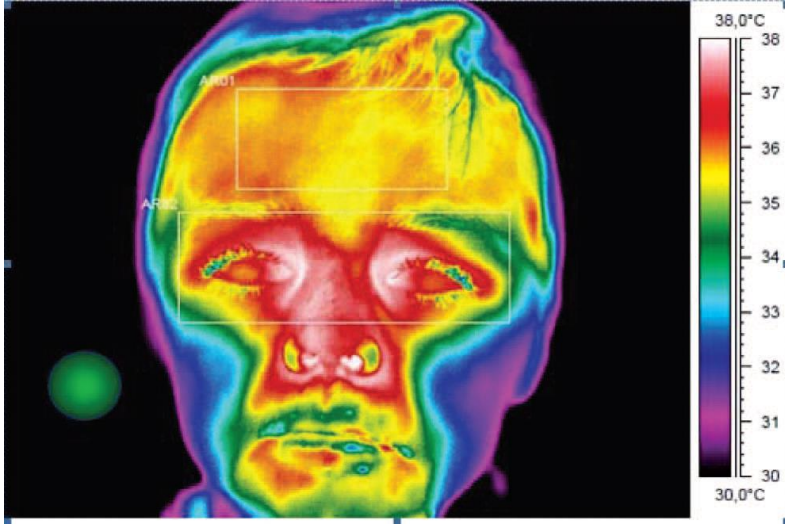
2.3.3. İnsanda termal kamera kullanım çalışmaları

Kızılötesi termal görüntüleme çalışmaları ilk olarak 1940-1950’lerde gece görüşü amacıyla bulunmuş olsa da insanda kullanım çalışmaları 1963’e dayanmaktadır. İlk kızılötesi termogramlar siyah-beyaz formatta ortaya çıkmıştır [31].



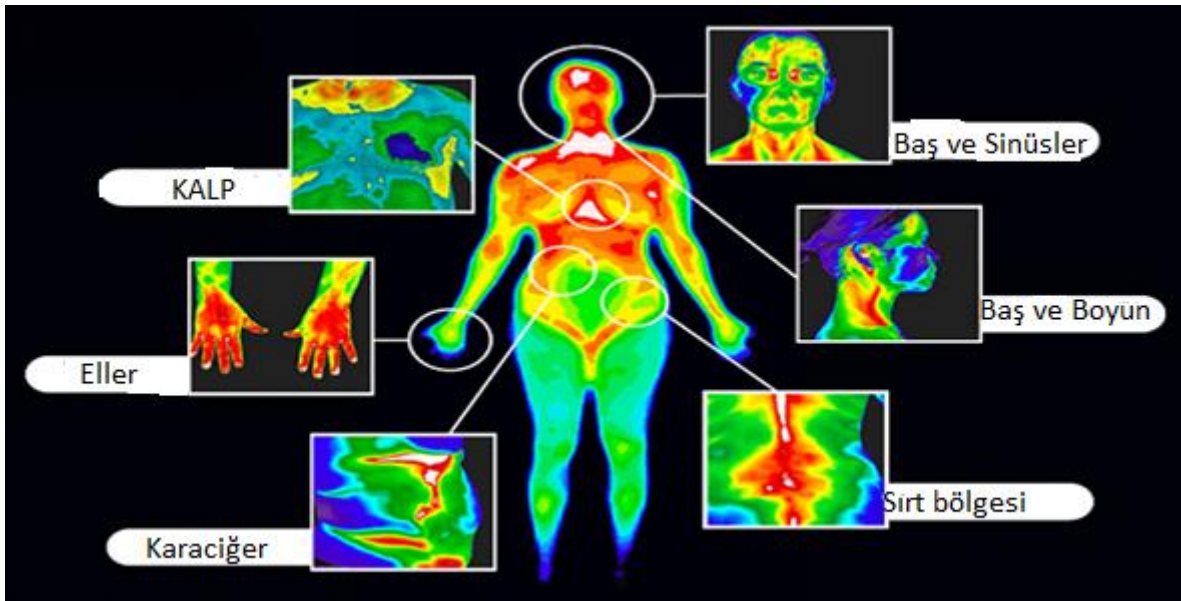
Resim 2.1. Termal kameraların ilk olarak insan vücudunda kullanımı [31].

Resim 2.1. de, çeşitli insan ırklarının ilk termogram görüntüsü verilmektedir. İlk deneylerde de keşfedildiği üzere çeşitli insan ırkları arasında termal farklılıklar bulunmamaktadır [31]. Kızılötesi termografi (IRT) diğer tekniklere kıyasla hızlı, pasif, girişimsel olmayan bir tekniktir. Termal kamera ile vücut ısısı analizinin en büyük avantajı, termal kameraların tek bir vücut ısısı ölçüm noktasına odaklanma gerekliliği olmamasıdır. Aksine vücut ısısı vücudun geniş bir bölümü veya tamamı hakkında fikir verebilmektedir. Termal kamera ölçümlerinde vücut ısısı dağılımı homojen olmayan bir renk haritası şeklinde görülebilmektedir. Bunun başlıca sebebi vücudun farklı noktalarının farklı ısılarda olması ve yüzey mesafelerinin değişken olmasıdır. Bu sebeple lokal olarak bir ısı artışı söz konusu olduğunda aynı şekilde termal kamerada da renk değişikliği gözlemlenmektedir. Bununla beraber termal infrared kameraların kullandığı diğer avantajlar; termal kameraların çeşitli insan ırklarındaki renk farklılıklarından etkilenmemesi, gün ışığından bağımsız olarak görüntü alınabilmesi, aynı anda birden çok insan üzerinde görüntü oluşturabilmesi sıralanabilir [32, 33].



Resim 2.2. Modern termal kamera yüz görüntüsü [12].

Modern tıpta, oluşturulan termogramlar üzerinden çeşitli anlamlandırmalar yapılabilmektedir. Termal kameraların insan vücudunda kullanımı ile ilgili çalışmalar 50 yılı aşkın süredir kullanılmakta ve araştırılmaktadır. Son teknolojilere bakıldığında tıp alanında özel termal infrared görüntüleyicilerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle başta kanser türlerinin tespiti, diyabet, nöropati, periferel vasküler bozukluklar vb. birçok hastalığın teşhisinde ve sahada başarıyla kullanılmakla beraber aktivite sonucu değişkenler vücut konforunun araştırılması gibi araştırmalarda da kullanım alanı bulabilmektedir [33, 34]. Günümüzde özellikle tıp alanında kullanılmak üzere, hassasiyeti yüksek, gelişmiş termal görüntüleme cihazları geliştirilmekte ve kullanılmaktadır.



Resim 2.3. İnsan vücudu termal görüntüsü [34].

Resim 2.3' te normal sağlıklı insan vücudunun yanı sıra sinüzit, diyabet, bel ağrısı, vasküler bozukluklar gibi durumlarda termal görüntü değişimini göstermektedir. Renk dağılımı ise vücut bölgelerindeki ısı farklılıkları sebebiyle homojen değildir. Bu durum ölüm durumunda daha homojen bir hal alırken çeşitli KBRN olaylarında da değişmektedir.

Çizelge 2.7. Normal insanda çeşitli vücut bölümlerinin sıcaklık farklılıkları [37].

VÜCUT BÖLÜMÜ	ORTALAMA SICAKLIK FARKI (°C)
Alın	0,12
Yanak	0,18
Göğüs	0,14
Abdomen	0,18
Karın	0,15
Boyun	0,25
Bel	0,17
Gövde ortası	0,13
Kollar (her iki kol)	0,23
Avuç içi	0,11
Uyluk (ön)	0,15
Uyluk (arka)	0,30
Ayak	0,38
Parmak uçları ortalama	0,50

Çeşitli rahatsızlıklar dışında, insan vücudunun vasküler yapısı, kas dağılımı, eklemlerin dağılımı, cilt kalınlığı, organların bölgeleri ve endokrinolojik faktörler açısından değişken yapıda olması, vücut bölgeleri açısından ısı farklılıkları ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu değişkenlik sebebiyle vücut ısısı homojen olarak dağılmamaktadır. Bu sebeple insan termografisinde renk dağılımı açısından oldukça belirgin özellikler görülmektedir [35].

Bununla birlikte günümüz teknolojisinde medikal alanda termal görüntüleme sırasında insan vücudunun girintili yapısı sebebiyle oluşabilen sapmaların giderilmesi amacıyla 3D görüntüler geliştirilmektedir. Bu sistem 3D kameralar ile termal kameraların görüntülerinin bilgisayar ortamında birleştirilerek 3D termal görüntü oluşturulması şeklinde çalışmaktadır. Bu durum özellikle medikal alanda yeni bir araştırma alanı oluşturmuştur [36].

2.3.4. Afet veya kaza durumlarında termal kamera kullanımı

İtfaiye, arama-kurtarma personelleri, acil sağlık personelleri ve güvenlik birimleri, olası bir kaza veya afet durumunda termal kamera kullanımından faydalanabilecek iş kolları arasında yer almaktadır [37]. Bunun başlıca sebebi termal kameraların çok geniş bir kullanım sahasının olmasıyla beraber olay yeri güvenliği, hasta-yaralıların konumu ve sayısı, hasta-yaralının niteliği gibi birçok alanda kullanılabilmesidir [38]. Bu alanlara örnek olarak, İtfaiyecilerin yangın bölgesine girerken aşırı ısınmış bölgelerin tespitini ve risk analizini yapabilmesi, çok geniş alanda arama-kurtarma faaliyeti yapılırken yaralının uzaktan tespiti, karanlık alanda arama-kurtarma yapılırken gece görüş özelliği olarak kullanımı, kitle sağlık durumuyla genel bilgilerin tespiti, hastalıkların tanınması veya elenmesi gibi birçok saha örnek verilebilmektedir [37, 38].

Termal kameralar, tek başına oldukça verimli bir teknoloji alanı olmakla beraber günümüzde araştırma sahasının niteliğine göre çeşitli robotik sistemlerle komplike kullanılabilir [39]. Termal kameradan alınan görüntüler anlık olarak mobil ağ sistemleri üzerinden uzak mesafelere aktarılabilirdiği gibi GPS konum tanıma sistemleri vasıtasıyla konum takibi de yapılabilir. Arama kurtarma sahalarında ise genellikle multikopter tarzı insansız hava araçlarına entegre edilen, mobil ağ sistemi ve GPS sistemi ile geliştirilmiş termal kameralar kullanılmaktadır. [39, 40]. Bir başka teknoloji ise termal kameraların günümüz akıllı telefonlarıyla uyumlu modellerinin gelişmesidir. Termal kamera özelliği kendiliğinden bulunan akıllı telefonlar bulunduğu gibi telefonlara basit ara yüzlerle bağlanma özelliği olan termal kameralar da geliştirilmiştir [40]. Bu şekilde ilgili sahada bireysel olarak ta termal kameraların kullanımı oldukça kolay ve ulaşılabilir duruma gelmiştir. Bununla birlikte günümüz teknolojisi görüntülerin otonom işlenmesi ve sınıflandırması üzerine çalışmaktadır. Bu eş zamanlı yazılımlarla otonom bir şekilde kişi tespiti, sayımı, nitelik analizi yapılabilmektedir [41]. Bu sayede olası afetlerde ve KBRN durumlarında, uzaktan kontrol edilebilen insansız hava araçlarıyla, otomatik olarak termal görüntü analizi mümkün hale gelmektedir. Özellikle kurtarma ekiplerinin giremeyeceği, olay yeri güvenliğinin sağlanamadığı durumlarda kullanılabilirliği umut vadetmektedir.

2.3.5. Termal kamera görüntü analizinde yapay zekâ kullanımı

Günümüzde gelişen yazılım teknolojisi ile birlikte görüntü, ses vb. verilerin bilgisayar programları vasıtasıyla işlenmesi, sınıflandırılması ve ayırt edilmesi otonom olarak çok hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmalar literatürde genel adıyla yapay zekâ veya terimsel adıyla Makine öğrenmesi olarak isimlenmektedir. Makine öğrenmesi temel olarak insan zekasının çalışma mekanizmasından esinlenmiştir. Geçmişte öğrenilen bilgilerin, gelecekte karşılaşılan soruları çözmeye kullanılması mantığıyla çalışmaktadır. Bu sayede robotik çalışmalarda, genetik analizlerde, tıp alanında görsel testler üzerinden tanı koyulmasında, sanal gerçeklik teknolojisi gibi birçok alanda oldukça verimli bir şekilde kullanılmaktadır [42, 43].

Makine öğrenmesinin birçok alt dalı vardır ancak özellikle görüntü işleme çalışmalarında derin öğrenme (Deep Learning) tekniği kullanılmaktadır. Derin öğrenme (evrimsel sinir ağı) yöntemiyle görüntüler arasında sınıflandırma yapılabildiği gibi görüntüden öznitelik çıkarma amacıyla da kullanılabilir. Gün geçtikçe örnek veri setleri geliştirilmekte ve makine öğrenmesinin hata payı azalmaktadır. Bu özelliğiyle derin öğrenme, termogramların analizi konusunda yeni bir araştırma sahası oluşturmuştur. Bu sayede veri tabanı olarak elde edilen termogramlar eğitim veri seti olarak kullanılmakta ve yeni termogramlar ile otomatik karşılaştırma yaparak tanı koymayı mümkün hale getirebilmektedir [44,45].

Derin öğrenme yönteminin klasik sınıflandırmaya kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar arasında belki de en büyük avantaj, görüntü değerlendirme konusunda uzman personel ihtiyacını ortadan kaldırması ve kişiler arasında olabilecek değerlendirme farklılıklarının olmamasıdır. Aynı zamanda derin öğrenme yönteminde sistemin eğitilmesi uzun sürebilse de öğrenme sürekli devam etmektedir ve değerlendirme süresi çoğu zaman anlık ve eş zamanlı yapılabilmektedir. Buda klasik sınıflandırma yöntemlerine kıyasla çok ciddi zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bununla birlikte klasik sınıflandırmanın en büyük dezavantajı validasyonunun yeterli olamayışı iken derin öğrenme, görüntü sınıflandırma çalışmalarında baz alınabilecek validasyon parametrelerinin çoğunu karşılamakta ve çözüm olmaktadır [45,46].

Termografinin, hassasiyetinin düşüklüğü ve görüntü kalitesini etkileyen faktörlerin fazla oluşu sebebiyle klasik sınıflandırma yöntemiyle analizi oldukça zordur. Bu sebeple günümüze kadar tutarlı çalışmalar oldukça azdır ancak günümüz teknolojisinde derin öğrenme yöntemlerinin termogramlar üzerinde oldukça yüksek verimlilikte çalışması ve termografik görüntü işleme ve iyileştirme teknolojileri yardımıyla oldukça tutarlı sonuçlar alınabilmektedir [47].

Derin öğrenme yöntemiyle termal görüntü analizi çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmalara örnek verilecek olursa kanser taramaları, fizyolojik sinyallerin (ekg, ecg, eeg vb.) analizi, arama-kurtarma çalışmalarında kişi tespiti, otomatik ateş ölçüm sistemi gibi birçok çalışma yapılmıştır. Tezimizde de termal kameraların KBRN sahasında kullanımı üzerine araştırma yapılmış olup, KBRN sahalarında termografi ve derin öğrenme tekniğı oldukça umut vadetmektedir [48, 49].

2.3.6. Termal kameraların İHA sistemleriyle kullanımı

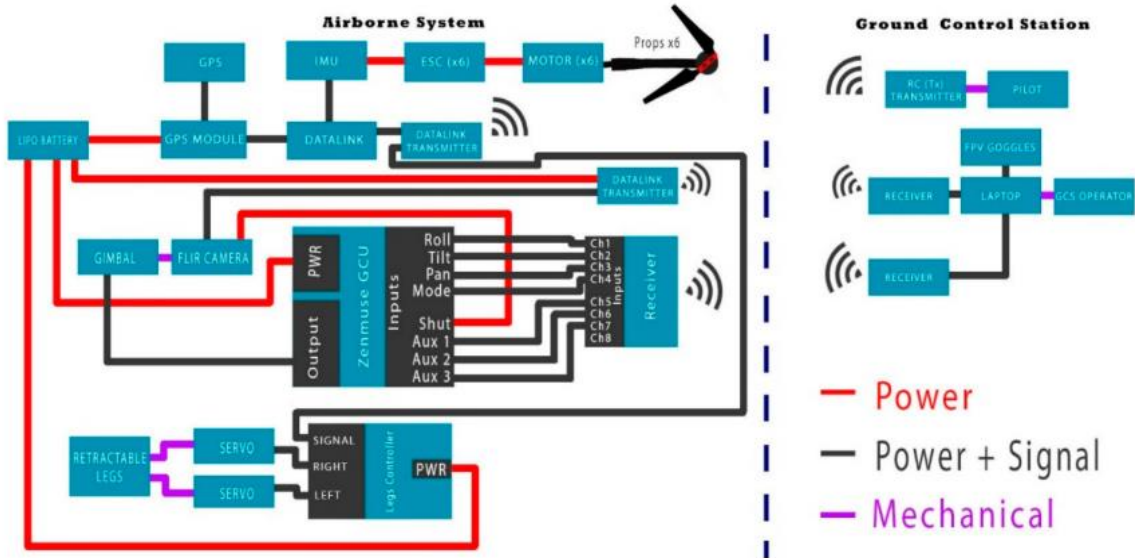
İnsansız hava araçları teknolojisi (İHA), günümüzde askeri sahalarda, bilimsel araştırmalarda, alan tarama, afetler, fotoğrafçılık gibi birçok alanda oldukça pratik, ucuz ve hızlı çözümler sunan bir alandır. Tanımına bakıldığında “İnsansız hava araçları, yapacağı göreve bağılı olarak, insanlı bir pilot olmaksızın otonom ve yarı otonom olarak uzaktan kontrol edilebilen, özelliğine göre taşıdığı farklı yüklerle, atmosferde veya dışında belirli bir süre aralığında özel görevleri yerine getiren, tekrar kullanılabilir motorize hava araçları” olarak tanımlanır [50]. İnsansız hava araçlarının irtifa, havada kalabilme süresi, yük taşıma limiti, titreşim gibi kabiliyetlerine göre multikopter, helikopter, planör uçak, jet uçak tarzı birçok modeli bulunmaktadır. Özellikle uzaktan kontrol edilebilme yeteneğinden ötürü boyut ve ağırlık avantajıyla birlikte pilot, yakıt, iniş kalkış alanı vb. açıdan oldukça ekonomik ve pratik çözümler sunmaktadır [51].



Resim 2.4. Termal kamera özellikli İnsansız Hava Araçları [51, 52].

Günümüzde görüntüleme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte farklı özelliklerdeki birçok görüntüleme teknolojisiyle entegre edilebilmektedir. Bunlardan gece görüşü, canlı analizinin kolaylığı gibi özelliklerinden ötürü belki de en kullanışlı olan görüntüleme tekniği termal görüntülemedir. İnsansız hava araçlarında infrared dalga boyu görüntüleme amacıyla bolometreler, mikrobolometreler ve termal kameralar sıklıkla kullanılmaktadır. Bolometreler kabiliyeti gereği çok geniş dalga boyunda analizler yapabilirken, insan görüntüleme çalışmalarında genel olarak termal spektrumda daha hassas çalışan termal kameralar kullanılmaktadır [52].

Termal kamera sistemleri, stabilite özelliğinin yüksekliği sebebiyle genel olarak multikopter İHA'lara entegre olarak kullanılmaktadır. Entegre termal kamera sistemleri, kullanımın daha hızlı olabilmesi ve görüntünün normal renkli görüntü ile anlık karşılaştırılabilmesi amacıyla genellikle renkli normal kameralar veya 3D kameralar ile birleşik yapıda üretilmektedir. Bu sayede eş zamanlı görüntü olarak görüntü formatı çeşitlendirme yeteneğine de sahiptir. Bununla birlikte termal görüntüleme İHA'larında genel olarak kablosuz veri aktarım teknolojileri, GPS konum hizmetleri, uzaktan kontrol sistemleri ve yapay zekâ sistemleri de kullanılmaktadır. Bu sebeple İHA'lar özellikle afet ve KBRN alanlarında büyük ölçüde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Böylelikle olası bir afet veya KBRN durumunda dakikalar içerisinde olay yeri konumu, olay yeri etkilenme düzeyi, afetin şiddeti ve büyüklüğü, yapay zekâ görüntü sınıflandırma algoritmaları vasıtasıyla etkilenen insan sayısı, ölü sayısı gibi birçok konuda hiçbir olay yeri güvenliği prosedürü ihlal edilmeden bilgi alabilmeyi mümkün hale getirmektedir [53, 54].



Şekil 2.1. Termal kamera ve multikopter tasarım şeması [51].

2.3.7. Termal kamera kullanımındaki küresel zorluklar

Kızılötesi Termografi yapısı gereği çok hassas bir ölçüm tekniğidir. Kızılötesi Termografi ile çalışırken sonuçların tutarlı olması ve validasyon parametrelerini karşılayabilmesi için termografinin değerlendirilmesini ve yorumlanmasını etkileyen birçok faktörü göz önünde bulundurmak gerekir. Bu faktörler çevresel faktörler, bireysel faktörler ve teknik faktörler olarak üç ana gruba ayrılmıştır [54].

Çevresel faktörler genel olarak ölçümün yapılacağı ortam ile ilgili faktörlerdir. Bunlar ortam boyutu, ortam ısısı, bağıl nem, atmosferik basınç ve ortam radyasyon düzeyidir. Bu faktörleri kısaca açıklamak gerekirse ortam boyutu görüntü alma için gerekli mesafe, açı gibi faktörleri karşılayabilecek genişlikte olmalıdır. Ortam ısısı, atmosferik basınç ve bağıl nem seviyesi ortamda bulunan özellikle canlı nesnelerin vücut ısısı üzerinde etkili olmaktadır. Ortam radyasyon yoğunluğu ise radyasyon seviyesinin hem canlı ısını artırması hem de kızılötesi dalga boyunu bozunuma uğratabileceği için göz ardı edilmemelidir [55].

Bireysel faktörler; cinsiyet, yaş, anatomik özellikler (boy, kilo), fizyolojik özellikler (metabolizma hızı, hormonal durum, cilt kanlanma seviyesi), sirkadiyen ritim (günün farklı saatleri arasında ısı değişim miktarı), saç ve kıl yoğunluğu, cilt emisyonu, tıbbi durum, genetik faktörler ve dış (gıda vb. alım durumu, ilaç alımı, çeşitli kimyasalların kullanımı, faktörlerdir. Bilindiği bu faktörlerin çoğunun vücut ısısı üzerine etkisi olabildiği gibi

termal görüntünün netliği üzerine de etkili olabileceği unutulmamalıdır [55].

Teknik faktörler ise; doğruluk, güvenilirlik, teknik protokoller, mesafe görüş kabiliyeti, kamera konum ve açısı, kamera özellikleri (sıcaklık aralığı, çözünürlük, hata payı düzeyi) gibi faktörlerdir [55].

Bu faktörlerin standardizasyonu amacıyla Glamorgan üniversitesi, tıbbi termografi için temel oluşturacak bir standardizasyon olarak Glamorgan protokolünü hazırlamıştır. Termal görüntüleme için bu kadar fazla değişkenin hesaplanması zor görünse de çalışmalar sırasında göz önünde bulundurulmalıdır [56].



3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışmamızda özellikle KBRN sahaları gibi olay yeri güvenliğinin sağlanamadığı girilmesi güç ve etkilenen bireylerin fazla olduğu afet sahalarında, kitleler hakkında etkilenme durumu, etkilenme seviyesi, ölü ve sağ sayısı gibi bilgiler alınması veya çeşitli KBRN durumlarında maruziyet açısından bir ön değerlendirme yapılabilmesi amacıyla yeni teknikler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında temassız oluşu, invaziv bir girişim gerektirmemesi, eş zamanlı olarak ölçüm yapılabilmesi, birden çok kişinin aynı anda taranmasını mümkün kılması gibi özelliklerden dolayı vücut ısısı ve Kızılötesi Termal Görüntüleme (IRT) üzerine odaklanılmıştır.

Vücut ısısı, çok geniş etiyojisi olan temel yaşamsal bulguların başında gelmektedir. Bu özelliğinden ötürü birçok hastalığın, fizyolojik değişkenin, ölüm durumunun vücut ısısı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Çalışmamızda KBRN durumlarında vücut ısısı değişikliği olup olmayacağı üzerine detaylı literatür taraması yapılmıştır. KBRN ajanlarından etkilenen örnek bulunmasının güç olmasından ötürü teknik çalışma yapılamamıştır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde kimyasal ajanlardan özellikle sinir ajanlarının ve bazı kapasite bozucu ajanların direkt olarak vücut ısısını etkilediği görülmüş olup yakıcı, kargaşa kontrol ve boğucu ajanlarında dolaylı yoldan veya uzun dönemde vücut ısısı üzerinde değişiklik oluşturacağı görülmüştür. Biyolojik ajan maruziyetinde ise etkiler hızlı olarak ortaya çıkmasa da enfeksiyon etkeni olan tüm mikroorganizma ajanlarının vücut ısısı üzerinde değişikliğe sebep olabileceği görülmüştür. Radyoaktif olaylarda radyasyon soğurmasıyla vücut ısısının doğru orantılı yükseldiği görülmüş ve akut radyasyon sendromunda vücut ısısı yükseldiği görülmüştür. Nükleer olaylarda da radyasyon ile birlikte ortama ciddi yayılımı ile birlikte bireylerde vücut ısısı değişikliği gözlemlendiğine dair kanıtlar bulunmuştur. Bunların yanı sıra kimyasal ajanların, biyolojik ajanların veya radyasyonun etkilediği bölgeye özgü olarak daha fazla vücut ısısı artışı oluşturduğu görülmüştür. Örneğin boğucu ajanlarda akciğer enfeksiyonuna bağlı göğüste ısı artışı beklenirken yakıcı ajanlarda mukozanın yoğun olduğu yüz bölgesinde ısı artışı daha fazla olmaktadır. Biyolojik ajanlarda da enfeksiyon oluşan dokuda baskın bir şekilde ısı artışı olmaktadır. Bu durumun ise vücut ısısının homojen olmayan normal dağılımını değişikliğe uğratacağı görülmüştür.

Çalışmamızın devamında vücut ısı ölçüm teknolojilerine odaklanılmış ve Kızılötesi Termal Görüntüleme (IRT) tekniğinin KBRN olaylarında kullanılabilirliği üzerine araştırma yapılmıştır. Kızılötesi termal kameraların farklı renk formatlarında çıktılar vermesi, vücudun bir bölümünün tamamının veya kalabalık bir grubun eş zamanlı olarak analizini yapılabilmesi ve yapay zekanın bir alanı olan derin öğrenme ile otonom bir şekilde görüntü işleme ve sınıflandırma tekniklerinin uygulanabilirliği gibi avantajları göz önüne alınmış ve kızılötesi termografi tekniği tercih edilmiştir. Kızılötesi termografi yöntemiyle sadece vücut ısı değişiminin değil aynı zamanda vücut ısısının dağılımının da analizi yapılabilmektedir. Etkilenen KBRN ajanının türüne ve etkilediği bölgeye göre vücudun normal şartlardaki termogram görüntüsünde değişiklik olacağı görülmüştür. Örneğin radyoaktif maddeyle temasta temas eden veya yakın olan bölgede ısı artışı diğer bölgelere oranla fazla olacaktır ve termogramda bölgenin renk kodunun kırmızı tonlara doğru dönmesi beklenmektedir. Aynı zamanda kızılötesi termal kameraların farklı teknolojilerle birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır. İnsansız Hava Araçları (İHA) ile uzak mesafeden, KBRN sahasına giriş yapılmadan termal kameraların kullanılabilirliği ve elde edilecek görüntülerin mobil ağlar ile eş zamanlı aktarılabilmesi görülmüştür.

Çalışmamızda Kızılötesi Termal Kameralar ile KBRN sahalarında ve acil müdahale sahalarında vücut ısı analizi yapılabileceği ve KBRN maruziyetinin varlığı üzerine ön bilgi verebileceği görülmüştür. Aynı zamanda çalışmamız KBRN etkilenme düzeyi ölçümü açısından da oldukça umut vadetmektedir.

KAYNAKLAR

1. Richardt, A., Hülseweh, B., Niemeyer, B., Sabath, F. (2013). CBRN protection: Managing the threat of chemical, biological, radioactive and nuclear weapons, *Part 1. History and Treaties in CBRN- Warfare and Terrorism*, 2-8.
2. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (Ocak, 2021). *KBRN Terimler Sözlüğü*.
3. Ekşi, A. (2016). Kbrn Terörizminde Risk Değerlendirmesi Ve Yönetimi, *Journal of International Social Research*, 9(42).
4. Seyhan, E., Sarı, G. (2012). Terör Maksatlı Biyolojik-Kimyasal Saldırlara Ait Tehdit Değerlendirmesinde Risk Analizi ve Yönetimi, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 79-94.
5. Marsella, S., Sciarretta, N. (2018). CBRN Events and Mass Evacuation Planning, *In Enhancing CBRNE Safety & Security: Proceedings of the SICCC 2017 Conference*, 353-363.
6. Ekşi, A., Kahraman, B.Y. (2016). Terör Olaylarında Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetleri Yönetimi, *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 111-119.
7. Öztürk, İ., Erdoğan, Ö., Mayadağlı, A., Güneren, E. (2020). Afet Tıbbı Açısından Kimyasal Silah Yaralılarının Yönetimi, *Journal of Disaster and Risk*, 3(1), 20-30.
8. Ayan, A., Dönmez, S. (2018). Radyolojik Nükleer Kaza ve Terör Olaylarında Tıbbi Yönetim, *Ankara Eğt. Arş. Hast. Dergisi*, 51(2), 154-162.
9. Ekşi, A. (2019). Nükleer Enerji Tesisleri İçin Stratejik Risk Yönetimi, 2. *Uluslararası KBRN Kongresi Kitabı*, 156-161.
10. Kes Uzun, N. (2007). Fever and feverly ill management. *The Medical Bulletin of Sisli Etfal Hospital*, 41(4), 7-13.
11. Sepit, D. (2006), Yaşam Bulguları, *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma dergisi*, 3(1), 30-36.
12. Ring, E.F.J., McEvoy, H., Jung, A., Zuber, J., Machin, G. (2010). New standards for devices used for the measurement of human body temperature. *Journal of medical engineering and technology*, 34(4), 249-253.
13. Arslan, M.N., Koç, S. (2006), Ölüm Belirtileri (Postmortem Changes), *Türkiye Klinikleri J Foren Med-Special Topics*, 2(1).
14. Erkol, Z. (1994), Ölüm Zamanı Tayini, *Gaziantep Tıp Fakültesi Dergisi*, 5, 112-122.

15. Dalcı, D., Doerter, G., Gueclue, I. (2005). Diagnosis and treatment of radiation injuries (No. TAEK-TR--001). *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*.
16. Ayan, A., Dönmez, S. (2018). Radyolojik Nükleer Kaza ve Terör Olaylarında Tıbbi Yönetim. *Ankara Eğt. Arş. Hast. Dergisi*, 51(2), 154-162.
17. Özcan, M., Topçuoğlu, P. (2008). Akut Radyasyon Sendromu. *Nükleer Kaza veya Terörist Atakta Hematopoietik Kök Hücre Transplantasyon*.
18. Ganesan, K., Raza, S.K. Vijayaraghavan, R. (2010). Kimyasal savaş ajanları. *Eczacılık ve biyoallied bilimler dergisi*, 2 (3), 166.
19. Hoenig, S.L. (2007). Compendium of chemical warfare agents, *New York: Springer*. 222-231.
20. Clark, W.G. (1979). Changes in body temperature after administration of amino acids, peptides, dopamine, neuroleptics and related agents, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 3(4), 179-231.
21. Kılıç, S. (2006). Biyolojik silahlar ve biyoterörizm. *Türk hijyen ve deneysel biyoloji dergisi*, 63(1), 2.
22. Erkekoğlu, P., Koçer-Gümüsel, B. (2018). Biyolojik Savaş Ajanları: Tarihçeleri, Patofizyolojileri, Tanıları, Tedavileri ve Önlemler. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 43(2), 81-111.
23. Ortatatlı, M., Sezigen, S., Ayan, H.A., Balandız, H., Kenar, L. (2015). Terörizm kapsamında kimyasal, biyolojik, nükleer ve radyasyona bağlı yaralanmaların değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri J Foren Med Special Topics*, 1, 44-52.
24. İnternet: T.C. Sağlık Bakanlığı (2020). Covid-19 (SARS-CoV2 Enfeksiyonu) Rehberi, *Cipec*.URL: https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/depo/rehberler/COVID-19_Rehberi. Erişim Tarihi: 16.07. 2020.
25. Öksüz, H. (2021), İktidarın panoptik gözü olarak salgın tedbirleri: koronavirüs pandemisi örneği. *Communication and Technology Congress*, 511-522.
26. Gade, R., Moeslund, T.B. (2014). Thermal cameras and applications: a survey. *Machine vision and applications*, 25(1), 245-262.
27. Sensoy, B., Balci, H. (2004). Thermal imaging technology and applications in Turkey. *In Proceedings of the IEEE 12th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 661-664.
28. Prokoski, F. (2000). History, current status, and future of infrared identification. *In Proceedings IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications*, 5-14

29. Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., Bulnes, F.G. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors*, 14(7), 12305-12348.
30. Speakman, J.R., Ward, S. (1998). Infrared thermography: principles and applications. *Zoology-Jena*, 101, 224-232.
31. Barnes, R.B. (1963). Thermography of the Human Body: Infrared-radiant energy provides new concepts and instrumentation for medical diagnosis. *Science*, 140(3569), 870-877.
32. Tkáčová, M., Hudák, R., Živčák, J., Sidun, J. (2011, June). Thermographic atlas of the human body. In *2011 15th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems*, 427-429.
33. Ivanescu, N.A., Ciupitu, L. (2010, June). Vision system for human body infrared thermography. In *19th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*, 353-356.
34. İnternet: Jockers. D. Thermography: Is This The Best Breast Screening Device, *Cipec*.URL: <https://drjockers.com/thermography-breast-screening/> , Son Erişim Tarihi: 07.02.2022
35. Lahiri, B.B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared Physics and Technology*, 55(4), 221-235.
36. Skala, K., Lipić, T., Sović, I., Grubišić, I. (2015). Dynamic thermal models for human body dissipation. *Periodicum biologorum*, 117(1), 167-176.
37. Rudol, P., Doherty, P. (2008, March). Human body detection and geolocalization for UAV search and rescue missions using color and thermal imagery. *Aerospace conference*, 1-8.
38. Amon, F.K., Bryner, N.P., Hamins, A. (2005). Thermal imaging research needs for first responders: workshop proceedings. *US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology*.
39. Lock, A., Amon, F. (2008). Measurement of the nonuniformity of first responder thermal imaging cameras. In *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing*, 694114.
40. Rodin, C.D., Lima, L.N., Alcantara Andrade, F.A., Haddad, D. B., Johansen, T.A., Storvold, R. (2018). Object classification in thermal images using convolutional neural networks for search and rescue missions with unmanned aerial systems. *International Joint Conference on Neural Networks*, 1-8.
41. Lee, F.F., Chen, F., Liu, J. (2015). Infrared thermal imaging system on a mobile phone. *Sensors*, 15(5), 10166-10179.

42. Toğaçar, M., Ergen, B. (2019). Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 109-121.
43. Jagadev, P., Giri, L.I. (2020). Non-contact monitoring of human respiration using infrared thermography and machine learning. *Infrared Physics & Technology*, 104, 103117.
44. Ramesh, V. (2017). A review on application of deep learning in thermography. *Int. J. Eng. Manag.* 7, 489-493.
45. Ornek, A.H., Ceylan, M. (2019, July). Comparison of traditional transformations for data augmentation in deep learning of medical thermography. *42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing*, 191-194.
46. Kristoffersen, M.S., Dueholm, J.V., Gade, R., Moeslund, T.B. (2016). Pedestrian counting with occlusion handling using stereo thermal cameras. *Sensors*, 16(1), 62.
47. Lin, J.W., Lu, M.H., Lin, Y.H. (2019). A thermal camera based continuous body temperature measurement system. *In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops*.
48. Nguyen, D.T., Kim, K.W., Hong, H.G., Koo, J.H., Kim, M.C., Park, K.R. (2017). Gender recognition from human-body images using visible-light and thermal camera videos based on a convolutional neural network for image feature extraction. *Sensors*, 17(3), 637.
49. Singh, J., Arora, A.S. (2020). Automated approaches for ROIs extraction in medical thermography: a review and future directions. *Multimedia Tools and Applications*, 79(21), 15273-15296.
50. Van Blyenburgh, P. (1999). UAVs: an overview. *Air & Space Europe*, 1(5-6), 43-47.
51. Gonzalez, L.F., Montes, G.A., Puig, E., Johnson, S., Mengersen, K., Gaston, K.J. (2016). Unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence revolutionizing wildlife monitoring and conservation. *Sensors*, 16(1), 97.
52. Uysal, M., YILMAZ, M., Tiryakioğlu, İ., Polat, N. (2018). İnsansız hava araçlarının afet yönetiminde kullanımı. *Anadolu University Journal of Science and Technology B-Theoretical Sciences*, 6, 219-224.
53. Nguyen, A.V., Cohen, N.J., Lipman, H., Brown, C.M., Molinari, N.A., Jackson, W.L., Fishbein, D.B. (2010). Comparison of tree infrared thermal detection systems and self-report for mass fever screening. *Emerging infectious diseases*, 16(11), 1710.
54. Fernández-Cuevas, I., Marins, J.C.B., Lastras, J.A., Carmona, P.M.G., Cano, S.P., García-Concepción, M.Á., Sillero-Quintana, M. (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, 71, 28-55.

55. Shterenshis, M. (2017). Challenges to global implementation of infrared thermography technology: current perspective. *Central Asian journal of global health*, 6(1).
56. Ammer, K. (2008). İnsan vücudunun termal görüntülerinin kaydedilmesi ve değerlendirilmesi için Glamorgan Protokolü. *Thermol Int*, 18 (4), 125-44.



DİZİN

A

Afad 2,3,5

D

Derin öğrenme 26, 27

İ

İnfrared 9, 10,15,21

K

Kızılötesi spektrum 9, 10, 15

Kirli bomba 12

KBRN 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9

N

Nükleer 12, 13

O

Olay yeri güvenliği 1, 2

R

Radyasyon 12, 13

S

Saldırı 15, 17

Sabotaj 14, 17

T

Termal kamera 9,13,15

Termografi 9, 13,14

Termogram 9, 13, 14

Terör 1, 3, 4, 7

V

Vücut ısısı 7, 8, 12, 14, 17

Y

Yapay zeka 26, 27



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

